



ГИДРО- ТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Ежемесячный
научно-технический журнал

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РФ,

ОАО «РУСГИДРО»,

АССОЦИАЦИЯ «КОРПОРАЦИЯ ЕЭЭК»,

ЗАО НТФ «ЭНЕРГОПРОГРЕСС»,

НП «НТС ЕЭС»

Основан в 1930 г.

№ 2

февраль

2012

Содержание

- Шайтанов В. Я.** Ассоциации “Гидропроект” – 20 лет. 2
- Проектирование, строительство, эксплуатация**
- Васильев А. В., Кокурин С. А., Дерюгин Г. К.** Испытания эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС при пропуске паводка 5
- Александров А. Е., Торопов Б. А.** Обследование и наладка подпятников агрегатов Нижегородской ГЭС 9
- Одинец Ю. С.** О коэффициенте разрежения под нижним ригелем гидротехнического затвора. . . 15
- Безопасность гидротехнических сооружений**
- Васильев О. Ф., Семчуков А. Н.** Создание современных систем оперативного прогнозирования паводков и половодий как один из путей модернизации средств управления работой гидроэлектростанций в многоводные периоды 21
- Расчеты, исследования, эксперименты**
- Гиргидов А. А., Гиргидов А. Д., Фёдоров М. П.** Использование рассеивающих трамплинов для уменьшения придонных скоростей в водобойном колдце 27
- Рассказов Л. Н., Саинов М. П.** Численные исследования надёжности высокой каменной плотины с железобетонным экраном и подэкрановой зоной из грунтоцементобетона 30
- Орехов В. Г., Толстикова В. В.** Напряженно-деформированное состояние бетонной плотины Канкунского гидроузла 34
- Поздравление В. Л. Станкевичу 43
- За рубежом**
- Золотов Л. А., Лапин Г. Г., Лашенов С. Я., Шайтанов В. Я.** Строительство гидроаккумулирующего комплекса NANT DE DRANCE (Западная Швейцария) 44
- Картвелишвили Л. Н., Степанова Т. Г.** Ресурсосбережение в системах гидротехнической мелиорации. 47
- Хроника**
- Новости гидроэнергетики и гидротехники 54
- Шайтанов В. Я.** Итоги работы 24-й Молодежной научно-технической конференции и 36-го Общего собрания ассоциации “Гидропроект” 57
- На обложке – Богучанская ГЭС

Ассоциации “Гидропроект” — 20 лет

Шайтанов В. Я., президент ассоциации “Гидропроект”



Шайтанов В. Я.

за, преобразованием союзных республик в самостоятельные государства и, как следствие, превращением отделений и филиалов Гидропроекта, которые находились на их территории, в институты с прямым подчинением соответствующим государственным структурам вновь образованных республик. Руководители вновь образованных институтов приняли решение сохранить действующие в Гидропроекте научно-технические связи между этими институтами, но с учетом новых организационно-правовых и финансово-хозяйственных условий. После тщательного анализа сложившейся в тот период экономико-политической обстановки практически все институты системы Гидропроект пришли к выводу, что новой формой объединения может быть ассоциация, при которой каждый член объединения сохраняет свою хозяйственную самостоятельность, государственную и ведомственную принадлежность и права юридического лица. Предложенное участникам Общего собрания название объединения — ассоциация “Гидропроект” было единогласно принято участниками собрания.

На первом Общем собрании ассоциации “Гидропроект”, которое прошло 19 февраля 1992 г., были приняты основополагающие учредительные документы: Учредительный договор и Устав вновь созданного объединения, образован постоянно действующий управляющий орган и его структура. Эти решения были единодушно одобрены коллективами всех институтов, по поручению которых их руководители скрепили документы своими подписями и гербовыми печатями (в то время еще с гербами Советского Союза и союзных республик). Учредительные документы подписали: от Алмаатагидропроекта — генеральный директор Герасимов Г. Б.; от Армгидропроекта — генеральный директор Бабаян Х. А.; от Бакгидропроекта — ге-

неральный директор Багиров З. А.; от Братскгидропроекта — директор Орлов Т. И.; от института “Гидропроект” (Москва) — генеральный директор Васильев А. Б.; от Красноярскгидропроекта — генеральный директор Нейланд Н. Н.; от Самарагидропроекта — генеральный директор Чураев А. В.; от Ленгидропроекта — генеральный директор Григорьев Ю. А.; от Мособлгидропроекта — директор Молоканкин Ю. В.; от Средазгидропроекта — генеральный директор Старчиков Н. В.; от Тбилгидропроекта — генеральный директор Читанова А. Д.; от Харьковгидропроекта — генеральный директор Осадчук В. А.; от Научно-исследовательского института энергетических сооружений (НИС Гидропроекта) - директор Золотов Л. А.; от Ленинградского РМЗ — главный инженер Рогов Г. Н.

На первом общем собрании была утверждена структура управления и избраны руководящие органы: президентом ассоциации “Гидропроект” был избран Доценко Т. П., ранее работавший главным инженером института “Гидропроект”, вице-президентами по направлениям деятельности были избраны: по инженерным изысканиям — Толмачев Л. В., заместитель генерального директора института “Гидропроект”; по проектным работам — Шайтанов В. Я., заместитель главного инженера института “Гидропроект”; по технологическому оборудованию — Красильников М. Ф., заместитель главного инженера института “Гидропроект”; по научному обоснованию проектов — Золотов Л. А., директор Научно-исследовательского института энергетических сооружений Гидропроекта; по финансово-экономическим вопросам — Горбатов С. П., заместитель генерального директора института “Гидропроект”; по связям с институтами-учредителями — Григорьев Ю. А., генеральный директор Ленгидропроекта. Исполнительным директором ассоциации был избран Сафонов В. Г., начальник планово-производственного отдела Гидропроекта.

Учредительными документами в качестве основных направлений деятельности ассоциации “Гидропроект” были определены:

организация и координация проектно-изыскательских и научно-исследовательских работ членов ассоциации в области гидроэнергетического строительства;

организация и координация разработки нормативно-методических документов и компьютерных технологий;

экспертиза проектов;

информационное обеспечение;

организация и проведение научно-технических семинаров, конференций, совещаний;

организация разработки перспективных программ использования гидроэнергетических ресурсов государств Содружества;

участие в разработке других жизненно важных в области энергетической безопасности проблем государств Содружества.

Новое объединение — ассоциация “Гидропроект” активно участвует в производственной деятельности, в разработке научных программ в области гидроэнергетики, программ использования гидроэнергетических ресурсов в государствах Содружества, в разработке законодательных документов в области безопасности гидротехнических сооружений; ведет большую работу в Российском национальном комитете по большим плотинам, являясь его базовой организацией. Ассоциация “Гидропроект” выполняет масштабные работы по проектированию отдельных объектов как энергетического, так и водохозяйственного назначения; принимает участие в разработке “Программы использования гидроэнергетических ресурсов России до 2020 – 2030 гг.”, “Стратегии развития электроэнергетики России”, в разработке программ использования водных ресурсов Таджикистана и Киргизстана; проводит экспертизы деклараций безопасности гидротехнических сооружений объектов энергетики и др.

Слаженная работа ассоциации “Гидропроект”, дружественные отношения между членами вновь созданного объединения, стремление поддержать и помочь друг другу в трудных экономических условиях привлекли внимание коллективов родственных организаций. Они поняли, что совместные действия в неблагоприятных обстоятельствах значительно эффективнее совершаемых в одиночку. Это послужило поводом для вступления в ассоциацию “Гидропроект” ряда проектных и научных организаций как России, так и других государств СНГ. В числе первых, не имевших ранее административного отношения к Гидропроекту, в ассоциацию вступил Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева (ВНИИГ), который в то время возглавлял Иващинцев Д. А. Затем в ассоциацию подает заявление на вступление Таджикский государственный проектный и научно-исследовательский институт “Таджикгидроэнергопроект” — директор Петров Г. Н. Вслед за ним в ассоциацию вступают научно-технический центр “Гидротехбезопасность” — директор Радкевич Д. Б., Центр службы геодинамических наблюдений энергетической отрасли — директор Савич А. И.; факультет гидротехнического и специального строительства Московского государственного строительного университета

(МГСУ-МИСИ им. В. В. Куйбышева) — деканы Зерцалов М. Г. и Рассказов Л. Н.; факультет гидротехнического строительства Санкт-Петербургского государственного технического университета — декан Альхименко А. И.; журнал “Гидротехническое строительство” — главный редактор Лопатин Н. А.; трест “Спецгидроэнергопроект” — управляющий трестом Лохматиков Г. П.; организованная в Армении проектно-изыскательская организация “Гидэпинвест” — директор Григорян А. Р. В 2010 г. в ассоциацию “Гидропроект” вступил Московский государственный университет природообустройства (МГУП) — ректор университета Козлов Д. В. Таким образом, практически весь гидротехнический и гидроэнергетический интеллектуальный потенциал государств СНГ объединяется под эгидой ассоциации “Гидропроект”.

В 1988 г. ассоциация “Гидропроект” на правах наблюдателя вошла в состав Электроэнергетического совета Содружества Независимых Государств, президентом которого в то время был Чубайс А. Б. — председатель Правления ОАО “РАО ЕЭС России”, в 2008 г. на этот пост избран Шматко С. И. — министр энергетики РФ. Председателем Исполнительного комитета ЭЭС СНГ на период вступления ассоциации “Гидропроект” в ЭЭС СНГ был Джангиров В. А., а в 2003 г. Исполком ЭЭС СНГ возглавил Мишук Е. С.

За 20-летний период деятельности ассоциации “Гидропроект” в руководстве институтами и собственно ассоциации также произошли изменения: в 1998 г. президентом ассоциации был избран Шайтанов В. Я., первым вице-президентом — Золотов Л. А. Исполнительными директорами после Сафонова В. Г. работали Михеев А. М., Балашов В. Н., Лескес И. Н., Тищенко Г. Д.; в настоящее время функции исполнительного директора возложены на Ходкевича С. В. Армгидропроект после ухода Бабаяна Х. А. возглавил Григорян А. Р., в настоящее время — Хачатрян М. А.; ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева в настоящее время возглавляет Беллендир Е. Н. Институт “Гидропроект” после Васильева А. Б. возглавляли Лапин Г. Г., Смирнов В. В., Воробьев А. Л.; в настоящее время — Шестопалов П. В. Произошли изменения в Бакгидропроекте: в 1996 г. директором был назначен Пириев А. Ю., а в 2006 г. Бакгидропроект преобразован в НИИиПИ “Энергетики Азербайджана”, директором которого назначен Юсифбейли Н. Адиль оглы. Директором Братского института назначен Галай М. С.; Куйбышевгидропроект преобразован в Инженерный центр энергетики Поволжья во главе с генеральным директором Ремезенцевым А. Б. Ташгидропроект возглавляет Жигарев С. Д., Ленгидропроект — Воскресенский С. М., Мособлгидропроект — Тарасов О. В., Научно-исследователь-

ский институт энергетических сооружений — Шполянский Ю. Б., Укрэнергопроект после ухода В. А. Осадчука — Кривицкий В. В., Спецэнергопроект — Мигуренко В. Р., редакцию журнала “Гидротехническое строительство” — Лапин Г. Г.

Большое значение в работе ассоциация “Гидропроект” придает вопросам сохранения преемственности знаний и профессиональной квалификации между старшим поколением инженеров и молодых специалистов. Сохранена традиция регулярного проведения молодежных научно-технических конференций. Первая молодежная научно-техническая конференция была проведена в 1956 г. в г. Ленинграде на базе Ленгидроэнергопроекта по инициативе “совета секретарей комсомольских организаций института “Гидроэнергопроект”. В работе конференции приняли участие и выступили с докладами молодые специалисты Ленгидэпа, Мосгидэпа, Тбилгидэпа, Укргидэпа, а также руководящие работники Совмина СССР, Госплана СССР, Госстроя СССР и Министерства энергетики и электрификации СССР, что придало конференции особую значимость и повысило ее авторитет. В дальнейшем в работе каждой молодежной научно-технической конференции непременно участвовали и выступали с докладами по основным проблемам электрификации народного хозяйства руководящие работники Минэнерго СССР, Госплана и Госстроя СССР, а затем РАО “ЕЭС России”. Молодежные научно-технические конференции проходили каждые два года в различных городах страны на базе отделений и филиалов Гидропроекта. Конференции стали своеобразной “кузницей кадров”, позволяющей выявлять наиболее перспективных, творчески мыслящих инженеров и ученых. Придавая значимость молодежным научно-техническим конференциям руководство Гидропроекта приняло решение привлекать для участия в работе конференций руководителей отделений и филиалов Гидропроекта, приурочивая к молодежным конференциям проведение заседаний совета директоров института. Эта традиция сохранена до настоящего времени. В период молодежной конференции проводятся Общие собрания ассоциации “Гидропроект”, в работе которых принимают участие руководители институтов.

Проведенная в сентябре 2011 г. 24-я Молодежная научно-техническая конференция с участием молодых специалистов-энергетиков теплоэнергетического и электросетевого профиля показала важ-

ность такого совмещения. Объединение разных направлений энергетического профиля расширило кругозор молодых специалистов, позволило понять развитие энергетической отрасли как единой системы обеспечения всех отраслей народного хозяйства энергетическими ресурсами. В принятом обращении к Электроэнергетическому совету СНГ участники конференции выразили общее пожелание молодежи всех государств Содружества: “Продолжить практику совместного проведения молодежных научно-технических конференций государств Содружества всех профилей энергетической отрасли, направленную на укрепление как научно-технических и гуманитарных, так и дружественных связей молодежи, на регулярной основе на базе ассоциации “Гидропроект” под руководством Исполнительного комитета Электроэнергетического совета СНГ”.

Это обращение лишней раз подтверждает важность деятельности ассоциации “Гидропроект” не только в укреплении научно-технических связей между отдельными государствами СНГ, но и в укреплении интеграционных процессов среди государств Содружества, которые сегодня начинают интенсивно проявляться.

Ассоциация “Гидропроект” продолжает и другие полезные традиции, в частности, проведение конференций изыскателей Гидропроекта, которые проводятся один раз в три года. Эти конференции привлекают внимание всех служб инженерных изысканий: геологов, гидрогеологов, гидрологов, геодезистов, геотехников, геофизиков, практически всех проектно-изыскательских институтов и организаций энергетического профиля России, государств СНГ и стран дальнего зарубежья. На конференциях обсуждаются вопросы методологических подходов в инженерных изысканиях для энергетического строительства, использование современных средств механизации инженерных изысканий, автоматизация обработки результатов полевых изысканий, участие изыскателей в проектном процессе и их роль в формировании конструктивного облика создаваемых сооружений.

Успешная работа ассоциации “Гидропроект” подтверждает значимость и правильность принятых решений по объединению интеллектуального потенциала энергетических организаций стран Содружества для совместного решения задач по сохранению и укреплению как научно-технических, так и дружественных связей наших стран.

Испытания эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС при пропуске паводка

Васильев А. В., главный инженер проекта Бурейской ГЭС,
Кокурин С. А., главный специалист (ОАО “Ленгидропроект”),
Дерюгин Г. К., старший научный сотрудник (ОАО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”)

В 2009 г. при пропуске через Бурейский гидроузел паводка с расходом $5200 \text{ м}^3/\text{с}$ проведены испытания его эксплуатационного водосброса, показавшие надежную работу всех пролетов этого сооружения в течение длительного времени. В соответствии с проектными условиями работали трамплины-вitraжи, обеспечивались отрыв потока от нижней грани плотины, его аэрация. Отмечены особенности формирования ямы размыва и бара, установлены ограничения по регламенту работы ряда пролетов.

Ключевые слова: Бурейская ГЭС, эксплуатационный водосброс, пропуск паводка 2009 г., испытания.

В 2008 г. было завершено строительство эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС [1] и, несмотря на наполнение водохранилища лишь до отметки 248 м — на 8 м ниже НПУ, проведено кратковременное опробование этого сооружения. Значительная часть поверхности водосливной плотины выполнялась в зимний период, и предполагалось проверить способность бетона выдержать воздействие сбросного потока с удельными расходами $20 \text{ м}^2/\text{с}$ и скоростями до 40 м/с. Оказалось, что, несмотря на наличие на швах бетонирования уступов по потоку высотой 1 см и небольших раковин на цилиндрическом трамплине, бетон успешно выдержал динамическое воздействие; развитие заметной кавитационной эрозии за время опробования ожидать не следовало. Во время опробования была дана оценка условиям работы водосливной плотины Бурейского гидроузла и её трамплинных окончаний, проведено сопоставление с данными модели [2].

Длительные испытания водосброса удалось провести при пропуске паводка 2009 г., когда была достигнута отметка НПУ, а продолжительность работы водослива достигла трех месяцев, причём затворы двух пролётов в течение 8 дней были открыты полностью, а остальных — на 6 м (таблица).

Максимальный расход через водосброс составил $4500 \text{ м}^3/\text{с}$, через гидроузел — $5200 \text{ м}^3/\text{с}$.

По завершении испытаний отмечено отсутствие повреждений (рис. 1) за имевшимися незначительными дефектами обтекаемой поверхности, не были вскрыты обнаруженные ещё до опробования зоны бетона с поверхностной прочностью 10 МПа. Испытания показали, что качество выполнения водосливной поверхности оказалось хорошим, бетон набрал достаточную прочность и, кроме того, эффективной оказалась защита водосливной поверхности подводом воздуха. В противном случае развитие кавитационной эрозии, например за раковинами на цилиндрическом трамплине (рис. 1), было бы неизбежным.

Потоком обычно вскрываются плохо проработанные зоны в углах блоков бетонирования (водослив Зейской ГЭС, глубинные водосбросы Бурейской ГЭС), но на водосливе Бурейской ГЭС такие зоны практически отсутствуют, хотя небольшие раковины на цилиндрическом трамплине образовались по этой же причине. Состояние обтекаемой поверхности свидетельствует о возможности её надёжной длительной эксплуатации, достаточно большом ожидаемом межремонтном периоде.

Проведение испытаний позволило, кроме того, установить следующее:

Продолжительность работы пролётов водосброса Бурейской ГЭС на 12 октября 2009 г.

Номер пролета	1	2	3	4	5	6	7	8
Общая наработка, ч	966	982	955	145	232	782	667	92
Открытие 3 м, м	96	24	317	120	112	55	163	69
Открытие 6 м, ч	870	690	638	25	120	727	260	23
Открытие 8,7 м, ч	—	268	—	—	—	—	244	—



Рис. 1. Состояние центральной секции водосбросной плотины на 12 октября 2009 г.

1) Воздухоподводящая система, позволяющая обеспечить аэрацию придонной части потока, работает надёжно; успешно осуществляется защита и поверхности трамплинов. Разрежение за уступами — аэраторами не превышает 15 кПа, что подтверждает значения, полученные по данным модели масштаба 1:35.

2) Траектория струи, отбрасываемой трамплинами-виражами, соответствует установленной при моделировании. В случае работы пролётов 1, 2 и 7, 8 отброшенная струя в достаточной мере отклоняется от раздельной стены (РС) и левого берега. Изолированная работа пролётов 2 и 7 не приводит к такому отклонению потока от указанных объектов, и желательно их совместное использование с пролётами 1 и 8, причём затворы последних целесообразно открывать в первую очередь.

На модели при изолированной работе пролёта 2 значительные объёмы воды периодически попадали на раздельную стенку, в натуральных условиях это явление не наблюдалось.

3) Расширение потока на цилиндрическом трамплине и отброшенной струи за ним соответствует отмеченному на модели. В случае изолированной работы пролёта 5 периферийная часть отброшенной струи воздействует на левый берег. Целесообразно первоочередное открытие затвора пролёта 6, в этом случае ограничивается расширение струи за пролётом 5 в сторону левого берега.

В случае работы лишь пролёта 4 отброшенная струя, как и на модели, расширяется почти на всю ширину русла, но, в отличие от тонкой струи на модели, в натуральных условиях создается впечатление, что работают все пролёты водосброса или, по крайней мере, четыре пролёта его центральной части.

4) Увеличение удельных расходов в 3 раза по сравнению с имевшими место при опробовании привело к существенному росту гребней у стен за дефлекторами аэрационных пазов [2, рис. 11]. На модели эти образования менее выражены, возмож-

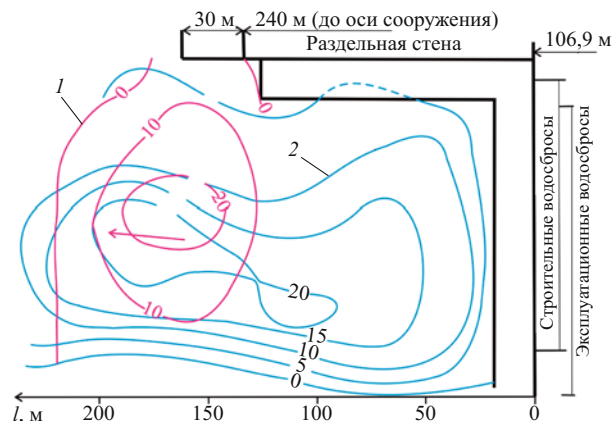


Рис. 2. Глубина размыва русла за плотиной на 10 октября 2009 г. (1); на модели для случая пропуска расхода через водосброс $4480 \text{ м}^3/\text{с}$ (2)

но, из-за облака брызг вблизи гребней в натуральных условиях.

Несмотря на образование высоких гребней и у ограждающих стен, перелив через них в 2009 г. не наблюдался.

5) Как и при опробовании [2] отмечалось попадание значительного количества брызг в основном на склон левого берега, что привело к его обводнению и оползанию осыпей на дороги и в русло.

6) Истечение из-под затворов при открытии их на 3 и 6 м в диапазоне отметок УВБ = 248 – 256 м не привело к образованию в верхнем бьефе воронок, течение было устойчивым. Размах вибрации нижнего ригеля в осевой части затвора не превысил 0,1 мм при отметке УВБ = 248 м и открытии на 2,5 м и увеличился до 0,5 мм при открытии на 5,6 м и отметке УВБ = 256 м, что является безопасным.

7) Отброс потока от плотины на более дальнее расстояние, чем при работе строительных водосбросов, вызвал развитие ямы размыва. Концевая часть фокуса размыва сместилась вниз по течению на 70 м, и за ямой, образовавшейся в строительный период с удалением до 130 м от плотины, образовалось углубление (рис. 2).

Если объём грунта, вынесенного потоком из ямы в строительный период, составил 200 тыс. м^3 , то при пропуске паводка 2009 г. он увеличился на 150 тыс. м^3 и достиг 350 тыс. $\text{м}^3/\text{с}$. На модели для соответствующих граничных условий 2009 г. получен такой же объём размыва (рис. 2). Как его объём, так и минимальная отметка в яме подтверждают зависимости этих параметров от расхода (рис. 3, 4), полученные на основании лабораторных исследований.

Как и на модели, за ямой размыва образовалась гряда отложений (рис. 5). Основываясь на материалах съёмки, выполненной после пропуска паводка 2009 г., можно сопоставить объём этой гряды с объёмом размыва. Такая возможность появилась впер-

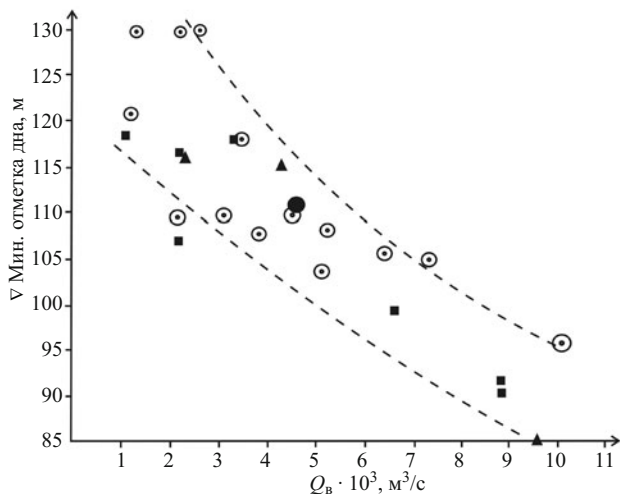


Рис. 3. Изменение минимальной отметки в яме размыва с ростом расходов через водосброс по данным: \odot , \blacksquare , \blacktriangle — модельных исследований для различных условий работы водосливной плотины; \bullet — промеров 12 октября 2009 г.

вые, так как ранее выполнявшиеся съёмки бара были весьма схематичными в связи с трудностями их проведения при высоких скоростях течения, наличии крупных отдельностей, выступающих из воды.

Объём отложений в русле, образовавших подпор 2,1 м при расходе ГЭС 960 м³/с, составил 80 тыс. м³. С учётом двух ранее выполненных разборок бара суммарным объёмом 50 тыс. м³ оказалось, что из общего объёма размыва за плотиной 350 тыс. м³ в баре отложилось примерно 130 тыс. м³ — около 40 %. С учётом возможных погрешностей проведения съёмок можно ориентировочно принять, что примерно половина продуктов размыва переносится потоком на значительное расстояние от плотины и не оказывает влияния на повышение уровней у ГЭС.

Это обстоятельство ранее не могло быть учтено при проведении лабораторных исследований, и скальный грунт моделировался однородным щебнем, соответствующим отдельностям крупностью 0,8 – 1,2 м в натуральных условиях. На модели этот материал практически весь откладывался в баре.

С учётом результатов данного анализа оказывается возможным откорректировать прогноз [1] последствий пропуска больших расходов через гидроузел.

Уменьшение объёма бара в 2 раза — до 250 тыс. м³ при пропуске расхода 11 800 м³/с, имеющего по техническому проекту вероятность превышения 5 %, существенно облегчает условия течения в протоке между баром и правым берегом и не должно привести к повреждению крепления последнего; угроза затопления ГЭС в связи с подпором исключается. Тем более что из предполагавшегося размыва объёмом 550 тыс. м³ в 2009 г. удалено 150 тыс. м³

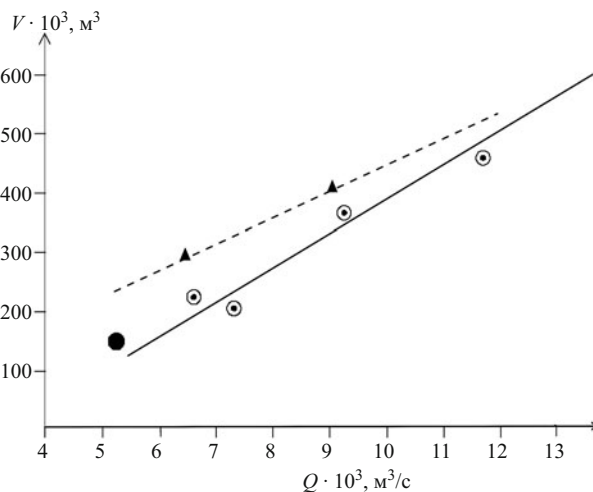


Рис. 4. Зависимость объёма размыва от расхода через гидроузел по данным: \odot — модельных исследований для периода эксплуатации; \blacktriangle — то же для проектных условий пропуска паводка 2008 г. \bullet — промеров 12 октября 2009 г.

и, следовательно, в баре может отложиться уже не более 200 тыс. м³.

Вместе с тем условия течения в узком отводящем канале водосброса остаются тяжёлыми. С увеличением расходов через водосброс более 5000 м³/с резко растут размывы, в том числе и у РС. Высокие скорости и большие по высоте волны воздействуют на левый берег в зоне падения отброшенной струи. С учётом этого желательно ограничить расход через гидроузел значением не более 7000 м³/с, используя ёмкость верхнего бьефа для срезки паводков. В этом случае условия течения в нижнем бьефе будут близкими к имевшим место в 2009 г.

8) Отмечен перепад уровней воды на РС до 3,5 м, что подтверждает соответствующие данные модели. Значительное понижение уровня воды в месте падения струи возбуждает развитие мощного планового водоворота в подструйной области. Из зоны повышенных уровней за местом падения по-

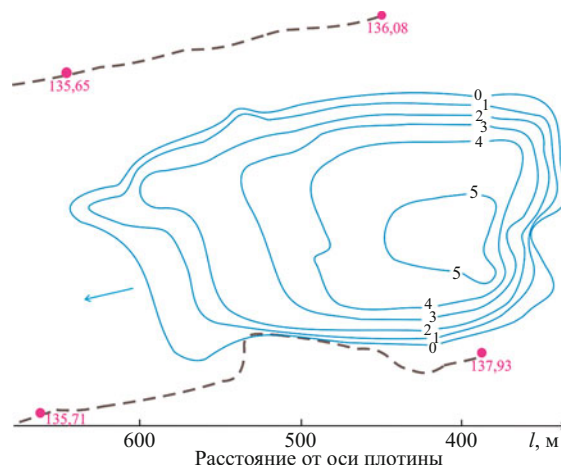


Рис. 5. Толщина слоя отложений продуктов размыва на октябрь 2009 г.

ток вдоль левого берега направляется к плотине и вдоль РС — к месту падения струи. На модели фиксируется перенос в водовороте продуктов размыва крупностью около 1 м на крепление за плотиной и у РС. Течение из отводящего канала ГЭС к месту падения струи со скоростями до 10 м/с наблюдается на модели у торца РС. Измеренный перепад на РС при пропуске паводка 2009 г. подтверждает наличие такого течения, способного вызвать размыв скального основания в этой зоне. Развитие размыва за плотиной как в строительный период, так и при работе эксплуатационного водосброса показало, что скальные породы русла в зоне гидроузла имеют неразмывающие скорости, близкие к 10 м/с.

Выводы

1. Проведённые в 2009 г. при пропуске паводка в течение трех месяцев испытания водосброса Бурейской ГЭС показали:

способность водосливной плотины выдерживать длительное воздействие высокоскоростного потока без повреждений;

эффективность системы защиты водосливной поверхности от кавитационной эрозии подводом воздуха к придонной части потока;

эффективную работу трамплинов-виражей, отбрасывающих струю от левого берега и раздельной стены;

отсутствие значительных динамических нагрузок на затворы при их частичных открытиях.

2. Работу водосброса сопровождает попадание облака брызг на склон левого берега, приводящее к его обводнению и сползанию осыпей на дороги и в русло.

3. Выполненная после пропуска паводка съёмка русла показала, что примерно половина продуктов размыва выносится потоком за пределы бара, и не оказывает влияния на образование подпора.

4. Сопоставительные опыты подтвердили надёжное моделирование размыва русла, но отсутствие информации о гранулометрии продуктов размыва не позволило воспроизвести условия формирования бара, что требует корректировки прогноза, основанного на результатах соответствующих лабораторных исследований.

Список литературы

1. Васильев А. В., Дерюгин Г. К., Петров О. А., Прокофьев В. А. Лабораторные исследования гидравлики нижнего бьефа при работе эксплуатационного водосброса Бурейского гидроузла // Гидротехническое строительство. 2008. № 6.
2. Гаркин А. С., Васильев А. В., Кокурин С. А., Дерюгин Г. К. Опробование эксплуатационного водосброса Бурейского гидроузла / Четвёртая научно-техническая конференция "Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии". СПб., 2008.

Обследование и наладка подпятников агрегатов Нижегородской ГЭС

Александров А. Е. (ОРГРЭС), Торопов Б. А. (Нижегородская ГЭС), инженеры

Приведены результаты обследования и наладка подпятников гидроагрегатов Нижегородской ГЭС. Рассмотрены причины износа подпятников. Предложена методика обследования, ремонта и наладки подпятников.

Ключевые слова: Нижегородская ГЭС, гидроагрегаты, подпятники, восстановительные и наладочные работы.

Подпятники, как и гидроагрегаты в целом, на большинстве ГЭС России находятся в эксплуатации 40 – 50 лет, т.е. по нормативам они отработали свой ресурс, поэтому актуальным является вопрос об оценке их состояния и о возможности их дальнейшей эксплуатации.

ОРГРЭС совместно с Нижегородской ГЭС провёл обследование подпятников с целью определения их действительного состояния и оценки их остаточного ресурса. При разборке подпятника во время капитального ремонта тщательно обследовались все его элементы: сегменты, опорные тарелки, опорные болты, балансиры, диск, элементы крепления. Определялись основные параметры подпятника: тангенциальный и радиальный эксцентриситеты сегментов, жёсткость балансиров, величины зазоров, шероховатость зеркальной поверхности диска, степень износа сегментов и др. На основе обследования был определён необходимый объём восстановительных и наладочных работ, которые выполнялись в процессе данного или последующего капитального ремонта.

Начиная с 1999 г. на Нижегородской ГЭС обследованы и налажены подпятники всех восьми установленных агрегатов. Выполненные работы позволили повысить надёжность подпятников и продлить их ресурс на несколько межремонтных периодов в будущем. В процессе выполнения этих работ была отработана методика обследования, ремонта и наладки подпятников, выявлены закономерности износа эластичных металлопластмассовых сегментов, проведены мероприятия по совершенствованию методов контроля за работой подпятников.

