



# 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.

№ 12

декабрь

2012

## Содержание

### Проектирование, строительство, эксплуатация

**Малько А. В., Янель В. В., Макаренко Е. А., Бондаренко А. Г., Старшинов С. Н., Сахаров Г. Г., Шахов Н. А.** Организация мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС (Вилуйской ГЭС-3) . . . . . 2

**Кафтан В. И., Устинов А. В.** Применение глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга деформаций гидротехнических сооружений . . . . . 11

**Асарин А. Е., Корчевский В. Ф.** О гидроэнергетическом строительстве на трансграничных реках бассейна Амударьи . . . . . 20

### Расчеты, исследования, эксперименты

**Коломиец А. М., Зайцева Л. П., Соболев С. В., Соболев И. С., Хохлов Д. Н., Красильников В. М.** Динамика абразионных берегов Чебоксарского водохранилища . . . . . 29

**Скробков Г. П., Федоров Н. А.** Послойное кинематическое подобие в плоских турбулентных потоках . . . . . 34

### Российские энергетики

**Пантелеев В. Г. В. А. Мелентьев** (к 100-летию со дня рождения) . . . . . 38

### Дискуссии

**Истомин В. И.** О научном подходе к расчетам устойчивости откосов грунтовых сооружений . . . . . 39

**Колечко А. В.** Отзыв о статье В. И. Истомина “О научном подходе к расчётам устойчивости откосов грунтовых сооружений” . . . . . 41

### Хроника

**Новости гидроэнергетики и гидротехники** . . . . . 42

**Шайтанов В. Я.** 38-е Общее собрание ассоциации “Гидропроект” . . . . . 46

**Содержание журнала за 2012 год** . . . . . 50

На обложке – Усть-Среднеканская ГЭС

## Организация мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС (Вилуйской ГЭС-3)

Малько А. В., генеральный директор, Янель В. В., директор ГЭС,  
Макаренко Е. А., начальник ГЦ (ОАО «Вилуйская ГЭС-3»),  
Бондаренко А. Г., директор, кандидат техн. наук,  
Старшинов С. Н., начальник НИПО, кандидат техн. наук,  
Сахаров Г. Г., ведущий научный сотрудник,  
Шахов Н. А., начальник ОГСиО  
(СибНИИГ Красноярского филиала ЗАО «Сибирский ЭНТЦ»)

Опыт создания и эксплуатации Светлинской ГЭС (Вилуйской ГЭС-3) в сложнейших инженерно-геокриологических условиях является уникальным и в отечественной и в мировой практике. Рассматриваются вопросы создания контрольно-измерительной системы на гидротехнических сооружениях ГЭС и берегах приплотинной части водохранилища. Анализируется опыт проведения мониторинга состояния сооружений при их возведении и в первоначальный период эксплуатации ГЭС. Показано, что созданный и развиваемый на ГЭС аппаратно-программный комплекс системы мониторинга, включающий ряд оригинальных организационных и технических решений, может быть рекомендован к применению и на других объектах, в первую очередь в условиях Крайнего Севера.

**Ключевые слова:** Светлинская ГЭС, гидротехнические сооружения, береговая часть, мониторинг, контрольно-измерительная система, аппаратно-программный комплекс.

Светлинская ГЭС (Вилуйская ГЭС-3\*) возведена и эксплуатируется в сложнейших климатических и геокриологических условиях [1 – 4]. Основания гидротехнических сооружений и борта долины р. Вилуи сложены вечномёрзлыми слабопрочными полускальными породами, нарушенными оползневыми процессами и имеющими льдистость до 10 – 40 %. Большая прогнозируемая просадочность грунтов при их оттаивании после наполнения водохранилища предопределила размещение бетонных сооружений в пределах руслового талика на относительно уплотнённых грунтах. За 1987 – 2001 г. возведены бетонные сооружения, а в 1992 – 2000 гг. — левобережная каменно-земляная плотина (ЛКЗП). Правобережная каменно-земляная плотина (ПКЗП), пересекающая строительный канал (отсыпка начата в 1991 г.), достроена до проектной отметки под защитой временной плотины в несколько этапов к середине 2008 г. Обе грунтовые плотины расположены на основаниях, представляющих сочетание талых и мёрзлых участков различной протяжённости. С августа 2002 г. вода р. Вилуи пропускается через донные водосбросы здания ГЭС. После наполнения водохранилища до промежуточных отметок введены в строй в 2004 – 2008 гг. три агрегата ГЭС (рис. 1). Напор на сооружения увеличился от 12 – 19 м в 2004 – 2005 гг. до 20 – 25 м в 2009 – 2012 гг. при максимальном проектном значении 31,6 м.

Впервые в отечественной и мировой практике подпорные гидротехнические сооружения возводи-

лись на полускальных многолетнемёрзлых грунтах. Это обстоятельство обусловило повышенные требования к их безопасности. Существенно возросла необходимость постоянного и действенного мониторинга состояния гидротехнических сооружений и устойчивости береговых массивов головной части водохранилища. В этой связи уже на начальном этапе возведения ГЭС (с 1987 г.) к научному сопровождению строительства был привлечён Сибирский филиал ВНИИГ (позднее СибНИИГ Красноярского филиала ЗАО «Сибирский ЭНТЦ»). Широко использовались технические возможности изыскательской Экспедиции № 13 Ленгидропроекта (с 2000 г. в составе ОАО «Вилуйская ГЭС-3»), включающей в настоящее время геологическое, геодезическое, гидрометеорологическое подразделения, службу натурных наблюдений и буровой отряд. Направленность натурных наблюдений и исследований на ГЭС и их организация с самого начала основывались на требованиях действующих нормативных документов. Был учтён отечественный и зарубежный опыт проведения аналогичных работ. Регулярные наблюдения выполнялись и продолжают проводиться на всех этапах работы сооружений — периоды строительства, постановки их под напор и начальной эксплуатации. Наряду с проведением изысканий для обоснования проектных решений Экспедиция № 13 приступила к скважинным наблюдениям за температурой грунта оснований возводимых сооружений и берегов, уровнями грунтовых вод и их засоленностью и к созданию и развитию геодезической сети [5].

---

\* Вилуйская ГЭС-3 — проектное наименование Светлинской ГЭС.

На СибНИИГ было возложено решение следующих задач:

организация и проведение регулярных комплексных натурных наблюдений и исследований;

разработка совместно с Ленгидропроектом программ натурных наблюдений, схем и чертежей на размещение КИА;

авторский надзор, методическое и техническое руководство монтажом дистанционной КИА, наблюдениями по ней и первичной обработкой её показаний;

подготовительные работы по созданию автоматизированной системы диагностического контроля (АСДК) гидротехнических сооружений;

разработка и изготовление вторичной аппаратуры для снятия показаний дистанционной КИА на основе современных технических решений и элементной базы;

диагностирование закладной струнной КИА перед её монтажом и находящейся длительное время в эксплуатации, с разработкой методик и необходимых приборов;

разработка полуавтоматизированной системы опроса дистанционной КИА и комплекта прикладных программ для повышения оперативности измерений, обработки и анализа результатов;

мониторинг состояния эксплуатируемых гидротехнических сооружений;

назначение критериев безопасности гидротехнических сооружений при декларировании безопасности Светлинской ГЭС.

Необходимая КИА и кабельная продукция приобретались ОАО «Вилуйская ГЭС». Установка КИА производилась по ходу возведения сооружений строительными организациями, Экспедицией № 13 и позднее гидроцехом ГЭС. Для проведения натурных наблюдений и исследований, повышения их эффективности и оперативного решения текущих вопросов на стройплощадке Вилуйской ГЭС-3 в 1989 г. был создан научно-исследовательский полевой отряд (НИПО) СибНИИГ, работающий и в настоящее время [6].

В результате совместных усилий ряда организаций на Светлинской ГЭС создана и функционирует развитая система мониторинга состояния гидротехнических сооружений и берегов приплотинной части водохранилища, включающая дистанционную, пьезометрическую и геодезическую КИА, наблюдательные скважины различного назначения, современные технические средства измерения, передачи и обработки информации с необходимым прикладным программным обеспечением. Сведения по установленной в сооружения ГЭС дистанционной и геодезической КИА приведены соответственно в табл. 1 и 2. Контрольно-измерительная система (КИС) охватывает гидро-

Т а б л и ц а 1

Сведения о дистанционной КИА из состава КИС

| Сооружения и береговые зоны | Количество измерительных преобразователей, датчиков и наблюдательных скважин по состоянию на 03 2012 г., шт. |     |      |      |        |     |     |         |     |    |
|-----------------------------|--|-----|------|------|--------|-----|-----|---------|-----|----|
|                             | ПТС, ПТР*)   | ПДС | ПСАС | ПЛПС | ПЛДС*) | ДД  | ДГГ | ТП**)   | ПО  | НС |
| Бетонные:                   |  |     |      |      |        |     |     |         |     |    |
| здание ГЭС                  | 123  | 16  | 79   | 39   | 71     | 41  | —   | 4/20    | 41  | -  |
| подпорные стенки            | 5  | 4   | 15   | 4    | 24     | —   | —   | —       | —   | —  |
| водобой                     | 6  | 17  | 19   | 24   | 4      | —   | —   | —       | —   | —  |
| плиты крепления НБ          | 0  | 10  | 3    | 9    | 3      | —   | —   | —       | —   | —  |
| Грунтовые:                  |  |     |      |      |        |     |     |         |     |    |
| ЛКЗП                        | 21   | 15  | —    | —    | —      | 16  | 4   | 8/426   | 21  | —  |
| ПКЗП                        | 6  | 4   | —    | —    | —      | 39  | —   | 24/1438 | 47  | —  |
| Берега:                     |  |     |      |      |        |     |     |         |     |    |
| левый                       | —  | 2   | —    | —    | —      | 8   | —   | 20/861  | 14  | 10 |
| правый                      | —  | —   | —    | —    | —      | —   | —   | 10/449  | 4   | 10 |
| Всего                       | 161  | 68  | 116  | 76   | 102    | 104 | 4   | 66/3194 | 127 | 20 |

**Примечания.** 1. ДД — струнный датчик давления импортный; ДДГ — деформометр с базой 3 м на основе ПЛПС-С-160; ТП — термоплеть в термометрической скважине; ПО — пьезометр опускной; НС — наблюдательная термометрическая скважина.

2. \*) с учётом КИА, установленной для целей строительного периода. 3. \*\*) количество: в числителе — ТП, в знаменателе — измерительных точек.

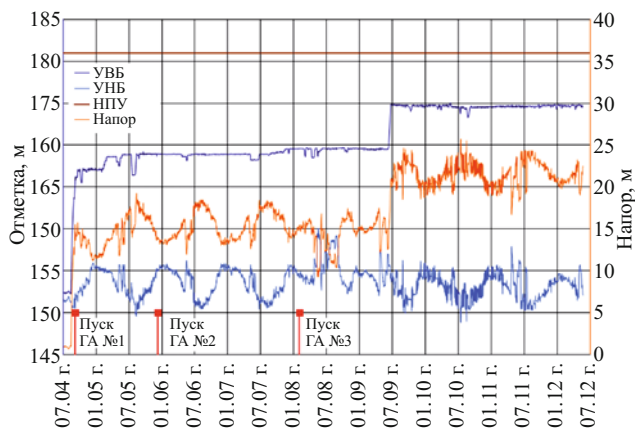


Рис. 1. Уровни верхнего и нижнего бьефов Светлинской ГЭС

технические сооружения и береговую часть площадью до 0,5 × 5,5 км. Работы по совершенствованию и расширению существующей КИС продолжаются и в настоящее время по программе подготовки сооружений к повышению УВБ до НПУ. На всём протяжении строительства и начального периода эксплуатации ГЭС проводятся систематические визуальные наблюдения, состав которых корректируется по мере изменения и расширения задач контроля.

Для дистанционного измерения параметров состояния гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС применены струнные измерительные преобразователи (СИП) отечественного производства, термоплетки с цифровыми термометрами, преобразователи температуры резистивные [6, 7, 8] и импортные струнные датчики давления [9]. Неудовлетворительная точность отечественных преобразователей давления (ПДС-3 и 10) обусловила необходимость перехода на датчики фирмы «Геокон» (США). Ими оснащены опускные напорные и безнапорные пьезометры в основании бетонных и грунтовых сооружений и на их береговых примыканиях. Благодаря применению этих датчиков погрешность измерений пьезометрических уровней удалось снизить с 0,6 и 2 м соответственно до 3 и 7 см, что весьма существенно для контроля состояния низконапорных сооружений.

Температурные скважины в грунтовых плотинах и на берегах оборудованы термоплетями оригинальной конструкции СибНИИГ-«Оберон» [7]. Учитывая очень сложное в инженерно-геологическом плане основание сооружений, был назначен шаг размещения термометров 1 м с целью контроля возможного развития фильтрации по различным прослоям, трещинам и т.п. Построение термоплетей на базе серийных цифровых термометров значительно улучшило метрологические, технические и эксплуатационные характеристики этого измерительного устройства. Их применение в условиях большого объема температурных измерений на Светлинской ГЭС позволило обеспечить высокую, соответствующую нормативным требованиям точность, оперативность и удобство проведения мониторинга состояния сооружений. В частно-



Рис. 2. Пример обустройства оголовков скважин с дистанционной КИА на грунтовой плотине:

а — измерительный створ (пьезометры и термоплетки); б — выносные щитки и измерительные приборы; 1 — пьезометры; 2 — термометрическая скважина; 3 — ВЩ; 4 — ПОВП-01; 5 — БПИ; 6 — разъём с выводами от датчиков давления; 7 — разъём термоплетки

сти, контроль сезонных изменений температуры основания одной из грунтовых плотин позволил на протяжении пяти лет своевременно выявлять участки с водопроницаемостью, превышающей проектные требования в результате деградации цементационной завесы. По результатам натурных наблюдений и контрольного бурения принимались решения и проводились дополнительные цементационные работы.