Основные данные подпятников агрегатов Нижегородской ГЭС. Агрегаты Нижегородской ГЭС введены в эксплуатацию в 1955 г., т.е. отработали уже более 50 лет. На ГЭС установлено восемь гидроагрегатов мощностью 65 МВт каждый. Турбины поворотно-лопастного типа ПЛ1510-ВБ-900, генераторы СВ 1340/150-96 зонтичного исполнения с двумя направляющими подшипниками и с расположением подпятника на нижней крестовине. Подпятник двухрядный с попарным расположением сегментов наружного и внутреннего кольцевого

ряда (рис. 1). Основные данные подпятника следующие:

Полная нагрузка	2000 тс
Число пар сегментов	24
Внешний диаметр диска	3650 мм
Внутренний диаметр диска	2030 мм
Средняя окружная скорость в наружном ряду	10,8 м/с
Средняя окружная скорость во внутреннем ряду	8,0 м/с.

С 1985 по 1990 г. в подпятниках агрегатов Нижегородской ГЭС сегменты, облицованные баббитом, были заменены на эластичные металлопластмассовые сегменты (ЭМП-сегменты), облицованные фторопластом. Рабочая поверхность ЭМП-сегментов меньше чем баббитовых, поэтому удельная нагрузка на сегменты после замены возросла с 37 до 46 кгс/см². К настоящему времени ЭМП-сегменты в подпятниках агрегатов Нижегородской ГЭС отработали от 20 до 25 лет и выдержали от 5000 до 9000 пусков (агрегаты Нижегородской ГЭС имеют от 250 до 460 пусков в год).

Результаты обследования ЭМП-сегментов. О состоянии подпятника судят прежде всего по состоянию рабочих поверхностей сегментов. При баббитовых сегментах их рабочие поверхности являлись самым слабым местом подпятника. Любое нарушение в подпятнике: перегрузка отдельных сегментов, повышение шероховатости зеркальной поверхности диска, повышение волнистости зеркальной поверхности диска, неправильная установка эксцентриситета и др. — приводило к повреждению баббитовой поверхности сегментов.

При ЭМП-сегментах их рабочая поверхность уже не является самым слабым местом в подпятнике. Такие нарушения, как перегрузка сегментов и повышенная волнистость зеркальной поверхности диска не приводят к повреждению фторопластовой поверхности ЭМП-сегментов благодаря их высокой надёжности. Однако кроме надёжности должна быть обеспечена долговечность ЭМП-сегментов. Такие нарушения в подпятнике, как повышение шероховатости зеркальной поверхности диска, неправильная установка радиального и тангенциального эксцентриситета сегментов, могут приводить

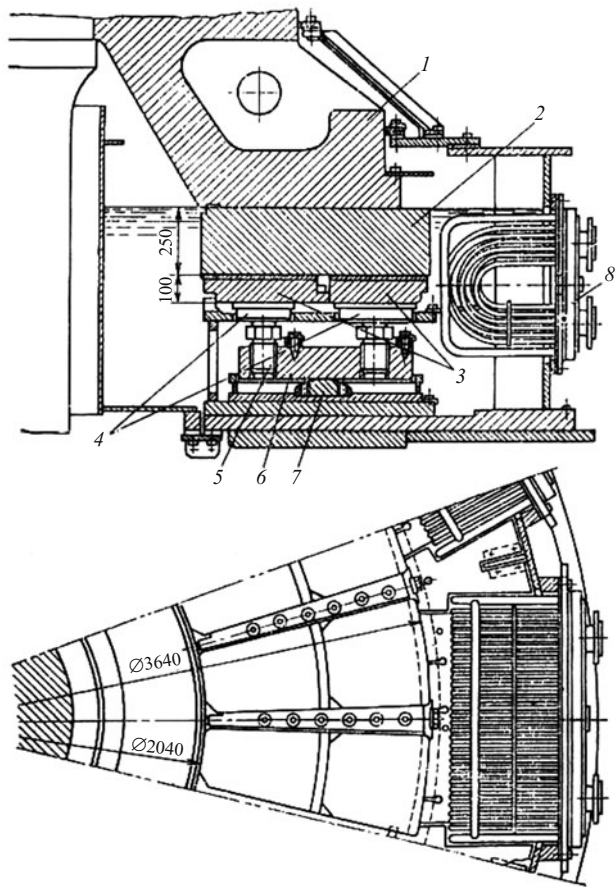


Рис. 1. Двухрядный подпятник на нагрузку 20 МВт:

1 — ступица; 2 — диск; 3 — сегменты; 4 — опорные тарелки; 5 — опорные болты; 6 — балансиры; 7 — опора балансира

к ускоренному износу фторопластовой поверхности, сокращая срок использования ЭМП-сегментов.

Износ рабочих поверхностей сегментов происходит при пусках и остановках агрегатов, когда имеется контакт сегментов и зеркальной поверхности диска подпятника. Поскольку при начале вращения масло заносится в зазор между сегментом и диском, сегмент наклоняется и контакт поверхностей диска и сегмента при пуске дольше всего сохраняется со сбегающей стороны сегмента. При остановке

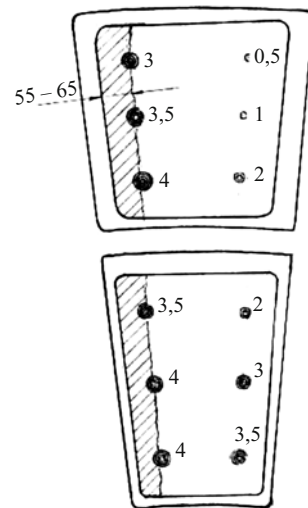


Рис. 2. Износ ЭМПС. Заштрихована поверхность без износа. Цифры обозначают число сохранившихся контрольных колец

агрегата в процессе уменьшения частоты вращения непосредственный контакт поверхностей сегмента и диска раньше всего появляется также со сбегающей стороны сегмента. Вследствие этих причин наибольший износ происходит именно со сбегающей стороны сегмента. На наклон и соответственно на степень износа рабочей поверхности сегмента влияет величина тангенциального эксцентриситета. При большем тангенциальном эксцентриситете износ со сбегающей стороны сегмента (и соответственно неравномерность износа) больше.

На неравномерность износа рабочей поверхности сегмента влияет также величина радиального эксцентриситета сегмента. При расположении центра тяжести рабочей поверхности сегмента ближе к валу относительно опоры сегмента (условно положительный радиальный эксцентриситет) плёнка между диском и сегментом у наружной стороны сегмента тоньше, а износ рабочей поверхности больше. При расположении центра тяжести рабочей поверхности сегмента дальше от вала относительно опоры сегмента (условно отрицательный

Износ ЭМП-сегментов подпятников агрегатов Нижегородской ГЭС

Номер агрегата	Количество пусков	Шероховатость, мкм	Износ, мкм				Износ за 100 пусков, мкм			
			наружных сегментов		внутренних сегментов		наружных сегментов		внутренних сегментов	
			макс.	средн.	макс.	средн.	макс.	средн.	макс.	средн.
4	6500	0,12 – 0,34 ср. 0,24	0,37	0,17	0,14	0,05	5,7	2,6	2,2	0,8
1	3000	0,40 – 0,60 ср. 0,51	0,31	0,17	0,15	0,05	10,3	5,7	5	1,7
6	5000	0,40 – 1,68 ср. 1,03	0,84	0,32	0,24	0,12	17	6,4	4,8	2,4

радиальный эксцентриситет) плёнка между сегментом и диском у внутреннего края сегмента будет тоньше, а износ больше.

Неравномерность износа по площади сегмента хорошо иллюстрируется истиранием контрольных кольцевых рисок различной глубины (0,05; 0,10; 0,15 и 0,20 мм), нанесённых на четырех наружных и четырех внутренних сегментах. На рис. 2 показана характерная пара сегментов. Видно, что контрольные риски стёрты значительно сильнее у наружного края сбегавшей кромки. В подпятниках некоторых агрегатов риски с внешней стороны наружных сегментов стёрты полностью. Это свидетельствует о том, что радиальный эксцентриситет неоптимальный — с большим смещением центра тяжести рабочей поверхности ЭМП-сегмента в сторону вала относительно точки опоры.

На набегающей стороне сегмента осталась неизношенная полоса рабочей поверхности шириной 55 – 65 мм. На ней сохранились следы от заводской обработки поверхности шлифовальным камнем. Остальная часть поверхности изношена и сильно заглажена.

Неравномерность износа по площади каждого сегмента приводит к различию толщины сегмента в разных местах. Это даёт возможность контролировать величину износа каждого сегмента путём сравнения толщины в любой точке сегмента с толщиной на набегающей стороне, где износа нет. При обследовании подпятников агрегатов Нижегородской ГЭС производились измерения толщины всех сегментов в фиксированных точках со сбегавшей и набегающей сторон (в трех точках с каждой стороны) с помощью микрометра. По проведённым замерам вычислялись средние толщины на набегающей и сбегавшей сторонах сегмента. Разница средних значений толщины даёт осреднённое значение износа фторопластовой поверхности каждого сегмента подпятника. Эти измерения позволяют также оценить влияние на износ фторопласта ряда факторов: числа пусков, чистоты зеркальной поверхности диска, неравномерности распределения нагрузки на сегменты, величины тангенциального и радиального эксцентриситетов.

Поскольку износ зависит от числа пусков агрегата, на основе проведённых измерений вычислялась величина износа за одинаковое число пусков для каждого обследованного агрегата Нижегородской ГЭС. Это позволило сравнить износ ЭМП-сегментов подпятников разных агрегатов. В таблице приведены вычисленные таким образом значения износа ЭМП-сегментов подпятников трех агрегатов Нижегородской ГЭС за 100 пусков. В этих подпятниках измерялась также шероховатость зеркальной поверхности диска. Определённые указанным способом значения износа показали следующее:

износ наружных сегментов в 3 – 4 раза больше износа внутренних сегментов;

износ отдельных сегментов каждого ряда подпятника существенно отличается — до 0,66 мм;

износ сегментов подпятников разных агрегатов при одинаковом числе пусков значительно отличается и зависит от шероховатости зеркальной поверхности диска подпятника.

Рассмотрим причины отмеченных особенностей износа.

Большой износ наружных сегментов объясняется большей удельной нагрузкой на них. Чтобы удельная нагрузка на наружные и внутренние сегменты была одинаковой, отношение площадей наружного и внутреннего сегментов должно быть обратно пропорционально отношению соответствующих плеч балансира: $\omega_n/\omega_b = l_b/l_n$, где ω_n и ω_b — соответственно рабочие площади наружного и внутреннего сегментов; l_b и l_n — длины внутреннего и наружного плеч балансира (рис. 3). Для баббитовых сегментов это соотношение выполнено. Площадь наружного сегмента была 1170 см², а площадь внутреннего сегмента — 1020 см². Отношение площадей было $\omega_n/\omega_b = 1,15$. При этом обеспечивалась одинаковая удельная нагрузка на наружные и внутренние сегменты 37 кгс/см² (при равномерном распределении нагрузки между парами сегментов и при полной нагрузке на подпятник 2000 тс). После замены баббитовых сегментов на ЭМП-сегменты соотношение площадей наружного и внутреннего сегментов нарушилось: площадь наружного ЭМП-сегмента $\omega_n^{\text{ЭМП}} = 910$ см², площадь внутреннего ЭМП-сегмента $\omega_b^{\text{ЭМП}} = 890$ см², а соотношение площадей $\omega_n^{\text{ЭМП}}/\omega_b^{\text{ЭМП}} = 1,02$. Поскольку длины плеч балансира остались прежними, произошло увеличение удельной нагрузки на наружные сегменты по отношению к внутренним. Удельная нагрузка на внутренние сегменты в среднем стала равной 43,5 кгс/см², а на наружные — 49 кгс/см² при условии равномерного распределения нагрузки на пары сегментов и при общей нагрузке на подпятник 2000 тс.

Итак, даже при идеально равномерном распределении нагрузки между парами сегментов удельная нагрузка на наружные ЭМП-сегменты всегда будет в 1,13 раза выше, чем на внутренние сегменты. В действительности различие в загрузке наружных и внутренних сегментов значительно больше, потому что соотношение длин плеч балансира отличается от расчетного значения 1,15. Так, в подпятнике агрегата № 1 оно составляет от 1,07 до 1,42. При этом удельная нагрузка на наружный сегмент получается в 1,4 раза выше, чем на внутренний.

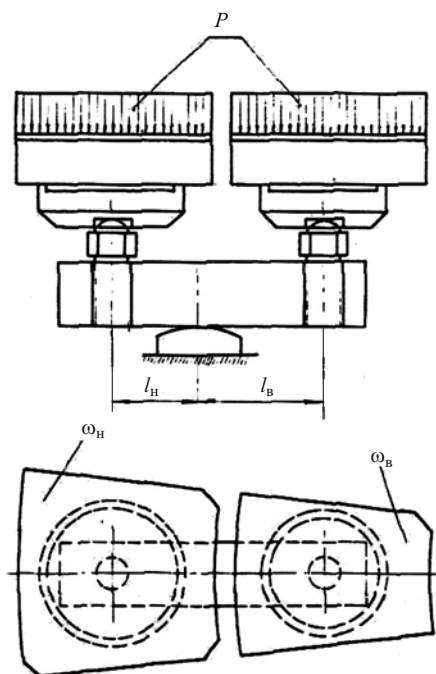


Рис. 3. Соотношение площадей наружного и внутреннего сегментов

Таким образом, большая нагрузка наружных сегментов в среднем в 1,2 – 1,3 раза приводит к существенно большему их износу. Таково влияние на износ нагрузки на сегменты. Отсюда становятся ясными требования к распределению нагрузки на сегменты.

Большое различие износа отдельных сегментов (или отдельных пар сегментов) подпятника вызывается в основном неравномерным распределением нагрузки между парами сегментов. Связано это с тем, что при ремонтах не проводилось контролируемого распределения нагрузки. В процессе данной работы проводились тарирование балансиров на специальном прессе и регулирование нагрузки на пары сегментов с учётом индивидуальных тарировок балансиров, т.е. с учётом их жёсткости. Проверка имевшихся нагрузок на пары сегментов показала, что они были очень неравномерными. Так, на агрегате № 1 пять балансиров имели нагрузку от 150 до 260 % от среднего значения и четыре балансира — от 2 до 5 % от среднего. Средний износ самой загруженной пары сегментов составил 0,21 мкм, а самой ненагруженной — 0,05 мкм.

Помимо увеличения износа, перегрузка балансиров опасна с точки зрения прочности. При работе агрегата полная нагрузка на подпятник может достигать 2000 тс, средняя нагрузка на один балансир — 83,3 тс и средняя удельная нагрузка на сегмент — 46 кгс/см². При этом нагрузка на пять наиболее нагруженных балансиров могла достигать 125 – 215 тс, а удельная нагрузка на ЭМП-сегменты этих балансиров — 70 – 120 кгс/см². Учитывая до-

полнительную динамическую нагрузку на сегменты и балансиры, которая всегда имеется из-за биения зеркальной поверхности диска и переменных гидравлических усилий на рабочее колесо турбины, такая перегрузка балансиров является опасной и может привести к их поломке.

При тарировании балансиров на прессе выяснилось, что они существенно отличаются по жесткости. При нагрузке 36 тс на балансир, что примерно соответствует средней нагрузке от веса ротора агрегата, прогиб самого жесткого балансира в подпятнике агрегата № 1 составляет 0,52 мм, а прогиб самого мягкого балансира — 0,77 мм. Отношение жесткостей этих балансиров равно 1,48. Выяснилось, что по жесткости резко выделяются четыре балансира (№ 20, 22, 23 и 24). Они оказались наименее жесткими, и их прогиб был заметно больше. Вызвано это тем, что в каждом из этих балансиров один из опорных болтов ввернут не в тело балансира (как на остальных), а во втулку, запрессованную в тело балансира. Такая установка балансиров была сделана в процессе эксплуатации из-за поврежденной резьбы в теле балансиров. Были рассверлены отверстия в теле балансиров и установлены втулки с резьбой. В результате эти балансиры оказались менее жесткие, чем остальные.

Из-за меньшей жесткости эти балансиры воспринимают при работе меньшую нагрузку, чем остальные, и износ их соответственно меньше. Средний износ этих четырех сегментов составил 0,07 мм, а средний износ остальных двадцати — 0,19 мм. В подпятнике они были расположены подряд, что явно неудачно. При монтаже балансиров после ремонта четыре мягких балансира расположили равномерно по окружности. После регулировки с учётом жёсткости балансиров разброс нагрузки отдельных балансиров стал не более 10 %.

Различный износ ЭМП-сегментов подпятников разных агрегатов Нижнегородской ГЭС объясняется в основном различной шероховатостью зеркальной поверхности дисков подпятников. В трёх сравниваемых подпятниках проводилось измерение шероховатости зеркальной поверхности диска. Измерения проводились на восьми радиусах в четырех-пяти точках на каждом радиусе. В таблице представлены результаты измерений шероховатости и износа ЭМП-сегментов. Видна явная зависимость износа от шероховатости.

На агрегате № 4 шероховатость зеркальной поверхности диска составила 0,12 – 0,34 мкм (9-й класс чистоты) и износ фторопластовой поверхности наружных сегментов за 100 пусков — 5,7 мкм. На агрегате № 1 шероховатость составила 0,40 – 0,60 мкм (8-й класс чистоты) и износ — 10,3 мкм. На агрегате № 6 шероховатость наибольшая — 0,40 – 1,68 мкм (8-й и 7-й класс чистоты) и

износ также наибольший — 17 мкм за 100 пусков. Такая же зависимость износа от состояния зеркальной поверхности диска и на внутренних сегментах.

Таким образом, ухудшение чистоты зеркальной поверхности диска с 9-го до 7-го класса увеличивает скорость износа рабочей поверхности ЭМП-сегментов в 2,5 – 3 раза. Это видно как по максимальной, так и по средней величине износа, хотя на износ влияют и другие факторы: различная загрузка сегментов, различная величина тангенциального и радиального эксцентриситетов установки сегментов.

При высокой шероховатости зеркальной поверхности диска быстрее всего, конечно, изнашиваются наиболее нагруженные сегменты. На агрегате № 6, имеющем самое плохое состояние зеркальной поверхности диска подпятника, через 8 лет работы было обнаружено три наружных сегмента с истиранием фторопласта до бронзы. На рис. 4 показаны формуляры этих сегментов. Износ произошёл в характерной зоне — с наружной стороны сегмента ближе к сбегающей кромке. Очевидно, эти сегменты были нагружены больше других и раньше других повредились.

Наладка основных узлов подпятника. Итак, на состоянии рабочей поверхности сегментов (на степени и характере износа) сказываются основные неисправности подпятника:

неоптимальная установка радиального и тангенциального эксцентриситетов сегментов;

неправильное соотношение длин плеч балансиров;

неправильное соотношение площадей сегментов;

плохое распределение нагрузки между парами сегментов;

повышенная шероховатость зеркальной поверхности диска подпятника;

плохое состояние контактных поверхностей опорных болтов и опорных тарелок.

При обследовании и наладке подпятников агрегатов Нижегородской ГЭС выявляли и устраняли эти неисправности.

Радиальный эксцентриситет. Определяли радиальный эксцентриситет установки всех 48 сегментов. Рекомендуемое значение радиального эксцентриситета составляет от – 1 до + 2 %. За положительное значение радиального эксцентриситета условно принимается такое, при котором центр тяжести рабочей поверхности ЭМП-сегмента находится ближе к валу, чем точка опоры (т.е. ось опорного болта). Исправляли радиальный эксцентриситет путём сдвига сегментов в радиальном направлении, для чего производили соответствующие снятие или нанесение металла на внутренние (т.е.



Рис. 4. Формуляр поврежденных сегментов подпятника агрегата № 6 Нижегородской ГЭС

ближние к валу) или наружные торцевые поверхности сегментов.

Тангенциальный эксцентриситет. Определяли тангенциальный эксцентриситет всех сегментов. Рекомендуемое значение тангенциального эксцентриситета для наружных сегментов составляет $(3 \pm 1 \%)$, для внутренних — $(2 \pm 1 \%)$. Исправляли тангенциальный эксцентриситет посредством сдвига сегментов по направлению вращения путём соответствующих снятия или нанесения металла на боковые поверхности сегментов или боковые упоры.

Соотношение длин плеч балансиров определяли после разборки подпятника и выема балансиров. Установку правильного соотношения длин плеч балансиров производили путём радиального смещения опоры балансиров с помощью снятия металла соответствующей величины с одной стороны опоры балансира и нанесения такой же величины металла с другой стороны.

Соотношение площадей наружного и внутреннего сегментов исправляли путём замены сегментов на новые. Чертежи новых сегментов были разработаны ОРГРЭС. В них соотношение площадей наружного и внутреннего сегментов равно расчётному 1,15. При правильных длинах плеч балансиров это обеспечивает одинаковую удельную нагрузку на наружные и внутренние сегменты. Новые сегменты изготовлены и установлены на двух агрегатах. По мере необходимости такие сегменты будут устанавливаться и на остальных агрегатах Нижегородской ГЭС. Кроме сегментов на данных агрегатах заменены изношенные опорные части подпятника: опоры балансиров, сами балансиры, опорные болты и опорные тарелки.

Распределение нагрузки между парами сегментов производилось по прогибу балансиров рычажно-индикаторным методом [1]. Предварительно балансиры с установленными на них рычажно-индикаторными устройствами тарировались на прессе. При большой разнице жёсткостей балансиров наиболее отличающиеся по жёсткости балансиры распределялись равномерно по окружности. Самые “мягкие” балансиры при распределении нагрузки

предварительно перегружались с тем, чтобы при нагружении подпятника гидравлическим осевым усилием во время работы агрегата их нагрузка была максимально близкой к нагрузке других сегментов. Разброс нагрузки на пары сегментов после регулировки не превышал 10 %, за исключением предварительно перегруженных “мягких” балансиров.

Шероховатость зеркальной поверхности диска проверяли инструментально с помощью портативного измерителя. Измерения проводили на восьми радиусах в пяти точках на каждом радиусе. По нормативам шероховатость зеркальной поверхности диска должна быть по параметру Ra от 0,32 до 0,16 мкм (9-й класс чистоты). Допускается шероховатость до 0,63 мкм (8-й класс чистоты). Из прошедших обследование агрегатов недопустимо высокую шероховатость зеркальной поверхности диска подпятника имел агрегат № 6 (7 – 8-й класс чистоты) и повышенную шероховатость — агрегат № 1 (по всей поверхности 8-й класс чистоты).

Состояние контактных поверхностей опорных болтов и опорных тарелок влияет на пусковые качества подпятника. При смятии головок опорных болтов и образовании глубоких вмятин на опорных тарелках затрудняется наклон сегмента, позже образуется масляный клин при пуске, соответственно увеличивается износ рабочей поверхности сегмента. Производились осмотр и дефектоскопия всех опорных тарелок. При глубине вмятий выполнялись проточка гнёзд тарелок. При наличии смятий более 0,05 мм на сферических головках опорных болтов осуществлялось их восстановление.

Вопрос температурного контроля. До начала работ по обследованию и наладке подпятников измерения температуры проводились в 12 наружных и 12 внутренних сегментах, т.е. в половине сегментов. Анализ температурных записей показал недостаточную чувствительность термоконтроля. Превышение температуры сегментов над температурой масла составляло всего 1 – 3 °С.

На первом обследуемом агрегате (№ 3) были проверены два варианта повышения чувствительности термоконтроля: 1) выполнение прорезей (пазов) сквозь эластичный металлопластмассовый вкладыш; 2) выполнение сверлений со стороны фторопласта до канала в теле сегмента, в котором

установлен термодатчик. Во втором случае в резьбе датчика был сделан узкий пропил для обеспечения обтекания датчика маслом. Измерения показали, что выполнение пазов дало повышение показаний термоконтроля на 3 – 4 °С, выполнение сверлений — на 12 – 19 °С.

На двух агрегатах на новых сегментах, изготовленных на Чебоксарском заводе “Энергозапчасть”, скорректировано размещение датчиков термоконтроля. Они расположены со сбегающей стороны сегмента, а не с набегающей, как это выполнено на старых сегментах. Кроме того, для повышения надёжности термоконтроля датчики температуры установлены во всех сегментах. На этих агрегатах внедрена система контроля с отображением информации по температуре подпятника и уровню масла в маслованне на дисплее агрегатного щита.

Выводы

1. Подробное обследование подпятников агрегатов Нижегородской ГЭС выявило отклонение большинства параметров от нормативных, которые, вызывая аварийных повреждений, приводят к ускоренному износу рабочих поверхностей сегментов, сокращают срок службы сегментов.

2. Проведённые ремонты и наладка подпятников, приведение узлов и параметров к нормативным значениям значительно повышают срок службы и надёжность подпятников. В настоящее время персонал Нижегородской ГЭС совместно с персоналом ремонтного предприятия, используя разработанную методику, проводит обследование, ремонт и наладку подпятников не чаще чем 1 раз в 8 лет.

3. Разработанная методика обследования подпятников и их наладки при капитальных ремонтах агрегатов, выявленные закономерности износа эластичных металлопластмассовых сегментов подпятников могут быть использованы на других ГЭС для повышения эффективности ремонтов и продления срока службы подпятников.

Литература

1. Александров А. Е. Подпятники гидроагрегатов. — М.: Энергия, 1975.

О коэффициенте разрежения под нижним ригелем гидротехнического затвора

Одинец Ю. С., инженер (Запорожская государственная инженерная академия)

Представлены результаты дополнительной обработки экспериментальных данных по коэффициенту разрежения под нижним ригелем затвора, преобразованные под общепринятую методику расчета. Приводится обобщенный график для определения максимального значения коэффициента разрежения при относительном открытии затвора 0,5.

Ключевые слова: коэффициент разрежения под гидротехническим затвором, угол наклона верховой грани нижнего ригеля, ширина скоса верховой грани нижнего ригеля, режимы течения за затвором.

Осредненные гидравлические нагрузки, действующие на частично открытые затворы, определяются конструкцией затвора и гидравлическими условиями течения воды в водоводе (напором, расходом, режимами течения). Согласно Рекомендациям [1] вертикальная составляющая гидродинамической нагрузки на частично открытый затвор P_v , в общем виде для наиболее часто применяемых плоских или сегментных затворов состоит из двух частей: нагрузки, действующей на верхнюю часть затвора, или нагрузки на ту часть затвора, которая расположена в шахте $P_{вш}$, и нагрузки, приложенной к нижней части затвора, т.е. к нижнему ригелю, $P_{внр} = P_{вн} + R_r$:

$$P_v = P_{вш} + P_{внр} = P_{вш} + (P_{вн} + R_r), \quad (1)$$

где $P_{вн}$ — вертикальная нагрузка на нижний ригель, действующая при низовом расположении уплотняющего ножа по всей площади ригеля, а при промежуточном расположении ножа — на ту часть нижнего ригеля, которая расположена со стороны верхнего бьефа; R_r — дополнительная вертикальная нагрузка, возникающая при обтекании затвора со стороны нижнего бьефа, действующая в случае, когда уплотняющий нож находится в плоскости верховой грани затвора, на нижний ригель по всей его плоскости, а при промежуточном положении ножа — на ту часть нижнего ригеля, которая расположена со стороны нижнего бьефа.

Дополнительная вертикальная нагрузка R_r возникает только при переходном или напорном режиме течения за затвором.

В данной статье рассматриваются коэффициенты разрежения, относящиеся к нагрузке $P_{вн}$, которая возникает только в затворах с низовым или промежуточным расположением уплотняющего ножа нижнего ригеля затвора.

Нагрузка $P_{вн}$ определяется по зависимости

$$P_{вн} = P_{кв}(1 - \varphi_n), \quad (2)$$

где $P_{кв}$ — квазистатическая вертикальная нагрузка на ригель, вычисляемая по величине расчетного на-

пора H_p с помощью обычных приемов гидростатики; φ_n — коэффициент разрежения давления под нижним ригелем, осредненный по всей площади ригеля. Этот коэффициент для заданного открытия затвора можно определить по формуле

$$\varphi_n = \varphi_{нмакс} \cdot c_n \cdot A, \quad (3)$$

где $\varphi_{нмакс}$ — максимальная величина коэффициента разрежения под нижним ригелем при относительном открытии затвора, близком к 0,5; c_n — коэффициент, учитывающий величину открытия затвора; A — коэффициент, учитывающий уменьшение коэффициента разрежения от того фактора, что часть ригеля расположена в пазах.

В работах [2, 3] приведены результаты обобщения экспериментальных данных многих авторов по коэффициенту разрежения. Опытные точки соответствуют относительному открытию затвора 0,5. На графической зависимости коэффициента разрежения от параметра, характеризующего угол наклона передней грани нижнего ригеля, опытные точки группируются с довольно значительным разбросом вокруг одной кривой. Разброс вызван тем, что опыты проводились различными авторами на различных установках, при различной относительной ширине ригеля (но по каждой группе опытов в таблице приведены сведения по относительной ширине ригеля).

Относительная ширина ригеля в настоящей статье обозначена как отношение δ — ширины передней грани ригеля в направлении вдоль потока к h — высоте водовода перед затвором.

В 1980-х гг. эта графическая зависимость в виде обобщенной кривой была включена в Рекомендации ВНИИГ [1] и в Справочное пособие [4], авторы ввели ограничение на относительную ширину ригеля, в пределах от 0,1 до 0,25, при определении коэффициента c_n . Тем самым были установлены границы применения предлагаемой методики.

В 1960-х гг. в СКБ “Мосгидросталь” была разработана методика расчета вертикальных нагрузок на затворы [5]. Согласно этой методике коэффициенты разрежения при различных открытиях затвора

предлагалось определять по номограмме, составленной с учетом относительной ширины ригеля. Выполненные нами расчеты по этой методике показали, что она дает надежные результаты при напорном режиме течения за затвором. Однако эта методика не получила широкого распространения.

В СПКТБ “Запорожгидросталь” в процессе проектирования гидромеханического оборудования ряда гидроузлов проводились модельные испытания затворов. При этом в ряде случаев выявлялось существенное отличие опытных данных от расчетных. В работе на примере исследований плоского затвора 7,4 – 13,5 – 48,5 донного водосброса Константиновского гидроузла Южно-Украинского энергетического комплекса показано, что экспериментальный коэффициент разрежения может значительно отличаться от расчетного, поскольку расчетом не учитываются относительная ширина ригеля и режимы течения за затвором [6].

В гидравлической лаборатории СПКТБ “Запорожгидросталь” была проведена специальная работа, в которой детально исследовался коэффициент разрежения [7]. Ниже приведены результаты допол-

нительного обобщения опытных данных, полученных в этой работе. Суть обобщения заключалась в том, что опытные данные были преобразованы под общепринятую методику расчета, которая изложена в [1, 4].

На трех модельных установках (одна из них — плоская, а две другие — объемные) было испытано 70 вариантов нижнего ригеля. Каждый вариант испытывался при 10 открытиях затвора. В процессе испытаний проводились настройка режимов течения (безнапорного или напорного) за затвором, измерение расхода и пьезометрического давления перед и за затвором, запись показаний пьезометров, расположенных на скошенной грани нижнего ригеля. По этим данным определялись расчетный напор H_p и коэффициент разрежения φ под затвором по следующим формулам:

$$H_p = \left(\frac{p}{\gamma} \right)_{\text{ВБ}} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} - \left(\frac{p}{\gamma} \right)_{\text{НБ}}; \quad (4)$$

$$\varphi = \frac{\sum \left[\left(\frac{p}{\gamma} \right)_{\text{ВБ}} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} - \left(\frac{p}{\gamma} \right)_i \right] \cdot \Delta \delta}{H_p \cdot \delta}, \quad (5)$$

где $\left(\frac{p}{\gamma} \right)_{\text{ВБ}}$ и $\left(\frac{p}{\gamma} \right)_{\text{НБ}}$ — показания пьезометров, фиксирующих давление перед и за затвором, которое отсчитывалось от днища камеры затворов; $\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}$ — скоростной напор потока перед затвором, коэффициент Кориолиса α принимался равным 1,0; $\left(\frac{p}{\gamma} \right)_i$ — пьезометрическое давление в отдельных точках наклонной грани ригеля (отсчитываемое, как и давление перед и за затвором, от днища затворной камеры); $\Delta \delta$ — проекция на днище камеры расстояния между соседними точками отбора давления на наклонной грани, $\delta = \sum \Delta \delta$ — проекция скошенной грани ригеля на днище камеры.