На Светлинской ГЭС впервые применена полуавтоматизированная система опроса дистанционной КИА (ПАСО КИА), включающая периодомер специализированный многофункциональный типа ПОВП-01 [10], выносные щитки (ВЩ) и комплект прикладного программного обеспечения. Щитки ВЩ оборудованы разъёмами с распаянными на них выводами измерительных преобразователей и датчиков (рис. 2). Одна пара контактов разъёма занята автоматическим определителем номера группы (АОН — специальный ЧИП с прошитым индивидуальным номером). Снятие показаний производится путём подключения входного кабеля прибора ПОВП-01, оборудованного ответной частью разъёма. При измерениях считываются номер группы и показания датчиков, которые заносятся в память прибора. Штатная прикладная программа прибора обеспечивает передачу показаний дистанционной КИА из памяти ПОВП-01 в персональный компьютер (ПК). Далее специальная программа в ПК осуществляет для каждого датчика автоматическую адресную разnosку результатов измерений с помощью переводной таблицы по файлам обработки (формат «Excel»). Для струнных датчиков это период колебаний струны и электрическое сопротивление катушки, для резистивных — их сопротивление. Для примера фрагмент переводной таблицы приведён в табл. 3. В файлах обработки производится первичная обработка показаний датчиков с доведением до измеряемых физических величин (температура, давление, относительная деформация, перемещение, сила и т.д.).

На этих же щитках ВЩ размещены разъёмы от термоплетей, установленных в скважинах на грунтовых сооружениях и берегах. Снятие показаний термоплетей, их хранение и передача в ПК осуществляется



с использованием блока переноса информации (БПИ) [7]. Практикой подтверждена высокая эффективность примененной ПАСО, позволяющей в несколько раз (до 3 – 5) сократить трудозатраты и время по сбору и обработке данных от закладной КИА.

В зависимости от местоположения дистанционной КИА её показания снимаются с частотой от 1 до 2 – 3 раз в неделю. Наиболее часто контролируется состояние грунтовых плотин и основания здания ГЭС. При необходимости (прохождение паводка, повышение УВБ и т.п.) наблюдения по специально назначаемой группе КИА выполняются ежедневно.

Служба натуральных наблюдений (СНН) включает руководителя и трёх сотрудников. Её штат на протяжении 7 лет не менялся, несмотря на существенное увеличение количества дистанционной КИА за этот период. Создание и развитие ПАСО КИА, высокий уровень оснащённости средствами измерений и прикладным программным обеспечением позволили персоналу СНН без наращивания численности выполнять постоянно возрастающий объём работ. В настоящее время ежегодно производится до 500 – 550 тыс. измерений по дистанционной КИА. Результаты наблюдений обрабатываются незамедлительно и анализируются в оперативном режиме.

Одним из основных и обязательных требований, предъявляемых к закладной системе контроля гидротехнических сооружений, является обеспечение высокой достоверности информации. Измерительные преобразователи струнного типа обычно составляют основу систем телеметрического контроля гидротехнических сооружений. После установки в тело сооружения они недоступны для ремонта, замены и периодических проверок с целью определения их метрологических характеристик. В силу этого единственным инструментом оценки КИА струнного типа является комплекс параметров выходных сигналов, совокупности которых составляется заключение о состоянии датчиков и достоверности получаемой от них информации. При анализе используются также база и банк данных датчиков.

Струнные измерительные преобразователи из состава дистанционной КИА эксплуатационного периода устанавливались в гидротехнические сооружения Светлинской ГЭС начиная с 1989 г. Более 80 % из них продолжают работать до настоящего времени. Первые контрольные точки в бетонных сооружениях оборудованы за 15 лет до начала наполнения водохранилища к пуску первого гидроагрегата ГЭС. Опыт эксплуатации показывает, что струнные преобразователи по ряду причин могут со временем давать информацию со значительной погрешностью, сохраняя при этом работоспособность длительное время (20 – 30 лет и более). С целью обеспечения безусловной достоверности информации, получаемой от струнной закладной КИА, применяется методика диагностирования, позволяющая выявлять нарушения метрологиче-

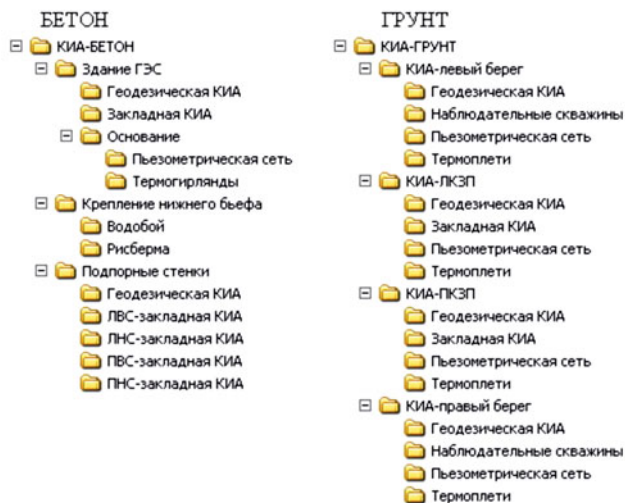


Рис. 3. Каталогизированная структура размещения в ПК натуральных данных от КИА

ских характеристик СИП. Решение этой задачи достигается путём периодических (с интервалом 1 – 2 года) комплексных обследований параметров выходных сигналов СИП, проводимых с применением оригинальных приборов, и последующей обработки результатов по специальной методике. Регулярное диагностирование позволяет подтверждать достоверность показаний закладной струнной КИА и продолжать её применение в системе мониторинга состояния гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС. В этой связи представляется ошибочным, особенно для сооружений с растянутыми сроками строительства, требование СТО [11] об отказе от использования показаний закладных струнных датчиков только по возрастным признакам без оценки достоверности их показаний.

Электронный архив (банк) данных наблюдений по КИА за состоянием гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС формируется на основе электронных таблиц “Excel”. В этих таблицах, помимо накопления замеров по дистанционной КИА, проводится их первичная обработка по градуировочным зависимостям и алгоритмам. Каталогизированная структура размещения на магнитном диске ПК натуральных данных от КИА в бетонных и грунтовых сооружениях Светлинской ГЭС приведена на рис. 3. Файлы электронных таблиц сгруппированы в отдельные папки, исходя из расположения датчиков в обособленных конструктивных элементах бетонных и грунтовых сооружений гидроузла и, частично, назначения. Имена приведенных на рис. 3 папок обозначают следующее. КИА-БЕТОН и КИА-ГРУНТ — корневые папки, в которых размещена вся база данных по КИА, относящаяся соответственно к бетонным и грунтовым сооружениям, их основаниям и берегам приплотинной части водохранилища. Корневые папки включают промежуточные папки (например, КИА-ЛКЗП), в которых, в свою очередь, размещены папки с файлами КИА различного назначения (например, “пьезометри-

ческая сеть” с показаниями дистанционной КИА в пьезометрах). Основная часть данных от закладной КИА, установленной в бетонных сооружениях гидроузла, сгруппирована, кроме пьезометрической сети, в файлах, имена которых соответствуют спецификации

блоков бетонирования строительного периода. Номера датчиков в архиве закодированы. Первый символ обозначает тип датчика, второй — соответствует типу контроля (строительный или эксплуатационный). Последние четыре символа — номер датчика, соответ-

Т а б л и ц а 2

Сведения о геодезической КИА из состава КИС

| Контролируемый параметр состояния сооружений и берегов | Средства измерения                                  |                      |
|--|---|----------------------|
|  | наименование  | количество, шт       |
| Здание ГЭС:  |   |                      |
| горизонтальные смещения                                | Знак планово-высотный (ЗПВ)                         | 24                   |
| вертикальные смещения (осадки)                         | Марка высотная, ЗПВ, стенной репер                  | 111                  |
| наклон основания                                       | Гидронивелир (ГН) / высотная марка                  | 4 <sup>*)</sup> /177 |
| относительные смещения энергоблоков                    | Марочные трёхосные щелемеры                         | 10                   |
| Отводящий канал (подпорные стенки):                    |   |                      |
| вертикальные смещения (осадки)                         | Марка высотная, ЗПВ                                 | 11                   |
| горизонтальные смещения                                | Планово-высотный знак (ЗПВ)                         | 5                    |
| относительные смещения секций                          | Марочные трёхосные щелемеры                         | 6                    |
| Подпорная стенка монтажной площадки:                   |   |                      |
| вертикальные смещения (осадки)                         | Стенной репер                                       | 8                    |
| Каменно-земляные плотины:                              |   |                      |
| вертикальные смещения (осадки)                         | Марка поверхностная                                 | 60                   |
| горизонтальные смещения                                |   |                      |
| вертикальные смещения оснований                        | Марки глубинные (плита-марка)                       | 8                    |
| Крепление левого берега:                               |   |                      |
| вертикальные смещения (осадки)                         | Марка осадочная поверхностная                       | 7                    |
| горизонтальные смещения                                |   |                      |
| Береговые склоны вокруг ГЭС:                           |   |                      |
| вертикальные смещения (осадки)                         | Марка поверхностная Геодезический знак              | 27                   |
| горизонтальные смещения                                |   |                      |
| Левобережные цементационные штольни:                   |   |                      |
| вертикальные смещения (осадки)                         | Марка поверхностная, марка боковая, грунтовой репер | 31                   |
| горизонтальные смещения                                | Пункты полигонометрии                               | 6                    |
| Борта водохранилища:                                   |   |                      |
| вертикальные смещения (осадки)                         | Марка поверхностная Геодезический знак              | 61                   |
| Горизонтальные смещения                                |   |                      |

<sup>\*)</sup> — отдельные ГН связаны между собой по высоте геометрическим нивелированием.

вующий принятой изготовителем системе нумерации. Принятая унифицированная система номеров датчиков также позволяет средствами электронных таблиц проводить достаточно быструю сортировку и поиск датчиков по их типу. Структура первичной обработки замеров от закладной КИА в электронных таблицах определяется градуировочными зависимостями, типом датчика, а также видом контролируемого физического параметра. Алгоритмы обработки занесены явным образом непосредственно в ячейки электронных таблиц.

В процессе каждого измерения периода и электрического сопротивления прибором ПОВП-01 автоматически вычисляется случайная погрешность (СКО) и заносится в специальные графы файла. Показания датчиков с СКО 0,3 – 1 % и большей автоматически маркируются разными цветами для предупреждения пользователя о качестве информации от КИА и целесообразности её использования для оценки эксплуатационной надежности и безопасности гидротехнических сооружений.

В базу данных КИА сведена неизменная информация по установленным в сооружениях датчикам, включающая их тип, заводской номер, дату изготовления и установки, координаты размещения, индивидуальные градуировки, формулы пересчёта в параметр, начальный отсчёт и др.

Результаты наблюдений по геодезической КИА и скважинам, измерения в которых проводятся переносными техническими средствами (уровни верхнего и нижнего бьефов, температура воды и воздуха), заносятся в электронный архив вручную.

В специальном файле после каждого цикла измерений по закладной и геодезической КИА производится сравнение диагностических показателей состояния сооружений с их критериальными значениями. Показания КИА в обработанном виде предоставляются пользователю в табулированном и графическом виде.

Использование электронных таблиц “Excel” для ведения электронной базы (банка) натуральных наблюдений обеспечивает возможность оперативного изменения структуры, первичной обработки и анализа (аналитического и графического) натурной информации применительно к текущим задачам мониторинга состояния гидротехнических сооружений. При этом такое изменение, исходя из открытой архитектуры “Excel”, вполне доступно инженерно-техническому персоналу службы натуральных наблюдений ГЭС.

Структурная схема мониторинга гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС приведена на рис. 4. Оценка состояния гидротехнических сооружений и устойчивости берегов приплотинной части водохранилища производится на основе комплексного анализа результатов всех видов натуральных наблюдений и показаний всей КИА (дистанционной, пьезометрической, геодезической). При этом существенное значение имеет координация деятельности участников натуральных наблюдений в первую очередь в части периодичности и формы предоставления результатов. Систематический анализ и оценка эксплуатационной надежности и безопасности гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС осуществляются ОАО “Ленгидропроект” и СибНИИГ КФ ЗАО “Сибирский

Т а б л и ц а 3

Фрагмент таблицы разности показаний датчиков в бетонных сооружениях по файлам

| Номер группы | Номер в группе | Путь к файлу обработки показаний датчиков и хранения данных | Имя файла | Датчик |         | Наблюдения |       | Показания |       |       |       |
|--------------|----------------|---|-----------|--------|---------|------------|-------|-----------|-------|-------|-------|
|              |                |   |           | №      | тип     | дата       | время | T, мкс    | dT, % | R, Ом | dR, % |
| 001          | 01             | C:\КИА\Бетон\Водобой\                                       | ПЗ-1-04   | PE0084 | ПДС 10  | В*)        | С     | D         | E     | I     | J     |
| 001          | 02             | C:\КИА\Бетон\Водобой\                                       | ПЗ-2-126  | TE4816 | ПТР     | Z          | AA    |           |       | AB    | AC    |
| 001          | 03             | C:\КИА\Бетон\Водобой\                                       | ПЗ-2-126  | TE4846 | ПТР     | H          | I     |           |       | J     | K     |
| 001          | 04             | C:\КИА\Бетон\Водобой\                                       | ПЗ-2-126  | TE4879 | ПТР     | N          | O     |           |       | P     | Q     |
| 001          | 05             | C:\КИА\Бетон\Водобой\                                       | ПЗ-2-126  | TE6658 | ПТР     | T          | U     |           |       | V     | W     |
| 001          | 06             | C:\КИА\Бетон\Водобой\                                       | ПЗ-2-126  | TE4902 | ПТР     | B          | C     |           |       | D     | E     |
| 001          | 07             | C:\КИА\Бетон\Рисберма\                                      | П4-2-13   | LE0043 | ПЛПС 10 | U          | V     | W         | X     | AB    | AC    |
| 001          | 08             | C:\КИА\Бетон\Рисберма\                                      | П4-2-13   | LE2700 | ПЛПС 10 | L          | M     | N         | O     | S     | T     |
| 001          | 09             | C:\КИА\Бетон\Рисберма\                                      | П4-2-13   | CE0265 | ПСАС 28 | B          | C     | D         | E     | J     | K     |

**Примечания:** 1. T и dT соответственно период колебаний струны и погрешность его измерения. 2. R и dR соответственно сопротивление резистивного или катушки струнного датчиков и погрешность его измерения. 3. \*) — латинскими буквами обозначены столбцы файла обработки, в которые разносятся соответствующие данные.