Схемы модельных установок приведены на рис. 1:

первая (основная) установка была выполнена в виде плоской модели сечением 250 × 60 мм с безпазовым плоским затвором, имеющим съемный нижний ригель, с возможностью регулирования уровня воды в отводящем водоводе. Напор на модели составлял около 1,05 м. На этой установке испытывалось 30 вариантов нижнего ригеля;

вторая установка была выполнена в виде модели глубинного водовыпуска, расположенного в туннеле. Рабочее сечение рабочей камеры

Схема многофакторного эксперимента

δ/h	θ , град.	+	+	+	+	+
	20	30	40	50	60	70
Плоская модель (без пазов), 30 вариантов						
0,02	+	+	+	+	+	–
0,04	+	+	+	+	+	–
0,06	+	+	+	+	+	–
0,1	+	+	+	+	+	–
0,2	+	+	+	+	+	–
0,3	+	+	+	+	+	–
Объемная модель (с дефлектором в створе низовой грани паза), 27 вариантов						
0,02	+	+	+	+	+	+
0,04	+	+	+	+	+	+
0,06	+	+	+	+	+	+
0,1	+	+	+	+	+	–
0,2	+	+	+	+	–	–
0,3	–	–	–	–	–	–
Объемная модель (с расширением в створе низовой грани паза), 13 вариантов						
0,02	+	+	+	+	+	+
0,04	+	+	+	+	+	+
0,06	–	–	–	–	+	–
0,1	–	–	–	–	–	–
0,2	–	–	–	–	–	–
0,3	–	–	–	–	–	–

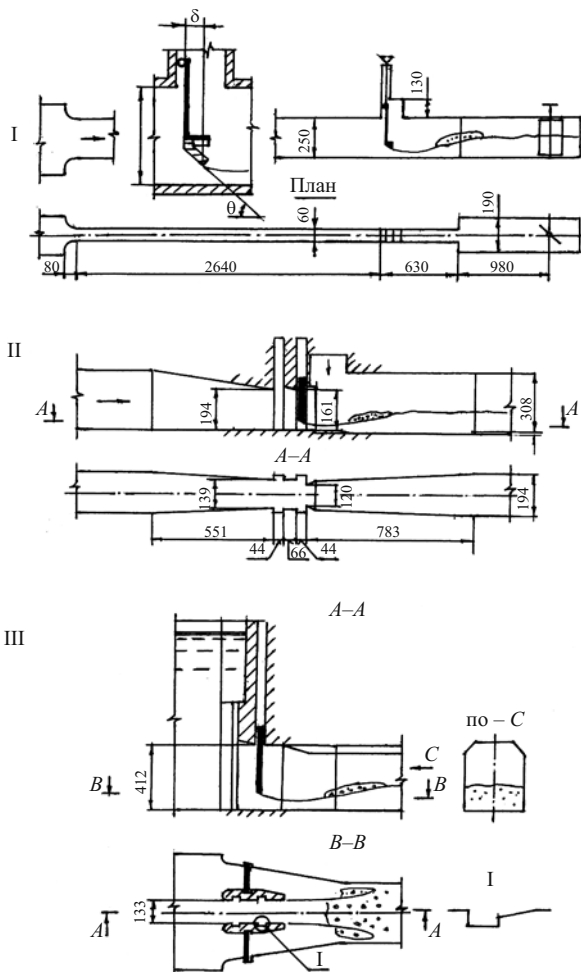


Рис. 1. Схемы экспериментальных установок:

I — плоская модель; II — объемная модель с дефлектором в створе основного затвора; III — объемная модель с расширением за пазом основного затвора

161(h) × 120 мм. В створе нижней грани паза основного затвора имелись дефлекторы, уменьшающие ширину выходного отверстия на 13,5%. Напор на этой установке изменялся от 0,4 до 2,2 м. На ней испытывалось 27 вариантов нижнего ригеля;

третья установка — модель глубинного водосброса с затворной камерой, расположенной во входном оголовке. Затворная камера трехпролетная. Испытывался затвор, расположенный в среднем пролете. Рабочее сечение 412(h) × 133 мм. Низовая кромка паза этого затвора смещена в сторону бычка (утоплена) на 10% от длины паза. Напор на модели 1,3 м. На установке испытано 13 вариантов нижнего ригеля.

Угол наклона передней грани нижнего ригеля θ принимался равным 20; 30; 40; 50; 60 и 70°, а проекция скошенной верховой грани нижнего ригеля на направление течения δ — 0,02; 0,04; 0,06; 0,1; 0,2 и 0,3 от высоты h водовода перед затвором.

Все испытанные варианты выполнены без скругления со стороны верхнего бьефа и при наличии струенаправляющей обшивки. Затворы второй

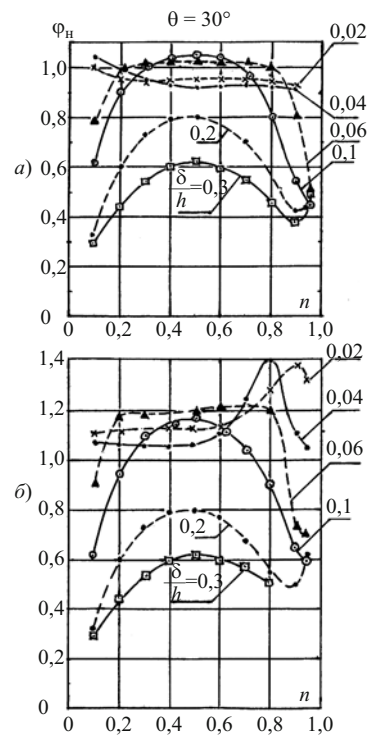


Рис. 2. Результаты опытного определения коэффициента понижения давления под затвором при $\theta = 30^\circ$: а — безнапорный режим течения за затвором; б — напорный режим течения за затвором

и третьей установок имели низовое расположение уплотнений.

По методике [8] вычислялась возможная ошибка определения коэффициента разрежения. Она зависела от ширины ригеля и от точности измерения расстояния между пьезометрическими отверстиями. При неточности измерения этого расстояния 0,1 мм для узкого ригеля (с тремя пьезометрическими отверстиями, удаленными друг от друга в среднем на 2,0 мм) среднеквадратичная ошибка измерения составляла 8,5%, а для широкого ригеля (с восемью пьезометрическими отверстиями, удаленными друг от друга в среднем на 10 мм) эта ошибка была 2,8%.

В таблице приведена схема многофакторного эксперимента, т.е. сочетание параметров θ и δ/h , при которых проводились испытания различных вариантов нижнего ригеля на трех модельных установках.

На второй модельной установке для одного из вариантов нижнего ригеля определялся коэффициент разрежения при изменении напора на модели от 0,4 до 2,2 м. Значения коэффициентов, полученные при различных напорах, оставались неизменными. Это указывало на то, что измерения проводились в автомодельной области.

На рис. 2 в качестве примера приведены полученные на плоской модели значения коэффициента разрежения для ригеля с $\theta = 30^\circ$.

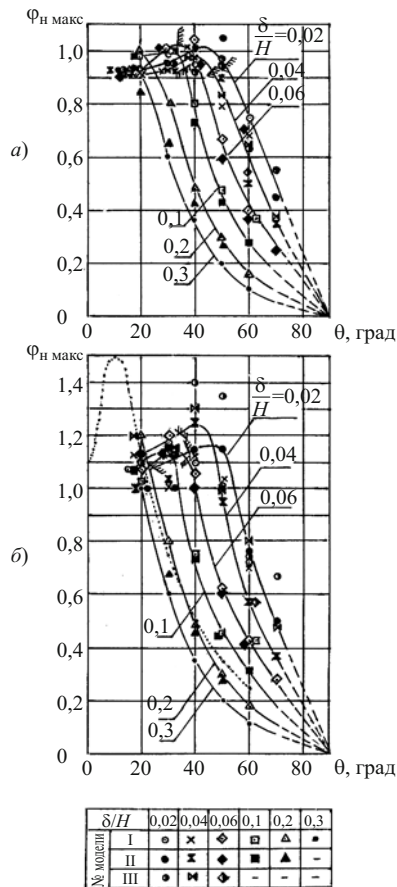


Рис. 3. Изменение максимального значения коэффициента понижения давления при $n = 0,5$ в зависимости от угла θ и δ/h : *a* — безнапорное течение за затвором; *b* — напорное течение за затвором

При широких ригелях ($\delta/h = 0,3 \dots 0,1$) зависимость $\varphi = f(n)$ имеет криволинейное очертание с максимумом примерно при $n = 0,5$. Для узких ригелей ($\delta/h = 0,06 \dots 0,02$) эта зависимость близка к прямой линии с переходом в колоколообразную при $n = 0,8 - 0,9$ при напорном течении за затвором.

При широких ригелях и при открытиях больше 0,7 коэффициент разрежения может возрастать по мере открытия затвора и превышать значения φ при $n = 0,5$. Представленные графики показывают, что относительная ширина ригеля является одним из основных факторов, определяющих величину коэффициента разрежения. При узких ригелях ($\delta/h \leq 0,1$) следует учитывать и режим течения за затвором, поскольку при напорном течении за затвором коэффициент φ имеет большее значение, чем при безнапорном. Это повышение выявлено при углах наклона верховой грани нижнего ригеля до 50° . В зависимости от относительной ширины ригеля δ/h и угла наклона θ это превышение изменяется от 10 до 25 %.

На рис. 3 приведена выборка значений φ_n при $n = 0,5$ по всем модельным установкам. Результаты

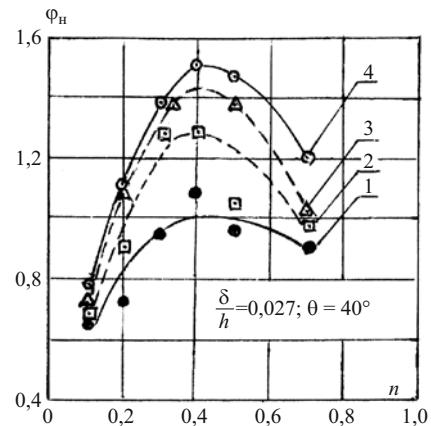


Рис. 4. Зависимость коэффициента понижения давления под затвором от степени подтопления этого затвора:

1 — безнапорное неподтопленное течение за затвором; 2 — гидравлический прыжок за затвором надвинут на затвор; 3 — затвор подтоплен примерно на 0,5 высоты затвора; 4 — затвор подтоплен на всю высоту затвора

измерений $\varphi_{\text{макс}}$ на различных моделях в основном близки друг к другу (при большинстве сочетаний θ и δ/h). Исключением являются точки при $\theta = 40$ и 50° и при $\delta/h = 0,04$ и $0,02$. В этом случае кривые проведены по средним значениям. В остальных случаях кривые проводились через значения, полученные на первой модельной установке. Как при безнапорном течении за затвором, так и при напорном происходит отрыв потока от поверхности скоса на нижнем ригеле, что проявляется в изменении выпуклого очертания кривой в прямую. Этот момент на графиках обозначен чертой со штриховкой. При узких ригелях и при напорном течении за затвором изменение формы этой кривой происходит по мере увеличения θ , после 30° . При безнапорном течении изменение формы кривой происходит примерно после 50° .

В целом представленные на рис. 3 графики характеризуют зависимость коэффициента $\varphi_{\text{макс}}$ от угла скоса θ при различных значениях относительной ширины ригеля δ/h при безнапорном и напорном режимах течения за затвором. Это изменение очень значительное и должно обязательно учитываться при выполнении расчетов. При напорном течении за затвором на графике нанесена известная кривая, взятая из Рекомендаций [1]. Она была получена в основном при относительной ширине ригеля $\delta/h = 0,2$. Эта кривая практически совпадает с аналогичной кривой, полученной нами.

Кривые $\varphi_{\text{макс}} = f(\theta)$ сходятся в точке при $\theta = 90^\circ$ и $\varphi_{\text{макс}} = 0$ по мере увеличения θ и при различных значениях δ/h . Поскольку это предположение, опытные точки получены только до $\theta = 70^\circ$, часть кривых проведена пунктиром.

Следует отметить, что при $\delta/h = 0,02$ и $0,04$ результаты измерений $\varphi_{\text{макс}}$ на третьей модельной

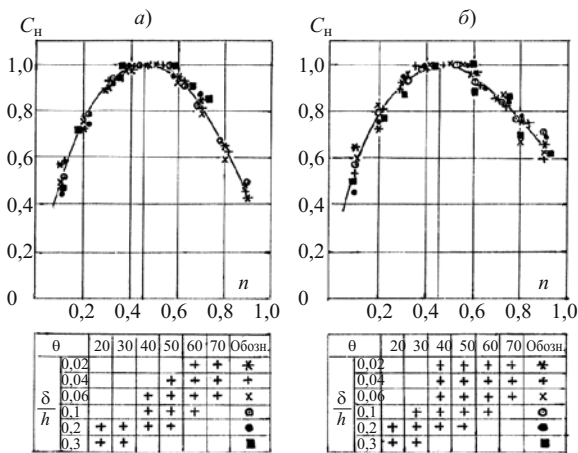


Рис. 5. Зависимость коэффициента c_n от величины открытия затвора:

a — безнапорное течение за затвором; *б* — напорное течение за затвором

установке существенно отличаются от значений, полученных на других модельных установках при углах $\theta = 40; 50$ и 70° и только при напорном течении за затвором (опытные точки на рис. 3, б).

На рис. 4 приведены результаты опытов, полученные на третьей модельной установке при $\delta/h = 0,027$ при постепенном переходе режима течения за затвором от безнапорного к напорному. Кривая 1 соответствует безнапорному неподтопленному режиму течения за затвором. Кривая 2 соответствует случаю, когда прыжок надвинут на затвор. Кривая 3 соответствует случаю, когда отводящий туннель затоплен на половину. Кривая 4 соответствует случаю полного затопления туннеля. Приведенные на этом рисунке значения коэффициента $\varphi = 1,4 \dots 1,3$ согласуются с опытными данными, представленными на рис. 3 для третьей модельной установки, при $\theta = 40^\circ$. Это указывает на то, что на рис. 3 точки для третьей модели при $\theta = 40$ и 50° не являются случайными.

Коэффициент разрежения, очевидно, зависит и от степени подтопления затвора со стороны нижнего бьефа. В проведенных опытах этот фактор не учитывался и чаще всего за напорный режим принималось течение, при котором прыжок надвинут на затвор и имелось некоторое подтопление затвора.

Вполне очевидно, что коэффициент разрежения зависит от конструкции пазов, а точнее, от положения низовой кромки паза. Если имеется дефлектор, то условия течения потока становятся худшими и коэффициент φ понижается (точки для второй модельной установки при $\theta = 40 \dots 50^\circ$ и $\delta/h = 0,02$). Если низовая кромка утоплена, обычно на 8 – 10 % от длины паза, то коэффициент разрежения возрастает (точки для третьей модельной установки). По нашим замерам это изменение очень существенное и получено только при $\theta = 40; 50$ и 70° , т.е. при тех

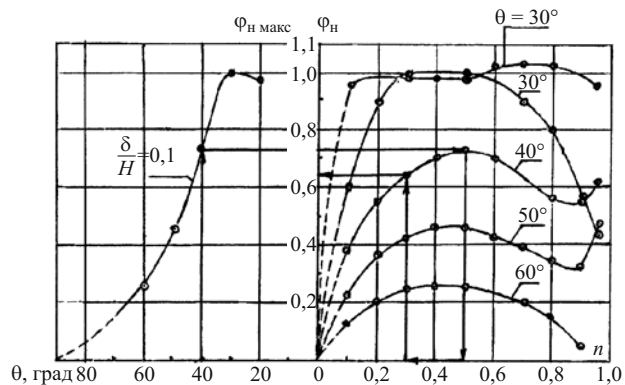


Рис. 6. Номограмма для определения коэффициента φ_n при $\delta/h = 0,1$ и при безнапорном режиме течения за затвором

углах, при которых низ затвора работает в занапоренном режиме.

Значение φ_n при различных открытиях затвора можно представить в виде обобщенного графика. Для этого вычислялся параметр c_n (см. ф-лу 3) по зависимости

$$c_n = \varphi_n = i/\varphi_{n=0,5}, \quad (6)$$

где $\varphi_{n=i}$ — значение коэффициента при *i*-том относительном открытии затвора; $\varphi_{n=0,5}$ — значение коэффициента при относительном открытии затвора 0,5.

Результаты вычисления коэффициента c_n представлены на рис. 5 в виде зависимости $c_n = f(n)$. Коэффициент c_n мало зависит от угла наклона скошенной грани, что позволило принимать средние значения c_n при каждой ширине ригеля. С некоторым разбросом точки группируются вокруг одной кривой. Обобщены только кривые с явно выраженным максимумом при относительном открытии $n = 0,5$. В таблицах на рис. 5 крестиком обозначены те сочетания θ и δ/h , при которых применима обобщенная кривая $c_n = f(n)$. Кривые c_n построены для безнапорного и напорного режимов течения за затвором. Если левые ветви кривых почти совпадают, то правые существенно отличаются.

Полученные кривые можно представить в виде следующих аналитических зависимостей:

для левой ветви при $0 < n < 0,45$ и при режимах течения за затвором:

$$\text{безнапорном } c_n = n/(0,1 + 0,78n), \quad (7)$$

$$\text{напорном } c_n = n/(0,11 + 0,735n); \quad (8)$$

для правой ветви при $0,45 \leq n \leq 0,9$ и при режимах течения за затвором: безнапорном

$$c_n = 1 + 0,15(n - 0,45) - 3,19(n - 0,45)^2, \quad (9)$$

напорном

$$c_n = 1 - 0,1(n - 0,45) - 1,52(n - 0,45)^2. \quad (10)$$

При сочетаниях θ и δ/h , не выделенных в таблицах на рис. 5, значения c_n отсутствуют, поскольку невозможно обобщить имеющиеся экспериментальные данные.

По всем имеющимся данным автором составлены номограммы, по которым можно определить коэффициент разрежения φ_n при различных открытиях затвора. Номограмма для $\delta/h = 0,1$ приведена на рис. 6. Порядок пользования номограммой показан стрелками, например при $\theta = 40^\circ$, $\delta/h = 0,1$ и $n = 0,3$ коэффициент понижения давления $\varphi_n = 0,63$.

По номограмме можно определить коэффициент понижения давления при других сочетаниях параметров θ и δ/h , не указанных в таблице на рис. 5. Номограммы составлены для $\delta/h = 0,02; 0,04; 0,06; 0,1; 0,2$ и $0,3$ при напорном и безнапорном режимах течения за затвором.

В процессе проектирования гидротехнических затворов коэффициент понижения давления предлагается определять по формуле (3). При этом значение $\varphi_{\text{нмакс}}$ принимать по графикам на рис. 3, а c_n определять по формулам (7) – (10) для различных открытий затвора с учетом режима течения за затвором. Для отдельных сочетаний θ и δ/h необходимо обращаться к номограммам.

Выводы

1. Относительная ширина ригеля является одним из основных факторов, определяющих величину разрежения под затвором (рис. 2 и 3).

2. При узких ригелях ($\delta/h \leq 0,1$) следует учитывать в расчетах и режим течения за затвором, поскольку при напорном течении за затвором коэффициент разрежения φ имеет большее значение, чем

при безнапорном. Это превышение выявлено при углах наклона верховой грани нижнего ригеля до 50° . В зависимости от относительной ширины ригеля и угла наклона это превышение изменяется от 10 до 25 % (рис. 3 и 4).

3. При узком ригеле ($\delta/h \leq 0,1$) и напорном течении за затвором коэффициент разрежения φ зависит от конструкции нижней кромки паза. Выявлено также, что коэффициент разрежения зависит от степени подтопления затвора со стороны нижнего бьефа.

4. Опытным путем установлен диапазон параметров θ и δ/h , в пределах которых можно определить коэффициент c_n по графику на рис. 5 или аналитически по формулам (7) – (10). Установлен диапазон этих параметров, при которых значение коэффициента разрежения определяется по номограмме.

Список литературы

1. *Рекомендации* по компоновке затворных камер и расчетам гидродинамических воздействий потока на плоские, сегментные и дисковые затворы гидротехнических сооружений: П84 – 79 / ВНИИГ. Л. 1980.
2. *Динамика* глубинных гидротехнических затворов / А. С. Абелев, В. А. Солнышков, П. Е. Лысенко // Труды Гидропроекта. 1966. Вып. 13.
3. *Шумкина Л. А.* Вертикальные гидродинамические нагрузки на плоские глубинные затворы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук МГМИ. 1987.
4. *Гидравлические* расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. *Бедев В. Д., Лысенко П. Е.* Определение осредненных вертикальных нагрузок на плоские гидротехнические затворы // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Выпуск 62: Высоконапорные глубинные затворы гидросооружений. — Л.: Энергия. 1971.
6. *Одинец Ю. С.* Опытные и расчетные значения вертикальной гидродинамической нагрузки на плоский затвор // Гидротехническое строительство. 2008. № 8.
7. *Гидравлические* исследования по определению коэффициента разрежения под затвором с нижним ригелем имеющем скос со стороны верхнего бьефа при безнапорном режиме течения за затвором / СПКТБ “Запорожгидросталь” (рук. Одинец Ю. С.) ЗД0295. 1987.
8. *Шенк Х.* Теория инженерного эксперимента: Пер. с англ. М.: Мир, 1972.

Создание современных систем оперативного прогнозирования половодий и паводков как один из путей модернизации средств управления работой гидроэлектростанций в многоводные периоды

Васильев О. Ф., академик РАН, профессор, доктор техн. наук, почетный член Международной ассоциации по гидротехнике и гидравлическим исследованиям, Семчуков А. Н., кандидат физ.-мат. наук (Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, Новосибирск)

Обосновывается важность создания систем оперативного (краткосрочного) прогнозирования половодий и паводков на реках и их системах. Необходимость в этом возникает при обеспечении мероприятий по защите от наводнений и уменьшению ущерба от них. Другой важной задачей является прогнозирование притока к водохранилищам и управление пропуском вод через створы гидроузлов в многоводные периоды. Дается описание общей структуры систем прогнозирования. При этом кратко излагаются работы большой группы стран Европейского Сообщества, проведенные последовательно по двум программам (1999 – 2003 гг., 2003 г. — по настоящее время). Работы по второй программе направлены на создание основ единой Европейской системы прогнозирования. В статье отмечается, что в нашей стране отсутствует единая целевая программа работ по созданию такого рода систем.

Ключевые слова: наводнение, паводок, половодье, речная система, гидроэлектростанция, приток к водохранилищу, оперативное гидрологическое прогнозирование, численное моделирование.

Введение

Наводнения на реках, вызываемые весенними половодьями и паводками различного происхождения, относятся к числу наиболее опасных природных бедствий в нашей стране. Поэтому прогнозирование этих процессов имеет большое практическое значение и является одной из основных задач современной гидрологии. Для оперативных целей особое значение имеют методы краткосрочного прогнозирования, основанные на современных приемах численного моделирования волновых процессов в реках.

Практическое решение данной задачи давно уже вышло за рамки чисто научных исследований и требует выполнения работ по созданию технических систем, обеспечивающих сбор и передачу гидрометеорологической информации о состоянии бассейна реки и её использование в центре оперативного прогнозирования в реальном режиме времени. Зарубежный опыт создания таких центров прогнозирования показывает возможность обеспечить необходимую для практических целей заблаговременность прогноза в 7 – 10 дней с приемлемой степенью точности.

Отметим, что решение рассматриваемой задачи является актуальным прежде всего для целей своевременного предупреждения населения об опасности наводнения, времени его наступления и обеспечения мероприятий МЧС по предотвращению или смягчению его последствий. Вместе с тем проблема имеет большое значение для федеральных и ре-

гиональных административных органов, организаций Росгидромета и водного хозяйства. Особое значение рассматриваемая проблема приобретает для гидроэнергетики. Обеспечение оперативными гидрологическими прогнозами систем управления гидроэнергетическими объектами и крупными водохозяйственными комплексами весьма важно для повышения эффективности их работы в период весенних и летних половодий и наводнений, улучшения использования емкостей водохранилищ при задержании избыточного весеннего, а также дождевого стока рек. Последнее должно способствовать повышению надежности защиты расположенных ниже по течению пойменных земель и уменьшению связанных с этим рисков. При этом особое значение имеет повышение заблаговременности и надежности краткосрочного прогнозирования притока воды к водохранилищу по гидрометеорологической обстановке, складывающейся в верхнем бьефе.

Если работы по данной важной проблеме за рубежом, например в Европейском Сообществе, активно ведутся уже в течение многих лет, при этом неплохо координируются на базе активного общения участников их проведения, и в результате созданы несколько действующих систем краткосрочного прогнозирования паводков для крупных речных бассейнов, то в нашей стране работы по данной проблеме только начаты, а до проектирования и опытных конструкторских работ дело ещё не дошло.

Использование современных возможностей математического моделирования при прогнозировании гидрологических процессов, а также создание систем для наблюдения и сбора информации о гидрологическом состоянии крупных речных бассейнов и передачи этой информации в информационно-моделирующие центры прогнозирования при помощи новейших средств связи (в том числе спутниковых) позволяют обеспечить технически весь процесс прогнозирования в реальном режиме времени и передавать результаты заинтересованным сторонам в ходе формирования и распространения волн паводков и половодий. Создание и использование рассматриваемых систем краткосрочного прогнозирования могут стать хорошей основой для модернизации средств управления и эксплуатации ГЭС и их систем. Проблемы, возникающие при решении указанных здесь задач, требуют инновационного подхода.

Из сказанного видно, что рассматриваемая междисциплинарная проблема заслуживает большего внимания со стороны широкого круга научных организаций.

Актуальность проблемы. Проблема прогнозирования наводнений, обусловленных паводками и половодьями на реках, весьма важна, так как связана, с одной стороны, с защитой жизни, здоровья и благосостояния больших масс населения во многих регионах страны, а с другой — имеет большое практическое значение при эксплуатации гидроэнергетических систем в условиях пропуска больших объемов воды при половодьях с тем, чтобы обеспечить рациональное использование речного стока и защиту земель от наводнений.

Если говорить о крупных наводнениях на реках, имевших место в последние годы в нашей стране, то можно привести такие примеры, как наводнения на р. Кубани, повторяющиеся каждые несколько лет, многие из которых носят катастрофический характер, а также локальные наводнения 2010 г. в трех приморских районах Краснодарского края. Актуальной является рассматриваемая проблема и для многих рек Сибири и Дальнего востока. Так, регулярные наводнения имеют место на р. Лене (города Ленск и Якутск). Важным примером, хотя и меньшего масштаба, являются ситуации, складывающиеся при пропуске половодий на Верхней Оби и ее притоках, осложняющие эксплуатацию Новосибирского гидроузла. Можно упомянуть здесь также проблему зимних наводнений в нижнем течении р. Северная Двина в районе г. Архангельска. В 2007 г. острая паводковая ситуация возникла на р. Зее, повлекшая серьезные трудности при эксплуатации Зейского гидроузла (с его крупнейшим водохранилищем) и защите земель в его нижнем бьефе.

Проблема защиты от наводнений на реках является актуальной и для ряда стран, входящих в состав СНГ, в особенности для Украины (Прикарпатье). Крупнейшие катастрофические наводнения имели место в последние годы и в европейских странах.

Особое значение имеет разработка мероприятий по краткосрочному прогнозированию рассматриваемых явлений — обеспечение оперативных мероприятий МЧС, технические мероприятия по пропуску паводка гидроузлами. Важной задачей является увеличение заблаговременности и повышение надежности таких прогнозов.

Разработка эффективных методов численного моделирования неустановившихся течений в речных руслах, в том числе в целях прогнозирования паводков и половодий, стала предметом исследований как в нашей стране, так и за рубежом еще в 60-х гг. прошлого столетия. В Советском Союзе эти работы были начаты в Центральном институте прогнозов (ЦИП, ныне ГМЦ) и Институте гидродинамики Сибирского отделения АН СССР. Так, работы, проведенные в Институте гидродинамики СО АН, сыграли немалую роль во внедрении в практику гидравлических расчетов современных вычислительных методов (О. Ф. Васильев, С. М. Шугрин, Н. А. Притвиц, А. А. Атавин, А. Ф. Воеводин, М. Т. Гладышев) [1, 2].

Одной из первых практических задач, которая была решена с использованием неявных разностных методов и разработанных на их основе вычислительных программ, была задача о паводковом режиме нижнего бьефа Зейской ГЭС, где к нижнему течению р. Зеи примыкает крупный приток — р. Селемджа. Конкретной целью проведенных расчетов было выявление эффективности Зейского водохранилища при его использовании для предотвращения наводнений в нижнем течении р. Зеи при прохождении волн дождевых паводков, формирующихся в бассейнах указанных рек.

Помимо указанной задачи о распространении волн паводков, половодий и попусков из водохранилищ в руслах речной системы предложенные методы оказались эффективными для решения и некоторых других задач. Эти методы были успешно применены О. Ф. Васильевым, А. А. Атавиным, А. Ф. Воеводиным [3, 4] для расчета течений в сложных системах русел — системы с кольцами и так называемые разветвленные системы русел. К настоящему времени методы решения задач о сложных системах русел и каналов развиты до такой степени, что позволяют производить расчеты реальных гидрологических и инженерных систем, включающих гидротехнические сооружения, водохранилища, бассейны и т.п.

Наряду с вычислительными аспектами указанных проблем, рассматривались также способы задания морфометрической информации о руслах и их гидравлических характеристик при применении одномерных гидравлических моделей. Вопросы определения параметров русел, в том числе русел с поймами, при моделировании течений в открытых водотоках были рассмотрены, в частности, в публикациях В. С. Никифоровской [5].

Коллективом, работавшим в Институте гидродинамики, был предложен новый оригинальный метод для расчета волны прорыва при разрушении высокой плотины. Проведенные исследования позволили преодолеть основные трудности, связанные с решением данной задачи во всех главных ее аспектах. В конце 1960-х гг. предложенный метод был применен для расчета волны прорыва в случае разрушения плотины энергетического гидроузла с большим водохранилищем, расположенного на одной из больших сибирских рек.

В те годы уровень отечественных работ по моделированию волновых движений в речных руслах и их системах не уступал уровню аналогичных зарубежных исследований, а в некоторых вопросах наши разработки опережали зарубежные. Результаты этих исследований достаточно быстро находили применение в практике и были востребованы в наших ведущих инженерных организациях.

О высоком уровне отечественных исследований в рассматриваемой области свидетельствуют работы, представленные в материалах Международной конференции по численному моделированию течений в речных руслах и водотоках, проведенной в Братиславе в 1981 г. и организованной Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA) совместно с Международной ассоциацией по гидравлическим исследованиям (IAHR) [6]. В ней приняли участие ведущие специалисты многих стран, работавшие в данной области. Эта конференция была этапным моментом в исследованиях по моделированию нестационарных процессов в открытых руслах.

Из научных мероприятий последних лет, представляющих интерес при рассмотрении состояния научных и практических работ по методам краткосрочного прогнозирования паводков и паводков в реках и речных системах, отметим две конференции, организованные Институтом водных и экологических проблем СО РАН:

Международная конференция по экстремальным гидрологическим явлениям, проведенная в 2005 г. в Новосибирске (совместно с научным департаментом НАТО) [7, 8]. Значительный опыт стран Европейского Сообщества, накопленный к тому времени в создании систем краткосрочного прогнозирования для конкретных бассейнов рек,

был освещен в докладе П. Реджани (Дельфтская гидравлическая лаборатория) [9]. Другой доклад, представленный Г. Балинтом (VITUKI) был посвящен венгерскому опыту создания прогностической модели такого типа для бассейна р. Тисы [10];

Британско-Российская конференция по гидрологическим последствиям изменений климата, проведенная в 2007 г. также в Новосибирске [11, 12, 13]. В некоторых докладах, представленных на конференции, большое внимание было уделено учету неполноты и неопределенности исходной информации при моделировании.

Информационно-моделирующие системы, используемые в настоящее время за рубежом для краткосрочного прогнозирования паводков и паводков на реках, как правило, опираются на гидролого-гидродинамические модели типа упомянутых выше и современные численные методы решения уравнений, описывающих рассматриваемые процессы. Исследования по данной проблеме ведутся в течение многих лет научно-исследовательскими организациями Росгидромета и Академии наук, однако примеров создания систем краткосрочного прогнозирования паводков и паводков на реках в нашей стране нет.

Между тем, за рубежом работы по созданию таких систем, начатые значительно раньше, уже привели к успешным результатам. Примером успешного осуществления таких работ является проект создания Европейской системы прогнозирования и предупреждения наводнений, работы над которым были начаты еще в 1999 г. и продолжаются сейчас.

Если сравнить состояние работ по созданию систем краткосрочного (оперативного) прогнозирования паводков и паводков у нас и за рубежом, то надо сказать, что в настоящее время мы запаздываем с работами в этой области примерно на 15 – 20 лет. Это относится и к созданию систем для управления пропуском паводков через створы гидроэлектростанций. Насколько нам известно, какой-либо единой программы развертывания работ по этому важному направлению, в которой были бы определены цели, подходы к решению проблемы, основные ее разделы, состав участников и пути финансирования, в нашей стране нет, как нет и какой-либо координации действий в этой области.

Опыт решения проблемы в странах Европейского Сообщества. В структуре систем прогнозирования, разрабатываемых в этих странах, можно выделить следующие основные компоненты:

система наблюдений, сбора, первичной обработки и передачи гидрометеорологической информации в центр прогнозирования;

информационно-моделирующая система, являющаяся основой функционирования центра прогнозирования и включающая два блока:

модели формирования стока воды с водосборного бассейна (модели типа “осадки — сток”);

модели неустановившегося движения воды в русловой сети, использующие уравнения гидравлики открытых русел (с учетом затопления речных пойм).

Последние основаны на применении одномерных или двухмерных (“плановых”) моделей неустановившегося движения воды: динамической модели Сен-Венана и упрощенной квазистационарной модели (типа модели “диффузионной волны”). При наличии озер и водохранилищ к ним добавляется уравнение водного баланса водоема.

Система гидрометеорологических наблюдений в бассейне может включать наряду с гидропостами для измерения уровня воды и метеостанциями также и радарные установки для слежения за формированием облачности и выпадением осадков.

В 1999 – 2003 гг. в соответствии с Пятой рамочной программой Европейской комиссии был осуществлен проект стран Европейского Союза “Европейская система прогнозирования наводнений” (European Flood Forecasting System, EFFS). Целью проекта являлось создание системы для оперативного прогнозирования наводнений в конкретных речных бассейнах Европы. Одной из задач этих работ было изучение возможности увеличения заблаговременности гидрологического прогноза до 10 дней с использованием метеорологической информации и краткосрочных прогнозов погоды.

В создании системы участвовали 19 научных институтов и государственных агентств из 13 стран Европы. В роли ведущей организации выступал крупный научный центр — Дельфтская гидравлическая лаборатория (Нидерланды). При создании системы EFFS большое внимание было уделено также созданию единой информационной базы для обработки и хранения данных. В рамках этого проекта отработывалась техника детерминистическо-стохастического гидрологического прогнозирования (probabilistic flood forecast) на примере нескольких крупных европейских наводнений.

В качестве пилотных проектов, разработанных при реализации EFFS, можно назвать создание систем по прогнозированию наводнений в бассейнах рек Рейн, По, а также в бассейне крупного притока Дуная р. Тисы. В 2003 г. к проведению подобных работ присоединилась Великобритания, в которой были начаты работы по созданию национальной системы прогнозирования наводнений.

С 2003 г. в Институте окружающей среды и устойчивого развития (EC, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability), распо-

ложенном в г. Испра (Италия), под эгидой Объединенного исследовательского центра Европейской комиссии, в тесном взаимодействии с гидрологическими и метеорологическими службами многих европейских стран ведется разработка нового проекта — “Европейской системы предупреждения о наводнениях” (European Flood Alert System, EFAS) [14]. Основой “Европейской системы предупреждения о наводнениях” является гидрологическая модель “LISFLOOD”, описывающая сток с водосборного бассейна и течение в системе русел. Модель была разработана специально для больших водосборных бассейнов и реализована с помощью ГИС технологии [14, 15]. С 2005 г. система EFAS находится в опытной эксплуатации и выдает реальные предупреждения о наводнениях для ряда речных бассейнов на территории Европы.

Основной целью разработки данной системы было увеличение заблаговременности гидрологических прогнозов для крупных и трансграничных речных бассейнов в масштабе всей Европы до 3 – 10 дней, а также повышение их надежности. Для достижения этой цели используются данные метеорологических прогнозов, прежде всего по интенсивности осадков, испарения влаги и среднесуточной температуре воздуха. Господствующей тенденцией в современном метеорологическом, а затем и гидрологическом моделировании стало сочетание детерминистического и стохастического подходов посредством использования систем ансамблевого моделирования (Ensemble prediction system, EPS). При этом в случае использования метеорологической модели вместо одного детерминистического прогноза выдается целый ансамбль метеорологических прогнозов, что позволяет учесть неопределенность параметров модели, неполноту и неопределенность входных данных. Затем этот ансамбль метеорологической информации используется для стохастического моделирования гидрологических процессов, в результате чего получается целый ансамбль гидрологических ситуаций.

В качестве входных метеорологических данных система EFAS использует детерминистические прогнозы службы погоды Германии (German Weather Service, DWD) с заблаговременностью до 7 дней, а также детерминистический и 51-членный ансамблевый прогнозы Европейского центра по среднесрочным прогнозам погоды (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) с заблаговременностью до 10, а по последним данным и до 15 дней. Помимо этих прогнозов, получаемых с помощью глобальных моделей циркуляции атмосферы, в последние годы используются и результаты мезомасштабного моделирования атмосферных процессов, что позволяет увеличить пространственное и временное разрешение в результатах про-

гнозирования (при этом также применяется ансамблевый подход).

Опыт использования EFAS был освещен в докладах на крупных международных мероприятиях, таких, как международная конференция “The European Conference on Flood Risk Management. Research into Practice”, состоявшаяся в Оксфорде в 2008 г., и конференция аналогичной тематики “Understanding Risk: Innovation in Disaster Risk Assessment”, состоявшаяся в Вашингтоне в 2010 г.

Некоторые проблемы, требующие решения при организации работы над предлагаемым проектом. Как видно из сказанного выше, решение проблем создания систем оперативного (краткосрочного) прогнозирования распространения волн половодий и паводков на реках, а на этой основе — и модернизации систем управления пропуском избыточных вод через створы гидроузлов в каждом конкретном случае требует создания комплекса двух взаимосвязанных технических систем: информационно-моделирующей системы прогнозирования гидрологического поведения водного объекта и системы оперативного сбора и передачи необходимой при этом гидрометеорологической информации о текущем состоянии речной системы в информационно-моделирующей прогностической системе. Одной из важных функций информационно-моделирующей системы будет ее использование в системе управления режимом работы гидроузла в процессе пропуска вод в периоды половодий и паводков, включая моделирование уровня режима верхнего и нижнего бьефов в эти периоды, а также оценку влияния попусков из водохранилища на уровень режим нижнего бьефа (при этом моделирование этих процессов может быть многовариантным). При создании систем связи, обеспечивающих работу этого комплекса, должна быть учтена также потребность в передаче получаемой прогностической информации населению, органам МЧС и другим административным органам с целью их оповещения о возникающих экстремальных ситуациях.

В речных бассейнах, в которых формирование наводнений обусловлено главным образом выпадением дождевых (ливневых) осадков, система оперативного сбора метеоданных должна включать также современные метеорологические радарные системы для своевременного прогнозирования выпадения этих осадков и их интенсивности. Например, такие системы необходимы в бассейне рек, паводковый сток которой формируют продолжительные муссонные осадки (к ним относятся такие реки, как Зeya, Буряя и другие, на которых будут созданы крупные гидроэнергетические комплексы с водохранилищами). Такие радарные системы уже широко применяются за рубежом для краткосроч-

ного прогнозирования в бассейнах рек различного масштаба, — там, где имеются условия для формирования наводнений ливневого происхождения. В нашей стране сходные условия также существуют во многих горных и предгорных районах.

Осуществление описанного выше комплекса научно-технических мероприятий, носящих ярко выраженный инновационный характер, означало бы коренное усовершенствование (модернизацию) как систем краткосрочного прогнозирования гидрологических процессов, так и систем оперативного управления гидроэнергетическими и водохозяйственными комплексами при пропуске волн половодий и паводков (другими словами, в многоводные гидрологические периоды).

При создании систем связи, обеспечивающих работу этого комплекса, должна быть учтена также потребность в передаче получаемой прогностической информации населению, органам МЧС и другим административным органам с целью их оповещения о возникающих экстремальных ситуациях.

Сложность решения поставленной задачи создания систем краткосрочного прогнозирования обусловлена тем, что как процесс сбора и передачи гидрологической информации, так и выполнение гидрологического прогноза должны быть осуществлены в весьма сжатое время (в режиме реального времени), зачастую в течение нескольких часов.

Из сказанного следует, что изложенная здесь важная проблема, носящая межведомственный характер и имеющая большое значение для практической деятельности МЧС, федеральных и региональных органов по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, для эксплуатации гидроэнергетических и водохозяйственных комплексов, а также для других областей хозяйственной деятельности, требует отыскания надлежащих организационных форм и путей ее решения и решения вопросов финансирования. Очевидно, потребуется создание объединенных рабочих групп и коллективов, включающих представителей различных ведомств и организаций.

Начать работу по созданию систем оперативного прогнозирования целесообразно было бы с разработки нескольких пилотных проектов. На наш взгляд, их предметом могли бы быть такие задачи, как формирование систем оперативного прогнозирования наводнений и управления работой гидроэнергетических и водохозяйственных комплексов в периоды половодья и пропуска паводковых вод на таких объектах, как бассейн Кубани, бассейн р. Зея и Зейский гидроузел (включая его использование для борьбы с наводнениями в экстремально многоводные годы), бассейн Верхней Оби (включая вопрос управления Новосибирским гидроузлом для защиты от наводнений в многоводные годы).

Программа осуществления работ по решению рассматриваемой проблемы должна предусматривать также выполнение опытных проектно-конструкторских работ по созданию центров прогнозирования и систем оперативного сбора и передачи информации. Имея в виду выполнение указанных выше работ, можно было бы предложить использовать некоторые институты Новосибирского научного центра и Технопарк, уже создаваемый при этом центре, для выполнения исследований и проектно-конструкторских работ по одному из пилотных проектов.

Для решения поставленной проблемы в сжатые сроки целесообразно использовать зарубежный опыт, прежде всего опыт работ по данной проблеме в Европейском Сообществе, а также научных центров Великобритании. Не менее важно использовать также опыт, накопленный в данной области в США, имея в виду работы, проводимые в Национальном бюро погоды (US Weather Bureau) и других научных центрах. Необходимо активизировать наши контакты с соответствующими зарубежными организациями и специалистами, занимающимися подобными проблемами.

Было бы полезно также наладить сотрудничество стран СНГ по решению указанных здесь проблем, в том числе с украинскими и белорусскими организациями. Как нам представляется, было бы полезно организовать и провести международную конференцию или совещание, посвященное опыту создания современных систем оперативного прогнозирования половодий и паводков на реках, пригласив на него ведущих специалистов из различных стран и организаций, выполняющих работы по данной проблеме.

Авторы выражают благодарность Т. В. Жердевой за помощь и участие в составлении обзора работ по проблеме, а также Е. А. Коробкиной и С. О. Васильевой за подготовку окончательной редакции статьи.

Список литературы

1. Васильев О. Ф. Математическое моделирование гидравлических и гидрологических процессов в водоемах и водотоках (обзор работ, выполненных в Сибирском отделении РАН) // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 5.
2. Васильев О. Ф., Шугрин С. М., Притвиц Н. А., Атавин А. А., Гладышев М. Т., Воеводин А. Ф. Применение современных численных методов и цифровых ЭВМ для решения задач гидравлики открытых русел // Гидротехническое строительство. 1965. № 8.
3. Васильев О. Ф., Атавин А. А., Воеводин А. Ф. Методы расчета неустановившихся течений в системах открытых русел и каналов // Численные методы механики сплошной среды. — Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1975. Т. 6. № 4.
4. Vasiliev O. F., Voevodin A. F., Atavin A. A. Numerical Methods for the Calculation of Unsteady Flow in Systems of Open Channel and Canals // Proc. of the Int. Symp. Unsteady Flow Open Channels. Newcastle-upon-Tyne. England, BHRA, Fluid Eng., 1976.
5. Никифоровская В. С. О численных моделях неустановившихся течений в руслах с поймами // Динамические задачи механики сплошных сред (Динамика сплошной среды). Новосибирск, 1978. Вып. 35.
6. Proceedings of International Conference on Numerical Modeling of Rivers, Channel and Overland Flow for Water Resources and Environmental Applications, Bratislava, May 4 – 8, 1981.
7. Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security. (NATO Science Series: IV: Earth and environmental Sciences) Proceedings of the NATO ARW on Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security (Novosibirsk, Russia, 11 – 15 July 2005). Edited by O. F. Vasiliev, P. H. A. J. M. van Gelder, E. J. Plate, M. V. Bolgov. — Springer, 2007.
8. Васильев О. Ф., Болгов М. В. Международный симпозиум НАТО по проблеме экстремальных гидрологических явлений // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 3.
9. P. Reggiani and V. Verwey The European Flood Forecasting System. In: Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security (NATO Science Series: IV: Earth and environmental Sciences). Editors: O. F. Vasiliev, P. H. A. J. M. van Gelder, Erich J. Plate, M. V. Bolgov / Springer, 2007.
10. G. Bálint, A. Csík, P. Bartha, B. Gauzer, I. Bonta Flood forecasting and warning application to the Tisza river basin. In: Extreme Hydrological Events: New Concepts for Security (NATO Science Series: IV: Earth and environmental Sciences). Editors: O. F. Vasiliev, P. H. A. J. M. van Gelder, Erich J. Plate, M. V. Bolgov / Springer, 2007.
11. Гидрологические последствия изменений климата // Труды Британско-Российской конференции. — Барнаул: Изд-во ООО «Пять плюс», 2009.
12. Васильев О. Ф., Болгов М. В. Гидрологические последствия изменений климата // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 6.
13. Васильев О. Ф., Лыкосов В. Н., Мохов И. И. Российско-Британская конференция «Гидрологические последствия изменений климата» // Изв. РАН, ФАО. 2008. Т. 44.
14. J. Thielen, J. Bartholmes, M.-H. Ramos, and A. de Roo. The European Flood Alert System — Part 1: Concept and development. // Hydrol. Earth Syst. 2009. Vol. 13. № 2.
15. <http://floods.jrc.ec.europa.eu/>

Использование рассеивающих трамплинов для уменьшения придонных скоростей в водобойном колодце

Гиргидов А. А., кандидат техн. наук (ВНИИГ),

Гиргидов А. Д., доктор техн. наук, Фёдоров М. П., чл.-корр. РАН (СПбГПУ)

Отмечается, что при расчете нагрузок на водобойную плиту в случае высоконапорных гидроузлов, следует учитывать нагрузку, возникающую при больших придонных скоростях. Они могут не только создавать значительные силы на поверхности плит, но и при определенных условиях являться причиной возникновения взвешивающей силы, действующей на блоки водобойной плиты водобоя. Для уменьшения придонных скоростей рекомендуется в концевую часть водосброса включить группу рассеивающих трамплинов с поверхностью двойной кривизны. Численное моделирование режима работы колодца показывает, что при этом в колодце формируется затопленный гидравлический прыжок, а придонные скорости уменьшаются более чем в два раза, а следовательно, происходит уменьшение нагрузки более чем в четыре раза.

Ключевые слова: гашение энергии, водобойный колодец, придонная скорость, концевой участок водосброса, трамплин-растекатель, поверхность двойной кривизны.

При проектировании водобойных колодцев для водосбросов высоконапорных гидроузлов иногда по техническим или экономическим причинам приходится уменьшать глубину и длину колодца до размеров, которые хотя и обеспечивают гашение кинетической энергии потока сбрасываемой воды, но не позволяют получить в колодце затопленный гидравлический прыжок. Наиболее ярким примером является колодец Саяно-Шушенской ГЭС [1], в котором транзитный поток незначительно расширяется в вертикальном направлении по длине колодца (рис. 1.) и продолжает увеличивать свою толщину вдоль вертикальной напорной грани водобойной стенки, приобретая околоритическую глубину

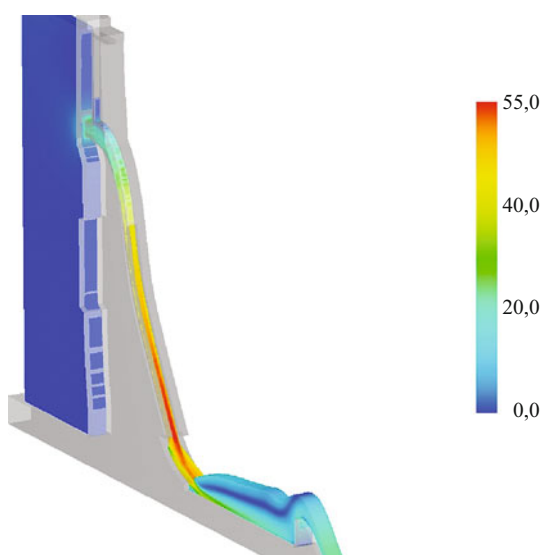


Рис. 1. Сопряжение бьефов в водобойном колодце Саяно-Шушенской ГЭС (один пролет) при расходе $Q_{0,01\%+г.п.} = 13000 \text{ м}^3/\text{с}$ и ФПУ = 540,0 м БС (по данным математического моделирования на ПК “FLOW-3D[®]”, цветом показаны значения скорости, м/с)

на гребне этой стенки (рис. 2). При этом в колодце не формируются все необходимые признаки гидравлического прыжка, в частности в нем отсутствует плавноизменяющееся движение вблизи водобойной стенки. Вместе с тем превышение свободной поверхности вблизи водобойной стенки над дном близко к расчетному значению второй сопряженной глубины гидравлического прыжка. Гашение энергии до уровня, безопасного для нижнего бьефа за колодцем, достигается, но большие значения скорости почти по всей длине водобойной плиты, по мнению многих исследователей и инженеров, могли быть причиной аварий, имевших место в 1980-е гг.

По нашему мнению, дополнительным фактором, повлекшим эти аварии, явилось значительное (до 6 – 8 м водяного столба) локальное повышение напора в конце колодца (рис. 3), обусловленное резким поворотом транзитной струи. Этот напор (при отсутствии дренажа, связывающего уровень воды в нижнем бьефе с напором под плитой) распространяется вверх по течению под водобойным колодцем и создает взвешивающую силу, способствующую разрушению водобойной плиты.

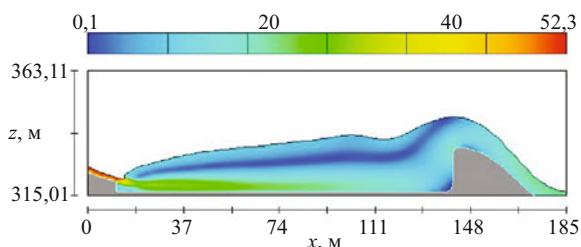


Рис. 2. Поле продольной скорости в водобойном колодце Саяно-Шушенской ГЭС при расходе $Q_{0,01\%+г.п.} = 13000 \text{ м}^3/\text{с}$ и ФПУ = 540,0 м БС (по данным математического моделирования на ПК “FLOW-3D[®]”, цветом показаны значения скорости, м/с)

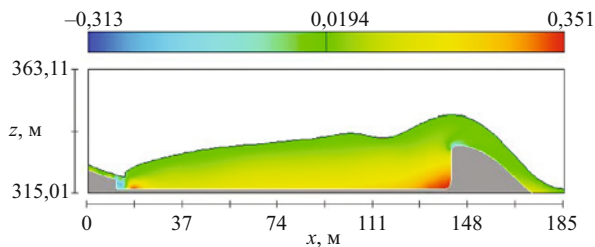


Рис. 3. Избыточное давление, МПа, в водобойном колодце Саяно-Шушенской ГЭС при расходе $Q_{0,01\%+г.п.} = 13\ 000\ \text{м}^3/\text{с}$ и ФПУ = 540,0 м БС (по данным математического моделирования на ПК “FLOW-3D[®]”)

Одним из способов уменьшения придонных скоростей является расщепление потока воды в консольной части водосливной плотины путем устройства носков-расщепителей [2] и носков-трамплинов, имеющих разнообразное конструктивное исполнение: трамплины-расщепители [3], треугольные трапециевидальные консольные трамплины [4], трамплины цилиндрической формы и т.п., а также с помощью устройств, использующих для гашения энергии соударение струй [5]. Все подобные конструкции при соответствующих рациональных формах обеспечивают в лабораторных условиях вполне удовлетворительный режим в водобойном колодце. Вместе с тем неизбежное наличие острых кромок у носков-трамплинов в большинстве типов конструкций, опубликованных в литературе, вследствие опасности их разрушения за счет кавитационной эрозии ограничивают область применения главным образом низконапорными и низкокласными гидроузлами. Исключения составляют суперкавитирующие расщепители, которые требуют значительного увеличения объема водобойного колодца.

Существенным преимуществом как средство безкавитационного расширения высокоскоростно-

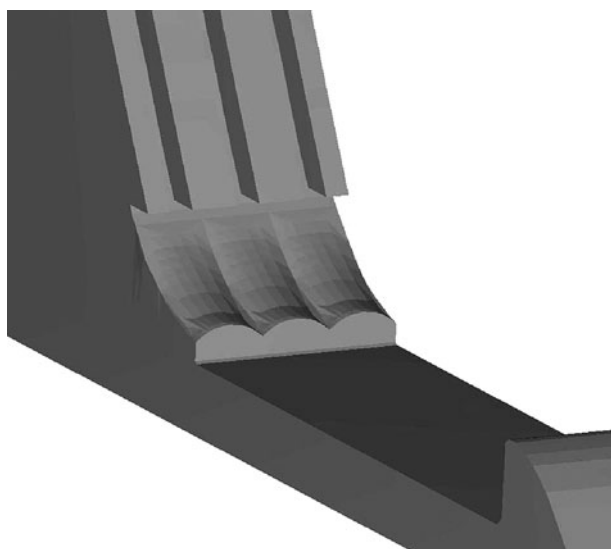


Рис. 4. Предлагаемая конструкция концевой части водослива в виде группы трамплинов-растекателей

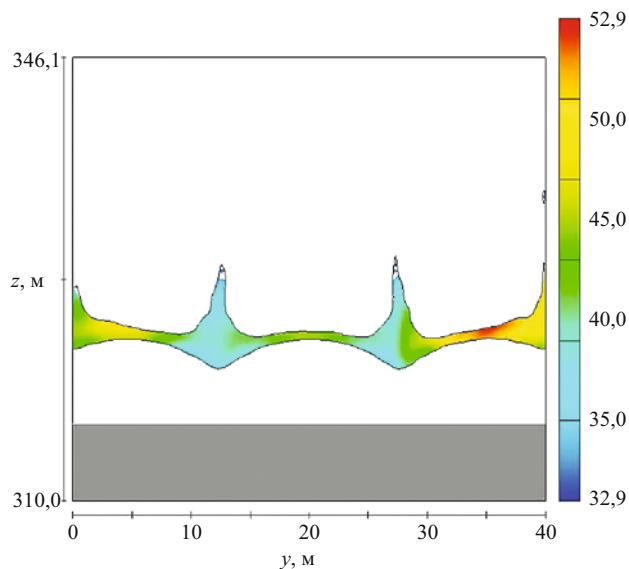


Рис. 5. Поперечное сечение струи (вид с нижнего бьефа) после схода потока с группы трамплинов-растекателей при расходе $Q_{0,01\%+г.п.} = 13\ 000\ \text{м}^3/\text{с}$ и ФПУ = 540,0 м БС (по данным математического моделирования на ПК “FLOW-3D[®]”, цветом показаны значения скорости, м/с)

го потока обладает рассеивающий трамплин, разработанный А. А. Турсуновым [6]. Выделив класс инерционных потоков, в которых силы инерции, обусловленные криволинейностью линий тока, значительно превосходят силу тяжести, А. А. Турсунов предложил набор поверхностей двойкой кривизны, которые обеспечивают заданную деформацию открытого потока (поворот в плане, расширение и т.п.).

На основе этих предложений Х. И. Заиров [7] разработал конструкцию для отброса струи в размываемый нижний бьеф, которая позволила существенно уменьшить глубину и объем ямы размыва. Эта конструкция представляет собой несколько расположенных вплотную друг к другу параллельно работающих рассеивающих трамплинов (рис. 4). В результате соударения струй, происходящего в горизонтальной плоскости, часть кинетической энергии гасится. Кроме того, в результате соударения поперечное сечение потока становится крестообразным (рис. 5), что увеличивает площадь поверхности нижнего бьефа, на которую воздействует поток, и уменьшает его количество движения, а следовательно, и разрушающую силу.

Предлагается использовать такую конструкцию в качестве концевой устройства в конце водослива и с его помощью уменьшить количество движения потока на входе в колодец, т.е. в начале гидравлического прыжка.

Расчеты с использованием программного комплекса “FLOW-3D[®]” на трехмерной численной модели гидравлического режима в водобойном колодце Саяно-Шушенской ГЭС показали следующее:

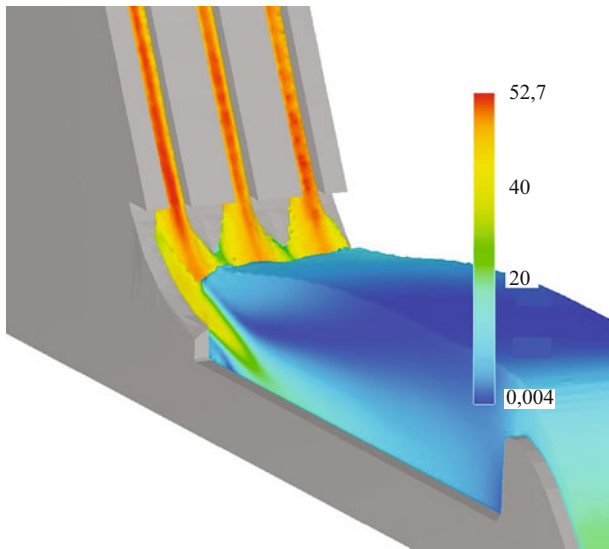


Рис. 6. Картина течения в водобойном колодце при наличии трамплинов-растекателей при расходе $Q_{0,01\%+г.п.} = 13\ 000\ \text{м}^3/\text{с}$ и ФПУ = 540,0 м БС (по данным математического моделирования на ПК “FLOW-3D®”, цветом показаны значения скорости, м/с)

при устройстве предлагаемой конструкции в колодце формируется затопленный гидравлический прыжок (рис. 6). При отсутствии трамплина водоворотная область не покрывает сжатое сечение, которое формируется на носке водослива (рис. 2);

локальные скорости воды в пределах рассеивающих трамплинов несущественно (в пределах нескольких процентов) отличаются от скоростей в пределах консольной части носка цилиндрической формы;

самоаэрация потока на водосливной поверхности не оказывает существенного влияния на структуру поля скорости в колодце;

придонные скорости на водобойной плите уменьшаются до 14 – 16 м/с против 30 – 55 м/с при отсутствии трамплина.

Авторы статьи осознают технологические трудности, которые практически исключают реализацию их предложений на Саяно-Шушенской ГЭС, и рассматривают предложенную конструкцию как одну из возможностей уменьшить размеры колодца для проектируемых высоконапорных ГЭС.

Список литературы

1. Ефименко А. И., Рубинштейн Г. Л. Водосбросные сооружения Саяно-Шушенской ГЭС. — СПб.: ОАО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”, 2008.
2. Чугаев Р. Р. Гидротехнические сооружения. — М.: Агропромиздат, 1985. Ч. I: Водосливные плотины.
3. Пат. № 2266364 РФ. Трамплин-расщепитель консольной части водосброса / Васильев А. М., Тищенко А. И., Васильев С. М. // Бюллетень изобретений. № 2005. № 12.
4. Рубинштейн Г. Л. Пирсы-растекатели для водобойного колодца Саяно-Шушенской ГЭС // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2000. Т. 236. С. 51 – 58.
5. Пат. № 1749362 РФ. Способ гашения энергии потока / Меркурьев И. С. и Беляков А. А. // Бюллетень изобретений. 1992. № 27.
6. Турсунов А. А. Бурное течение воды на виражах и рассеивающих трамплинах // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1962. Т. 69. С. 149 – 175.
7. Заиров Х. И. Гашение кинетической энергии за водосливной плотиной, снабженной группой рассеивающих носков // Известия вузов. Энергетика. 1966. № 3.

Численные исследования надёжности высокой каменной плотины с железобетонным экраном и подэкрановой зоной из грунтоцементобетона

Рассказов Л. Н., доктор техн. наук, Саинов М. П., кандидат техн. наук (МГСУ)

В высокой каменной плотине с железобетонным экраном возможно появление в экране значительных растягивающих напряжений, а следовательно, и сквозных трещин. Для повышения надёжности и ремонтпригодности плотины предложено выполнять подэкрановую зону из камня, упрочнённого цементным раствором (грунтоцементобетон). Однако по расчётам использование жёсткой подэкрановой зоны, опёртой на скальное основание, приведёт к изгибным деформированиям подэкрановой зоны и железобетонного экрана, которые вызовут растяжение в экране. Была найдена более удачная конструкция сопряжения жёсткой подэкрановой зоны с основанием. Расчёты напряжённо-деформированного состояния плотины в пространственной постановке показали, что в предложенной конструкции подэкрановая зона сглаживает изгибные деформации экрана, что уменьшает растягивающие напряжения в нём и относительные перемещения в вертикальных швах.

Ключевые слова: каменные плотины с железобетонным экраном, напряжённо-деформированное состояние, грунтоцементобетон, метод конечных элементов, ремонтпригодность, подэкрановая зона, периметральный шов.

Каменные плотины с железобетонным экраном строятся сейчас чаще других грунтовых плотин. Это объясняется относительной простотой их конструкции, высокой механизацией работ по отсыпке плотины, а также возможностью строительства при любых погодных условиях. Несколько из построенных плотин имеют высоту более 200 м.

Всё это делает перспективным применение плотин с железобетонным экраном и в России — для создания высоконапорных гидроузлов на Крайнем Севере, например в Якутии. Климат там таков, что укладка глинистого грунта и бетона затруднена.

Для создания железобетонного экрана требуется небольшой объём бетона, который может быть уложен в тёплый сезон. Даже у высоких плотин железобетонный экран выполняется толщиной всего около 1 % от высоты [1, 2, 3].

Надёжность железобетонного экрана определяется его напряжённым состоянием, которое, в свою очередь, формируется деформациями каменной насыпи. Под действием собственного веса и гидростатического давления камень уплотняется, за ним следует и железобетонный экран. Обычно максимальный прогиб экрана наблюдается примерно в центре экрана (в середине по высоте плотины). Неравномерные деформации каменной насыпи могут вызывать появление в железобетонном экране растягивающих усилий. Именно поэтому в ряде построенных плотин образовывались трещины [4, 5, 6]. Плотина Салт Спрингс в США за 80 лет эксплуатации ремонтировалась 20 раз. Для ремонта плотины водохранилище приходится опорожнять. В Бразилии пришлось опорожнять водохранилище глубиной почти 200 м для ремонта экрана плотины Кампос Новос.

В условиях Севера России не будет возможности опорожнять водохранилища высоконапорных гидроузлов, так как их объёмы исчисляются десятками кубокilометров. Поэтому конструкция плотины

должна иметь повышенную надёжность и быть ремонтпригодной.

Восстановление водонепроницаемости плотины (в случае образования в экране трещин) может производиться инъекцией цементного раствора в экран и подэкрановую зону. Чтобы такой вид ремонта был возможным, в подэкрановой зоне нужно расположить цементационные галереи, а её выполнить из плотного, малопроницаемого и жёсткого материала.

Таким материалом может служить грунтоцементобетон. Это материал с низким содержанием цемента, без мелкого заполнителя, с раздельной технологией укладки. Крупный заполнитель (щебень) укладывается слоями 0,3 – 0,6 м, уплотняется виброкатком, а затем проливается цементно-зольным раствором и перемешивается шиповым катком.

Грунтоцементобетон давно применяется в гидротехническом строительстве [7], он маловодопроницаем и сможет служить противофильтрационным элементом в случае нарушения целостности экрана.

Кроме того, жёсткая подэкрановая зона из грунтоцементобетона должна выровнять деформации железобетонного экрана и повысить его надёжность.

Чтобы убедиться в этом, нами с помощью численного моделирования были проведены исследования напряжённо-деформированного состояния (НДС) плотины с железобетонным экраном и подэкрановой зоной из грунтоцементобетона. Для расчётов использовалась вычислительная программа NDS-N, разработанная на кафедре гидротехнических сооружений МГСУ. Она позволяет учитывать нелинейность деформирования грунтов, нелинейные эффекты взаимодействия негрунтовых элементов на контакте с грунтами и друг с другом, а также последовательность возведения сооружения.

Численные исследования проводились в плоской и пространственной постановках. Рассматри-

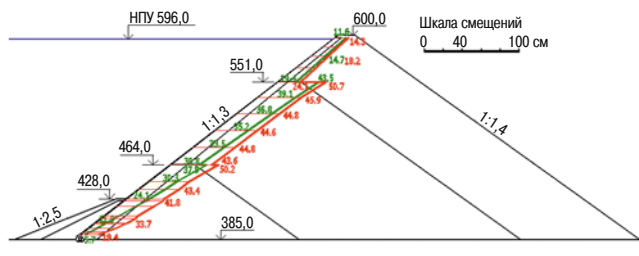


Рис. 1. Смещения железобетонного экрана, см, для вариантов 1 и 2:

красным цветом обозначены смещения для варианта 1, зелёным — для варианта 2

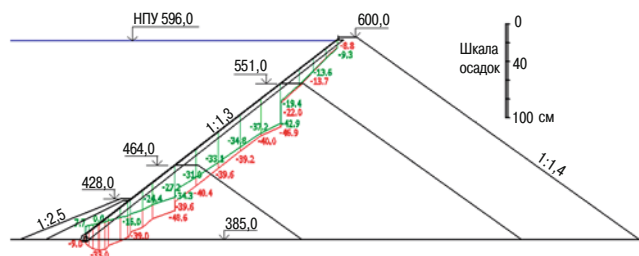


Рис. 2. Вертикальные перемещения железобетонного экрана, см, для вариантов 1 и 2:

красным цветом обозначены смещения для варианта 1, зелёным — для варианта 2

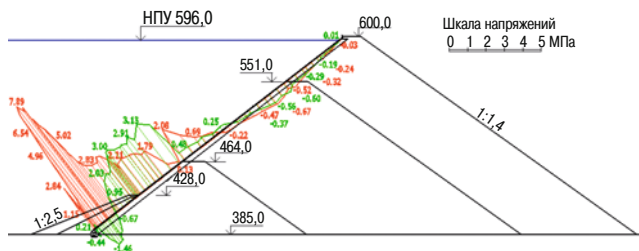


Рис. 3. Максимальные главные напряжения, МПа, в железобетонном экране при использовании подэкрановой зоны из щебня: оранжевым цветом показаны напряжения на низовой грани, зелёным — на верховой грани (растягивающие напряжения положительны, сжимающие отрицательны)

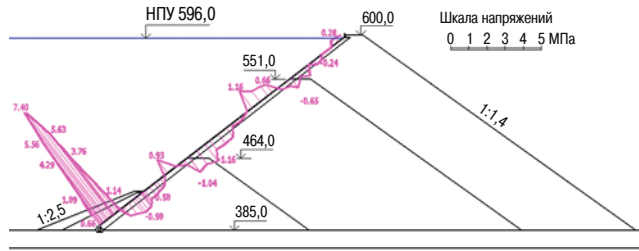


Рис. 4. Максимальные главные напряжения, МПа, на верховой грани железобетонного экрана при использовании широкой подэкрановой зоны из грунтоцементобетона (растягивающие напряжения положительны, сжимающие отрицательны)

валась плотина высотой 215 м с заложением верхнего откоса 1,3, расположенная на скальном основании.