ЭНТЦ". В результате исторически сложившейся ситуации натурные наблюдения проводит ряд организаций и их подразделений (табл. 4). Кроме регулярно выпускаемых материалов участникам мониторинга доступны в текущем режиме при необходимости все виды информации, относящиеся к натурным наблюдениям и состоянию сооружений. Гидротехнический цех (ГЦ) Светлинской ГЭС осуществляет визуальный контроль состояния бетонных и грунтовых сооружений и отдельных их конструкций, монтаж и техническое обслуживание введенной в эксплуатацию дистанционной КИА, анализ и использование в текущей работе результатов наблюдений, представляемых другими организациями. Снятие показаний дистанционной КИА производит служба натурных наблюдений, выполняющая работы под техническим руководством НИПО СибНИИГ. По геодезической КИА наблюдения ведутся Экспедицией № 13, в анализе полученных данных принимает участие ОАО "Ленгидропроект". Отдел геологии продолжает наблюдения по термометрическим и пьезометрическим скважинам, оборудование которых стационарной дистанционной

КИА пока ещё не завершено, и привлекается к анализу состояния грунтовых плотин и берегов.

Геодезическими методами ведутся наблюдения за вертикальными и горизонтальными смещениями бетонных и грунтовых гидротехнических сооружений, левобережных цементационных штолен, склонов в районе ГЭС и берегов водохранилища по ранее заложенным контрольным пунктам. В период строительства созданы связанные между собой специальные геодезические сети, которые используются и в эксплуатационный период. Плановая и высотная сети участка основных сооружений предназначены для наблюдений за деформациями сооружений, их оснований и прилегающей территории. Плановая и высотная сети приплотинной части водохранилища (протяженностью более 5 км от створа гидроузла) предназначены для изучения оползневых процессов и переработки берегов.

Осуществляется контроль внешних нагрузок и воздействий. Здание ГЭС оснащено дистанционной аппаратурой для измерения уровней воды верхнего и нижнего бьефов. Гидрометеорологической службой

Т а б л и ц а 4

Участники мониторинга и обмен материалами наблюдений между ними на регулярной основе

| Участник        | Предоставляемые материалы  |                          | Потребитель информации |                 |                |                |
|-----------------|--|--------------------------|------------------------|-----------------|----------------|----------------|
|                 | Вид  | Периодичность            | Вилюйская ГЭС-3        | Светлинская ГЭС | Ленгидропроект | СибНИИГ (НИПО) |
| Экспедиция № 13 | Показания дистанционной КИА  | Ежедневно                | —                      | —               | —              | +              |
|                 | Результаты геодезических наблюдений  | Ежеквартально            | +                      | +               | +              | +              |
|                 | Результаты наблюдений по скважинам   | Ежемесячно               | +                      | —               | +              | +              |
|                 | Гидрометеоинформация   | Ежемесячно               | +                      | +               | +              | +              |
| Светлинская ГЭС | Результаты визуального контроля  | Ежеквартально            | +                      | +               | —              | +              |
|                 | Уровни бьефов, сведения о работе агрегатов и водосбросов, расходы воды   | В текущем режиме         | +                      | +               | —              | —              |
|                 | Результаты химанализа проб воды  | Ежемесячно               | +                      | +               | —              | +              |
| СибНИИГ         | Заключения о состоянии ГТС по результатам экспресс-анализа их состояния  | Ежеквартально            | +                      | +               | —              | +              |
|                 | Технические информации по результатам наблюдений по всем видам КИА   | 1 раз в 6 мес.           | +                      | +               | +              | +              |
|                 | Заключения о состоянии грунтовых плотин  | Ежегодно                 | +                      | +               | —              | +              |
|                 | Заключительные технические отчёты по результатам мониторинга   | 1 раз в два года         | +                      | +               | —              | +              |
|                 | Оценка состояния системы "грунтовые плотины — основания". Математические модели  | По мере необходимости    | +                      | +               | —              | +              |
| Ленгидропроект  | Отчёты о работах и наблюдениях:<br>а) инженерно-геодезических<br>б) гидрометеорологических<br>в) инженерно-геологических | Ежеквартально и ежегодно | +                      | +               | +              | —              |



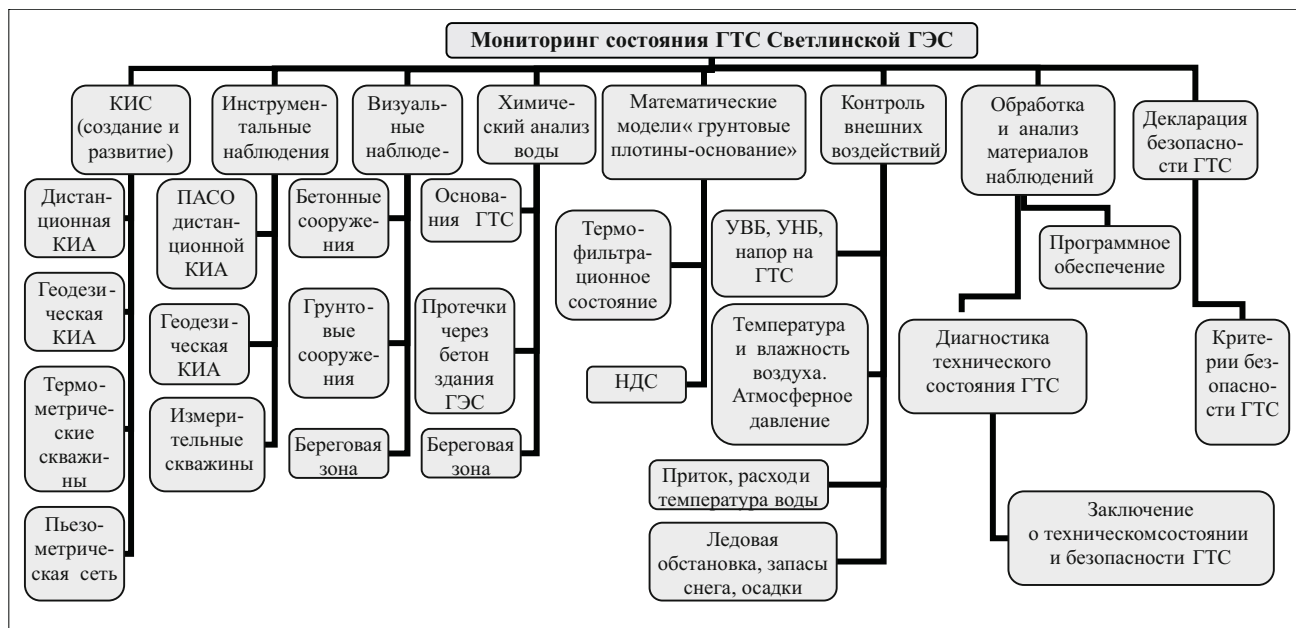


Рис. 4. Структурная схема мониторинга гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС

ведутся регулярные наблюдения на постах за уровнями, приточностью, расходами и температурой воды, атмосферным давлением, температурой и влажностью наружного воздуха. Сезонное изменение температуры воды водохранилища (табл. 5), в том числе и придонных слоёв, позволяет по наблюдениям за температурой гидротехнических сооружений давать оценку термофильтрационного состояния их оснований и ядра плотин, эффективности противотермофильтрационных устройств.

Под толщей многолетнемёрзлых горных пород залегают криопэги с содержанием солей до 10 – 80 г/л, которые постепенно замещаются водой водохранилища. Химической лабораторией Светлинской ГЭС регулярно контролируется изменение минерализации подземных вод с отбором проб воды из пьезометрической сети. Эти данные наряду с результатами других наблюдений используются для оценки фильтрационного состояния оснований сооружений и береговых массивов.

Весь объём получаемой в результате проводимых наблюдений информации предоставляется НИПО СибНИИГ, который на её основе:

осуществляет оперативный контроль с экспресс-анализом состояния эксплуатируемых гидротехнических сооружений, основываясь на разработанных критериях безопасности;

подготавливает ежеквартальные заключения с оценкой состояния гидротехнических сооружений;

выпускает технические информации с периодичностью 2 раза в год на основе результатов наблюдений по всем видам КИА.

Кроме того, СибНИИГ по результатам мониторинга выпускает заключения о состоянии грунтовых плотин (ежегодно) и технические отчеты с периодичностью 1 раз в два года. Им же разработаны с использованием геологических материалов и данных натуральных наблюдений расчётные модели термофильтрационного и напряженно-деформированного состояния обеих грунтовых плотин и левобережного примыкания.

Совокупность выполняемых работ и техническое взаимодействие участников мониторинга обеспечивают текущий контроль состояния гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС на требуемом уровне и своевременное принятие адекватных мер по безопас-

Т а б л и ц а 5

Температура воды по глубине водохранилища Светлинской ГЭС в 2010 – 2011 гг.

| Глубина, м | Температура воды на середину месяца по годам, °С |         |         |         |             |            |             |           |         |         |         |         |
|------------|--|---------|---------|---------|-------------|------------|-------------|-----------|---------|---------|---------|---------|
|            | V  |         | VI      |         | VII         |            | VIII        |           | IX      |         | X       |         |
|            | 2010 г.  | 2011 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2010 г.     | 2011 г.    | 2010 г.     | 2011 г.   | 2010 г. | 2011 г. | 2010 г. | 2011 г. |
| 5          | 4,7  | 5,2     | 7,4     | 6,0     | 14,5        | 15,4       | 13,6        | 13,1      | 9,9     | 9,2     | 3,7     | 6,0     |
| 10 – 28    | 4,7  | 5,2     | 7,4     | 5,9     | 12,7 – 11,0 | 10,1 – 8,3 | 13,5 – 13,2 | 9,5 – 8,5 | 9,9     | 9,2     | 3,7     | 6,0     |

ной их эксплуатации. Так, например, в процессе строительства и начального периода эксплуатации сооружений по результатам мониторинга их состояния конструкции противофильтрационных устройств в их основании претерпели существенные изменения. Однорядная цементационная завеса в основании здания ГЭС была усилена и при повторной цементации в 2008 г. заменена трёхрядной. От неэффективной двухрядной цементационной завесы в основании обеих грунтовых плотин пришлось отказаться и заменить её более надёжным противофильтрационным устройством — свайной стеной в грунте из глиноцементобетона с левобережной мерзлотной завесой. Накапливаемая на объекте количественная и качественная натурная информация используется также при разработке критериальных значений диагностических параметров состояния гидротехнических сооружений в рамках декларирования их безопасности.

## Выводы

1. Опыт создания и эксплуатации Светлинской ГЭС в сложнейших инженерно-геокриологических условиях является уникальным и в отечественной и в мировой практике. При этом существенно возросла значимость постоянного и действенного мониторинга состояния гидротехнических сооружений и берегов приплотинной части водохранилища. Для его проведения создана развитая контрольно-измерительная система, охватывающая зону до  $0,5 \times 5,5$  км.

2. Реализованные проект размещения КИА и программа наблюдений разработаны с учётом наличия таломёрзлого основания гидротехнических сооружений и многолетнемёрзлых грунтов береговой части водохранилища. Работы по совершенствованию и расширению существующей контрольно-измерительной системы продолжаются и далее по программе подготовки сооружений к повышению УВБ до НПУ.

3. Созданный и развиваемый на ГЭС аппаратно-программный комплекс системы мониторинга включает ряд новых организационных и технических решений, обеспечивающих требуемую точность и достоверность контроля, высокую оперативность измерений, обработки и анализа результатов. Оригинальной составляющей этого комплекса является полуавтоматизированная система опроса дистанционной КИА, которая исключила влияние человеческого фактора на результаты натуральных наблюдений и одновременно существенно сократила трудозатраты на их проведение. Регулярное диагностирование закладной струнной КИА позволяет оценивать достоверность ее показаний, продлевать срок эксплуатации за предела-

ми среднего срока службы и своевременно отбраковывать датчики с нарушениями метрологических характеристик.

4. Подтверждены целесообразность и высокая эффективность организации на ответственных гидротехнических сооружениях постоянных представительств научно-исследовательских институтов соответствующего профиля (полевых отрядов или экспедиций для крупных объектов, включающих высококвалифицированных специалистов) для успешного решения задач научного сопровождения строительства и эксплуатации ГЭС и мониторинга их технического состояния.

5. Многолетний опыт организации и проведения контрольных наблюдений на Светлинской ГЭС может с успехом применяться и на других объектах, в первую очередь, проектируемых, возводимых и эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера.