Задачей исследований плотины в плоской постановке являлся поиск варианта конструкции с наиболее благоприятным напряжённым состоянием экрана.

Для сравнения был рассмотрен вариант конструкции плотины, в котором подэкрановая зона выполняется из щебенистого грунта. Расчёты [8] показали, что из-за смещений каменной насыпи нижняя часть железобетонного экрана (ниже 1/4 высоты плотины) испытывает значительные изгибные деформации (рис. 1, 2), что вызывает появление на его низовой грани растягивающих напряжений, многократно превышающих прочность бетона на растяжение (рис. 3). На более высоких отметках (на высоте 1/4 – 1/2 от высоты плотины) экран растянут по всей своей толщине, что вызвано удлинением при его прогибе. Растягивающие главные напряжения достигают величин, которые не смогут быть восприняты арматурой (рис. 3). Такое неблагоприятное напряжённое состояние экрана показывает необходимость в устройстве жёсткой подэкрановой зоны как дополнительного противофильтрационного элемента.

Во втором варианте конструкции подэкрановая зона была устроена из грунтоцементобетона. Её толщина на контакте с основанием была принята

равной 14 м. Исследования показали, что в данной конструкции нижняя часть экрана испытывает заметные растягивающие усилия в направлении вдоль откоса [8] (рис. 4). Это объясняется особым характером деформирования жёсткой подэкрановой зоны, которую условно можно описать как работу консоли. Она упирается в малодеформируемое скальное основание, но при этом вынуждена следовать за деформациями каменной насыпи. В результате нижняя часть подэкрановой зоны испытывает сильные изгибные деформации. Сильные изгибные деформации подэкрановой зоны вызывают появление на её верховой грани растяжение, которое передаётся экрану. Подобные результаты получены и в [9].

Для улучшения напряжённого состояния экрана нами было предложено опирать подэкрановую зону не на горизонтальную поверхность скалы, а на наклонную грань железобетонной галереи (создаваемой с устройством периметрального шва) (рис. 5). Расчёты показали, что при такой схеме опирания подэкрановая зона работает как балка на упругом основании и её изгиб происходит в сторону нижнего бьефа (рис. 6, 7). За счёт этого железобетонный экран в основном оказывается в зоне сжатия (рис. 8). Возможные растягивающие напряжения снижаются до величин, которые могут быть восприняты арматурой.

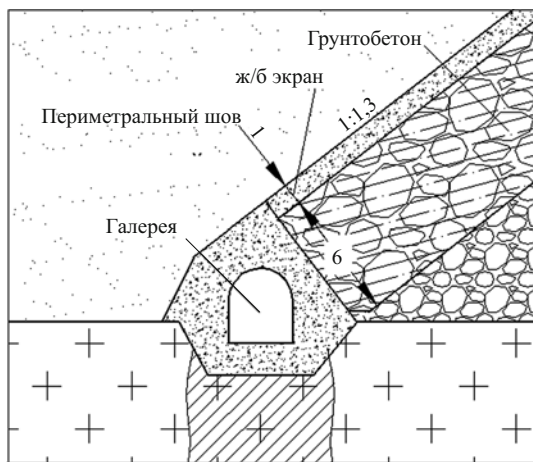


Рис. 5. Конструкция узла сопряжения экрана и подэкрановой зоны с железобетонной галереей

Раскрытие периметрального шва (40 мм) в такой конструкции вполне приемлемо по величине для надёжной работы его уплотнений.

Напряжённое состояние самой подэкрановой зоны не столь благоприятно. На её низовой грани возникают растягивающие главные напряжения до 2,5 МПа. Формирование этой зоны происходит при наполнении водохранилища второй очереди (высотой 167 м) и тогда в ней могут образовываться трещины. Чтобы подэкрановая зона смогла выполнять свою роль по сглаживанию деформаций экрана, можно выполнить её ремонт путём инъекции цементного раствора из потерн.

Надёжность этой конструкции экрана была проверена исследованиями в пространственных условиях. Плотина и экран были вписаны в широкий (около 1 км) створ, который характерен для рек Севера России. Экран был разрезан вертикальными швами на секции шириной 15 м.

Проведение исследований пространственного НДС плотины с экраном потребовало модернизации вычислительной программы. Дело в том, что предварительные расчёты в плоской постановке показали, что для моделирования работы тонкого и жёсткого экрана могут быть применены только конечные элементы высокого порядка (квадратичные и выше). Однако использование таких элементов значительно увеличивает размерность разрешаю-

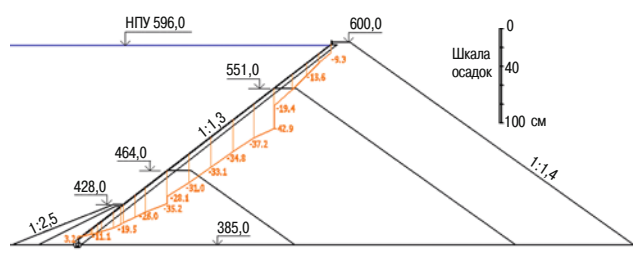


Рис. 7. Вертикальные перемещения железобетонного экрана, см, для варианта 3

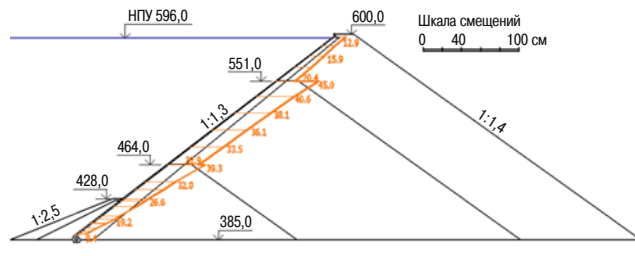


Рис. 6. Смещения железобетонного экрана, см, для варианта 3

щей системы уравнений и делает решение нелинейной задачи НДС плотины чрезвычайно затруднительным.

Было решено использовать квадратичные конечные элементы только для моделирования работы железобетонного экрана и прилегающих к нему элементов, а для разбивки остальной части плотины и основания использовать элементы с квазилинейной функцией перемещений внутри элемента. Для сопряжения элементов с разными степенями аппроксимации использовались конечные элементы с промежуточной степенью аппроксимации. Такой подход позволил значительно уменьшить размерность задачи без заметного уменьшения точности решения. При количестве элементов 21 770 количество степеней свободы составило 118 470.

Результаты расчётов показали, что в рассмотренном широком створе условия русловых сечений экрана близки к плоским. Максимальный прогиб экрана составляет 42 см и наблюдается на высоте, составляющей 3/4 от высоты плотины (рис. 9).

Экран деформируется совместно с жёсткой подэкрановой зоной, контакт между ними не нарушается. Работу этой двухслойной конструкции можно охарактеризовать как работу пластины, опёртой по контакту с бортами. Прогибы по контуру опирания малы — от 1 до 4 см. За счёт прогиба бортовые сечения получают перемещения в направлении от бортов к руслу величиной до 4,6 см. Тем не менее максимальные раскрытия (60 мм) периметрального шва наблюдались не в бортовых, а в русловых секциях.

В результате такого характера деформаций низовая грань подэкрановой зоны в основном нахо-

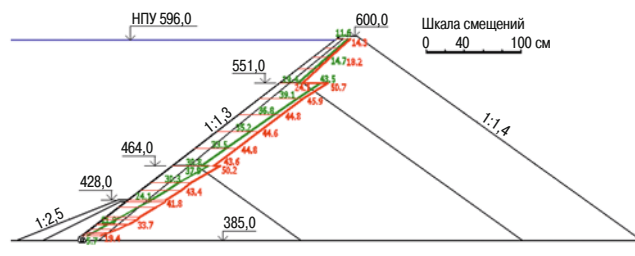


Рис. 8. Максимальные главные напряжения, МПа, на верховой грани железобетонного экрана в варианте 3

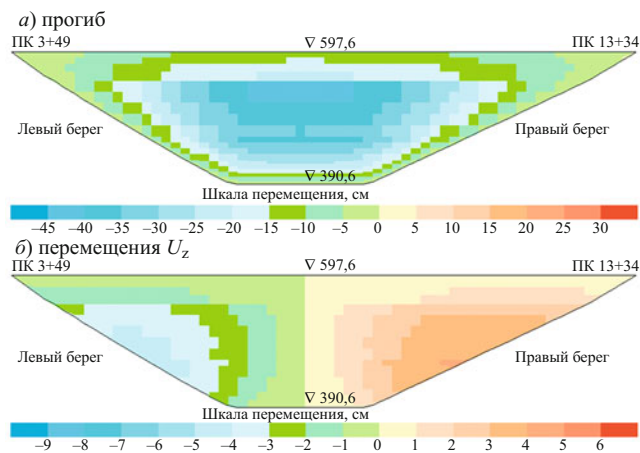


Рис. 9. Перемещения железобетонного экрана (пространственная задача)

дится в растянутом состоянии по максимальным главным напряжениям σ_1 (рис. 10). Направление их — от бортов к зоне максимальных прогибов. Максимальный уровень растяжения наблюдается в русловых сечениях. Как и при решении плоской задачи, растягивающие напряжения σ_1 составляют примерно 2 МПа. В бортовых сечениях растягивающие напряжения несколько меньше.

Верховая подэкрановой зоны по большей части сжата по напряжениям σ_1 . Только в бортовых сечениях наблюдаются растягивающие напряжения до 0,5 МПа. По напряжениям σ_3 подэкрановая зона сжата (до 6,9 МПа).

Похожее напряжённое состояние имеет и железобетонный экран, но так как бетон более жёсткий, чем грунтоцементобетон, то напряжения в нём больше по абсолютной величине. Максимум растягивающих напряжений σ_1 составляет 1,8 МПа и наблюдается в бортовых сечениях. Напряжения такой величины могут быть восприняты арматурой и не снижают надёжность железобетонного экрана.

Свою роль в этом сыграла разрезка экрана вертикальными швами. Вертикальные швы бортовых секций раскрыты в своей нижней части. Но величины раскрытий очень малы — до 0,4 мм. Такие маленькие раскрытия объясняются положительной ролью подэкрановой зоны из грунтоцементобетона. Она является как бы “постелью” для железобетонного экрана, выравнивая деформации его секций, и соединяет их в единое целое, не позволяя секциям заметно перемещаться друг относительно друга.

Большинство вертикальных швов не раскрываются, особенно швы русловых секций (рис. 11). В русловой части расстояние между швами можно увеличить до 20 м.

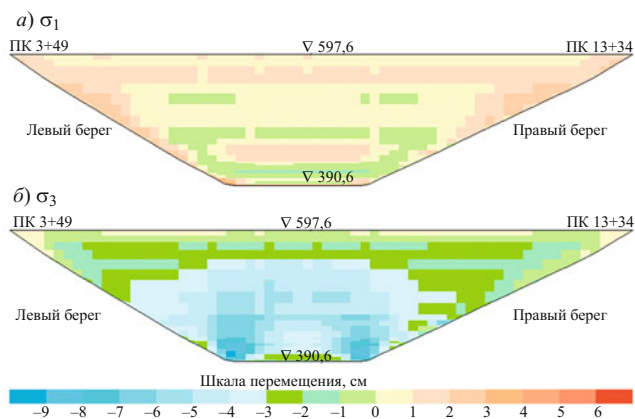


Рис. 10. Распределение главных напряжений на верхней грани железобетонного экрана (пространственная задача)

Выводы

1. В разработанной конструкции высокой плотины с железобетонным экраном устройство подэкрановой зоны из грунтоцементобетона играет положительную роль. Экран и подэкрановая зона работают как единая жёсткая конструкция — толстый многослойный экран. Подэкрановая зона сглаживает деформации экрана, уменьшает его изгибные деформации и снижает уровень растягивающих напряжений в нём. Её устройство уменьшает относительные смещения секций железобетонного экрана, что позволяет увеличить расстояния между вертикальными швами экрана. Кроме того, её наличие увеличивает ремонтпригодность противофильтрационного элемента плотины.

2. Каменная плотина с железобетонным экраном и подэкрановой зоной из грунтоцементобетона является конкурентоспособной конструкцией плотины для условий малоосвоенного Севера России. Она не требует большого количества цемента, строится в основном из местных материалов. Её возведение может вестись круглогодично. Интенсивность укладки грунтоцементобетона и бетона в летние месяцы не превысит 100 тыс. м³/мес. Стоимость такой плотины будет заметно меньше, чем бетонной плотины.

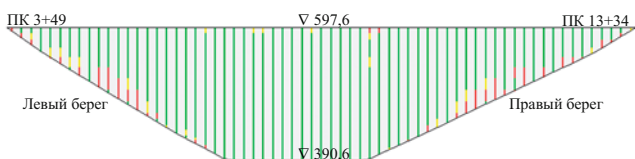


Рис. 11. Состояние вертикальных межсекционных швов в железобетонном экране:

красным цветом обозначены раскрывшиеся швы, зелёным — сомкнутые швы без нарушений, жёлтым — швы со сдвиговыми

Список литературы

1. James L. Sherard and J. Barry Cook, ASCE. Concrete — Face Rockfill Dams: I Assessment, Journal of Geotechnical Engineering. V. 113. № 10. October 1987.
2. David Stapledon, Patrick MacGregor, Graeme Bell, Robin Fell. Geotechnical Engineering of Dams. Taylor & Francis, 2005.
3. Ляпичев Ю. П. Проектирование и строительство современных высоких плотин: Учебное пособие. — М.: РУДН, 2004.
4. Mouseev С. Н., Mouseev М. С. Каменно-земляные и каменно-набросные плотины. Основы проектирования и строительство. — М., 1970.
5. Педро Л. Маркес Фильо, Нельсон де С. Пинто. Характеристики каменно-набросных плотин с бетонным экраном, полученные опытным путём // Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. 2007.
6. Проектирование и строительство плотин из местных материалов (по материалам VII и VIII Международных конгрессов по большим плотинам) / Сост. А. А. Ничипорович. Под ред. А. А. Борового. — М.: Энергия, 1967. С. 90 – 99.
7. Грунтоцемент для грунтовых плотин // Бюллетень комитета по большим плотинам. 1986 (Перевод ВНИИГа), 1987.
8. Саинов М. П. Совершенствование конструкции высокой каменной плотины с железобетонным экраном // Вестник МГСУ. 2011. № 5.
9. Нгуен Тхань Дат. Напряженно-деформированное состояние каменных плотин с железобетонными экранами: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2004.
10. Гу Гань-Чэнь. Трёхмерный нелинейный статический и динамический анализ каменно-набросных плотин с железобетонными экранами методом конечных элементов. Нанкин: Хохай университет, 1990.

Напряженно-деформированное состояние бетонной плотины Канкунского гидроузла

Орехов В. Г., доктор техн. наук, Толстиков В. В., кандидат техн. наук (МГСУ)

Приведены методика и результаты расчетных исследований напряженно-деформированного состояния проектируемого варианта бетонной плотины Канкунского гидроузла. Расчеты выполнялись МКЭ в нелинейной постановке для секции плотины на основные статические нагрузки и температурные воздействия. Рассматривалось влияние обогрева полости между контрфорсами на напряженное состояние плотины. Получено, что плотина удовлетворяет критериям прочности, предъявляемым к бетонным плотинам. В то же время продолжительный интенсивный обогрев в зимний период ухудшает напряженное состояние плотины, расположенной в условиях сурового климата.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, скальный массив, контактное взаимодействие, зона разуплотнения, раскрытие контактного шва, обогрев полости.

На кафедре гидротехнических сооружений МГСУ проводились исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) варианта бетонной плотины Канкунского гидроузла, предложенного проектной организацией (ОАО “Ленгидропроект”).

Гравитационная плотина с расширенными швами (контрфорсная) имеет высоту 225 м. Отметка гребня составляет 600,0 м, т.е. на 4 м выше НПУ 596,0 м, а отметка подошвы — 375,0 м. Секция имеет два оголовка — верховой и низовой. Оголовки (а значит, и секция) имеют толщину 15 м. Контрфорс почти в два раза уже оголовков — его толщина составляет 8 м. Ширина гребня плотины составляет 27 м. В этой массивной конструкции гребня выполнены две галереи размерами 6 × 6 м. Верховая грань выполнена с заложением 0,15, а низовая — с заложением 0,86. Основанием плотины являются скальные породы. Под подошвой плотины удаляются скальные породы, подвергшиеся выветриванию.

Схема последовательности возведения плотины, разработанная Ленгидропроектом (рис. 1), предусматривает возведение плотины в четыре очереди. В первую очередь возводится нижняя часть плотины до отметки 428,0 м, после чего водохрани-

лище наполняется до УВБ 427,5 м. Во вторую очередь плотина неполным (треугольным) профилем наращивается до отметки 509,0 м, а водохранилище наполняется до УВБ 504,0 м. В этот момент верхняя часть плотины не имеет низового оголовка. Возведение плотины третьей очереди даёт возможность запустить первые агрегаты ГЭС. Для этого плотина неполным профилем наращивается до отметки 545,0 м, что позволяет наполнить водохранилище до УВБ 538,0 м. Четвёртая очередь строительства подразумевает возведение полного профиля плотины и наполнение водохранилища сначала до УВБ 574,5, а потом и до НПУ 596,0 м.

Зонирование бетона в теле плотины предусматривает, что в зоне переменного уровня в верховой и низовой оголовки укладывается бетон класса В25. Бетон класса В20 укладывается в остальные части верхового и низового оголовков, а также в фундаментную часть плотины. Во внутренние зоны плотины укладывается бетон класса В15.

Задача о напряжённо-деформированном состоянии контрфорсной плотины решалась в пространственной постановке. Рассматривались секция плотины и находящийся под ней блок основания, который имел ширину вдоль потока около 1200 м и глу-

бину около 450 м. Учитывалось изменение свойств пород основания по глубине.

В конечно-элементной дискретизации расчётной области использовался пространственный элемент в виде шестигранной призмы, имеющий восемь узловых точек с квазилинейной аппроксимацией перемещений внутри элемента. Для явного моделирования эффектов нелинейного взаимодействия между плотиной и основанием (раскрытие и смыкание контакта, сдвиговые нарушения) в контакте плотины со скальным массивом использовались контактные элементы.

Сетка МКЭ бетонной плотины имела 5018 конечных элементов. Блок основания был разбит на 6048 конечных элементов. На границе между сеткой плотины и сеткой основания помещен слой из 284 контактных элементов. Общее количество конечных элементов в сетке составляет 11 350, а узловых точек — 13482.

В качестве граничных условий принято отсутствие перемещений на нижней границе блока основания и горизонтальных перемещений на боковых границах выделенного скального массива.

Общее количество степеней свободы (уравнений) системы “плотина — основание” с учетом граничных условий равно 37 137.

Физико-механические характеристики бетона плотины и скального основания приведены в таблице.

Для контакта бетон — скала коэффициент трения был принят равным 0,75, а удельное сцепление — 0,25 МПа.

При выполнении расчётов учитывались следующие нагрузки и воздействия:

- собственный вес плотины и основания;
- гидростатическое давление со стороны верхнего и нижнего бьефов;
- взвешивающее и фильтрационное противодействие на подошву плотины;
- температурные воздействия.

В соответствии со СНиП 2.06.06-85 “Плотины бетонные и железобетонные” фильтрационное противодействие на оси цементационной завесы при-

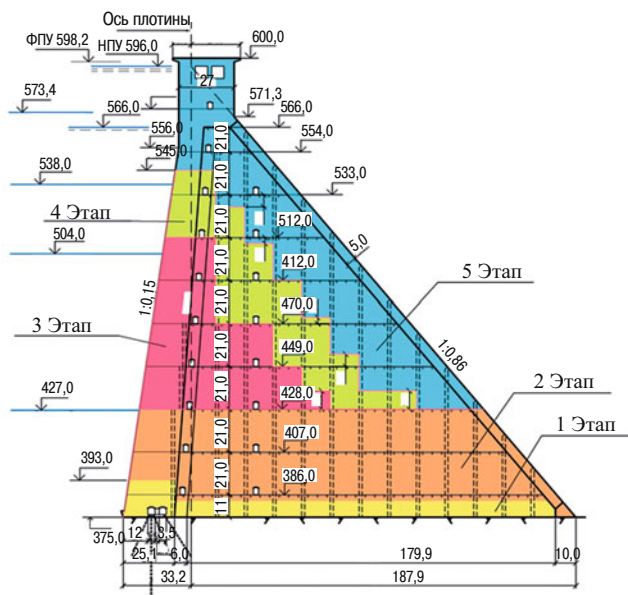


Рис. 1. Проектная схема поэтапности возведения плотины и наполнения водохранилища

нималось равным 20 % от статического напора, а на оси дренажа — 5 % от напора.

В расчётах воспроизводилась поэтапность возведения плотины и приложения к ней нагрузок от воды. Для этого рассмотрен ряд моментов времени (десять этапов), на каждом из которых происходит изменение нагрузок на плотину и, если необходимо, изменение геометрии расчётной области.

Первым расчётным этапом является расчёт НДС скального массива от действия собственного веса. Дальнейшая схема поэтапности возведения плотины и приложения к ней нагрузок была задана на основе данных, предоставленных проектной организацией (рис. 1).

Модель деформирования бетона на данной стадии исследований (для возможности применения прочностных критериев СНиП) принята линейно-упругой, а модель скальной породы — упруго-пластической с возможностью хрупкого разрушения при растяжении и сдвиге.

В качестве условия прочности при растяжении принято, что разрушение происходит, если нормальное напряжение σ на рассматриваемой пло-

Материал	Модуль деформации E , ГПа	Коэффициент Пуассона ν	Угол внутреннего трения	Удельное сцепление, МПа	Прочность на растяжение, МПа
Бетон В25	35,0	0,18	-	-	-
Бетон В20	33,3	0,18	-	-	-
Бетон В15	30,8	0,18	-	-	-
Скала основания в зоне разгрузки	4,0	0,24	37	0,25	0,10
Сохранная скала	9,0	0,23	39	0,30	0,10

щадке достигнет прочности материала на растяжение R_p .

Проверка прочности производится на главных площадках, сравнение происходит по главным нормальным напряжениям $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$.

Модель позволяет воспроизводить в расчетах образование произвольным образом ориентированных локальных трещин и последующую работу материала в зоне таких трещин только на сжатие.

В качестве условия прочности при сдвиге (в сложном напряженном состоянии) использовался критерий Кулона — Мора [1, 2] получивший наибольшее распространение в проектной практике.

Поведение контакта бетон — скала моделировалось с помощью пространственных контактных элементов типа “поверхность — поверхность”.

Моделирование эффектов контактного взаимодействия в рамках расчетной модели позволяет учесть:

раскрытие контакта при нарушении прочности на растяжение;

смыкание контакта при уменьшении расстояния между контактными поверхностями до нуля;

сдвиг и проскальзывание одной поверхности контакта относительно другой.

В качестве условия прочности на растяжение принято условие

$$\sigma_n \leq R_p,$$

где R_p — прочность трещины (шва или контакта) на растяжение.

В качестве условия прочности на сдвиг принято условие

$$\tau_s \leq \tau_{\text{пред}},$$

где τ_s — максимальное значение касательного напряжения на контакте; $\tau_{\text{пред}}$ — предельное сопротивление сдвигу $\tau_{\text{пред}} = \sigma_n \tan \varphi + c$.

При реализации рассмотренных моделей [3, 4, 5] используется метод начальных напряжений (дополнительных нагрузок). На каждой i -ой итерации проводится коррекция найденных напряжений в элементах в случае, если их величины выходят за область допустимых значений, определяемых моделью поведения материала. В результате для соответствующих конечных элементов определяются векторы невязки $\{\Delta\sigma_i\}$ между полученными упругими напряжениями и допустимыми значениями напряжений, которые рассматриваются в качестве начальных напряжений и дополнительной нагрузки (подсчитанной по значениям этих невязок напряжений) на очередной $i + 1$ итерации. Итерации продолжаются до стабилизации решения. В физиче-

ском смысле это означает итерационный поиск таких дополнительных нагрузок, которые сообщают линейно-деформируемому телу перемещения, равные перемещениям нелинейно-деформируемого тела при заданной нагрузке.

В строительный период помимо статических нагрузок рассматривался температурный режим возведенной первой очереди плотины при наполненном до отметки 510,0 м водохранилище¹. При этом низовой оголовок плотины возведен до отметки 428,0 м, межсекционная полость не закрыта и поверхность бетона внутри полости контактирует с воздухом, имеющим внешнюю температуру.

Максимальные горизонтальные перемещения на гребне секции на момент наибольшего охлаждения бетона плотины (март) составили 5,1 см, вблизи подошвы — 2,0 см. Вертикальные перемещения — осадка подошвы секции плотины 4,3 см. При действии статических нагрузок горизонтальные смещения гребня плотины составляли 1,6 см, осадка — 4,3 см.

При действии только статических нагрузок в плотине первой очереди растягивающих напряжений нет. Максимальное сжатие в бетоне со стороны напорной грани составило $\sigma_3 = -4,5$ МПа, со стороны низовой грани на отметке 432,5 м в локальной зоне концентрации $\sigma_3 = -4,67$ МПа. На напорной грани вертикальные напряжения σ_y сжимающие величиной от $-0,25$ МПа на отметке 493,0 м до $-2,31$ МПа на отметке 410,0 м. Вблизи контакта $\sigma_y = -3,89$ МПа. Напряжения распределены по ширине сечения достаточно равномерно, и только у напорной и низовой граней фиксируются зоны концентрации напряжений, вызванные наличием очень податливого основания. Отмечается неравномерность распределения напряжений в поперечном направлении. У граней контрфорса напряжения выше, чем по оси. В основании и контакте напряжения сжимающие.

¹ Нестационарная температурная задача была решена проф., д.т.н. Н. А. Анискиным. В расчетах колебания среднемесячных температур в течение года составляли от -33 °С в январе до $+16$ °С в июле. Момент времени 15 марта характеризуется полным промерзанием контрфорса и низового перекрытия. Температура бетона в пределах контрфорса меняется от $-18,8$ °С в центре конструкции до $-17,3$ °С на его поверхности вдоль межсекционной полости. На поверхности низового оголовка со стороны нижнего бьефа температура близка к температуре воздуха $-17,3$ °С, внутри оголовка ее значения достигают $-21,0$ °С. Верховой оголовок со стороны верхнего бьефа нагрет до $3,0 \dots 4,0$ °С.

Момент времени 15 сентября характеризуется прогреванием контрфорса и низового перекрытия на всю глубину: по оси контрфорса температура бетона достигает $2,6$ °С, на боковых поверхностях и по контакту с воздухом со стороны нижнего бьефа $4,5$ °С. Вблизи верховой грани верхового оголовка температура бетона колеблется от $4,0$ °С (температура воды) до $2,0$ °С. Во внутренней области верхового оголовка сохраняется мерзлая зона: температура бетона здесь равна $-4,4$ °С.

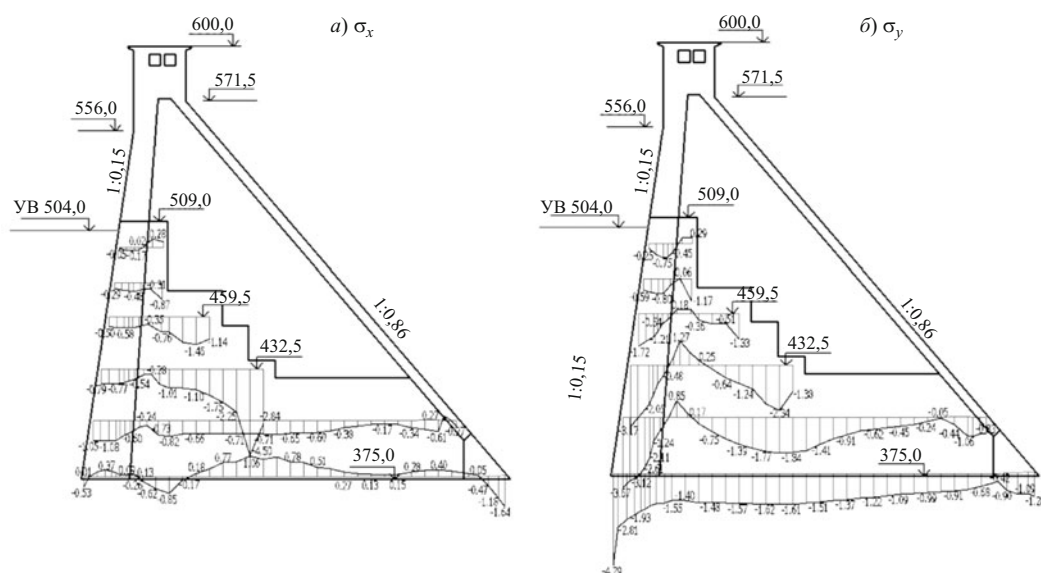


Рис. 2. Нормальные напряжения в плотине первой очереди на момент наибольшего охлаждения (март)

На рис. (2, а, б) представлены нормальные напряжения в плотине на момент наибольшего охлаждения бетона плотины первой очереди (март).

На характер распределения напряжений в профиле плотины существенное влияние оказывает распределение температуры в теле плотины. Контрфорс плотины охлаждается достаточно равномерно, и наибольшие перепады температуры происходят в оголовке, примыкающей части контрфорса и на контакте плотины с основанием. Это и определяет характер распределения напряжений в зимний период.

В теле плотины, за исключением приконтактной зоны, напряжения σ_x сжимающие. На напорной грани значения напряжений мало изменились по сравнению со статикой. По толщине оголовка на напорной грани напряжения распределены практически равномерно. Далее отличие наблюдается только в конце переходного участка от оголовка к стенке контрфорса. Если в сечении по грани контрфорса фиксируется увеличение сжатия (за счёт уменьшения толщины сечения) максимум до $-2,6$ МПа на отметке 432,5 м, то в сечении по оси контрфорса, наоборот, сжатие несколько уменьшается. Дальше по ширине сечения характер распределения напряжений по оси и грани контрфорса практически идентичный. Очень близки и значения напряжений. Максимальное сжатие со стороны нижнего бьефа на отметке 432,5 м составляет $\sigma_x = -(4,25 \dots 4,5)$ МПа (от статических нагрузок $-2,75$ МПа). Вблизи контакта в бетоне появляются растягивающие напряжения σ_x за счёт защемления в податливое основание и температурного перепада. Максимум растяжения фиксируется почти в се-

редине ширины основания и составляет 0,92 МПа в сечении по оси контрфорса и 0,51 МПа на грани.

В основании под напорной гранью напряжения σ_x сжимающие, за исключением зоны разуплотнения, где они равны нулю.

Вертикальные нормальные напряжения σ_y в плотине сжимающие, за исключением области переходного участка от оголовка к контрфорсу, где появляются растягивающие напряжения за счёт поворота горизонтальных сечений при охлаждении со стороны нижнего бьефа и нагрева за счёт воды водохранилища. При этом на напорной грани в диапазоне отметок 404,25 – 459,50 м сжатие увеличивается в 1,5 – 2 раза по сравнению со статикой и достигает $\sigma_y = -(1,72 \dots 3,7)$ МПа. Следует отметить, что по напорной грани во всём диапазоне отметок напряжения σ_y сжимающие, следовательно, прочность горизонтальных сечений плотины обеспечена.

Главные растягивающие напряжения σ_1 не превышают 1,3 МПа в начале стенки контрфорса и 1,03 МПа в прискальном бетоне. В основании напряжения σ_1 сжимающие, за исключением локальной зоны разуплотнения под верховой гранью плотины, которая распространилась в сторону нижнего бьефа на 6 м, что не достигает цементационной завесы и практически не влияет на фильтрационный режим основания.

Максимальные сжимающие напряжения σ_3 в большей части профиля плотины не превосходят $-5,12$ МПа, т.е. увеличились незначительно по сравнению со статикой.

В основании максимальное сжатие достигает $-2,7$ МПа. Контакт плотины с основанием сжат,

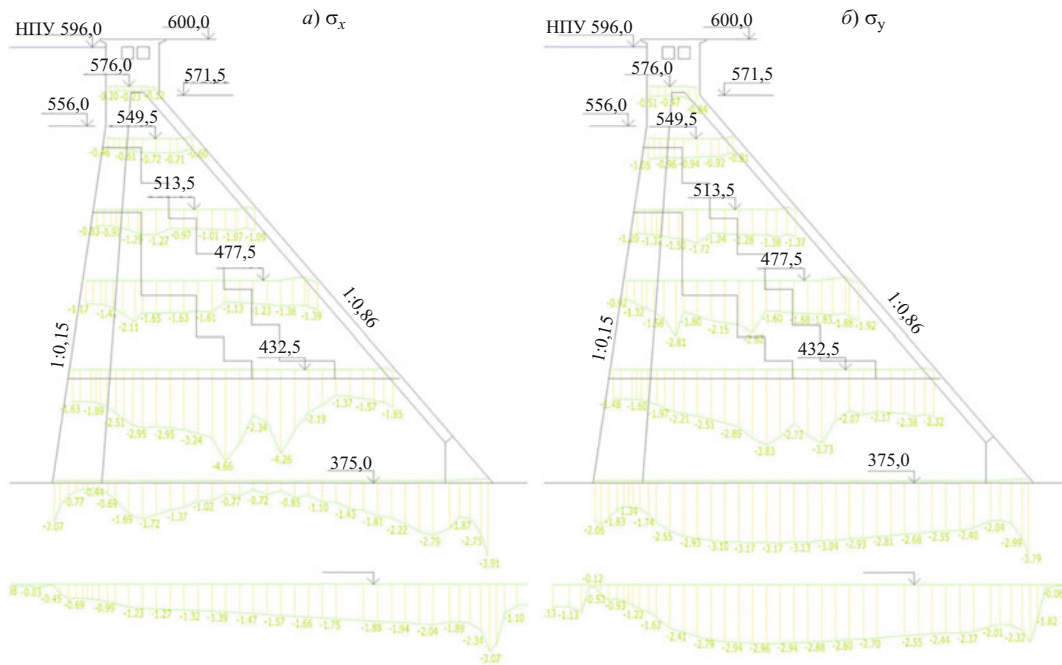


Рис. 3. Нормальные напряжения в плотине от действия статических нагрузок

следовательно, условие прочности, предъявляемое к контактному сечению, выполняется.

На момент наибольшего нагрева бетона плотины (сентябрь) напряженное состояние более благоприятное. Растягивающие напряжения σ_1 не превышают 1,0 МПа в оголовке на верхних отметках. В основании напряжения σ_1 сжимающие. Максимальные сжимающие напряжения σ_3 в большей части профиля плотины не превосходят $-4,8$ МПа.

В период эксплуатации при определении НДС плотины наряду со статическими нагрузками (по заданию Ленгидропроекта) рассматривались следующие случаи температурного воздействия:

эксплуатационный случай без обогрева межсекционной полости — плотина возведена полностью, водохранилище наполнено;

эксплуатационный случай с обогревом межсекционной полости с интенсивностью обогрева $0,01$ ккал/($\text{м}^3 \cdot \text{ч}$);

эксплуатационный случай с обогревом межсекционной полости с интенсивностью обогрева $0,02$ ккал/($\text{м}^3 \cdot \text{ч}$).

Обогрев полости моделировался в течение трех наиболее холодных месяцев: декабря, января, февраля. Температура замыкания принималась равной -7 °С.

При действии основных статических нагрузок напряженно-деформированное состояние плотины полностью соответствует критериям прочности, предъявляемым к бетонным контрфорсным плотинам (или плотинам с расширенными швами). Максимальные горизонтальные перемещения секции составили $10,1$ см, при этом на гребне секции —

$8,5$ см, вблизи подошвы — $5,8$ см. Вертикальные перемещения — осадка подошвы секции плотины $7,0$ см.

В профиле плотины растягивающих напряжений нет (рис. 3). Уровень вертикальных сжимающих напряжений σ_y по напорной грани выше регламентированного значения $0,25\gamma h$. Общий уровень сжимающих напряжений σ_3 не превышает $-6,5$ МПа.

В основании со стороны верхнего бьефа образуется зона разуплотнения скального основания, характерная для высоких плотин. Глубина проникновения этой зоны под подошву плотины составляет примерно $10,0 - 11,5$ м в сторону нижнего бьефа. Эта зона не пересекает ось цементационной завесы, следовательно, разрыва последней не произойдет. Имеется локальная зона раскрытия контактного шва, но по длине она незначительна — $2,2$ м. Уровень сжатия в основании под низовым клином плотины достигает $-5,5$ МПа, при этом имеются локальные зоны предельного состояния, что обусловлено крайне низкими прочностными параметрами, заданными для массива скального основания: $C = 0,25$ МПа, $\text{tg}\varphi = 0,75$.

С учетом температурного воздействия² максимальные горизонтальные перемещения на гребне секции составили на момент наибольшего охлаждения бетона плотины (март) $12,4$ см; вблизи подошвы — $5,6$ см. Вертикальные перемещения — максимальная осадка подошвы секции плотины $7,0$ см. С учетом обогрева смещения напорной грани несколько уменьшаются и составляют на гребне

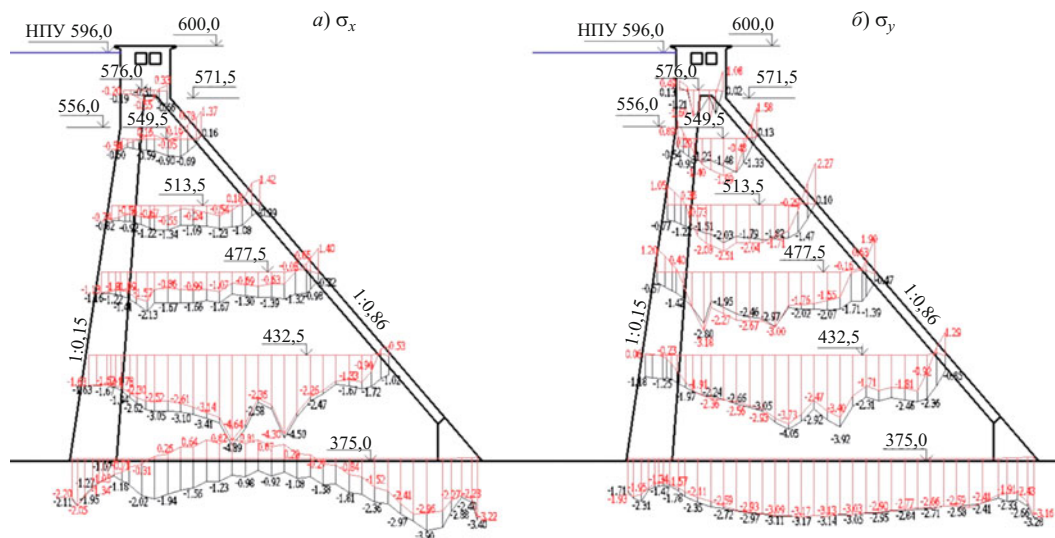


Рис. 4. Нормальные напряжения в плотине на момент наибольшего охлаждения (март)

плотины 10,6 и 10,8 см соответственно, у подошвы — 5,1 и 4,9 см. Осадка не меняется.

На рис. (4, а, б) представлены нормальные напряжения в плотине на момент наибольшего охлаждения бетона плотины (март). Чёрным цветом показаны эпюры напряжений без дополнительного обогрева, красным — с учётом обогрева полости с интенсивностью обогрева $0,02 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$. Наибольшие перепады температур приходятся на низовой оголовок (в большей мере) и верховой оголовок плотины. Подогрев полости увеличивает эти перепады. В стенке контрфорса изменение температур происходит с существенно меньшими градиентами.

При отсутствии обогрева в полости плотины, за исключением точек низовой грани на верхних отметках и верхней части оголовка, напряжения σ_x в плотине сжимающие. На напорной грани значения напряжений мало изменились по сравнению со статикой. Они сжимающие и меняются от $-0,15 \text{ МПа}$ у гребня до $-2,11 \text{ МПа}$ в сечении на отметке $375,0 \text{ м}$. По толщине оголовка на напорной грани напряжения распределены практически равномерно, т.е. значения в сечении по оси и в сечении по грани практически совпадают. По ширине контрфорса характер распределения напряжений и их величины очень близки к тому, что было при статике,

за исключением низового оголовка. На отметке $513,5 \text{ м}$ и ниже происходит уменьшение сжимающих напряжений σ_x , на более высоких отметках появляются растягивающие напряжения, но величина их не превосходит $0,3 - 0,6 \text{ МПа}$.

Максимальное сжатие со стороны нижнего бьефа на отметке $432,5 \text{ м}$ составляет $\sigma_x = -(4,81 \dots 4,89) \text{ МПа}$ (от статических нагрузок $-4,66 \text{ МПа}$, рис. 3). Максимум сжатия фиксируется перед низовым оголовком и составляет $\sigma_x = -3,9 \text{ МПа}$ в сечении по оси контрфорса и $\sigma_x = -4,9 \text{ МПа}$ на грани контрфорса.

Дополнительный обогрев практически не сказывается на изменении напряжений σ_x в верховом оголовке плотины, но приводит к увеличению растягивающих напряжений σ_x в низовом оголовке до $1,12 - 1,23 \text{ МПа}$ при интенсивности обогрева $0,01 \text{ ккал}/(\text{м}^3 \cdot \text{ч})$ и $1,39 - 1,6 \text{ МПа}$ при вдвое большей интенсивности. В сечении по грани контрфорса при этом заметно возрастают и сжимающие напряжения — до $\sigma_x = -(5,9 - 6,3) \text{ МПа}$ в сечении на отметке $432,5 \text{ м}$ (рис. 4, а). Ухудшает дополнительный разогрев и ситуацию в прискальном бетоне. В сечении на оси, а при максимальном разогреве и по грани контрфорса, появляются растягивающие напряжения в средней части по ширине контрфорса величиной до $0,8 \text{ МПа}$.

При отсутствии подогрева в полости плотины вертикальные нормальные напряжения σ_y почти во всём профиле плотины сжимающие. Растяжение до $0,16 \text{ МПа}$ появляется на низовой грани выше отметки $512,0 \text{ м}$, далее до $0,4 \text{ МПа}$ на гребне и до $0,46 \text{ МПа}$ на верховой грани выше отметки $571,0 \text{ м}$, т.е. в массивном оголовке. Глубина зоны растяжения со стороны верхнего бьефа не превышает $0,13b$ (где b — ширина расчётного сечения), т.е. находит-

² Верховой оголовок и часть контрфорса, примыкающая к нему, находятся под воздействием положительных температур: от $4,0 \text{ }^\circ\text{C}$ на верховой грани до $0,6 \dots 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ со стороны межсекционной полости. Большая часть контрфорса охлаждена до отрицательных температур в интервале от $-0 \text{ }^\circ\text{C}$ вблизи верхового оголовка до $-5,9 \text{ }^\circ\text{C}$ у низового перекрытия. Температура в низовом оголовке изменяется от $-17,6 \text{ }^\circ\text{C}$ на поверхности со стороны нижнего бьефа до $-7,8 \text{ }^\circ\text{C}$ со стороны полости. Устройство обогрева позволяет обеспечить положительные температуры в пределах верхового оголовка и контрфорса. В марте при интенсивном и продолжительном обогреве средняя температура по оси контрфорса составляет $+9,5 \text{ }^\circ\text{C}$, по поверхности межсекционного шва — $+13,9 \text{ }^\circ\text{C}$.

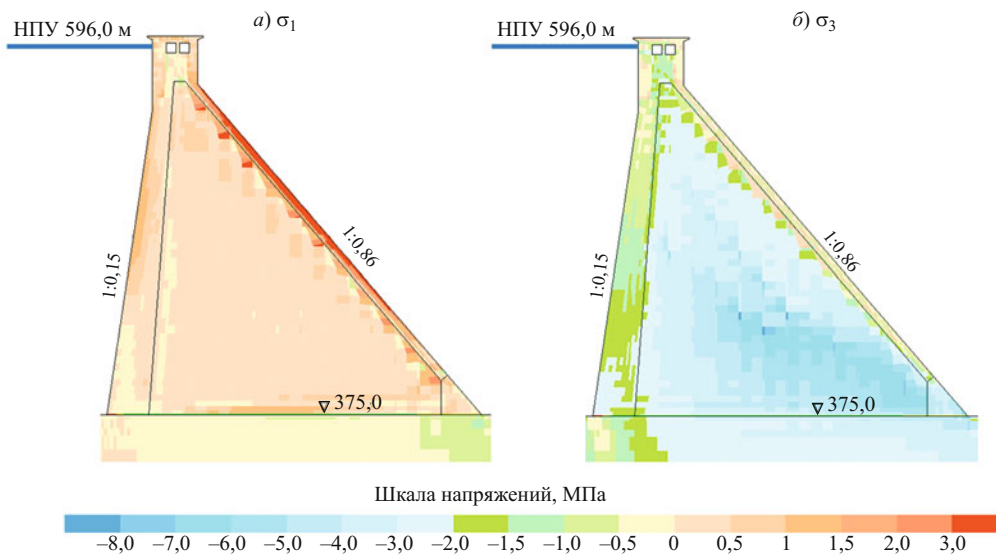


Рис. 5. Распределение главных напряжений по оси контрфорса в марте

ся в допустимых пределах. Ниже отметки 571,0 м по напорной грани напряжения сжимающие, следовательно, прочность горизонтальных сечений плотины обеспечена.

В прискальном бетоне напряжения σ_y сжимающие. В средней части контрфорса напряжения σ_y в сечении по оси контрфорса заметно ниже ($-3,17$ МПа), чем в сечении по грани контрфорса, где сжатие достигает $-5,85$ МПа. У напорной и низовой граней плотины напряжения для рассмотренных сечений близки по величине.

Интенсивный обогрев полостей существенно ухудшает напряженное состояние тела плотины. Появляется растяжение на напорной грани выше отметки 432,5 м, что недопустимо по условиям прочности. Чем интенсивней разогрев, тем выше значения напряжений σ_y и глубина их распространения. При максимальном разогреве растяжение превышает 1,3 МПа. Появляются растягивающие напряжения σ_y до 2,27 МПа и на низовой грани плотины выше отметки 412,0 м. В сечении по грани контрфорса в средней части профиля заметно увеличивается сжатие: до $-5,47$ МПа на отметке 432,5 м до $-6,39$ МПа в прискальном бетоне на отметке 375,0 м.

В основании на всём протяжении подошвы плотины напряжения σ_y в основании сжимающие и их величина не превосходит $-(2,9...3,5)$ МПа.

Касательные напряжения σ_{xy} в большей части профиля не превышают 3,0 МПа. В основании уровень касательных напряжений несколько ниже — до 2,0 МПа.

Растягивающие напряжения σ_1 существенны, только в вариантах с подогревом в полости и не превышают 1,31 МПа на напорной грани и 3,6 МПа на низовой грани (рис. 5, а). В основании напряже-

ния σ_1 сжимающие за исключением локальной зоны разуплотнения под верховой гранью плотины, которая распространилась в сторону нижнего бьефа на 13,8 м, при отсутствии подогрева (при этом контакт раскрыт на длине 2,2 м при раскрытии 3,1 мм). Раскрытие контактного шва по длине не превышает значения, полученного при действии статических нагрузок.

Дополнительный обогрев приводит к увеличению зоны разуплотнения до 18,4 м и раскрытию контактного шва на длину 6 м при раскрытии 5,2 мм — при максимальном разогреве.

Максимальные сжимающие напряжения σ_3 в большей части профиля плотины не превосходят $-7,0$ МПа. Достигают максимального значения $-8,3$ МПа в прискальном бетоне в сечении по грани контрфорса у низового оголовка плотины и $-6,25$ МПа в сечении на отметке 432,5 м со стороны нижнего бьефа. Дополнительный обогрев увеличивает сжатие $\sigma_3 = -(8,49...9,5)$ МПа (рис. 5, б).

В основании максимальное сжатие не превышает $-5,3$ МПа.

На момент наибольшего разогрева бетона плотины (сентябрь) горизонтальные перемещения на гребне секции составили 9,5 см, вблизи подошвы перемещения — 5,6 см. Вертикальные перемещения — осадка подошвы секции плотины 6,9 см. С учетом обогрева смещения напорной грани несколько уменьшаются и составляют на гребне плотины 8,5 и 8,4 см соответственно, у подошвы — 5,3 и 5,2 см. Осадка не меняется и составляет 6,9 см.

В теле плотины, за исключением верхней части оголовка на отметке 580,0 м и выше, напряжения σ_x сжимающие. На напорной грани значения напряжений почти не изменились по сравнению с зимним периодом и со значениями, полученными от статических нагрузок. Влияние температуры прослежи-

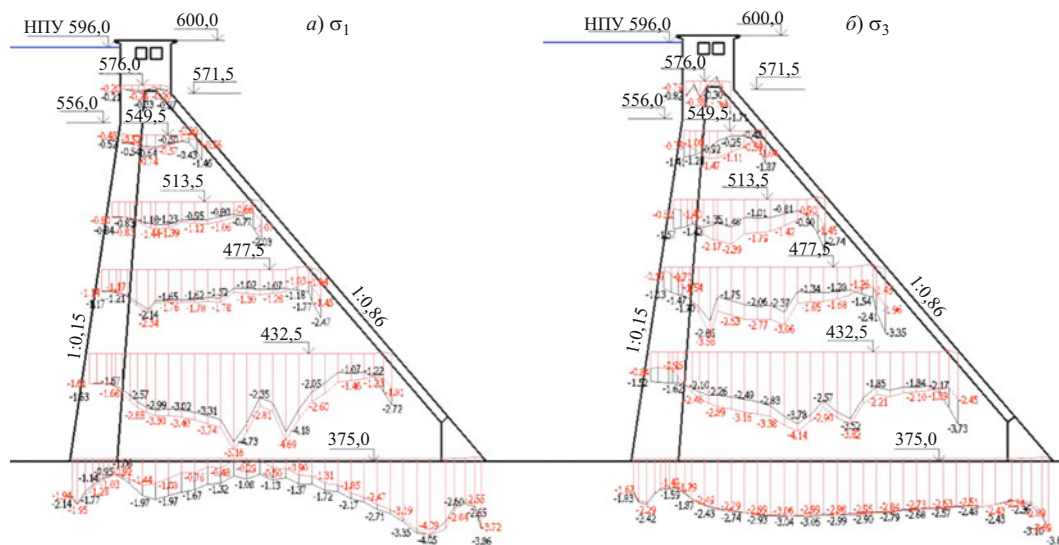


Рис. 6. Нормальные напряжения в плотине на момент наибольшего нагрева (сентябрь)

вается в некотором уменьшении сжатия в центральной части профиля по сравнению со статикой и в более заметном увеличении сжатия (на 1 МПа) на низовой грани. Влияние дополнительного обогрева полостей (рис. 6 а, б) в летний период проявляется не так существенно. Это сказывается на небольшом увеличении сжатия внутри профиля, снижении сжимающих напряжений на низовой грани за счёт выравнивания температурного перепада и снижения сжатия в прискальном бетоне в средней части профиля.

Вертикальные нормальные напряжения σ_y в плотине сжимающие (рис. 6, б). На напорной грани в диапазоне отметок 375,0 – 576,0 м сжатие составляет $\sigma_y = -(0,85...1,83)$ МПа, что соответствует условиям прочности горизонтальных сечений тела плотины с большим запасом. Вдоль низовой грани уровень сжимающих напряжений примерно в 1,5 раза выше, чем от статической нагрузки.

Дополнительный обогрев полостей зимой, не оказывая существенного влияния на характер распределения напряжений σ_y , влияет на величину напряжений. На напорной грани происходит заметное снижение сжатия, особенно выше отметки 432,5 м более чем вдвое. На низовой грани снижение несколько меньше и является, скорее, благоприятным фактором. В средней части профиля, наоборот, сжимающие напряжения увеличиваются.

Растягивающие напряжения σ_1 в плотине имеют только в локальных зонах около полостей на гребне плотины и не превышают 0,4 МПа. В основании, вне зоны разуплотнения, напряжения σ_1 сжимающие.

Максимальные сжимающие напряжения σ_3 в большей части профиля плотины не превосходят – 6,7 МПа и достигают максимальной величины – 8,0 МПа в прискальном бетоне (в сечении по гра-

ни контрфорса) со стороны нижнего бьефа. С учётом обогрева полостей максимальное сжатие в бетоне несколько выше — до – 8,4 МПа. В основании σ_3 не превышает – 5,9 МПа.

Зона разуплотнения под верховой гранью плотины распространилась в сторону нижнего бьефа на 10 м (при этом контакт раскрыт на длине 2,2 м при раскрытии 2,15 мм). Раскрытие контактного шва и глубина зоны разуплотнения не превышают значений, полученных при действии статических нагрузок. Учёт дополнительного обогрева не приводит к изменению этих величин, разве что раскрытие шва увеличилось до 2,5 мм.

Выполненные расчеты напряженно-деформированного состояния плотины, от действия основных статических нагрузок и температурного воздействия позволяют сделать следующие выводы:

1. При действии основных статических нагрузок напряженно-деформированное состояние плотины полностью соответствует критериям прочности, предъявляемым к бетонным контрфорсным плотинам (или плотинам с расширенными швами). В профиле плотины при учёте образования зоны разуплотнения в скальном основании растягивающих напряжений нет. Уровень вертикальных сжимающих напряжений σ_y по напорной грани выше регламентированного значения $0,25\gamma h$. Общий уровень сжимающих напряжений в плотине не превышает – 6,5 МПа.

2. При статических нагрузках в основании со стороны верхнего бьефа образуется зона разуплотнения скального основания, характерная для высоких плотин, с глубиной проникновения под подошву плотины на 10 м в сторону нижнего бьефа. Зона разуплотнения не пересекает ось цементационной завесы, и, следовательно, её разрыва не произойдёт. Имеется локальная зона раскрытия контактного

шва, но по длине она незначительна — примерно 2,2 м при раскрытии 2,15 мм.

3. Напряжённо-деформированное состояние плотины при учёте температурных воздействий соответствует критериям прочности, предъявляемым к бетонным контрфорсным плотинам при расчёте на полный состав нагрузок.

На напорной грани плотины, ниже отметки 571,0 м, напряжения сжимающие. В массивном оголовке в зимний период имеется зона растягивающих напряжений σ_y , но глубина растяжения не превышает допустимой величины. Максимальные сжимающие напряжения σ_z в большей части профиля плотины не превосходят $-7,0$ МПа и достигают максимального значения $-8,3$ МПа у низовой грани.

В основании глубина проникновения зоны разуплотнения под подошву плотины составляет 13,8 м в сторону нижнего бьефа в зимний период и 10 м летом. Раскрытие контактного шва составляет 2,2 м по длине при раскрытии 3,1 мм, т.е. не превышает значения, полученного при действии статических нагрузок. Уровень сжатия в основании под низовым клином плотины достигает $-5,9$ МПа.

4. Интенсивный продолжительный обогрев межсекционной полости при принятой температуре замыкания -7 °С является для плотины неблагоприятным фактором.

В бетоне контрфорса интенсивный обогрев приводит к увеличению сжимающих напряжений, а в оголовках — к уменьшению уровня сжатия или даже к появлению растягивающих напряжений. При обогреве (температура $+8$ °С и выше — до $+16$ °С) на напорной грани выше отметки 432,5 м появляются растягивающие напряжения σ_y (до 1,3 МПа при интенсивности обогрева $0,02$ ккал/($\text{м}^3 \cdot \text{ч}$)), что недопустимо по условиям

прочности. Существенно увеличиваются, за счёт увеличения температурного градиента, растягивающие напряжения на низовой грани — до 2,27 МПа (3,6 МПа — главные напряжения). Сжатие в плотине увеличивается до $-9,5$ МПа.

В зимний период эксплуатации зона разуплотнения в основании может увеличиться до 18,4 м и контактный шов раскрыться на длину 6 м при раскрытии 5,2 мм — при максимальном разогреве.

Расчеты показывают, что обогрев полости до $+4$ °С не вызовет растягивающих напряжений в верхнем оголовке. Можно рекомендовать применение обогрева для поддержания в полости постоянных положительных температур не выше $2 \dots 4$ °С.

Следует предусмотреть переменную температуру замоноличивания межстолбчатых швов. Швы у верхнего оголовка можно замоноличивать при $2 \dots 4$ °С, у низового оголовка — при -7 °С, а промежуточные — при температуре от 2 до -7 °С.

Список литературы

1. Орехов В. Г., Зерцалов М. Г. Механика разрушения инженерных сооружений и горных массивов. — М: АСВ, 1999.
2. Зерцалов М. Г., Толстиков В. В. Учет упругопластической работы бетонных плотин и скальных оснований в расчетах с использованием МКЭ // Гидротехническое строительство. 1988. № 8. С. 33 – 36.
3. Толстиков В. В. Моделирование работы швов и трещин в расчетах напряженно-деформированного состояния бетонных плотин // Вестник МГСУ. 2006. № 2. С. 123 – 132.
4. Рассказов Л. Н., Саинов М. П., Хоанг Минь Тхуан. О расчетах напряженно-деформированного состояния плотин с асфальтобетонным экраном в пространственной постановке // Вестник МГСУ. 2006. № 2. С. 133 – 139.
5. Саинов М. П. Возможность применения метода подконструкций к решению нелинейных задач о напряженно-деформированном состоянии плотин // Вестник МГСУ. 2010. № 4. Т. 2.

Поздравление Вячеславу Львовичу Станкевичу

15 января 2012 г. исполнилось 75 лет Вячеславу Львовичу Станкевичу, заместителю генерального директора ОАО “Ордена Трудового Красного Знамени Трест “Спецгидроэнергомонтаж”, известному специалисту в области монтажа гидроагрегатов ГЭС.

В. Л. Станкевич родился в 1937 г. в г. Кандалакше Мурманской области. В 1962 г. окончил гидротехнический факультет Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина и стал работать мастером в Управлении строительства здания Братской ГЭС. В 1964 г. В. Л. Станкевич перешел на работу во Всесоюзный трест “Спецгидроэнергомонтаж”, ныне ОАО “Ордена Трудового Красного Знамени Трест “Спецгидроэнергомонтаж” (ОАО “СГЭМ”), мастером, затем работал прорабом на монтаже гидроагрегатов Киевских ГЭС и ГАЭС, руководителем турбинного прорабства Волжского монтажного участка на строительстве Саратовской ГЭС. В 1968 – 1971 гг. был начальником участка по монтажу гидросилового, гидромеханического и грузоподъемного оборудования и строительным работам на советско-иранском строительстве гидроузла Аракс на пограничной р. Аракс в составе Советской и Иранской гидроэлектростанций. В 1971 – 1972 гг. работал главным инженером группы советских специалистов на строительстве ГЭС Тхак-Ба в Демократической Республике Вьетнам; в 1972 – 1978 гг. заместителем начальника, затем главным инженером Днепровского монтажного участка на Украине. Как главный инженер В. Л. Станкевич участвовал в строительстве и монтаже насосного и гидромеханического оборудования крупнейшей в Европе Главной насосной станции, Северо-Крымского канала, в строительстве насосных станций системы защиты Киева от подтопления водохранилищем Каневской ГЭС, в строительстве Лубенской газокompрессорной станции. С 1979 по 1980 г. был главным инженером, начальником управления “Пурнариэнергомонтаж” ВО “Загранэнергостроймонтаж” на монтаже гидроагрегатов ГЭС Пурнари в Греции. В 1980 г. В. Л. Станкевич стал начальником Днепровского монтажного управления треста, преобразованного в 1991 г. в ОАО “Днепр-СГЭМ”. Руководил монтажом гидроагрегатов Днепрогэс-2, Днестровской, Каневской ГЭС, гидроузла Костешты-Стынка, насосных агрегатов 1-й и строительством 2-й очереди канала Днепр — Донбасс, гидротехнических объектов Южно-Украинской, Крымской и Чернобыльской АЭС; капитального ремонта и реконструкции гидросилового и гидромеханического оборудования Днепровского каскада ГЭС.



С 1989 г. он заместитель управляющего Всесоюзного треста “Спецгидроэнергомонтаж”, а с 1992 г. (после акционирования треста) — заместитель генерального директора ОАО “СГЭМ”. Как директор по производству В. Л. Станкевич участвовал и руководил выполнением контрактных работ в Финляндии (ТЭЦ Наантали), в Эстонии (ТЭЦ Иру), в Греции (туннель Эвинос Морнос и плотина Агиос Димитриос), в Сирии (Евфратская ГЭС). Участвовал в работах по монтажу и вводу

в эксплуатацию гидроагрегатов Ирганайской, Зеленчукской, Аушигерской, Толмачевских гидроэлектростанций, в строительстве Комплекса защитных сооружений Ленинграда – Санкт-Петербурга от наводнений. В. Л. Станкевич внес большой вклад в организацию монтажа и ввода в эксплуатацию гидроагрегатов Ирганайской ГЭС (1998, 2001). Он работал вместе с выдающимися гидростроителями: Кузьменко Б. Т., Лащенковым С. Я., Конько В. В., Плотниковым В. М., Поташником С. И., Осадчуком В. А., Борисовым В. И., Лопатыным Н. А., Милютинным А. А. Его учителями были Ковалев Я. Я., Полушкин К. П., Лохматиков Г. П.

В. Л. Станкевич – участник ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, заслуженный строитель УССР (1984). Награжден орденом Трудового Красного Знамени (1973), медалями “За доблестный труд”, “В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина” (1970), “Ветеран труда” (1996), “В память 1500-летия Киева” (1984), золотыми медалями ВДНХ СССР (1983) и “Лауреат ВВЦ” (1997), орденом Труда (1971) и медалью “Дружба” (1972) Демократической Республики Вьетнам, медалью “Участнику ликвидации аварии на ЧАЭС” (1994). Ему присвоены звания “Отличник энергетики и электрификации СССР” (1977), “Почетный гидроэнергетик РАО “ЕЭС России” (2007), “Почетный монтажник треста “Спецгидроэнергомонтаж”. Он член Международной энергетической академии (МЭА), член Российского национального комитета Международной комиссии по большим плотинам (СИГБ), член наблюдательного совета Российской биографической энциклопедии “Великая Россия”, автор статей в журналах “Гидротехническое строительство” и “Гидротехника”.

Редколлегия и сотрудники журнала “Гидротехническое строительство”, коллеги и друзья сердечно поздравляют Вячеслава Львовича со знаменательной датой и желают ему крепкого здоровья, счастья и творческих успехов.

Строительство гидроаккумулирующего комплекса NANT DE DRANCE (Западная Швейцария)

Золотов Л. А., Лапин Г. Г., Лашенов С. Я., Шайтанов В. Я.

(члены делегации RusCOLD на 79-м ежегодном Собрании ICOLD)

Гидроаккумулирующая схема Nant de Drance pumped — storage scheme (ГАЭС) расположена в западной части Швейцарских Альп на границе с Францией и использует для производства электроэнергии существующее водохранилище Нижний Эмоссон объемом $220 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ при отметке уровня 1930,0 м и водохранилище Верхний Эмоссон объемом $12 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ при отметке 2205,0 м. Четыре обратимых гидроагрегата Френсиса мощностью 150 МВт каждый перебрасывают $240 \text{ м}^3/\text{с}$ воды между этими двумя резервуарами. Схема будет работать в насосном режиме ночью, когда энергосистема располагает излишками дешевой энергии, и в турбинном режиме днем, выдавая в систему энергию для покрытия пиковых нагрузок. Суммарный технический КПД гидроаккумулирующей схемы Nant de Drance превышает 80 % (рис. 1).

Федеральный Департамент по экологии, транспорту, энергетике и средствам связи утвердил концессию и выдал разрешение на строительство ГАЭС Nant de Drance в августе 2008 г., после чего начались работы по прокладке подъездных путей к намеченному створу сооружений. 7 ноября 2008 г. была образована компания по строительству ГАЭС “Nant de Drance” в составе: Швейцарская энергетическая компания “Alpig” (54 %), Швейцарские федеральные железные дороги (36 %) и региональная энергетическая компания “FMV” (10 %).

Отрицательное воздействие объекта на окружающую природную среду снижено путем разме-

щения сооружений ГАЭС под землей. На поверхности могут размещаться только карьеры заполнителей, которые после завершения строительства должны быть благоустроены до полного восстановления альпийского пейзажа. Поскольку каменный материал из подземных выработок будет использоваться в качестве заполнителя для бетона, запасы гравия в руслах близлежащих рек останутся нетронутыми, а доставка гравия из более отдаленных мест будет не столь значительной.