## Список литературы

1. Соловьёва А. Г., Цвик А. М., Терешков Н. Н. Строительство Виллойской ГЭС-3 // Гидротехническое строительство. 2001. № 11.
2. Фрумкин В. Н., Шерман М. М. О строительстве Виллойской ГЭС-3 на многолетнемёрзлом полускальном основании // Гидротехническое строительство. 2003. № 12.
3. Старшинов С. Н. Возведение основных бетонных сооружений Виллойской ГЭС-3 // Гидротехническое строительство. 1999. № 5.
4. Старшинов С. Н., Шахов Н. А., Шалин В. И. Влияние первоначального подтопления на состояние грунтовых плотин Виллойской ГЭС-3 в строительный период // Гидротехническое строительство. 2005. № 2.
5. Гросберг А. П., Карлсон А. А. Геодезические работы на Виллойской ГЭС-3 // Гидротехническое строительство. 2001. № 10.
6. Михайленко В. В., Старшинов С. Н., Сахаров Г. Г., Шахов Н. А. Оценка состояния дистанционной контрольно-измерительной системы Виллойской ГЭС-3 // Гидротехническое строительство. 2004. № 12.
7. Старшинов С. Н., Сахаров Г. Г., Дружинин А. Ю., Рженецкий А. О., Кирсанов В. Г., Макаренко Е. А. Опыт применения новых технических средств контроля температурного состояния грунтовых плотин Виллойской ГЭС-3 // Гидротехническое строительство. 2010. № 6.
8. ОСТ 34 72.965-96. Преобразователи измерительные струнные для контроля состояния энергетических сооружений.
9. Geokon. Instruction Manual. Model 4500. Vibrating Wire Piezometer. Copyright © 1983.1996.2002.2004 by Geokon, Inc.
10. Сахаров Г. Г., Дружинин А. Ю., Кирсанов В. Г., Стефаненко Н. И., Музыка Н. Д. Новая модель прибора для оперативного контроля гидротехнических сооружений по закладной струнной КИА // Гидротехническое строительство. 2009. № 6.
11. СТО 17330282.27.140.004-2008. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования.

# Применение глобальных навигационных спутниковых систем для мониторинга деформаций гидротехнических сооружений

Кафтан В. И., доктор техн. наук (ГЦ РАН),  
Устинов А. В., инженер (ОАО “Институт Гидропроект”)

На основе анализа современных публикаций рассматриваются возможности использования глобальных радионавигационных спутниковых систем (ГНСС) с целью повышения безопасности функционирования ответственных гидротехнических сооружений — плотин гидроэлектростанций и, следовательно, безопасности населения прилегающих территорий. Сопоставляются характеристики определения смещений и деформаций с использованием ГНСС, а также в комплексе с другими видами измерений. Показано, что для обеспечения безопасности функционирования ГЭС необходим совместный контроль деформаций земной поверхности района и инженерно-технических сооружений, а также необходимо надежное метрологическое обеспечение измерений с целью получения реальных характеристик точности и эффективности наблюдений с использованием ГНСС.

**Ключевые слова:** деформации, гидротехнические сооружения, мониторинг, ГНСС.

В настоящее время на государственном уровне все большее внимание необходимо уделять мониторингу деформаций гидротехнических сооружений, наиболее ответственными из которых являются большие плотины гидроэлектростанций. После аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, унесшей десятки человеческих жизней, повышение безопасности эксплуатации гидроэнергетических объектов стало одной из приоритетных задач, решение которой недостаточно эффективно без применения новейших технологий. Одной из таких технологий является спутниковый мониторинг деформаций гидротехнических сооружений с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

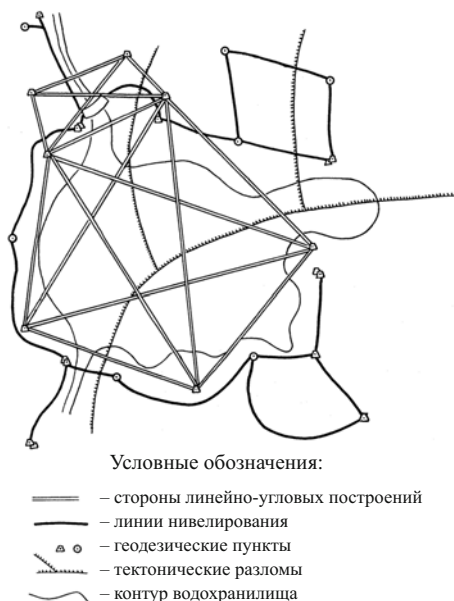
Целью данной публикации является исследование современных возможностей получения точности характеристик движений и деформаций гидротехнических сооружений на уровне одного миллиметра. Для решения поставленной задачи осуществлен анализ мирового опыта по применению ГНСС для мониторинга деформаций гидротехнических сооружений.

**Наблюдения за движениями и деформациями земной поверхности в районах ГЭС с использованием классических измерительных средств.** Систематические геодезические наблюдения за движениями земной поверхности в районах крупных водохранилищ начались в 1970 г., с момента образования в ЮНЕСКО рабочей группы “Сейсмические явления, связанные с большими водохранилищами”. В Советском Союзе основные геодезические наблюдения на специально созданных в районах ГЭС геодинимических полигонах выполнялись подразделениями государственного ведомства по геодезии и картографии тех лет (Роскартография и, ранее, ГУГК при СМ СССР). Порядок и регламенты работ были предусмотрены Программой Государственного комитета по науке и технике 0.74.03. Научно-методическое руководство работа-

ми осуществлялось силами Центрального НИИ геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ЦНИИГАиК).

Одной из главных задач таких наблюдений являлось изучение так называемой возбужденной сейсмичности. В 60-е гг. прошлого столетия в районах вновь образованных водохранилищ (в Замбии, Греции и Индии) произошло три сильных землетрясения, принесших разрушения и человеческие жертвы. Наиболее ярким и известным историческим примером возбужденной сейсмичности является землетрясение магнитудой  $6 < M < 6,5$  в районе плотины Койна (Индия), произошедшее 10 декабря 1967 г., когда погибло 200 человек и был нанесен большой экономический и социальный ущерб [1]. До наполнения водохранилища район не считался сейсмически активным. Одновременно с его наполнением в данном районе стали происходить землетрясения. При достижении максимального уровня воды, произошло сильное землетрясение. Позднее исследователи обнаружили корреляцию изменения уровня воды с изменениями сейсмической активности [2]. Сегодня умеренная наведенная сейсмичность в данном регионе продолжается. Магнитуды наблюдаемых сейсмических событий достигают 4,5. Корреляция между уровнем поровой диффузии и сейсмичностью продолжает наблюдаться в окрестности водохранилища Койна, в последние годы переместившись на акваторию смежного водохранилища Варна [3].

В 70-е гг. явление возбужденной сейсмичности было зафиксировано в районе Нурекского водохранилища. Сейсмологические наблюдения показали, что эпицентры большинства толчков располагаются под водохранилищем на глубине до 5 км. Магнитуда землетрясений составляла 4 – 4,5. Была обнаружена устойчивая корреляция значительных изменений уровня и объема воды с магнитудой толчков. Во время заполнения Чиркейского водохранилища произошло два умеренных землетрясения с магнитудой 5 – 5,2. В связи с этими событиями для изу-



**Рис. 1.** Типовая схема контрольной геодезической сети в районе водохранилища [5]

чения влияния наполнения Джварского водохранилища (Ингури ГЭС) на сейсмичность была создана специальная сеть сейсмических станций.

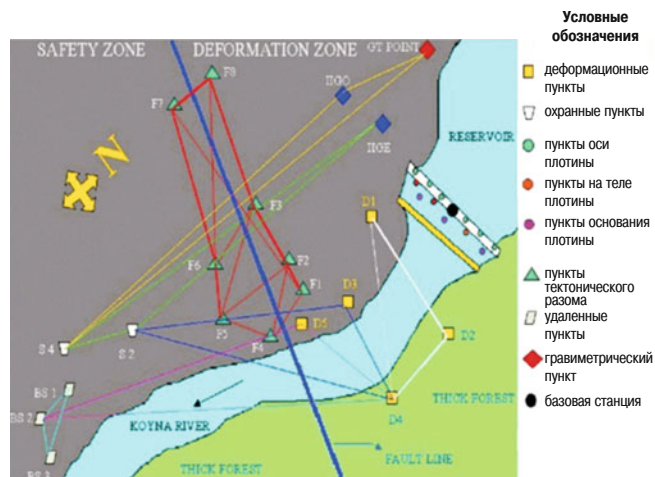
К настоящему времени известно несколько десятков случаев влияния наполнения водохранилищ на сейсмический режим. Одно из наиболее современных исследований диффузионного механизма давления поровых вод представлено в работе [4] на примере водохранилища Асу (Бразилия).

В рамках сегодняшних представлений о причинах сейсмической активности рассматриваются и изучаются такие факторы, как дополнительные косвенные напряжения (триггерные эффекты) в условиях высоких тектонических напряжений, среди которых известен эффект возрастания давления и проникновения в массивы коренных пород подземных вод и флюидов.

Согласно рекомендациям специальной рабочей группы ЮНЕСКО, проектирование водохранилищ в сейсмических зонах должно начинаться с изучения сейсмической истории района и его тектоники. Предварительно необходимо выявить потенциально активные геологические структуры.

За год или два до наполнения водохранилища необходимо приступить к инструментальным исследованиям с использованием постоянно-действующей сейсмометрической аппаратуры, определению естественных напряжений методом гидравлического разрыва, геодезическим наблюдениям за движениями земной поверхности и активностью тектонических разломов.

До широкого внедрения в различные сферы спутниковых радионавигационных систем контроль движений и деформаций земной поверхно-



**Рис. 2.** Контрольная геодезическая сеть в районе плотины Койна (Индия) [7]

сти в районах водохранилищ выполнялся традиционными геодезическими методами. Для этого создавались плановые и высотные контрольные сети. Одну из первых схем геодезических построений, применимых для горных водохранилищ, в 1978 г. предложил Я. В. Наумов [5]. Позднее эта схема была усовершенствована путем учета разрывных тектонических нарушений при построении контрольной сети.

Типовая схема контрольной геодезической сети в районе водохранилища представлена на рис. 1.

Существующие в России контрольные геодезические сети водохранилищ ориентированы на применение главным образом традиционных геодезических средств и методов, что существенно снижает их эффективность на фоне интенсивного развития современных спутниковых средств. Основными факторами, обуславливающими эффективность ГНСС технологий, являются их более высокое временное разрешение, более высокая точность и возможность определения взаимных положений при значительных взаимных удалениях пунктов и отсутствии прямой видимости между ними.

Характер деформирования земной поверхности в связи с влиянием водохранилища выражается главным образом в прогибах дна за счет водной нагрузки и в раздвижении берегов. Но реакция берегов на наполнение водохранилищ бывает различной. Это, во-первых, естественная реакция их опускания в связи с возрастанием нагрузки и, во-вторых, поднятие (всплывание), связанное с взвешиванием горных пород при их насыщении водой. Такое всплывание берегов особенно четко проявилось в районе Токтогульской ГЭС, расположенной на р. Нарыне. Основная часть Токтогульского водохранилища расположена в котловине, запол-



ненной на глубину порядка 1 км осадочными водопроницаемыми породами.

При применении традиционных (не спутниковых) технологий программа наблюдений за движениями и деформациями заключалась в следующем. До наполнения водохранилища выполняли один-два цикла геодезических измерений, после наполнения — один цикл в год. В руководстве [6] предложено после наполнения водохранилища выполнять пять циклов измерений и на основании их анализа делать вывод о необходимости их продолжения. Заметим, что эти требования предложены более четверти века тому назад и нами рассматриваются в историческом аспекте.

Регулярные геодезические измерения на специализированных геодинимических полигонах крупных гидроэнергетических комплексов выполнялись производственными подразделениями ГУГК при СМ СССР. Основные из них — Ингурский, Токтогульский, Чиркейский, Нурекский и Чарвакский. В настоящее время это преимущественно территории зарубежных государств и поэтому проведение геодезического мониторинга силами Роскартографии прекращено. Тем не менее, в рамках сотрудничества между государствами СНГ ведутся переговоры об участии российских специалистов в продолжении этих работ.

Контроль пространственных смещений плотин и объектов инфраструктуры ГЭС выполнялся геодезистами гидроэнергетической отрасли. Эти наблюдения входили в сферу деятельности института “Гидропроект”. Специалисты института создавали высокоточные локальные контрольные геодезические сети пунктов, расположенных как на берегах, так и в теле плотины (в ее потерне). Контроль смещений выполнялся с применением высокоточных лазерных дальномеров и оптических теодолитов. Высотная компонента определялась геометрическим нивелированием. Для этих целей разрабатывались специальные конструкции геодезических центров. Для плановых наблюдений разрабатыва-

лись центры с принудительным центрированием, для высотных — специальные глубинные реперы, монолиты которых углублялись вплоть до их соединения с коренными кристаллическими породами. В настоящее время в связи с недостаточностью целевого государственного финансирования и реорганизацией отраслей такие работы проводятся в недостаточных объемах. Ответственность за их выполнение сегодня лежит на собственниках конкретных объектов.

Таким образом, для обеспечения безопасности эксплуатации ответственных гидротехнических сооружений и населения окружающих территорий необходим комплексный контроль как движений и деформаций земной поверхности района расположения водохранилища, так и непосредственно объектов технической инфраструктуры ГЭС.

**Современные методы и средства контроля движений и деформаций гидротехнических сооружений.** Практическое применение спутниковых технологий для мониторинга деформаций инженерных сооружений, в частности ГЭС, началось с 90-х гг. прошлого столетия, когда система GPS стала широко внедряться в сферу точных геодезических работ.

В Индии сегодня активно продолжают геодезические наблюдения на ранее упомянутой плотине Койна в связи с опасностью провоцирования сейсмической активности [7]. Современная контрольная сеть GPS представлена на рис. 2. Можно видеть, что создана и эксплуатируется многоцелевая геодезическая сеть, обеспечивающая контроль стабильности земной поверхности территории, активного тектонического разлома и одновременно собственно инженерного сооружения. Контрольные пункты располагаются не только на верхней части плотины по ее оси, но и на ее теле, а также на основании.

Измерения в опорной сети выполняются отдельными циклами продолжительностью 6–8 ч с интервалом записи 15 с, элевационной маской 15° в статическом режиме наблюдений. С 2000 г. выполнено девять циклов повторных измерений продолжительностью около трех недель. Применены GPS приемники “Trimble 4000 SSi” с антенной “Choke ring” и “Trimble 5700” с антенной “Zephyr” фирмы “Trimble Navigation” (США).

Наблюдения за конструкцией плотины показали, что в зимне-весенний период плотина испытывает изгиб в горизонтальной плоскости, соответствующий смещению частей плотины в южном направлении, достигающий 10 мм. Неожиданное резкое уменьшение давления воды во время фазы ее сброса уменьшает нагрузку на конструкцию, провоцируя движения основания плотины. В результате вся конструкция значительно наклоняется или

Т а б л и ц а 1

Результаты сравнения ГНСС определений с классическими линейно-угловыми измерениями [11]

| Точка | Y         | X         | dy      | dx      |
|-------|-----------|-----------|---------|---------|
| 110   | 1031,4488 | 1070,6479 | -0,0012 | 0,0001  |
| 102   | 852,3848  | 991,0740  | 0,0034  | -0,0012 |
| 103   | 1041,0440 | 918,9107  | -0,0022 | 0,0020  |
| 106   | 975,5610  | 815,0943  | -0,0008 | -0,0016 |
| 107   | 1000,0068 | 999,9950  | 0,0039  | 0,0003  |



поворачивается, что приводит к смещениям ее вершины навстречу потоку. В летний период происходит смещение тела плотины в южном направлении, что, по предположениям, связано с быстрым повышением уровня воды (до 24 м) и наклоняет плотину по направлению течения.

Исследования показывают, что отклонения плотины возрастают очень значительно для уровней до 625 м и очень быстро при превышающих уровнях. Получена математическая модель зависимости величины смещения от высоты уровня водохранилища.

Проведенные работы показали, что система GPS является высокоэффективным средством изучения деформаций.

Иная схема и программа контроля устойчивости применяется в США при изучении деформаций в районе высокогорной арочной плотины Пакоима (Калифорния) [8].

В сентябре 1995 г. система из трех постоянно функционирующих GPS приемников создана для контроля устойчивости плотины Пакоима по отношению к опорному условно устойчивому пункту, удаленному на 2,5 км от плотины. Контроль устойчивости плотины выполнялся в почти реальном времени объединенными усилиями Геологической службы США и администрации округа Лос Анджелес с использованием инфраструктуры Южнокалифорнийской объединенной GPS сети (SCIGN). Выполненные исследования продемонстрировали высокую эффективность GPS наблюдений при мониторинге высокогорных плотин.

Один из контрольных пунктов сети размещен на соединении плотины с кристаллическим горным

массивом, второй установлен в самом центре ее арки.

Наблюдательная система использует двухчастотные GPS приемники коммерческого производства с возможностью фазовых и точных кодовых измерений. Интервал записи был установлен равным 30 с. Данные накапливались в памяти приемников и передавались по телефонным модемам один раз в сутки в Институт океанографии (региональный центр обработки данных).

С января 1996 г., данные обрабатывались ежедневно как элемент функционирования Южнокалифорнийской сети GPS наблюдений, предназначенной для прогноза землетрясений. При обработке суточных сеансов использовался программный пакет "GAMIT". Результаты обработки продемонстрировали точность определений в плане 1 см и по высоте 2 см. Позднее с использованием точных эфемерид спутников были получены точности 4 – 6 и 12 мм соответственно.

Результаты исследований показали, что применяемая технология мониторинга в почти реальном времени обработки суточных данных вполне удовлетворяет необходимым требованиям. Рассмотрен вариант применения сетевой кинематики в реальном времени, но он оказался на несколько порядков превышающим по стоимости применяемую технологию статических суточных сеансов.

Система мониторинга плотины Пакоима описывается также в статье [9]. Из результатов GPS измерений были сделаны выводы о пространственных смещениях части дамбы. Спектральный анализ временного ряда координат после исключения годовой гармоника выявил высокую корреляцию ме-

Т а б л и ц а 2

Качественные характеристики систем контроля движений и деформаций плотин ГЭС

| Плотина            | Длины базовых линий, км | Внутренняя точность, мм*  | Метод |
|--------------------|-------------------------|---|-------|
| Пакоима (США)      | < 2,5                   | 10 мм в плане, 20 мм по высоте, с использованием точных эфемерид 4 – 6 мм в плане и 12 мм по высоте | ПО**  |
| Пакоима (США)      | < 0,2                   | 0,1   | РВ*** |
| Маврово (Болгария) | < 0,2                   | 4   | ПО    |
| Ататюрк (Турция)   | < 3                     | 10  | ПО    |
| Икпоба (Нигерия)   | < 1                     | 5   | ПО    |
| Мактакак (Канада)  | < 0,5                   | 0,2   | РВ    |

\* Средняя квадратическая ошибка, полученная в отчетах обработки с использованием коммерческого программного обеспечения.

\*\* Постобработка.

\*\*\* Реальное (псевдореальное) время.

жду температурой и смещениями плотины. К временному ряду была применена функция зависимости перемещений плотины от температуры. Остаточные деформации авторы связывают с изменениями уровня водохранилища и аномальными перемещениями плотины.

В работе [10] описывается технология мониторинга инженерных сооружений с использованием ГНСС, разработанная в университетском колледже Лондона, основанная на учете влияния фазовой многолучевости, использовании фильтра Кальмана и метода кумулятивной суммы (CUSUM). Особенностью технологии является то, что в обработку берутся только одночастотные фазовые измерения, а это позволяет существенно снизить стоимость системы за счет применения сравнительно недорогих спутниковых приемников. При этом время инициализации системы длится 24 ч, что необходимо для сбора данных, используемых для учета влияния многолучевости. На этапе наблюдений разработанное авторами программное обеспечение “GPSEM” использует эти данные для определения движения контрольных точек и производит фильтрацию временного ряда полученных координат.

Описанная в статье методология была опробована в системе мониторинга плотины Пакоима. Из результатов анализа временных рядов координат на интервале 4 суток были сделаны следующие выводы:

- за сутки не происходит никаких существенных смещений точек мониторинга, максимальное изменение их координат порядка 0,5 мм;

- в случае применения данной методики в полном объеме (т.е. учета многолучевости, осуществления фильтрации Кальмана и получения кумулятивной суммы) результаты определяются с высокой точностью в реальном масштабе времени, стандартные отклонения полученного временного ряда составили 0,1 мм;

- получена хорошая сходимость GPS наблюдений с результатами геотехнических измерений.

Авторами работы [10] приводятся результаты, полученные с помощью программного обеспечения “GPSEM” и их сравнение с результатами, полученными с использованием программы SkiPro. Отмечаются взаимные расхождения полученных решений, достигающие 0,43 мм.

В работе [11] представлена сравнительная оценка точности контроля деформаций насыпной плотины Маврово (Болгария) с использованием высокоточных традиционных и спутниковых наблюдений. С 1953 по 2009 г. выполнено 53 серии высокоточных линейно-угловых измерений и нивелирования с использованием электронных тахеометров, имеющих точность 0,5” и 1 мм на 1 км для углов и линий соответственно, а также нивели-



Рис. 3. Система мониторинга плотины ГЭС Мактакак [14]

ров, обеспечивающих среднюю квадратическую ошибку превышения 0,7 мм на 1 км. В 2009 г. были выполнены экспериментальные GPS измерения.

Из табл. 1 следует, что взаимные отклонения определений координат с использованием GPS и классических линейно-угловых измерений находятся в пределах первых миллиметров (1 – 4 мм). В работе [11] также приводятся расхождения результатов спутникового контроля деформаций в режиме быстрой статики (продолжительностью 5 – 10 мин с интервалом записи данных 1 с) с результатами классического деформационного мониторинга с применением высокоточных тахеометров. Полученные расхождения с классическими методами достигают на некоторых пунктах 1 см.

На основании эксперимента авторы делают выводы о том, что:

- эффективность применения ГНСС технологии для контроля устойчивости насыпных дамб находится в прямой зависимости от расположения контрольных пунктов;

- положения пунктов обусловлены наличием препятствий обзора небесной сферы;

- рекомендуется уделять особое внимание центрированию антенн ГНСС приемников;

- одним из важных факторов обеспечения установленной точности является продолжительность сеансов ГНСС измерений;

- рекомендуется выполнять определения высот с использованием точного геометрического нивелирования.

Заметим, что указанные выводы отражены в отечественной нормативной литературе.

В статье [12] приводятся результаты наблюдений за пространственными смещениями плотины Ататюрк в Турции в течение трехлетнего периода и сопоставляется точность спутниковых измерений с традиционными наземными методами мониторинга. В наблюдениях используются традиционные линейно-угловые измерения, ГНСС, точное тригонометрическое и геометрическое нивелирование, лазерное сканирование и спутниковая интерферомет-

рия (InSAR), а также негеодезические измерения (обратные отвесы, наклономеры, экстензометры, пьезометры и др.). Полученная точность определения смещений традиционными измерительными средствами находится в пределах 1 см. Выражается сомнение в достаточной точности определения вертикальных смещений средствами ГНСС. В публикации приводится перечень действующих и строящихся высотных плотин, среди которых Нурекская и Рогунская, расположены на территории бывшего СССР.

В статье [13] представлены результаты анализа различных технологий деформационного мониторинга, в том числе на основе использования GNSS. Описанная система мониторинга плотины Икпоба представляет собой первый опыт применения спутниковой технологии контроля деформаций гидротехнических сооружений в Нигерии. Длины базовых линий в сети мониторинга не превышают 3 км. Авторы отмечают, что полученная максимальная погрешность определения смещений не превышает 5 мм. Из результатов исследований, проведенных в период с 2008 по 2010 г., делается вывод о высокой точности мониторинга деформаций плотины как в плане, так и по высоте, особенно для коротких базовых линий.

В работе [14] рассматривается построение системы контроля деформаций плотины Мактакак в Канаде с использованием спутниковых геодезических ГНСС приемников. В состав развернутой системы (рис. 3) вошли две опорных станции, одна из которых была установлена на коренном берегу, а другая — на острове. Также в состав системы мониторинга вошли четыре контрольных спутниковых пункта, установленных попарно на двух водосливных плотинах. В статье представлены результаты первых пяти месяцев эксплуатации системы мониторинга. Авторы говорят о достигнутой субмиллиметровой точности.

Для расчетов использовалось программное обеспечение “mmVu”, разработанное “Gemini Navsoft Technologies”. В обработку брались данные каждые 5 с, затем фильтровались на периоде 24 ч и 7 суток.

Программное обеспечение “mmVu” за счет фильтрации результатов, по утверждению авторов, позволяет достигать миллиметровой точности за период наблюдений от 12 до 24 ч. Технология обработки, реализованная в “mmVu”, основана на применении фильтра Кальмана для обработки доплеровских наблюдений и позволяет добиться высокой частоты обновления результатов, что важно для таких динамических критически важных объектов, как плотины высоконапорных гидроэлектростанций. Отметим, что нельзя считать удачной установкой контрольных пунктов на теле плотины из-за на-

личия вблизи их расположения массивных конструкций, препятствующих приему спутникового сигнала и вызывающих его переотражение.

В районах, где различие высот опорной станции и датчика на плотине может достигать сотен метров, как, например, в условиях Саяно-Шушенской ГЭС, программное обеспечение “mmVu”, по мнению его разработчиков, позволяет существенно снизить остаточное влияние тропосферы за счет использования высокой частоты дискретизации и доплеровской фильтрации с временной задержкой (Time-Delayed Doppler TDD filter).

В исследовании [14] также оцениваются характеристики смещений по данным обратных отвесов, используемых в качестве традиционного метода контроля плановых перемещений плотин гидроэлектростанций. Показано, что характеристики перемещений, полученные с использованием GPS и обратных отвесов, не согласуются между собой. Рассогласование требует тщательного изучения. В качестве одной из причин рассматривается температурное влияние на изменения объема тела плотины.

В табл. 2 представлена сводка характеристик систем контроля устойчивости плотин, рассмотренных выше.

Рассмотренные системы контроля движений и деформаций по типу обработки данных можно разделить на две группы:

- с получением результатов мониторинга в автоматизированном режиме в реальном (псевдореальном) времени (РВ);

- с получением результатов из постобработки (ПО).

Результаты, приведенные в табл. 2, демонстрируют сравнительную эффективность тех или иных подходов, различие точностей которых обусловлено влиянием и степенью учета разных факторов.

Можно видеть существенный разброс оценок точности от 0,1 до 20 мм, что свидетельствует о недостаточной изученности возможностей ГНСС и разнообразии применяемых методик ослабления возмущающих факторов. Любопытно, что приводя субмиллиметровые оценки, авторы, как правило, не разделяют их на плановую и высотную составляющие, что уже вызывает определенное сомнение в объективности данных оценок.