Компоновка и состав сооружений ГАЭС. Общая компоновка ГАЭС предусматривает строительство двух параллельных независимых туннелей, каждый из которых подводит воду к двум обратимым турбинам Френсиса мощностью 150 МВт каждая. В состав сооружений гидроаккумулирующей схемы входят:

- водозаборные (водовыпускные) сооружения в водохранилище Верхний Эмоссон;

- 230-метровый туннель, облицованный бетоном, диаметром 6,6 м;

- камера верхнего затвора, расположенная непосредственно у входа в вертикальную шахту. Поскольку расстояние между водоприемником и шахтой мало, устройство уравнильного резервуара не требуется;

- 441-метровая вертикальная шахта, облицованная бетоном, диаметром 6 м. Верхнее и нижнее колена шахты имеют металлическую облицовку;

- 50-метровая галерея диаметром 4,25 м с металлической облицовкой;

- камера верхнего затвора;

- два отвода с металлической облицовкой диаметром 3,2 м каждый;

- главная подземная выработка под машинный зал для всех четырех обратимых агрегатов размера $32 \times 52 \times 138 \text{ м}$ (ширина — высота — длина);

- две 40-метровые отводящие галереи с металлической облицовкой диаметром 3,7 м каждая;

- 126-метровый отводящий туннель диаметром 4,5 м с металлической облицовкой;

- 758-метровый отводящий туннель диаметром 6,6 м с бетонной облицовкой;

- камера нижнего затвора;

- 396-метровый отводящий туннель нижнего бьефа диаметром 6,6 м с бетонной облицовкой;

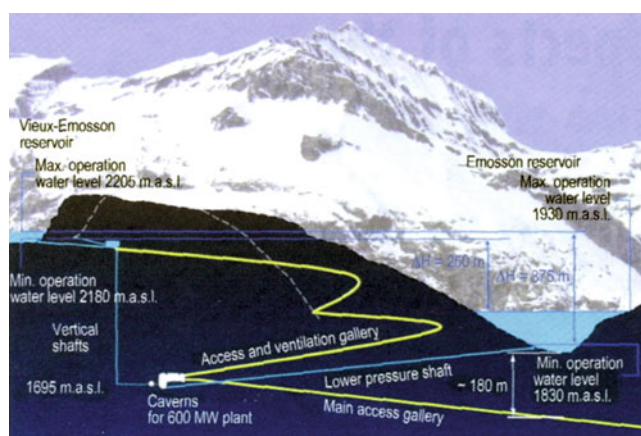


Рис. 1. Гидравлическая схема (голубые линии) и транспортные подходы туннели (желтые линии) ГАЭС

водовыпускные (водозаборные) сооружения в водохранилище Нижний Эмоссон.

Подводящие транспортные туннели. Для выполнения строительно-монтажных подземных работ, а также эксплуатации подземного здания ГАЭС проектом предусмотрено создание разветвленной сети эксплуатационных транспортных туннелей, среди которых:

5500-метровый главный подводящий транспортный туннель диаметром 9,4 м с уклоном 12 %, построенный с применением бурового проходческого комплекса ТВМ для твердых пород. Главный транспортный туннель начинается от входного портала на отметке 1118 м, доступного в течение всего года, и идет к подземному машинному залу на отметке 1709 м;

1745-метровый строительный туннель сечением 45 м² и уклоном 12 %, построенный бурением отдельных шпуров с последующими взрывами, соединяющий входной портал на отметке 1952 м (недоступный в зимний период) с верхом вертикальной шахты на отметке 2138 м;

228-метровый строительный туннель, построенный аналогичным способом (45 м³, градиент 12 %), идущий от того же входного портала на отметке 1952 м к низу вертикальной шахты на отметке 1697 м и к подземному машинному залу, соединяясь с главным транспортным туннелем.

Водозаборные (водовыпускные) сооружения нижнего бьефа. Строительные работы по созданию низовых водозаборных (водовыпускных) сооружений, расположенных в водохранилище Эмоссон на отметке 1812 м, могут производиться только в период опорожнения водохранилища, что обычно происходит в марте — мае каждого года. Для выполнения строительных работ в другое время года требуется искусственно снижать уровень воды в водохранилище до низких отметок, что приводит к существенному нарушению режимов работы водохранилища и соответственным финансовым потерям.

Владельцы водохранилища и разработчики проекта ГАЭС пришли к соглашению, что режимы эксплуатации водохранилища плотины Эмоссон должны оставаться неизменными даже в период строительства водоприемника — водовыпуска ГАЭС. В связи с этим все подготовительные работы, включая разработку скального основания водоприемника, были проведены в марте — мае, а строительство конструкции самого водоприемника — водовыпуска проводится на площадке, расположенной выше отметок, попадающих в зону затопления, по крайней мере, на время строительства водоприемника.

С учетом этих условий для строительства конструкции водоприемника выбрана площадка на отметке 1917 м, что на 13 м ниже нормального экс-



Рис. 2. Сборка проходческого бурового комплекса ТВМ диаметром 9,4 м для твердых скальных пород

плуатационного уровня водохранилища. На этой площадке конструкция водоприемника объемом 800 м³ бетона и размерами 22 м в длину и 11 м в высоту должна быть возведена на специальной платформе-понтоне в течение лета 2011 г.

После завершения строительства, с подъемом уровня воды в водохранилище до высоких отметок, платформа с конструкцией всплывает и буксируется по водохранилищу к месту установки. Временная платформа-кессон снабжена компрессором для поддержания необходимого давления воздуха в кессоне, она фиксируется на месте посадки конструкции водоприемника системой тросов и гидравлических домкратов. К концу 2011 г. конструкция водоприемника должна быть доставлена и установлена в проектное положение. Такая же процедура будет повторена летом 2012 г. при изготовлении и установке на постоянное место конструкции второго водоприемника.

Строительство транспортных туннелей, современное состояние. Сборка проходческого бурового комплекса ТВМ была выполнена в августе — декабре 2009 г. В то же время были пройдены обычным способом первые 120 м главного транспортного туннеля, которые использовались в дальнейшем как стартовая секция для работы комплекса (рис. 2).

В январе 2010 г. проходческий комплекс ТВМ начал проходку главного транспортного туннеля, к середине сентября 2010 г. было пройдено 1530 м туннеля. В дальнейшем темпы проходки заметно снизились, что было связано с дополнительными монтажными работами на отводящей породе от головной планшайбы системе и установкой погрузочного устройства на конвейере комплекса ТВМ.

Тогда же возникли некоторые осложняющие геологические проблемы, связанные с тем, что буровой комплекс ТВМ вплотную подошел к проблемной геологической зоне La Veudale, где граниты переходят в гнейсы. Это изменение формации скальных пород сопровождалось поступлением в

забой воды с расходом 60 л/с при давлении 30 бар. Поступление такого количества воды не представляло никаких проблем для работы комплекса ТВМ, однако дренаж ее был недопустим из-за опасения нарушить устойчивость арочной плотины Эмоссон, расположенной на расстоянии около 1 км от трассы туннеля. В результате в районе головной части комплекса ТВМ была проведена кольцевая укрепляющая инъекция, которая прекратила фильтрацию и позволила пройти нарушенный переходный участок комплексом ТВМ, но при значительном снижении скорости проходки.

Два других транспортных туннеля сечением по 45 м² проходились обычным способом “бурение — взрыв” с использованием буровых машин с гидравлическим приводом и фронтальных погрузчиков для уборки взорванной породы. Для окончательной зачистки пройденного туннеля использовался экскаватор, оборудованный гидравлическим устройством для разрушения породы.

Поскольку входной портал этих туннелей с отметкой 1952 м недоступен для производства работ в зимнее время, работы начались в апреле 2010 г. и были приостановлены в конце ноября 2010 г. В течение летнего периода транспортный туннель, идущий кверху вертикальной шахты, был пройден на 1465 м, а туннель, идущий к низу шахты, — на 1211 м.

Подземное машинное здание. Комплекс подземных выработок машинного здания включает выработки для машинного зала, помещения трансформаторов и двух подводящих водоводов, каждый из которых состоит на верховой стороне из 200-метровых напорных туннелей диаметром 6,6 м облицованных бетоном, подводящих воду к вертикальной бетонной шахте глубиной 450 м и диаметром 6 м, и 80-метрового напорного водовода диаметром 4,25 м с металлической облицовкой, разделяющегося на два подводящих патрубка диаметром 3,2 м каждый. Низовая часть водопроводящего тракта включает 1200-метровый облицованный бетоном отводящий туннель диаметром 6,6 м.

Машинный зал ГАЭС размером 32 × 52 × 138 м (ширина — высота — длина) располагается на глубине 585 м под поверхностью земли и по этим своим параметрам является одним из крупнейших в мире. Сложнейшей инженерной задачей является также сооружение двух вертикальных шахт глубиной 450 м с подъемом взорванной породы кверху шахты и дальнейшей ее перевозкой по транспортному туннелю.

В связи с геологическими проблемами, возникшими при проходке главного транспортного тунне-

ля, строительные работы по подземному зданию ГАЭС и водоподводящему тракту могут начаться лишь в конце 2011 г.

Монтаж основного гидросилового и электротехнического оборудования намечается на 2014 г. В этом случае пуск первых двух гидроагрегатов состоится в 2016 г. и двух оставшихся — в 2017 г.

Увеличение мощности ГАЭС Nant de Drance.

Наряду с выполнением текущей документации по строительству ГАЭС Nant de Drance проектировщики получили задание разработать в 2010 г. проектное предложение по увеличению установленной мощности ГАЭС на 50 %, т.е. до 900 МВт, включающее как конструктивные решения, так и экономическую оценку нового варианта. Рассматривалось два варианта увеличения мощности ГАЭС на 50 %:

увеличение количества агрегатов с четырех до шести с сохранением мощности агрегата 150 МВт и всех конструкций водоподводящего тракта;

сохранение количества подводящих водоводов с увеличением их диаметра и, соответственно, площади поперечного сечения.

При увеличении установленной мощности с 600 до 900 МВт расход воды между двумя водохранилищами верхнего и нижнего бьефов также должен возрасти с 240 до 360 м³/с. Однако водохранилище Верхний Эмоссон оказывается слишком маленьким для обеспечения водообмена до 360 м³/с; его объем должен быть увеличен в два раза — до 24 · 10⁶ м³, что может быть обеспечено подъемом уровня воды в нем до отметки 2225 м, т.е. на 20 м.

Построенная в 1952 – 1955 гг. гравитационно-арочная плотина Верхний Эмоссон имеет высоту 45 м и объем 62 000 м³ бетона. Ширина плотины по гребню равна всего 4 м, что делает невозможным нарастить существующий профиль на 20 м.

Расчеты показали, что следует удалить около 15000 м³ бетона существующей плотины и на оставшейся части плотины, как на фундаменте, возвести новую. После завершения плотина будет иметь окончательную высоту 77 м и общий объем бетона 97 000 м³.

При возможности производства работ только в летний период, с апреля по октябрь, реконструкция плотины может быть проведена с 2012 по 2015 г.

Проведенные проектные проработки показали техническую возможность и экономическую целесообразность повышения установленной мощности ГАЭС Nant de Drance с 600 до 900 МВт.

Ресурсосбережение в системах гидротехнической мелиорации

Картвелишвили Л. Н., доктор техн. наук,
Степанова Т. Г., кандидат техн. наук (ФГНУ ЦНТИ “Мелиоводинформ”)

Важнейшим фактором повышения эффективности мелиорации является широкое применение безотходных, малоотходных и ресурсосберегающих технологий. Ресурсосбережение связано с уменьшением затрат не только на производство сельскохозяйственной продукции, но и на переработку, транспортировку, заготовку, хранение и реализацию конечной продукции агропромышленного комплекса и оказание производственных услуг (организаций и предприятий, обслуживающих сельское хозяйство). Ресурсосбережение в системах гидротехнической мелиорации может касаться водных, земельных, материальных, энергетических, трудовых, финансовых ресурсов.

Укажем некоторые из технологий для каждого направления.

Водные ресурсы

Орошение аккумулированным ливневым стоком

Системы регулирования водного режима, обеспечивающие орошение аккумулированным ливневым стоком, представляют собой достаточно сложные структуры. Здесь нужны отводные сооружения, способные противостоять потоку и распределить ливневую воду по большим территориям, погасив ее размывающую энергию. Необходимы также тесное сотрудничество на местном уровне и согласие в вопросах распределения получаемых благ, которые непредсказуемы и непостоянны.

Такой способ орошения может способствовать преодолению бедности и помочь адаптироваться к изменениям климата в некоторых регионах Земли, однако финансируются соответствующие работы плохо.

При орошении аккумулированным ливневым стоком влага пребывает в профиле почвы и в водоносном слое, что гораздо дешевле, чем хранение воды в водоеме на поверхности. Даже если такое орошение значительно более “рискованно”, оно может способствовать обеспечению продовольственной безопасности, которая весьма важна в современном мире, где повышаются цены на продовольствие и сокращается поддержка неимущих.

В некоторых случаях орошение аккумулированным ливневым стоком является основой высокопроизводительных сельскохозяйственных систем. В качестве примера можно привести восточные низменности провинции Эритрея (Эфиопия), где

благодаря сложной системе регулирования влажности урожай сорго достиг 4 т с 1 га. Это значительно больше, чем в других местах, в которых выращивают данную культуру. Другой пример — Йемен, где совместное использование аккумулированного ливневого стока и подземных вод (пополненных за счет ливневого стока) помогает поддерживать сельское хозяйство страны. Точно так же береговые системы использования ливневого стока и подземных вод в Саудовской Аравии имеют в стране наибольшую эффективность в плане обеспечения водой.

Все это говорит о том, что орошение аккумулированным ливневым стоком является сложным, но вовсе не малоэффективным видом регулирования водных ресурсов.

Водосберегающие агротехнологии

Несколько лет назад в Китае стартовал проект исследований современных водосберегающих аграрных технологий и освоения новой продукции, предложенный Министерством науки и техники совместно с Министерствами водного и сельского хозяйства. Программа включает 55 тем, определенных в соответствии с тенденцией развития современного водосберегающего агропроизводства и требованиями ключевых технологий. В реализации проекта приняли участие 282 научно-исследовательских института и высокотехнологичных предприятия, уже созданы современные базы водосберегающего сельского хозяйства, на которых используются новейшие оросительные технологии, благодаря чему снижается потеря воды на полях и в оросительных каналах, повышается коэффициент повторного пользования утилизированных вод, растет отдача сельскохозяйственного производства в целом. Разработан ряд водосберегающих технологий и оборудования, отличающихся высокой эффективностью, низкими энергозатратами и экологической безопасностью. Рекомендованы технические модели развития водосберегающего агропроизводства с учетом природных условий в различных регионах. В Китае в сельском хозяйстве при 45 % полезного орошения ежегодно расходуется 390 млрд. м³ воды (70 % общего потребления страны). Это значит, что имеется большой потенциал развития водосберегающих технологий в сельском хозяйстве. Целевые установки государства в области водосберегающего сельского хозяйства предусматривают довести в 2030 г. коэффициент

полезного орошения до 55 % при сохранении прежнего уровня расхода воды.

В последние годы в Китае проведена огромная работа по созданию показательных водосберегающих сельхозобъектов, построены показательные зоны водосберегающих агротехнологий государственного значения, показательные технопарки освоения водосберегающих высоких технологий, показательные высокоурожайные участки с применением водосберегающих агротехнологий и т.п. В сравнительно больших бассейнах орошения проведено комплексное строительство и осуществлена техническая реконструкция с упором на сбережение воды, выработаны модели развития водосберегающего сельскохозяйственного производства и разработан комплекс технических рекомендаций с учетом конкретной ситуации в районах. По инициативе правительства широко внедряются водосберегающие сельхозтехнологии: уменьшение водопроницаемости дна оросительных каналов, низконапорная трубопроводная система подачи воды и капельная система орошения. Одновременно применяются различные влагосохраняющие технологии: покрытие соломой или пленкой, влагосохраняющие препараты и др. Интенсивно выращиваются засухоустойчивые сорта сельскохозяйственных культур.

Водосбережение

На 60 % территории Израиля сельскохозяйственная деятельность возможна лишь при условии круглогодичного искусственного полива. Даже на севере и западе, где уровень осадков относительно велик, культуры нуждаются в поливе с апреля по октябрь. Правительство всячески поощряет тех, кто снижает затраты пресной воды, используя альтернативные источники: минерализованную воду, рециркуляцию дренажной воды, обессоленные бытовые стоки. Опреснению подвергается даже морская вода. И хотя это метод довольно затратный (цена “экзотической” воды вдвое выше родниковой), но в отдельных случаях и он оправдан.

В структуре правительственной поддержки аграрного сектора 40 % средств является “водными” дотациями. И фермеры сполна “отрабатывают” эти льготы! И не только те, кто имеют небольшие хозяйства, когда использованную воду из своих маленьких аквариумов не сливают в городской коллектор, а очищают, чтобы потом поливать ею цветы в оранжерее. Есть, например, большие чаны и даже искусственные озера с пресноводной рыбой, которой в Израиле не хватает, фермы, где выращивают лобстеров на экспорт. А неподалеку — теплицы, питаемые за счет рециркуляции воды.

Земельные ресурсы

Почвозащитные технологии

Первая монография о проблемах американского сельского хозяйства была написана Дж. Элиотом из Киллингсуорта (штат Коннектикут). В 1748 г. Элиот опубликовал первый из серии своих очерков, завершившихся написанием книги. Среди его рекомендаций фермерам были следующие:

болотистые земли должны быть дренированы для повышения их сельскохозяйственной ценности;

поскольку смыв почвы постоянно угрожает пахотным землям на склонах, необходима крайняя осторожность при обработке таких участков;

посев красного клевера будет способствовать увеличению мощности плодородного слоя почвы;

плодородие почвы можно восстановить с помощью навоза и растительных материалов.

В США особое значение имеет защита почв от эрозии.

Значительные территории подвержены эрозии также в Канаде, Индии, Китае, Южной Африке, Австралии, Казахстане.

Серьезной проблемой является засоление почв — избыточное скопление в ней растворенных или поглощенных солей, которые угнетают или губят сельскохозяйственные растения, снижают величину и качество урожая. В корнеобитаемый слой почвы соли могут поступать из засоленных грунтов и грунтовых вод при подтоплении земель, вместе с поливной водой и соленой пылью, которая образуется при развевании ветром солончаков или от разбрызгивания морской воды штормовыми ветрами. Засоление почв — бич орошаемых ландшафтов в условиях аридного климата с длительным сухим сезоном. В мире подвержено засолению до 40 % орошаемых земель. Выделяются здесь, например, Пакистан, Индия. Известно, что даже при слабом засолении почв урожайность культур резко снижается (хлопчатника — на 50 – 60 %, ячменя — на 30 – 40 %, кукурузы — на 40 – 50 %, пшеницы — на 50 – 60 %), а при более сильном засолении некоторые культуры (например, пшеница) могут погибнуть совсем. Для предотвращения или уменьшения засоления необходимы правильная организация севооборотов, правильная обработка почвы для поддержания ее комковато-зернистой структуры (заключающаяся в глубокой вспашке и своевременном послеполивном рыхлении междурядий), правильное назначение режимов орошения.

В Индии веками использовался следующий подход: как только грунтовые воды на орошаемом массиве поднимаются до глубины 10 м, площадь орошения сокращается вдвое, при глубине грунтовых вод 2,5 – 3 м орошение прекращается; для про-

ведения промывок почв площадь выводится из орошения.

Эффективным средством удаления из почвы водорастворимых солей являются мелиоративные мероприятия — устройство дренажных сетей на фоне промывок почв. Бездренажное орошение следует осуществлять лишь в районах с хорошей естественной дренированностью. В остальных случаях необходим дренаж.

Практикуется также повышение солеустойчивости растений (хлопчатника, пшеницы, проса, сахарной свеклы, подсолнечника и др.). Находят применение приемы магнитной активизации воды для полива и промывки засоленных почв.

Использование комплексных мелиораций

Высокий уровень сельскохозяйственного производства — необходимое, но недостаточное условие прекращения эрозионных процессов; в ряде случаев требуются специальные меры. По своим целям, задачам и методам осуществления мероприятия по охране почв условно делятся на агротехнические, агролесомелиоративные, гидротехнические и организационно-хозяйственные.

Главными принципами противозерозионных и противодефляционных мероприятий являются:

экономическая целесообразность;

комплексность (предполагает увязку мероприятий, направленных на предупреждение разных видов эрозии — при дождях, снеготаянии, орошении, а также ветровой эрозии; кроме того, задачи предупреждения эрозии почв должны решаться в комплексе с другими задачами землеустройства);

зональность (т.е. необходимость полного учета местных условий);

необходимость охвата почвозащитными мероприятиями всей территории водосбора или района проявления дефляции;

стадийность (проектирование от общего к частному).

Материальные ресурсы

Точное внесение удобрений

Технология дифференцированного внесения удобрений основана на трех принципах:

идентификация и агрохимическое картирование внутривидовых контуров почвенного плодородия;

расчет оптимальных доз удобрений в соответствии с агрохимической картограммой поля и требованиями культур севооборота;

поконтурное внесение расчетных доз удобрений специальными машинами в автоматизированном режиме их работы.

Принципиальное отличие технологии дифференцированного применения удобрений от традиционной, рассчитанной на внесение усредненных

для всего поля доз, состоит именно в поконтурной обработке полей. Данная технология имеет много преимуществ, но реализовать ее трудно. Преимущества этой технологии очевидны: она позволяет полнее учитывать потребности растений в питательных веществах (что сказывается на продуктивности культур), сократить потери питательных веществ из почвы, привести со временем к выравниванию плодородия почвы по всему полю. Реализация этих вопросов зависит от решения многих вопросов методического и технического характера.

При переходе на внесение удобрений с учетом пестроты плодородия почв в пределах каждого поля повышение урожайности достигается не за счет дополнительного количества удобрений, а за счет более эффективного их использования. Стратегическая задача здесь ставится по-новому: не выравнивать урожай по всему полю, а максимально использовать наиболее “сильные” участки.

Применение новых материалов

Полимеры — высокомолекулярные (имеющие высокий молекулярный вес) соединения, макромолекулы которых состоят из большого числа повторяющихся звеньев. Эти элементы можно получить из молекул простого вещества — мономера, например из газов — этилена, пропилена (путем перестройки их химической структуры, в результате чего у них возникают ненасыщенные валентные связи, т.е. появляется способность соединяться с другими такими же перестроенными молекулами). В строительных конструкциях к полимеру в процессе изготовления добавляют инертные вещества — наполнители, например измельченные горные породы, древесину, увеличивающие его прочность и жесткость, уменьшающие усадку. Полимер в сочетании с наполнителем образует *пластмассу* (пластик). Наполнитель может быть в виде шпона, тканей, нитей. Иногда их называют армирующими материалами, а пластмассу — армированным пластиком (армированным полимером).

Сегодня можно не убеждать проектировщика, строителя или монтажника в преимуществах использования пластмассовых трубопроводов. Они успели зарекомендовать себя с самой лучшей стороны, что отражено и в нормативных документах. Пластмассовые трубопроводы нашли широкое применение во многих отраслях агропромышленного назначения и в первую очередь в мелиорации и сельскохозяйственном водоснабжении.

Эффективность использования пластмассовых труб в отраслях агропромышленного комплекса обусловлена рядом ценных свойств, отличающих такие трубы от других, в частности от металлических. Прежде всего это высокая стойкость к воздей-

ствию среды, обеспечивающая возможность длительной эксплуатации трубопроводов. Внутренняя поверхность пластмассовых труб отличается гладкостью, благодаря чему для них, по сравнению с металлическими трубами такого же диаметра, существенно снижаются гидравлические сопротивления при движении жидкости и, следовательно, увеличивается пропускная способность (которая к тому же у пластмассовых труб долго остается почти неизменной). Проложенные в земле пластмассовые трубопроводы не нуждаются в защите от блуждающих токов. Монтаж трубопроводов из пластмассовых труб более прост: такие трубы в 5–10 раз легче равных им по размеру металлических, легко режутся, гнутся и поддаются сварке или склеиванию. В большинстве случаев затраты на сооружение и эксплуатацию трубопроводных систем из пластмассовых труб значительно меньше. Благодаря использованию пластмассовых труб существенно облегчается труд людей, связанных с производством сельскохозяйственных продуктов и благоустройством сельских населенных пунктов.

Пластмассовые трубы можно разделить по следующим характерным признакам:

- по полимерному материалу, которым определяются свойства трубопроводов и оптимальные условия эксплуатации;

- по способу производства;

- по номинальному внутреннему давлению (PN, Pressure Nominal), минимальной длительной прочности (MRS, Minimum Required Strength), номинальной жесткости (SN, Stiffness Nominal);

- по конструкции труб (с гладкой или гофрированной стенкой, однослойные, многослойные, армированные, из разнородных материалов, с гладким или раструбным концом).

При использовании пластмассовых труб следует учитывать назначение трубопровода, срок его службы, вид и рабочие параметры транспортируемой среды (давление и температуру) вещества, а также способ прокладки.

Энергетические ресурсы

Комплексная механизация, энергоснабжение

Особенностью американского фермерства является его превосходная машино- и энерговооруженность. Наличие в стране хорошо развитого сельскохозяйственного машиностроения стало одним из основополагающих условий широкого и быстрого распространения индустриальных технологий в растениеводстве.

Современное развитие средств механизации в значительной мере связано с совершенствованием технологии. Новые приемы позволяют не просто сократить количество выполняемых операций, но и

упростить их, что сразу оборачивается экономией топливных ресурсов.

Сегодня заметно проявляются две тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения. Первая обусловлена интересом к “точному” производству, вторая — продолжением разработок, связанных с почвозащитными технологиями.

В то же время и фермеры, и производители техники отмечают, что наряду с удобством и высокой производительностью техника нового поколения становится все дороже. Удорожание технических средств, необходимых для сельскохозяйственных работ, становится серьезным препятствием для их применения в средних и мелких хозяйствах.

Экономическая эффективность средств гидроавтоматики

При механизации водоподъема обычно рассматривают вопросы о выборе типа водоподъемника и источника энергии для привода. Наиболее широко применяют в водоснабжении различного типа насосы с электроприводом, но это не всегда оправдано экономически. В ряде случаев для подъема воды предпочтительным является применение возобновляющихся источников энергии.

Компактные, автономные водоподъемные устройства, использующие вместо электрической энергии гидравлическую, позволяют частично решить проблему водоснабжения хотя бы для нужд орошения. Особенно актуально это для садоводческих и огородно-садоводческих кооперативов, крестьянских хозяйств и т.п. Подходящими для этих целей являются, например, объемные насосы и гидротараны.

Трудовые и финансовые ресурсы

Тактика выращивания сельскохозяйственных культур

Главным достижением сельского хозяйства США к началу XXI в. следует считать обеспечение продовольственной безопасности страны и активное участие во внешней торговле сельскохозяйственными товарами. Американские фермеры многие годы придерживаются особой тактики в зерновом производстве, которая позволяет им сохранять передовые позиции в мире, обеспечивать практически гарантированный сбор зерна и значительную доходность этой отрасли. Суть ее в том, что высокоурожайная кукуруза выращивается в зонах, оптимальных для нее по природно-климатическим условиям, по индустриальной технологии, предусматривающей использование значительных доз удобрений, эффективных средств защиты растений, высококачественных гибридных семян и передовой агротехники. Это позволяет постоянно поддерживать и наращивать урожайность, повышать

производительность труда и экономическую выгоду от выращивания ценнейшего фуражного зерна.

Совсем иная тактика применяется в отношении второй по значимости для США зерновой культуры — пшеницы. Она выращивается на площадях, сопоставимых по размеру с кукурузными, но расположенных в значительно более засушливых зонах. Пшеница, относящаяся к иному, чем кукуруза, биологическому типу зерновых, в скудных условиях увлажнения дает меньшую урожайность, но и затраты на дорогостоящие удобрения, пестициды, орошение и другие компоненты технологии тут минимальны. Урожайность пшеницы в стране некоторые годы вдвое ниже урожайности кукурузы. Однако по норме прибыли пшеница лишь незначительно уступает кукурузе в США и подобному зерну в других странах.

Многие десятилетия повышенное внимание уделяется производству сена, поскольку *в США земледелие всегда было ориентировано на создание прочной кормовой базы для животноводства*. Важнейшее место здесь занимает также соя — масличная культура, дающая в качестве побочного продукта переработки на масло высокобелковый шрот. Сочетание его в кормовых рационах с энергетически ценной кукурузой позволяет не только готовить полноценный корм для животных, но и экономить зерно. По стоимости производимой и реализуемой продукции соевые бобы занимают второе после кукурузы место. Американские фермеры — абсолютные лидеры в их производстве. Успехи в животноводстве стран Западной Европы в первую очередь зависят от ввозимых из США соевых бобов.

Следует также отметить, что более 70 % посевов картофеля сосредоточено в семи северных штатах страны. На площади несколько большей 0,5 млн. га за счет четкого районирования и применения индустриальной технологии урожайность в последние десятилетия выросла более чем в 1,5 раза.

Научное и информационное обеспечение

Еще в конце 1980-х гг. на фермерских полях Америки появились трактора и комбайны со спутниковыми антеннами. Эти машины были снабжены оборудованием, фиксирующим различные характеристики почв, урожайность, некоторые другие показатели. Так, к передовым американским фермерам пришла новая технология, которая сегодня условно называется высокотехнологичным земледелием (ВТЗ). ВТЗ оказалось совершенно новым подходом к рациональному использованию больших земельных участков, точнее, крупных полей фермеров.

Создание крупных ферм, растущая необходимость в мощных тракторах и оборудовании для обработки земли, внесение больших доз удобрений и пестицидов потребовали более серьезной оценки

качества почв и урожайности полей не в целом, а на каждом отдельном участке. Борьба за снижение издержек производства вынуждала фермеров применять более совершенные способы “работы с землей”. Они понимали, что применению высокопроизводительных, но дорогостоящих машин, ценного семенного материала и химикатов должны предшествовать тщательный расчет и точная оценка возможных последствий. Что задача заключается не только в получении высокого урожая, но и в сокращении издержек до уровня, гарантирующего прибыль.

Основная цель ВТЗ — обеспечить наиболее эффективное сочетание ресурсов и технологий на определенном поле для получения максимального урожая. Подразумевается, что в целом издержки будут значительными, но в расчете на единицу полученной продукции — минимальными. Поэтому американские специалисты и используют для ВТЗ такие названия, как “земледелие для определенного участка земли”, “точное сельское хозяйство” и даже “рецептурное земледелие”.

Система ВТЗ включает несколько основных элементов, каждый из которых выполняет особые функции:

1. Система глобального определения координат, или СГОК (которую часто называют системой глобального позиционирования — Global Positioning System, GPS) используется для того, чтобы определить точные координаты места на поверхности Земли, где находятся участок земли, трактор, комбайн или другое оборудование. Обеспечивают функционирование СГОК 24 спутника Министерства обороны США. Каждый спутник оборудован точными часами, полностью синхронизированными с часами остальных спутников.

Техника, находящаяся на земле, оборудуется специальными приемниками, которые получают сигналы от спутников. Для определения ее точного местонахождения используется метод триангуляции. Важное значение придается ликвидации или нейтрализации помех сигналу, идущему от спутника.

Это достаточно сложная система, созданная и применяемая главным образом в военных целях. Поскольку значительная часть сельскохозяйственных земель США находится за пределами действия этой системы, то применяются и другие схемы.

2. Географическая информационная система (ГИС) предназначена для обработки информации, необходимой для использования в сельском хозяйстве. Она выдается в форме карт, которые, например, могут показывать точные координаты полей, мест, где растут сорняки или находятся участки переувлажненной почвы. В некоторых случаях ГИС готовит информацию, учитывающую календарь полевых или уборочных работ и данные по урожай-

ности прошлых лет. Создано специальное программное обеспечение, использующее базу данных ГИС. Эти программы существенно различаются по цене и своим возможностям. Наиболее простые используют простейшие карты, куда наносится только информация об урожайности и данные почвенного анализа. Такой информации часто вполне достаточно для фермера, который хорошо знает состояние своих полей и имеет четкую программу производства. Получив дополнительные ценные показатели, опытный фермер способен сам наметить стратегию действий для данного поля.

Более сложные и соответственно более дорогие программы ГИС позволяют создать целый набор карт с различными типами информации. Помимо урожайности и почвенного анализа, это и зараженность посевов, и особенности севооборота, и расход семян, и характеристики почвы. С помощью таких карт фермер может сформировать полноценную технологическую карту для любого участка земли и для любой культуры.

3. Специальное оборудование, которое используется для ВТЗ, может быть как своим, так и арендованным у специализированных компаний. В начальный период освоения этой технологии главное внимание уделялось машинам, способным вносить различные компоненты в необходимых дозах в точном соответствии с агротехникой, заложенной в технологической карте. (Компьютер, который находится в тракторе, использует технологическую карту ГИС и систему координат СГОК для того, чтобы “синхронизировать” оборудование, предназначенное для внесения необходимых компонентов, с данными карты. Система управления электрическим и гидравлическим оборудованием в нужные моменты выдает команды для внесения тех или иных компонентов в заранее определенном необходимом количестве.).

Важное требование, предъявляемое к оборудованию, — способность быстрой смены доз или порций необходимых компонентов в зависимости от расположения участков поля или его отдельных характеристик. Например, дозировка внесения гербицидов должна меняться в зависимости от количества сорняков. Соответственно стоимость оборудования растет, и это становится препятствием для его использования мелкими и средними хозяйствами.

4. Важнейшим элементом ВТЗ являются карты урожайности. Они используются в качестве источника информации об урожайности культур на определенных участках поля (или полей) в разные годы. С помощью таких карт выявляются участки поля с относительно низкой урожайностью и определяются ее основные причины (неблагоприятный тип почвы, плохой дренаж, засоренность или заражен-

ность посевов вредителями, недостаточное количество удобрений и т.п.).