Наиболее высокие точности ГНСС определений (0,1 – 4 мм) соответствуют локальным контрольным сетям, взаимные удаления пунктов которых не превышают 0,5 км. При увеличении расстояний от 1 до 3 км, средние квадратические ошибки возрастают до 5 – 20 мм. Эта тенденция в очередной раз подтверждает известную закономерность понижения точности ГНСС определений с увеличением длин базовых линий сети, а также свидетельствует



о том, что влияние систематических ошибок (как правило, атмосферного характера) в той или иной мере удастся ослабить в разностях фазовых относительных измерений лишь при значительной близости друг другу траекторий прохождения радиосигнала спутник — приемник.

### **Основные факторы ограничения точности и оценка эффективности наблюдательных систем.**

Одними из основных источников ошибок при проведении спутниковых наблюдений на гидротехнических сооружениях являются влияние тропосферы на прохождение спутникового сигнала и его многолучевость. Влияние данных факторов понижения точности на результаты мониторинга рассмотрено, например, в работе [15].

Принимая во внимание достигнутый в последнее десятилетие прогресс в развитии технологий учета влияния указанных источников ошибок спутниковых измерений на результаты мониторинга деформаций с использованием ГНСС, можно говорить о достижении достаточно высокой точности, даже в сложных условиях высоконапорных горных ГЭС.

Понижение точности за счет неполного учета влияния тропосферы особенно заметно, когда различие высот мест размещения опорных и контрольных станций, например на гребне плотины ГЭС, достигает 100 м и более. В связи с этим при создании систем мониторинга инженерных сооружений на основе использования ГНСС можно рекомендовать построение системы таким образом, чтобы опорные и контрольные станции были расположены на одной высоте. Эффективным для учета метеорологических параметров является использование метеорологических наблюдений. Но даже при реализации этих мероприятий влияние тропосферы остается одним из наиболее существенных факторов понижения точности результатов мониторинга деформаций с использованием спутниковых технологий.

Согласно регламенту [16] для бетонных гидротехнических сооружений на скальных основаниях рекомендуется выполнять определения осадок и горизонтальных смещений со средней квадратической погрешностью 1 мм.

В то же время остается неопределенным конкретный способ осуществления оценки точности выполняемых измерений. На этот вопрос следует обратить особое внимание, так как сегодня под оценками точности подразумеваются различные характеристики. Это продемонстрировано даже результатами, представленными в табл. 2.

Главной причиной различия указанных оценок, вероятнее всего, является именно различие применяемых методик ослабления влияния главных источников ошибок ГНСС наблюдений. Тем не менее, эти различия могут носить также и искусственный

характер, т.е. быть связанными со способом вычисления соответствующих оценок.

Рассмотрим следующие виды измерений, используемых для получения характеристик точности:

повторные измерения одной величины, близкие по времени;

повторные измерения одной величины, разнесенные во времени;

совокупность измерений разных величин (в том числе с использованием разных видов измерительных средств);

измерения, сопоставляемые с эталоном.

Из практики геодезических работ известно, что наиболее надежные характеристики точности получают на основе последнего из четырех указанных действий, а наименее надежные — на основе первого. Несколько десятилетий тому назад в геодезической практике широко использовался такой узкоспециальный термин, как “внутренняя сходимость”, представляющая собой повторяемость результатов измерений одной и той же величины, близких по времени. В англоязычной геодезической литературе с этим понятием связаны такие устоявшиеся термины, как “inner (internal) accuracy”, “repeatability” и “precision”. Осуществление оценок точности “по внутренней сходимости” всегда демонстрировало завышенную и наименее реалистичную точность.

В этой связи следует отметить, что сегодня подобные оценки наиболее широко распространены, особенно при выполнении ГНСС измерений. При этом многие факторы, ограничивающие точность измерений, остаются не выявленными и не отражаются на разбросе получаемых значений. Опыт работ с использованием ГНСС убедительно демонстрирует этот эффект, стоит только начать использовать для оценки точности измерения, разнесенные по времени, или, более того, определять “истинные” ошибки измерений из сравнения с эталоном. В большинстве случаев сегодня оценка точности ГНСС измерений осуществляется именно по “внутренней сходимости”, чему соответствуют значения средних квадратических ошибок, получаемые стандартным коммерческим программным обеспечением по данным обработки сеансов одно-временных ГНСС наблюдений.

Специальные исследования ГНСС аппаратуры на эталонных базисах продемонстрировали следующую закономерность [17]. Получено соотношение средних квадратических ошибок (СКО), вычисляемых по разным характеристикам:

$$m_{\Delta} \approx 4m_d \approx 7m_{\text{soft}}$$

где  $m_{\Delta}$  — средняя квадратическая ошибка по отклонениям от эталонных значений (“истинным” ошибкам);  $m_d$  — СКО по разностям двойных (разнесенных во времени измерений);  $m_{\text{soft}}$  — СКО получаемое коммерческим программным обеспечением ГНСС измерений.

Таким образом, получая оценку точности из определений стандартным программным обеспечением, можно полагать, что реальная точность окажется почти на порядок ниже полученной.

К излишне оптимистичным, вероятно, относятся оценки точности, полученные в работах [10, 14], где декларируются субмиллиметровые СКО, достигающие даже 0,1 мм, что представляет собой разрешающую способность (т.е. предельную возможность) регистрации фазы спутникового радиосигнала.

В то же время специфика непрерывных наблюдений за деформациями инженерных сооружений не позволяет применять для оценки точности эталонные геодезические построения. Таковые можно использовать только в отдельных регламентных случаях, чтобы как можно реже прерывать ответственные наблюдения. Тем не менее, в данных условиях сохраняется возможность сопоставления результатов ГНСС измерений с параллельно выполняемыми измерениями, основанными на других физических принципах. В рассмотренных публикациях к таковым относятся результаты измерений с использованием обратных отвесов и линейно-угловые высокоточные измерения [11, 14].

При современном уровне развития спутниковой технологии точность 1–2 мм определения смещений плотины гидроэлектростанции, требуемую нормативно техническими документами [16], невозможно получить из результатов стандартной обработки спутниковых наблюдений, даже с использованием точных эфемерид спутников и различных моделей учета влияния внешних факторов. Для достижения таких точностных характеристик рядом авторов результаты подвергаются обработке в специальном программном обеспечении посредством фильтрации и спектрального анализа временных рядов. Но в этом случае следует ясно представлять, что фильтрация, как численная и не всегда физически обоснованная процедура, может приводить к неоправданному “усечению” полезного сигнала, равно как и спектральный анализ временных рядов требует физического объяснения той или иной колебательной компоненты, за счет удаления которой формально достигают меньших значений СКО.

## Выводы

Можно констатировать, что существуют два важнейших фактора, представляющих опасность для объектов инфраструктуры гидротехнического сооружения и населения прилегающих территорий. Это наведенная сейсмическая активность и степень надежности конструкции плотины в зависимости от естественных и техногенных нагрузок. Эти факторы являются определяющими при проектировании контрольных геодезических построений, предназначенных для наблюдений за движениями и деформациями земной поверхности и объектов. Необходимо создавать и развивать (экономически целесообразно на основе уже существующих) контрольные геодезические сети двух основных уровней: региональную геодинамическую и локальную сеть контроля деформаций тела плотины. При этом необходимо использовать весь комплекс геодезических и геофизических измерительных средств, в ряду которых основными являются ГНСС наблюдения, классические линейно-угловые измерения, высокоточное нивелирование, гравиметрические и сейсмологические наблюдения, обратные отвесы, инженерно-технические датчики, метеорологические наблюдения и др. Целесообразно осуществлять межведомственное комплексное взаимодействие организаций разных отраслей, имеющих опыт ГНСС измерений в наблюдениях региональных деформаций земной поверхности и мониторинга инженерно-технических сооружений.

Спутниковые методы геодезии находят все более широкое применение в мониторинге деформаций гидротехнических сооружений и обеспечивают точность, сравнимую с традиционными наземными методами контроля деформаций. Их применение сегодня наиболее эффективно и экономически оправдано особенно в региональных геодинамических фрагментах (кластерах) единой комплексной наблюдательной сети. Применение ГНСС для наблюдений за телом плотины пока что требует разработки специальных технологий, но даже при достижении околосантиметровой точности определения плановых компонент (на достаточно коротких расстояниях) получение соответствующей точности определения вертикальных смещений остается проблематичным.

Тем не менее, совместное использование в системе мониторинга ГЭС спутниковой и традиционной технологий, в том числе с применением прямых и обратных отвесов, обеспечивает повышенную надежность получения смещений сооружения в плане и по высоте, а значит, способствуют повышению безопасности таких стратегически важных объектов, как, например, гидроэлектростанции.



## Список литературы

1. Гунта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. — М.: Мир, 1979.
2. Gouch D., Gouch W. Load-induced earthquakes of lake Kariba // *Geophys. J.*. 1970. V. 21. P. 79 – 101.
3. Kumar J. P., Ramana D. V., Chadha R. K., Singh C., Shekar M. The relation between seismicity and water level changes in the Koyna-Warna region, India // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*. 2012. 12. P. 813 – 817.
4. Telesca L., do Nascimento A. F., Bezerra F. H. R., Ferreira J. M. Analysing the temporal fluctuations of the reservoir-triggered seismicity observed at Açú (Brazil) // *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*. 2012. 12. P. 805 – 811.
5. Наумов Я. В. Геодезические работы по изучению движений земной коры в районах строительства высоких плотин // *Современные движения земной коры.* — Новосибирск, 1978. С. 152 – 154.
6. *Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах.* — М.: ОНТИ ЦНИИГАиК, 1985.
7. Kulkarni M. N., Radhakrishnan N., Rai D. Deformation Studies of Koyna Dam // *GPS World*. 2004. Nov. 1.
8. Kenneth W. Hudnut and Jeffrey A. Behr. Continuous GPS monitoring of Structural Deformation at Pacoima Dam, California // *Seismological Research Letters*, July / August 1998 issue (vol. 69, No. 4, P. 299 – 308).
9. Behr J., Hudnut K. W., King N. E. Monitoring Structural Deformation at Pacoima Dam, California Using Continuous GPS [http://pasadena.wr.usgs.gov/office/hudnut/docs/Behr\\_et\\_al-PacoimaGPS.pdf](http://pasadena.wr.usgs.gov/office/hudnut/docs/Behr_et_al-PacoimaGPS.pdf) – 1999.
10. Ali R., Cross P., El-Sharkawy A. High Accuracy Real-time Dam Monitoring Using Low-cost GPS Equipment // *FIG Working Week 2005 and GSDI-8, Cairo, Egypt*, 16 – 21 April 2005 [http://www.fig.net/pub/cairo/papers/ts\\_43/ts43\\_05\\_ali\\_et\\_al.pdf](http://www.fig.net/pub/cairo/papers/ts_43/ts43_05_ali_et_al.pdf).
11. *Srbinoski Z., Bogdanovski Z.* Application of GNSS technology in geodetic auscultation of embankment dams // *BALGEOS 2009, Vienna, Austria*, 27 – 29 January 2010. [http://balgeos.cc.bas.bg/News/materials/Presentations/present\\_Viena\\_2010/11\\_Bogdanovski\\_Application\\_GNSS\\_technology.pdf](http://balgeos.cc.bas.bg/News/materials/Presentations/present_Viena_2010/11_Bogdanovski_Application_GNSS_technology.pdf).
12. Kalkan Y., Alkan R. M., Bilgi S. Deformation Monitoring Studies at Atatürk Dam // *FIG Congress Facing the Challenges — Building the Capacity*, Sydney, Australia, 11 – 16 April 2010. [http://www.fig.net/pub/fig2010/papers/fs01d%5Cfs01d\\_kalkan\\_alcan\\_et\\_al\\_4466.pdf](http://www.fig.net/pub/fig2010/papers/fs01d%5Cfs01d_kalkan_alcan_et_al_4466.pdf).
13. Ehirobo J. O., Irughe-Ehigiator R. Monitoring for Horizontal Movement in an Earth Dam Using Differential GPS // *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*. 2011. № 2 (6). P. 908 – 913.
14. Bond J., Kim D., Fletcher J. A Study of the Use of GPS Sensors for Structural Monitoring of the Mactaquac Dam. [http://www.gemini-navsoft.com/GPS\\_Structural\\_Monitoring.pdf](http://www.gemini-navsoft.com/GPS_Structural_Monitoring.pdf) – 2011.
15. Akrou B., Santerre R. Investigation sur le potentiel du système GPS pour l'auscultation topographique de barrages // *GEOMATICA*. 1998. vol. 52. № 4. P. 441 – 451.
16. *Руководство по натурным наблюдениям за деформациями гидротехнических сооружений и их оснований геодезическими методами / Минэнерго СССР. Гидропроект им. С. Я. Жука.* — М.: Энергия, 1980.
17. Kaftan V. I., Tatevian R. A. (2000) Local control network of the fiducial GLONASS / GPS station, IAG, Section I - Positioning, Commission X-Global and Regional Networks, Subcommission for Europe (EUREF). Publication No 9. Munchen 2000. P. 333 – 337.

## О гидроэнергетическом строительстве на трансграничных реках бассейна Амударьи

Асарин А. Е., доктор техн. наук (ОАО “Институт Гидропроект”), Корчевский В. Ф., главный инженер (ООО “Гидроспецпроект”)

Рассматриваются условия строительства новых ГЭС и водохранилищ на трансграничных реках бассейна Амударьи, обеспечивающих более полное комплексное использование водных и гидроэнергетических ресурсов в интересах экономики всех прибрежных государств-пользователей.

**Ключевые слова:** водохранилище, регулирование стока, гидроэнергетический потенциал, компенсация, плотина, гидроэлектростанция, магистральный канал, орошаемые земли, международные соглашения.

Согласно “Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер” (Хельсинки, 1992 г.) определение “трансграничные воды” включает любые поверхностные или подземные воды, которые обозначают, пересекают границы между двумя и более государствами или расположены на таких границах. В этом отношении в бассейне р. Амударьи сложилась чрезвычайно пестрая и сложная картина.

Р. Амударья и ее основная составляющая — р. Пяндж на значительном протяжении образуют естественный водный рубеж между Афганистаном с одной стороны и последовательно Таджикистаном, Узбекистаном и Туркменией — с другой. Далее Амударья протекает по территории Туркмении, затем по границе между Туркменией и Узбекистаном и наконец после выхода на территорию Узбекистана достигает Аральского моря. В пределах территории Узбекистана в р. Амударью впадает р. Сурхандарья, частично формирующаяся в Таджикистане, а в пределах территории Таджикистана — р. Вахш, берущая начало в Киргизии, и р. Кафирниган, на некотором участке служащая границей между Узбекистаном и Таджикистаном. К бассейну р. Амударьи относятся также бессточные реки: р. Зеравшан, формирующаяся в Таджикистане и разбирающаяся на орошение в Узбекистане; р. Теджен, пограничная между Ираном и Туркменией; р. Мургаб, пересекающая границу Афганистана и Ирана.

Преобладающая часть гидроэнергетического потенциала бассейна р. Амударьи сосредоточена на двух основных ее составляющих — реках Вахш и Пяндж, пересекающих с большими уклонами горные районы Таджикистана и Афганистана и обладающих благодаря этому огромной энергией падения. Основные же отборы воды для сельского хозяйства приурочены к равнинному участку р. Амударьи, к которому примыкают пригодные для орошения земли Афганистана, Узбекистана и Туркмении. При этом площади пригодных для орошения земель (14 млн. га) превышают располагаемые водные ресурсы бассейна (в среднем 63,1 км<sup>3</sup> в

створе Керки), которые могут быть использованы для орошения не более 6 млн. га [1].

Водохозяйственное использование бессточных рек Заравшан, Теджен и Мургаб, в какой бы форме оно не было решено прибрежными государствами, практически не может оказать влияния на водную стратегию бассейна. Что же касается Афганистана, то объективный учет его возможных интересов представляется обязательным по следующим обстоятельствам:

к территории Афганистана относится 44,4 % водосборной площади р. Пяндж, или около 23 % водосборной площади бассейна р. Амударьи;

объем стока, формирующегося на территории Афганистана (20, 1 км<sup>3</sup>), составляет 25,8 % общего объема стока р. Амударьи;

площадь пригодных для орошения земель в Северном Афганистане оценивается в 1,5 млн. га [2], что составляет 7,1 % общего земельного фонда бассейна, или 25 % его части обеспечено водными ресурсами;

по наличию земель, пригодных для орошения, Афганистан мог бы осуществлять ежегодный забор воды в объеме 10 – 12 км<sup>3</sup>, или 19 % от располагаемых водных ресурсов р. Амударьи;

гидроэнергетический потенциал пограничного с Афганистаном участка р. Пяндж и р. Амударьи достигает 119 ТВт · ч, или почти 40 % от общего по бассейну Амударьи.

Система международно-правового регулирования использования водных ресурсов, являющихся предметом совместных интересов двух или более сопредельных (прибрежных) государств, складывается, в основном, как соглашательская (договорная). Она опирается на существующие прецеденты: международные договоры, акты, общеправовые принципы, конвенции, декларации и резолюции международных организаций, устанавливающие общие направления заключаемых соглашений. Наиболее полно эти принципы и комментарии к ним изложены в “Хельсинских правилах использования вод международного значения”, принятых в 1966 г. на 52-й конференции Ассоциации междуна-

родного права. Основная статья этих правил, подтвержденная в 1970 г. на сессии Комитета международного права в Риме, гласит, что каждое государство в бассейне имеет право на своей территории на разумную и объективную долю в прибыльном использовании воды в международных водосборных бассейнах так, чтобы обеспечить максимум дохода этому государству от использования воды с минимальным ущербом для других сопредельных государств.

Разумная и объективная доля определяется в каждом конкретном случае на основе анализа целого ряда природных, исторических, хозяйственных, социально-экономических, демографических, коммерческих и других факторов. Конфликтные ситуации регулируются следующими положениями:

ни одно государство не может осуществлять хозяйственную деятельность, приводящую к ущемлению интересов другого государства без его согласия;

любой ущерб, который наносится одному государству в результате действий другого, подлежит обязательному возмещению или компенсации;

если право использования водных ресурсов может быть осуществлено более чем одним способом, должен быть выбран тот, который приемлем для сопредельного государства.

К водопользователям и водопотребителям бассейна р. Амударья относятся: энергетика, орошаемое земледелие, коммунально-бытовое водоснабжение, а также экосистема Аральского моря, рассматриваемая, как самостоятельный объект водопотребления. Наиболее существенные противоречия возникают между двумя отраслями экономики:

энергетикой и ирригацией, особенно в том случае, если они принадлежат разным государствам.

В многолетнем регулировании стока, в принципе, заинтересованы обе отрасли экономики: энергетика и орошаемое земледелие, тогда как в сезонного перераспределении их интересы прямо противоположны. При неспособности водохранилищ полностью удовлетворить интересы обеих отраслей предпочтение, отдаваемое ирригационному или энергетическому режиму регулирования стока, как правило, ущемляет экономические интересы одной из сторон и нарушает основные принципы, регламентирующие использование международных рек.

Строительство регулирующих сток водохранилищ в советских республиках Средней Азии осуществлялось главным образом для целей ирригации. Энергетическое использование стока носило подчиненный характер: наибольший объем выработки электроэнергии приходился на летний период года, тогда как энергосистема требовала превышения зимней выработки электроэнергии над летней. Энергетические же потребности горных республик покрывались из Объединенной энергосистемы, независимо от того, где находились генерирующие источники.

В условиях дефицита водных ресурсов вода как фактор, определяющий уровень социально-экономического развития региона и удовлетворения экологических требований общества, не имеет альтернативы, поэтому и в настоящее время наиболее целесообразным режимом работы водохранилищ остается ирригационный, а компенсация энергетических ущербов осуществляется либо путем переда-

Т а б л и ц а 1

| ГЭС              | НПУ, м | Макс. напор, м | Средний годовой объем стока, км <sup>3</sup> | Объем водохранилища, км <sup>3</sup> |          | Установленная мощность, МВт | Средняя многолетняя выработка, ТВт · ч |
|------------------|--------|----------------|--|--------------------------------------|----------|-----------------------------|--|
|                  |        |                |  | полный                               | полезный |                             |  |
| Рогунская*       | 1290,0 | 320            | 19,9   | 13,30                                | 10,30    | 3600                        | 13,4                                   |
| Шуробская**      | 977,0  | 67             | 19,9   | 0,08                                 | 0,01     | 850                         | 3,1                                    |
| Нурекская        | 910,0  | 275            | 20,1   | 10,50                                | 4,50     | 3000                        | 11,5                                   |
| Байпазинская     | 630,0  | 60             | 20,2   | 0,13                                 | 0,09     | 600                         | 2,4                                    |
| Сангтудинская-1  | 571,5  | 63             | 20,3   | 0,25                                 | 0,01     | 670                         | 2,6                                    |
| Сангтудинская-2* | 508,5  | 23             | 20,3   | 0,08                                 | 0,01     | 220                         | 1,0                                    |
| Головная         | 485,0  | 31             | 20,3   | 0,01                                 | 0,02     | 210                         | 1,1                                    |
| Перепадная       | 444,5  | 40             |  |                                      |          | 30                          | 0,3                                    |
| Центральная      | 404,8  | 27             |  |                                      |          | 18                          | 0,1                                    |
| Итого            |        |                |  | 24,35                                | 14,94    | 9200                        | 35,5                                   |

\* Строящиеся ГЭС.

\*\* Проектируемые ГЭС.

чи эквивалентных объемов энергоносителей или непосредственно электроэнергии, либо другим взаимоприемлемым способом, установленным двух- или многосторонним соглашением.

В зависимости от водности года, изменяющихся во времени требований к режиму использования стока и прочих факторов величина энергетического ущерба может колебаться в широком диапазоне, что требует периодической корректировки таких соглашений, поэтому они могут иметь лишь временный характер.

Ликвидировать энергетические ущербы (что позволит отказаться от достаточно сложной и малонадежной практики заключения и выполнения вре-

менных соглашений по их компенсации) можно путем строительства новых ГЭС и водохранилищ, играющих роль: сезонных энергетических компенсаторов энергосистемы, восполняющих в зимний период года снижение энергетической отдачи ГЭС, работающих в ирригационном режиме;

контррегулятора, трансформирующего энергетический режим попусков вышерасположенного каскада ГЭС в соответствии с ирригационным графиком водопотребления.

Первый способ предполагается использовать в бассейне р. Сырдарья, где функции компенсатора зимнего дефицита электроэнергии могла бы выполнять Камбаратинская ГЭС-1 на р. Нарын [3]. Вто-

Т а б л и ц а 2

| ГЭС                 | НПУ, м | Макс. напор, м | Средний годовой объем стока, км <sup>3</sup> | Объем водохранилища, км <sup>3</sup> |          | Установленная мощность, МВт | Средняя многолетняя выработка, ТВт·ч |
|---------------------|--------|----------------|--|--------------------------------------|----------|-----------------------------|--------------------------------------|
|                     |        |                |  | полный                               | полезный |                             |                                      |
| Р. Пяндж            |        |                |  |                                      |          |                             |                                      |
| Верхний участок     |        |                |  |                                      |          |                             |                                      |
| Баршарская          | 2510   | 100            | 7,9  | 2,20                                 | 1,25     | 300                         | 1,6                                  |
| Андеробская         | 2410   | 185            | 7,9  | 1,40                                 | 0,10     | 650                         | 3,3                                  |
| Пишская             | 2225   | 90             | 7,9  | 0,20                                 | 0,03     | 320                         | 1,7                                  |
| Хорогская           | 2135   | 70             | 7,9  | 0,10                                 | 0,01     | 250                         | 1,3                                  |
| Средний участок     |        |                |  |                                      |          |                             |                                      |
| Рушанская           | 2060   | 395            | 16,7   | 5,50                                 | 4,10     | 3000                        | 14,8                                 |
| Язгулемская         | 1665   | 95             | 19,0   | 0,40                                 | 0,02     | 850                         | 4,2                                  |
| Гранитные ворота    | 1570   | 215            | 20,8   | 1,30                                 | 0,03     | 2100                        | 10,5                                 |
| Ширговатская        | 1355   | 185            | 22,3   | 1,90                                 | 0,04     | 1900                        | 9,7                                  |
| Хоставская          | 1170   | 115            | 22,7   | 1,20                                 | 0,04     | 1200                        | 6,1                                  |
| Нижний участок      |        |                |  |                                      |          |                             |                                      |
| Даштиджумская       | 1055   | 300            | 24,2   | 17,60                                | 10,20    | 4000                        | 15,6                                 |
| Джумарская          | 755    | 155            | 25,1   | 2,30                                 | 1,30     | 2000                        | 8,2                                  |
| Московская          | 600    | 55             | 25,2   | 0,80                                 | 0,04     | 800                         | 3,4                                  |
| Кокчинская          | 430    | 20             | 34,7   | 1,20                                 | 0,20     | 350                         | 1,5                                  |
| Р. Амударья         |        |                |  |                                      |          |                             |                                      |
| Верхнеамударьинская | 345    | 39             | 54,2   | 15,20                                | 11,40    | 1000                        | 4,4                                  |
| Термезская          | 305    | 15             | 63,8   | 1,40                                 | 0,20     | 300                         | 1,8                                  |
| Келифская           | 280    | 20             | 63,8   | 2,20                                 | 0,40     | 480                         | 2,9                                  |
| Мукрынская          | 255    | 7              | 63,8   | -                                    | -        | 180                         | 1,1                                  |
| Итого               |        |                |  | 54,90                                | 29,20    | 19680                       | 92,1                                 |





Рис. 1. Схема расположения проектируемых, строящихся и действующих ГЭС на реках Вахш, Пяндж и участке верхнего течения р. Амударьи

рой способ наиболее приемлем для бассейна р. Амударьи [4]. Таким образом, может быть обеспечено наиболее полное и оптимальное использование водных и гидроэнергетических ресурсов рек в интересах экономики всех прибрежных государств бассейна.

До распада СССР статус трансграничных водотоков имели только р. Пяндж и участок верхнего течения р. Амударьи, пограничных между Таджикской ССР и Афганистаном. Р. Вахш – правобережный приток р. Амударьи, в этом качестве не рассматривалась. Гидроэнергетическое строительство на ней осуществлялось как на внутреннем водотоке, без каких-либо согласований с Афганистаном, который не предпринимал никаких действий (кроме повышения проектной изученности), направленных на водохозяйственное использование пограничного участка р. Амударьи. Согласование же режимов использования стока между советскими республиками решалось в генеральных бассейновых схемах, утверждаемых единым центральным органом — Госпланом СССР.

На р. Вахш было намечено и большей частью осуществлено строительство каскада ГЭС, водно-энергетические показатели которых приведены в табл. 1.

Проектом Рогунского гидроузла, разработанным более 30 лет назад [5], предусматривалось строительство грунтовой плотины высотой 335 м и ГЭС установленной мощностью 3600 МВт со среднесуточной выработкой электроэнергии

13,4 ТВт · ч. Основным назначением Рогунского гидроузла являлось регулирование стока в интересах ирригации Узбекистана и Туркмении. Экономическая эффективность ГЭС обеспечивалась при отнесении значительной части капиталовложений в строительство гидроузла на ирригацию.