По мнению американских исследователей, сегодня нет такого одного решающего фактора, который бы радикально влиял на урожайность. Есть целый перечень факторов, каждый из которых играет значительную роль при определенных условиях. К ним относятся уровень применения пестицидов и их влияние на растения, сорт семян и агротехника, дренажная система и методы обработки почвы, топография региона, севооборот и многое другое.

В некоторых случаях фермеры могут уже по картам урожайности определить важность отдельных факторов. Однако часто требуются данные за многие годы, чтобы понять, какие изменения в технологии выращивания культуры будут способствовать повышению урожайности на различных участках данного поля.

5. Разумеется, даже наличие точных и “умных” машин и оборудования никак не способно заменить фермера, но в таких условиях ему чаще всего требуется и соответствующая система обслуживания. Некоторые фермеры самостоятельно осуществляют все операции в рамках технологии ВТЗ, но большинство пользуются услугами специализированных компаний и консультантов.

Применение ВТЗ дает хорошие результаты только тогда, когда указанные элементы используются совместно, т.е. когда применяется интегральный подход. При этом, как показывает практика внедрения ВТЗ, каждый фермер проходит здесь три этапа. Первый этап включает сбор информации о выращивании культур на полях фермы за длительный (по возможности) промежуток времени. Второй этап заключается в выборе культуры и технологии выращивания. На третьем этапе информация о стратегии в растениеводстве рассматривается в контексте финансового плана бизнеса на данной ферме. Предварительно делается расчет необходимых ресурсов, составляются карты доходов и расходов для каждого участка и сводный баланс. Все это требует от фермера, внедряющего ВТЗ, не только знаний и опыта, но и большого терпения (как считают эксперты, не большего, чем при внедрении других приемов).

Американские фермеры и специалисты поддерживают внедрение СГОК (GPS), поскольку эта система помогает не только получить высокий урожай и высокую прибыль, но и снизить отрицательное воздействие сельского хозяйства на окружающую среду. Однако, наверное, наиболее важным в новой технологии становится совсем новый подход “работы с землей”, когда фермеры осознанно используют различные факторы повышения эффективности производства и с высокой степенью уверенно-

сти прогнозируют не только урожайность, но и финансовый результат.

Выводы

1. Ресурсосбережение есть снижение материалоемкости единицы продукции, увеличение выхода конечной продукции, сокращение потерь в производственном процессе путем применения достижений новейшей техники и технологии.

2. В части водосбережения основные направления связаны сегодня с совершенствованием поливной техники, технологий полива и возделывания культур, улучшением структуры посевов, использованием возвратных и сточных вод промышленных предприятий, предотвращением фильтрации в каналах, использованием естественных осадков, организацией водоучета.

3. В части земельных ресурсов одним из главных направлений является предупреждение эрозии почв.

4. В отношении материалосбережения основной упор делается на применение новых материалов.

5. В отношении энергосбережения, трудовых и финансовых ресурсов основное внимание уделяется автоматизации, многоцелевому использованию техники.

Список литературы

1. *Воронцов А. П.* Ресурсосбережение в АПК: Учебное пособие. — М.: Юркнига, 2006.
2. *Гулюк Г. Г., Носовский В. С., Гусёнков Е. П.* Управление использованием водных ресурсов и мелиорация земель в Китае (по материалам XIX Конгресса по ирригации и дренажу

- в Пекине) // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 5. С. 64 – 68.
3. *Гудзон Н.* Охрана почв и борьба с эрозией: Пер. с англ. — М.: Колос, 1974.
4. *Оуэн О. С.* Охрана природных ресурсов: Пер. с англ. — М.: Колос, 1977.
5. *Григорьев В. Я., Краснов С. Ф., Кузнецов М. С.* и др. Прогнозирование и предупреждение эрозии почв при орошении. — М.: МГУ, 1992.
6. *Зайдельман Ф. Р.* Мелиорация почв. Изд. 3-е, испр. и доп. — М.: МГУ, 2003.
7. *Каптанов А. Н.* Защита почв от ветровой и водной эрозии. — М.: Россельхозиздат, 1974.
8. *Кузнецов М. С., Григорьев В. Я., Хан К. Ю.* Ирригационная эрозия почв и ее предупреждение при поливах дождеванием. — М.: Наука, 1990.
9. *Маслов Б. С.* Комплексная мелиорация: становление и развитие. — М.: Россельхозакадемия, 1998.
10. *Маслов Б. С., Минаев И. В.* Мелиорация и охрана природы. — М.: Россельхозиздат, 1985.
11. *Мирихулава Ц. Е.* Инженерные методы расчета и прогноза водной эрозии. — М.: Колос, 1970.
12. *Толчельников Ю. С.* Эрозия и дефляция почв. Способы борьбы с ними. — М.: Агропромиздат, 1990.
13. *Новиков Ю. В.* Экология, окружающая среда и человек. — М.: ФАИР-ПРЕСС, 2000.
14. *Ромейко В. С., Бухин В. Е.* и др. Виды пластмассовых труб, их классификация: Учебное пособие для слушателей семинаров. — М.: Учебный центр НПО “Стройполимер”, 2003.
15. *Черняков Б. А.* Американское фермерство: XXI век. — М.: Художественная литература, 2002.
16. *Ольгаренко Г. В., Городничев В. И.* Дождевальная техника нового поколения // Мелиорация и водное хозяйство. 2006. № 2. С. 34 – 36.
17. *Пыленок П. И.* Водооборотные мелиоративные системы в условиях субгумидной зоны // Мелиорация и водное хозяйство. 2004. № 5. С. 35 – 38.
18. *Щедрин В. Н., Бредихин Н. П., Тупикин Н. И.* Снижение удельной энергоёмкости единицы орошаемой площади среднеструйных дождевальных аппаратов // Вопросы мелиорации. 2002. № 2. С. 14 – 23.

Новости гидроэнергетики и гидротехники

Новосибирская ГЭС

В рамках программы комплексной модернизации Новосибирской ГЭС продолжаются работы по реконструкции гидроагрегата № 1 с заменой турбины. Контракт на изготовление основного энергетического оборудования для реконструкции Новосибирской ГЭС генеральный подрядчик ООО “Энергетический стандарт” и ОАО “Рус-Гидро” заключили в июне 2010 года. В соответствии с ним оборудование изготавливает ОАО “Турбоатом”. Оно будет полностью изготовлено в 2012 году. В ходе работ планируется заменить турбину ПЛ661-ВБ-800 мощностью 67 МВт на новую ПЛ30-В-800 мощностью 82 МВт. Помимо изготовления, специалисты ОАО “Турбоатом” окажут услуги по шеф-монтажу поставленного оборудования.

В настоящее время старая турбина полностью демонтирована, ведется монтаж камеры рабочего колеса и опорного кольца. Общий вес новой гидротурбины составляет 620 т.

Новое оборудование поступает из г. Харькова с июня 2011 г. Транспортировка гидротурбинного оборудования осуществляется по железной дороге и длится около месяца. Общая протяженность маршрута около 4000 км. На железнодорожной станции Новосибирск – Южный оборудование перегружается на специальный автотранспорт, который доставляет его на площадку Новосибирской ГЭС. Параллельно на производственных площадках завода ведутся работы по завершению изготовления новой гидротурбины, готовые узлы отгружаются по мере изготовления. Срок службы новой гидротурбины составит 40 лет. Будут улучшены ее энергетические и кавитационные характеристики в соответствии с современными требованиями по надежности и безопасности. Турбины будут оснащены более эффективной системой технологического управления. В соответствии с планом-графиком реконструкции Новосибирской ГЭС новую гидротурбину планируется ввести в эксплуатацию во 2-м квартале 2012 г.

В период с 2012 по 2019 гг. в соответствии с долгосрочной программой модернизации на станции будут заменены все 7 гидротурбин, что позволит увеличить установленную мощность Новосибирской ГЭС на 49 МВт. Объем финансовых средств, направленных ОАО “Рус-Гидро” на программы ремонтов, технического перевооружения и реконструкции Новосибирской ГЭС, увеличился почти в три раза. Мероприятия, направленные на увеличение надежности и технической безопасности действующих генерирующих объектов, являются приоритетными для компании. Требования по их выполнению закреплены отраслевой нормативно-правовой базой и стандартами организации, которые формируются с учетом оценки состояния активов.

Богучанская ГЭС

По итогам работы в 2011 г. гидротехнические сооружения Богучанской ГЭС достигли готовности к пуску первых гидроагрегатов. Каменно-набросная плотина (КНП), длина по гребню 1861 м, максимальная высота 77 м, на всем протяжении возведена до отметки 202 метра, а на отдельных участках – до отметок 206...208 м. Разборка насыпи в нижнем бьефе, отделявшей строительный котлован ГЭС от основного русла реки, была начата в сентябре и полностью завершена в ноябре 2011 г. Земельно-скальные работы, включающие подготовку песчано-гравийной смеси, укладку ее в КНП и разборку насыпи в нижнем бьефе ГЭС, выполнены в объеме 1,68 млн. м³. В 2012 г. предстоит выполнить земельно-скальные работы в объеме 47100 м³. Степень готовности КНП к началу наполнения водохранилища составляет 100%, к заполнению до проектной отметки 208 м – 99%. В асфальтобетонную диафрагму КНП уложено 12100 т смеси. По плану 2012 г. асфальтобетонному заводу предстоит изготовить еще 4500 т, что позволит завершить устройство асфальтобетонной диафрагмы и выполнить автомобильную дорогу по гребню плотины.

Бетонная плотина Богучанской ГЭС протяженностью 828 м и максимальной высотой 96 м полностью готова к наполнению водохранилища до промежуточной отметки 185 м. Двадцать четыре из 34-х секций бетонной плотины возведены до проектной отметки 214 м. Завершается монтаж и пуско-наладочные работы на гидроагрегатах №1 и 2, ведется подготовка к монтажу ротора гидроагрегата №3. Тепловой контур здания ГЭС выполнен на протяжении более чем 200 м, что позволяет вести работы на шести гидроагрегатах сразу при любых погодных условиях.

К октябрю 2011 г. завершено строительство служебно-производственного корпуса (СПК), в котором начат монтаж оборудования и внутренняя отделка помещений. Завершается монтаж автотрансформаторов и комплектных распределительных устройств с элегазовыми выключателями на 220 и 500 кВ, ведется монтаж оборудования открытого переключательного пункта. Тепловой контур СПК сформирован в ноябре, в декабре в здании был завершён монтаж электрокотельной, что позволяет подключать новые помещения по мере монтажа систем отопления. К декабрю 2011 г. возведены основные здания и сооружения пожарного депо.

Монолитный бетон и сборный железобетон уложены в здания и сооружения ГЭС в объеме 202000 м³. Остаточный объем работ на 2012 – 2013 гг. составляет 106000 м³. Цементация основания выполнена в объеме 13900 пог. м (99% от всего объема работ), дренажная загрузка – в объеме 8800 пог. м (64%).

В течение 2011 г. гидромеханическое оборудование и металлоконструкции были смонтированы в объеме 4184 т (88% от общего объема монтажных работ), гидро-

силовое оборудование – 5678 т (40%), крановое оборудование – 782 т (96%). На завершающем этапе строительства до выхода станции на полную мощность предстоит выполнить значительный объем работ. В 2012 – 2013 гг. должны быть смонтированы 3039 т гидромеханического оборудования и металлоконструкций, 14633 т гидросилового и 87 т кранового оборудования

В 2011 г. была завершена многолетняя транспортная операция по доставке тяжеловесных и крупногабаритных грузов. В сентябре завершающие поставку рабочие колеса и трансформаторы были доставлены на площадку временного хранения.

В соответствии с графиком проходят конкурсы по приему на работу эксплуатационного персонала станции. В настоящее время приняты 235 человек, что составляет более 75% от численности, необходимой для пуска первых трех агрегатов. Обучение руководителей и специалистов проводится в учебных центрах, центрах повышения квалификации, на заводах-изготовителях оборудования, а также на действующих гидроэлектростанциях ОАО “РусГидро”. Эксплуатационный персонал аттестован по правилам техники безопасности и технической эксплуатации, прошел стажировку и допущен к самостоятельной работе. Специалисты ремонтных подразделений, электротехнического и турбинного цехов привлечены к монтажу оборудования, которое они в будущем будут эксплуатировать.

В новом году работы возобновились уже 2 января 2012 г. В течение месяца в районе строительства установилась низкая температура воздуха (минус 25...40 °С). В течение четырех дней температура понижалась до минус 45 °С, из-за чего на 100 часов была полностью прекращена работа кранов.

Большая часть строительных работ, необходимых для пуска первой очереди, уже выполнена. В связи с этим укладка бетона в январе (на 24.01.12) выполнена в объеме 2700 м³, что намного меньше, чем в разгар строительства в 2010 – 2011 гг. Монтаж металлоконструкций и гидромеханического оборудования составил 370 т. Смонтировано 319 м² вентилируемых фасадов, переработано 12560 м³ песчано-гравийной смеси, предназначенной для последующей отсыпки в КНП.

В течение месяца продолжались строительные и отделочные работы на здании ГЭС. В частности, выполнялся монтаж стен трансформаторной камеры, устройство полов, покраска и утепление стен. На ГА №1 и 2 завершаются предпусковые работы, на ГА №3 заканчивается укладка верхних стержней, монтаж масляной ванны с подпятником. На монтажной площадке ведется сборка ротора ГА №3. На гидроагрегатах второй очереди (№№ 4, 5 и 6) продолжаются плановые работы, в том числе на ГА №6 выполнен монтаж корпуса статора, лопаток и рычагов направляющего аппарата, подшипников (направляющего, среднего и верхнего) и части деталей вала турбины.

В среднем в течение суток на работу выходило свыше 2800 работников ОАО “Богучанская ГЭС”, ЗАО “Организатор строительства” и подрядных организаций.

Усть-Среднеканская ГЭС

На строительстве Усть-Среднеканской ГЭС 7 июля 2011 г. был затоплен котлован бетонных сооружений, а 25 сентября осуществлено перекрытие русла р. Колымы. В настоящее время смонтирован ГА №1, выполнена большая часть работ по монтажу ГА №2. В марте 2011 г. на строительную площадку доставлены силовые трансформаторы, в сентябре завершены работы по проходке подхода и дренажного тоннелей. Выполнена насыпь в тело каменно-земляной плотины в объеме 1,429 млн. м³. В водосбросную плотину уложено 32,71 тыс. м³ бетона и железобетона, смонтировано 1,17 тыс. т гидромеханического оборудования и металлоконструкций. В станционную плотину уложено 8,4 тыс. м³ бетона и смонтировано 1,46 тыс. т оборудования. При разборке перемычек осуществлена выемка 401,3 тыс. м³ грунта.

Продолжались цементационные работы, пробурено 3170 пог. м скважин. Ведется строительство здания производственно-технического комплекса, а также ВЛ 220 кВ “ПС Оротукан – Усть-Среднеканская ГЭС”.

В соответствии с инвестиционной программой ОАО “РусГидро” ввод первого пускового комплекса ГЭС мощностью 169 МВт запланирован на IV квартал 2012 г. Пусковой комплекс включает в себя возведение гидротехнических сооружений до отметки 260,0 м (уровень нижнего бьефа 231...234 м, в зависимости от гидрологической обстановки на р. Колыма), и ввод в работу двух гидроагрегатов с временными рабочими колёсами.

ОАО “Институт Гидропроект”

Специалисты ОАО “Институт Гидропроект” успешно завершили работу над первым этапом исследований гидроэнергетического потенциала Северного Кавказа с разработкой схемы территориального планирования в части размещения объектов гидроэнергетики. Исследования проводятся в рамках программы НИОКР ОАО “РусГидро”.

Основная цель данной работы – обоснование рационального и экономически эффективного использования гидроэнергетических ресурсов региона, экономический среднегодовой гидропотенциал которого оценивается в 25 млрд. кВт · ч. К настоящему времени с учетом строящихся ГЭС на Северном Кавказе используется лишь 9,5 млрд. кВт · ч, что составляет около 38% гидроэнергетического потенциала.

Значительная доля неосвоенных гидроэнергетических ресурсов Северного Кавказа сосредоточена в бассейнах рек Терек, Кубань, Сулак и Самур. На сегодняшний день обоснованные перспективы их гидроэнергетического использования отсутствуют. Проработки прежних лет в значительной степени устарели, разработанные ранее схемы не согласованы между отдельными субъектами в части территориального распределения стока, природоохранных требований и других факторов. Вместе с тем регион является топливно- и энергодефицитным, что является основной предпосылкой к развитию гидроэнергетики в Северном Кавказе.

На сегодняшний день ОАО “Институт Гидропроект” подготовил схему бассейна реки Терек. В 2012 г. планируется разработать схемы бассейна рек Кубань, Сулак и

Самур, в 2013 г. – схему территориального планирования размещения объектов гидроэнергетики с созданием геоинформационной системы и 3D визуализацией основных сооружений перспективных гидроузлов. Полученные результаты будут использованы ОАО “РусГидро” для принятия инвестиционных решений по строительству ряда новых ГЭС на территории Северного Кавказа.

Зеленчукская ГЭС-ГАЭС

В январе 2012 г. заключен контракт на поставку насос-турбин для строящейся Зеленчукской ГЭС-ГАЭС. Производитель оборудования – ОАО “Турбоатом”, г. Харьков ко второму кварталу 2013 г. осуществит проектирование и изготовление двух радиально-осевых насос-турбин мощностью в турбинном режиме 71,5 МВт, в насосном – 76,5 МВт, с диаметром рабочего колеса 2,21 м. Новое турбинное оборудование должно быть установлено в уже смонтированных на станции закладных частях.

К настоящему времени заключены контракты на поставку синхронных трёхфазных генераторов-двигателей с тиристорными системами возбуждения, силовых трансформаторов, сооружение здания ГЭС-ГАЭС, водоводов нижнего бьефа, нижнего бассейна. Развернуты строительные-монтажные работы на напорно-станционном узле (монолитный железобетонный трубопровод, напорный тоннель, уравнильный резервуар) и нижнем бассейне.

Баксанская ГЭС

В 2011 г. выполнен значительный объем работ по реконструкции Баксанской ГЭС. На головном узле завершена реконструкция основных гидротехнических сооружений: аванкамеры с промывными галереями, трехкамерного отстойника, сороудерживающих сооружений, водобойных колодцев, затворов и трехрукавного сифонного водосброса. Закончено строительство верхних строений зданий канатных механизмов вальцевого затвора и шлюза-регулятора, монтаж оборудования подъемных механизмов донных (6 шт.), секционных (2 шт.) щитов и сегментных затворов (6 шт.). Полностью завершена реконструкция левого и правого вальцевого затвора с заменой закладных и порогов. Ведется монтаж гидромеханического оборудования сороудерживающего сооружения.

Полностью реконструирован деривационный канал, тоннели № 1, 2, 3 и акведуки № 1, 2, 3. Заканчиваются работы по устройству инспекторской дороги для обслуживания деривационного канала. На напорном узле завершены работы по монтажу водовода ГА №3, начат монтаж напорных водоводов для ГА №1 и 2. На здании водоприемника завершается укладка бетона и монтаж анкерных и промежуточных опор третьей нитки напорного трубопровода.

Смонтировано здание КРУЭ-110 кВ, в котором установлено современное, полностью автоматизированное элегазовое оборудование, ведется его наладка. Полностью готова трансформаторная площадка, установлены три силовых трансформатора мощностью по 16000 кВА, смонтированы трубопроводы и установлена емкость для аварийного слива масла. Проложены силовые кабели 110 кВ от силовых трансформаторов до КРУЭ, от КРУЭ до отходящих воздушных линий 110 кВ. Выполнена установка элегазовых концевых муфт 110 кВ в количестве 5 комплектов (15 шт.), 4 комплектов концевых муфт 110 кВ на ВЛ 110 кВ, ведется разделка кабелей и их подключение. Оборудование отходящих линий смонтировано полностью.

Завершены работы по строительству емкостей пожаротушения и здания насосной пожаротушения, монтаж насосов пожаротушения от пожарной емкости, установленной на станционном узле. Завершается монтаж трубопроводов системы водяного пожаротушения.

В здании ГЭС продолжаются работы по сооружению щитового отделения нижнего бьефа. Завершены работы по монтажу и демонтажу перекрытия генератора ГА №3. Установлена спиральная камера и колено отсасывающей трубы ГА № 1, 2, 3. Закончен монтаж пола турбинного помещения и машинного зала в зоне ячейки ГА №3. Завершен монтаж гидротурбины №3, ведется поузловая сборка генератора и гидросилового оборудования ГА №3.

Казахстан, Мойнакская ГЭС

В декабре 2011 г. был осуществлен пуск Мойнакской ГЭС на р. Чарын в Алмаатинской области Казахстана. Строительство станции было начато в 1985 г. и остановлено в 1992 г. при готовности около 10%. В 2005 г. строительство было возобновлено. Его финансирование в значительной степени осуществлялось за счет кредита Банка развития Китая.

Станция имеет установленную мощность 300 МВт и среднегодовую выработку 1,27 млрд. кВт·ч. Сооружения гидроузла включают в себя каменно-набросную плотину высотой 94 м, деривационный тоннель длиной 9 км, здание ГЭС и контррегулятор. Плотина создает регулирующее Бестюбинское водохранилище полным объемом 238 млн. м³ и полезным объемом 198 млн. м³ В здании ГЭС установлены два гидроагрегата мощностью по 150 МВт с ковшовыми турбинами, работающими при напоре около 500 м. Поставщик турбин - австрийская фирма Andritz, генераторов — Харбинский завод электромашин (Китай).

Строительство Мойнакской ГЭС рассматривается руководством страны как важная мера преодоления существующего в Южном Казахстане дефицита электроэнергии и высокоманевренных мощностей.

*Материалы предоставлены
пресс-службой ОАО “РусГидро”*

Итоги работы 24-й Молодежной научно-технической конференции и 36-го Общего собрания ассоциации “Гидропроект”

В соответствии с решением 35-го Общего собрания ассоциации “Гидропроект” и 39-го заседания Электроэнергетического совета СНГ 5 – 9 сентября 2011 г. в подмосковном пансионате Российской академии наук “Звенигородский” состоялась очередная, 24-я Молодежная научно-техническая конференция энергетиков стран СНГ под девизом “Инновации в энергетике”. В работе конференции приняли участие 261 человек, в том числе молодые специалисты 211 человек, а также ведущие ученые, инженеры, известные специалисты в области электроэнергетики из девяти Государств Содружества.

На заседании семи секций пяти профильных технических комитетов выступили с докладами 159 молодых специалистов по направлениям: инженерные изыскания в энергетическом строительстве, гидротехнические сооружения и гидроэлектростанции; технологическое оборудование объектов в энергетике, водохозяйственные и энергоэкономические проблемы, водохранилища и охрана окружающей среды; электрические станции и сетевое строительство. На пленарном заседании с основополагающими докладами в области электроэнергетики выступили: Е. С. Мишук — председатель Исполнительного комитета Электроэнергетического совета СНГ, Р. М. Хазиахметов — исполнительный директор по технической политике ОАО “РусГидро”, В. Д. Новоженин — директор по развитию технической политики ОАО “Институт Гидропроект”, Ю. Б. Мгалобелов — директор Центра научного обоснования проектов ОАО “Институт Гидропроект”. С приветствиями от энергетических компаний государств Содружества и краткими докладами выступили: от Совета ветеранов энергетиков России — Ю. И. Кириллов, от ГПО “Белэнерго” — В. В. Собко, от Казахстанской Электроэнергетической ассоциации — Ж. Е. Кумербаев, от ОАО “ИнтерРАО” — Н. В. Степанов, от Института энергетики Академии наук Республики Молдова — В. М. Постолайтий.

Эта научно-техническая конференция продемонстрировала высокий уровень профессиональной квалификации молодых инженеров-энергетиков, глубокое понимание инженерных проблем в области электроэнергетики и пути их решения. Дискуссии и обсуждения докладов, принципиальные выступления оппонентов и разъяснения докладчиков показали широту мышления молодых инженеров, их эрудицию, умение аргументированно защищать и отстаивать свои позиции, понимание современных экономических аспектов предлагае-

мых инженерных решений и эффективность их реализации.

Обмен научно-производственным опытом и общение молодежи, установление личных контактов имеют неограниченное значение для укрепления дружественных отношений между молодыми людьми различных республик, для понимания происходящих общественных процессов и важности взаимного обмена профессиональными знаниями. Молодежная научно-техническая конференция еще раз подтвердила важность и необходимость постоянного общения молодых энергетиков наших стран для лучшего понимания и укрепления дружественных отношений между нашими народами.

В период работы конференции был организован технический тур на Загорскую ГАЭС. Участники конференции были тепло приняты руководством Загорской ГАЭС. Они ознакомились с опытом эксплуатации Загорской ГАЭС-1 и опытом строительства Загорской ГАЭС-2.

Подводя итоги своей работы, 24-я Международная молодежная научно-техническая конференция приняла следующие решения:

1. Одобрить положительный опыт совместного проведения научно-технических конференций молодых энергетиков государств Содружества, считая это направление деятельности одним из важнейших мероприятий по пути консолидации научно-технического и интеллектуального потенциала молодых энергетиков государств Содружества.

2. Просить Электроэнергетический совет СНГ и его Исполнительный комитет совместно с организациями ассоциации “Гидропроект” продолжить практику проведения молодежных научно-технических конференций государств Содружества на регулярной основе, направленную на укрепление как научно-технических, гуманитарных, так и дружественных связей молодежи наших стран.

3. Принимая во внимание важность обмена опытом молодых специалистов государств Содружества в области электроэнергетики, способствующей повышению их профессиональной квалификации, обратиться через Электроэнергетический совет с просьбой к энергетическим организациям государств Содружества о выделении для проведения этих мероприятий необходимой спонсорской помощи.

4. Участники конференции выражают свою благодарность Исполнительному комитету ЭЭС СНГ и ассоциации “Гидропроект” за хорошую организацию и высокий уровень проведения конференции. Участники конференции выражают свою искреннюю благодарность ОАО “ФСК ЕЭС”, ОАО “Ин-

терРАО” и ОАО “РусГидро” за оказание спонсорской помощи для проведения конференции, что в значительной степени обеспечило успех ее организации и проведения.

Участники конференции выражают свою искреннюю благодарность коллективу пансионата “Звенигородский” и лично директору пансионата Подгайному Виктору Ивановичу и его заместителю Филоненко Татьяне Владимировне за блестящую организацию и создание доброжелательных и благоприятных условий для успешной работы конференции.

В период работы конференции было проведено 36-е Общее собрание ассоциации “Гидропроект”, на котором был заслушан доклад президента ассоциации “Гидропроект” В. Я. Шайтанова об итогах работы за предыдущий период. Участники собра-

ния обсудили состояние дел в ассоциации “Гидропроект”, доложили обстановку и состояние дел в своих организациях и приняли соответствующие решения. В качестве главной задачи на ближайшую перспективу было принято — своевременно и качественно обеспечивать проектной документацией строящиеся и находящиеся в стадии реконструкции объекты энергетики, обратив особое внимание на необходимость повышения уровня их надежности и безопасности. Значительное внимание было уделено вопросам инновации энергетики.

Следующее очередное Общее собрание ассоциации “Гидропроект”, приуроченное к 20-летию ее образования, намечено провести в феврале 2012 г.

*Шайтанов В. Я.,
президент ассоциации “Гидропроект”*

Сдано в набор 24.12.2011. Подписано в печать 15.02.2012. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Печ. л. 7,5. Цена свободная

Оригинал-макет выполнен в издательстве “Фолиум”
127238, Москва, Дмитровское ш. 58, тел/факс (495) 482-5590, 482-5544

Internet: <http://www.folium.ru>, **E-mail:** info@folium.ru

Отпечатано в типографии издательства “Фолиум”

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ СТАТЬИ

Статью в редакцию журнала “Гидротехническое строительство” можно направить по адресу: 109044, г. Москва, Воронцовский переулок, дом 2, стр. 1. ЗАО НТФ «Энергопрогресс» или по E-mail: gts1930@yandex.ru

Статья должна отвечать следующим требованиям.

1. Статью необходимо сопроводить письмом с указанием *сведений об авторах* (фамилия, имя и отчество полностью, место работы, ученая степень и должность, служебный и домашний адреса, номера домашнего и служебного телефонов), *краткой аннотацией*.

2. Принимаются к рассмотрению: статьи, напечатанные *на машинке* (на одной стороне листа через два интервала с полями 3 – 4 см), в двух экземплярах или один экземпляр распечатки статьи, набранной *на компьютере* (шрифт не менее 14 пт с полуторным межстрочным интервалом), плюс электронная версия статьи на диске (3,5" или CD) или по E-mail.

3. *Рисунки* представляются отдельно в двух экземплярах, их нельзя вклеивать в текст. В тексте (на полях) приводятся лишь ссылки на номера рисунков. Следует учитывать, что при печати рисунки уменьшаются, поэтому детали их не должны быть мелкими, однако размер каждого рисунка не должен превышать 200 × 290 мм.

Все *чертежи* выполняются в соответствии с действующими стандартами, аккуратно и четко. *Графики* должны быть выполнены в координатах в единицах измерения СИ (обязательных). Графики или кривые зависимости, если их на рисунке несколько, а также отдельные детали на чертежах, узлы и линии на схемах следует обозначать цифрами (позициями) или буквенными обозначениями. Сокращение слов не допускается.

Фотоснимки с четким контрастным изображением и хорошо проработанными деталями представляются в двух экземплярах, на одном из которых не должно быть никаких надписей и позиций.

4. *Формулы* должны быть четко написаны в отдельные строки (а не в текст). При этом прописные (большие) буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, а строчные (маленькие) – двумя черточками сверху. Греческие буквы обводятся красным карандашом, латинские – синим. Индексы пишутся ниже строки, показатели степени – выше. На полях рукописи делаются пометки, поясняющие, какие буквы являются русскими, какие – латинскими, делается разметка букв [на полях или рядом пишется слово “буква” О, З, Ч, I (латинская), П, Ш, У в отличие от цифр 0, 3, 4, I, II Ш, V] в типах оборудования и других случаях. Если формулы набраны на компьютере, но их элементы имеют двойное прочтение, они должны быть размечены так же, как и при написании вручную.

5. *Таблицы* не должны быть громоздкими, все наименования необходимо писать без сокращения слов (за исключением единиц измерения). Численные значения величин в таблицах и в тексте должны быть в единицах измерения СИ (обязательных).

6. Статья должна завершаться *конкретными выводами*, в которых в лаконичной форме (по пунктам) излагаются результаты работы и предложения автора, вытекающие из изложенного материала.

7. *Список литературы* приводится в конце статьи. Он составляется в порядке последовательности ссылок в тексте. Ссылки на литературу в тексте заключаются в квадратные скобки. В списке указывается:

а) для *журнальных статей* – фамилия и инициалы всех авторов, название статьи, журнала, год издания, номер журнала (том);

б) для *книг* – фамилия и инициалы всех авторов, название книги, издательства, год издания;

в) для *сборников и продолжающихся изданий* – фамилия и инициалы всех авторов конкретной статьи, ее название, название сборника или издания, город, издательство, год, выпуск;

г) для *других видов изданий* перечисляются идентичные библиографические данные.

В список литературы не должны включаться неопубликованные материалы, материалы служебного пользования, а также мало распространенные издания и материалы, отпечатанные литографическим или подобным ему способом.

Технические требования к электронной версии статьи. Текст статьи должен быть набран на РС-совместимом компьютере (не Mac) с использованием базовых шрифтов Windows. Рисунки необходимо выполнить в форматах EPS, CDR, BMP, TIFF или JPEG и предоставить отдельными файлами (нельзя заверстывать рисунки в текст статьи). Сканирование графических рисунков нужно производить с разрешением 600 dpi, а фотоснимков, представляемых в электронном виде, – с разрешением не менее 300 dpi.

СПРАВКА

(предоставляется в редакцию каждым автором/соавтором статьи)

В соответствии с Законом Российской Федерации об авторских правах, сообщаю, что я, _____

автор (соавтор) статьи _____

уведомлён об ответственности за использование в статье таких материалов, защищённых авторским правом, как цитаты, воспроизведённые данные, иллюстрации и иные материалы, и о том, что ответственность за нарушение авторских прав ложится на автора статьи.

Я сообщаю, что данная статья не опубликована и не представлена для опубликования в другие периодические издания.

В связи с тем, что издательство “Springer” издаёт новый журнал на английском языке “Power Technology and Engineering”, статьи для которого будут отбираться из журналов “Электрические станции” и “Гидротехническое строительство”, я подтверждаю передачу прав издательству “Springer” на перевод статьи на английский язык и опубликование в печатном и электронном виде названной статьи в журнале “Power Technology and Engineering”, а также распространение её во всех странах мира в случае, если статья будет выбрана для печати в этом издании, и сообщаю, что такая передача указанных прав не нарушает авторских прав других лиц и организаций.

Подпись автора _____ « ____ » _____ 201_ г.

Ф.И.О. _____

Адрес _____

Место работы _____

Тел. _____

Факс _____

E-mail, который может быть размещён в свободном доступе на сайте журнала для общения читателя с автором статьи _____

E-mail для переписки с редакцией _____