В отсутствие Рогунского гидроузла регулирование стока для нужд ирригации осуществляется рядом русловых и наливных водохранилищ суммарным полезным объемом 15 км<sup>3</sup> (из них наиболее крупные Нурекское и Тюямуюнское), что обеспечивает гарантированную отдачу на орошение до 80 % располагаемых водных ресурсов Амударьи.

Предполагалось, что Рогунского водохранилища с полезным объемом 8,6 км<sup>3</sup> (с учетом заилиения его через 25 лет эксплуатации) будет достаточно, чтобы обеспечить полное использование водных ресурсов Амударьи в интересах орошаемого земельного бассейна.

На наиболее многоводном притоке Амударьи — р. Пяндж пока не построено ни одной гидроэлектростанции, хотя схема комплексного ее использования, включающая также пограничный участок Амударьи, была разработана совместно с Афганистаном еще в 1967 г.

План и продольный профиль рек Вахш, Пяндж и верхнего участка р. Амударьи с разбивкой на ступени энергоиспользования приведены на рис. 1 и 2, водно-энергетические показатели ГЭС — в табл. 2.

Рассматриваемый пограничный водоток был разбит на четыре участка: три на р. Пяндж и один



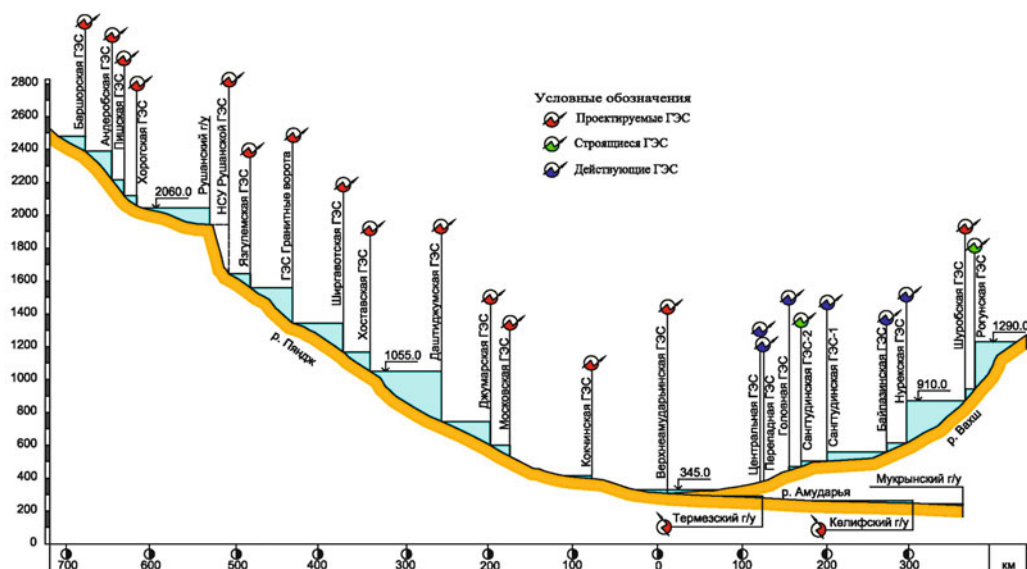


Рис. 2. Продольный профиль рек Вахш, Пяндж и участка верхнего течения р. Амударьи с разбивкой на ступени энергоиспользования

на р. Амударье. Каждый из них включал каскад из 4 – 5 ГЭС, в голове которого располагался гидроузел с регулирующим сток водохранилищем.

Оценка экономического гидроэнергетического потенциала (36,2 ТВт · ч без труднодоступного верхнего участка р. Пяндж), основанная на существовавших ранее критериях эффективности, естественно, должна быть пересмотрена. В новых рыночных условиях, исправляющих искаженные в прошлые годы ценовые пропорции, конкурентоспособность ГЭС растет, в связи с чем размеры экономического потенциала р. Пяндж возможно будут иметь тенденцию к увеличению.

Первоочередным объектом строительства в Схеме 1967 г. была выбрана Верхнеамударьинская ГЭС, водохранилище которой позволяло удовлетворить все требования орошаемого земледелия, а также в качестве контррегулятора обеспечить возможность работы вышерасположенных каскадов Вахшских и Пянджских ГЭС в любом, требуемом энергосистемой режиме. Из Верхнеамударьинского водохранилища предполагалось осуществить забор воды для орошения земель Северного Афганистана путем строительства самотечного магистрального канала.

В конце 1960-х гг. Схема комплексного использования р. Пяндж и р. Амударьи на пограничном участке между СССР и Афганистаном была утверждена Госэкспертизой Госплана СССР. Начало строительства Верхнеамударьинской ГЭС, которая рассматривалась как конкурирующая с Рогуновской ГЭС в части очередности их строительства, было отложено на 10 – 15 лет. Основанием для этого послужили следующие доводы:

первоочередное строительство Верхнеамударьинской ГЭС лишало Рогуновскую ГЭС возможности

отнесения части капиталовложений на ирригацию, из-за чего ее экономическая эффективность как чисто энергетического объекта (по существовавшим тогда критериям) существенно снижалась;

совместное строительство гидроузла на пограничной реке неизбежно связано с заключением договора между СССР и Афганистаном о разделе водных ресурсов бассейна Амударьи. По существовавшему тогда мнению (достаточно спорному) делить нужно будет только оставшуюся неиспользованной их часть. Поэтому, учитывая существенную разницу в темпах освоения орошаемых земель, для СССР было выгодно, чтобы такой раздел произошел в более отдаленный период;

в зону затопления Верхнеамударьинским водохранилищем попадает территория заповедника “Тигровая балка”. Однако эта причина, будь она единственной, в то время вряд ли могла помешать осуществлению строительства, тем более что тигры там уже давно не водились.

Сегодня эти доводы, за исключением последнего, потеряли свою актуальность.

Проблема трансграничного водораздела представляется чрезвычайно сложной, особенно в условиях, когда существующие правовые нормы не указывают однозначного направления действий, ограничиваясь двумя конфликтующими принципами:

каждому государству бассейна должно быть гарантировано использование определенных вод, даже если оно в настоящее время не использует их, так как в противном случае государство, начинающее свое экономическое развитие позже, окажется стесненным в использовании вод уже существующей развитой системой водопользования других государств бассейна;



Рис. 3. Схема Нижнепянджского водохранилища

воды не должны сохраняться для будущего использования при отсутствии разработанных планов такого использования, поскольку это мешало бы текущему использованию вод в условиях большого спроса на речные воды и их нехватки во многих районах.

Вряд ли следует ожидать, что в ближайшее время Афганистаном самостоятельно будут предприняты какие-либо крупномасштабные работы в этом направлении. Скорее всего, такие планы у него отсутствуют. Однако, с формальной точки зрения, в качестве таковых может рассматриваться “Схема развития орошения в северных районах Афганистана”, разработанная Минводхозом СССР по контракту с этим государством в 1968 г.

Забор воды для орошения земель Северного Афганистана может быть осуществлен без каких-либо сложностей путем строительства самотечных каналов с бесплотинными водозаборами по аналогии с Каракумским каналом в Туркмении, обеспечивающим забор воды с расходом до 300 м<sup>3</sup>/с.

На пограничном участке Амударьи существуют, по крайней мере, три места, где природные условия благоприятствуют устройству бесплотинных водозаборов. Это створ Верхнеамударьинского гидроузла, затем район впадения р. Кафирниган и створ Келифского гидроузла. Магистральные каналы, проложенные от этих водозаборов, способны обеспечить самотечное орошение подкомандных земель на площади до 1 млн. га. Таким образом, проблема орошения земель в Северном Афганистане технически может быть решена и без участия сопредельного государства.

Регулирование стока для целей ирригации в водохранилище Рогунского гидроузла, контролирующего всего одну треть стока р. Амударьи и расположенного за тысячу километров от основных точек забора воды в Каракумский, Каршинский и Амбу-

харский магистральные каналы, теоретически возможно, но на практике малоэффективно. Особенно если учесть, что по пути возможен неконтролируемый отбор воды бесплотинными водозаборами в ирригационную систему Афганистана.

Кроме того, семь ГЭС Вахшского каскада (за исключением Центральной и Перепадной) будут работать в ирригационном режиме с существенным снижением зимней выработки электроэнергии.

Этот недостаток в полной мере можно отнести также и к варианту размещения регулирующей емкости в Даштиджумском створе на р. Пяндж, хотя в этом случае величина энергетического ущерба несколько снизится, поскольку он будет иметь место только на четырех ГЭС нижнего участка реки.

Даштиджумское водохранилище по сравнению с Рогунским обладает большей полезной емкостью (при меньшей высоте плотины) и контролирует большую часть стока р. Амударьи. Ущерб от затоплений при его строительстве несоизмеримо меньше, а срок службы водохранилища, благодаря вдвое меньшему объему твердого стока, существенно увеличивается.

При строительстве регулирующих сток емких водохранилищ на реках Вахш и Пяндж серьезной проблемой может оказаться возможность их начального наполнения, которое в условиях напряженного водохозяйственного баланса будет достаточно длительным. Например, начальное наполнение Токтогульского водохранилища в бассейне р. Сырдарьи продолжалось более 14 лет.

Ускорение начального наполнения Даштиджумского (и Рогунского) водохранилища может обеспечить частичное опорожнение высокогорного Сарезского озера, расположенного в верховьях правобережного притока Пянджа — р. Бартанг. Объем воды в озере, образованном в начале 20-го столетия естественным завалом породы высотой более 700 м, составляет 18 км<sup>3</sup>, а в верхней призме озера,

которую предполагается слить через туннельный водовыпуск, — около  $5 \text{ км}^3$ . При понижении уровня Сарезского озера будет ликвидирована опасность прорыва завала, грозящая катастрофическими затоплениями в долине Амударьи, а на водовыпускном туннеле может быть построена ГЭС мощностью до 500 МВт [6].

Таким же способом можно осуществить начальное наполнение и Рогунского водохранилища, компенсируя уменьшение расходов воды, поступающих в его нижний бьеф, увеличением сбросов воды из Сарезского озера. Это будет связано с существенным снижением выработки электроэнергии на действующих ГЭС Вахшского каскада.

Наилучшим образом задача регулирования стока Амударьи решается при размещении водохранилища в ее верховьях, на границе между зонами энергетического и ирригационного использования стока. В этом случае все существующие и будущие ГЭС на реках Вахш и Пяндж освобождаются от требований на определенный объем водоподачи в вегетационный период, предъявляемых орошаемым земледелием Узбекистана и Туркмении, а забор воды на территорию Афганистана осуществляется из водоприемника ирригационного канала, оборудованного затворами, в режиме, регламентируемом межгосударственными соглашениями.

Таким водохранилищем могло быть Верхнеамударьинское, если бы оно не затапливало территорию заповедника “Тигровая балка”. В качестве частичной альтернативы ему может рассматриваться строительство водохранилища с плотиной, расположенной в устье р. Пяндж. При подпоре около 40 м от бытовых горизонтов воды в реке (НПУ-345,0 м) образуется водохранилище с полезным объемом  $4,3 \text{ км}^3$ , а дамба обвалования с дренажем, проложенная по водоразделу между долинами Вахша и Пянджа, позволяет исключить затопление территории заповедника “Тигровая балка”. Схема Нижнепянджского водохранилища приведена на рис. 3.

В составе сооружений Нижнепянджского гидроузла возможно строительство ГЭС установленной мощностью 600 МВт с выработкой электроэнергии 2,8 ТВт · ч. По предварительной экспертной оценке этот гидроузел может быть построен за 7 – 8 лет.

Начатое в 1976 г. строительство Рогунской ГЭС было прервано после распада СССР. В 2005 г. Таджикистан вновь приступил к ее сооружению и в ближайшее время намерен ввести в эксплуатацию первую очередь с плотиной высотой 120 м и подземным зданием гидроэлектростанции, рассчитанной на установку двух временных гидроагрегатов мощностью 200 МВт каждый.

С возобновлением строительства Рогунской ГЭС обострились отношения между Таджикистаном и Узбекистаном, который потребовал проведения независимой экспертизы проекта, выполненного более 35 лет назад, как в части надежности сооружений, так и в части условий использования трансграничных водных ресурсов. Регулирование стока в Рогунском водохранилище полезным объемом  $10,3 \text{ км}^3$  (без учета заиления) в зависимости от его характера может оказать существенное влияние на режим стока р. Амударьи в процессе эксплуатации, а также уменьшить его в период первоначального наполнения мертвого объема водохранилища ( $3,0 \text{ км}^3$ ). Энергетический режим регулирования стока р. Вахш, обеспечивающий получение Таджикистаном большей части выработки электроэнергии в зимние месяцы, снижает объем стока Амударьи в вегетационный период. Ущерб, наносимый экономике Узбекистана работой Вахшского каскада ГЭС в энергетическом режиме, по предварительной экспертной оценке, в среднем может составить до 100 млн. долл. в год. При этом следует учитывать, что денежный эквивалент ущерба в данном случае имеет лишь теоретическое значение, так как в действительности этот ущерб не может быть каким-либо образом компенсирован.

Ирригационный режим регулирования стока отвечает требованиям водопользователей нижерасположенных государств — Узбекистана и Туркмении, а в будущем, возможно, и Афганистана. При этом потребности энергетики Таджикистана удовлетворяются по остаточному принципу. В нижнем бьефе Нурекского гидроузла в июне, июле и августе большинства лет расчетного ряда (кроме многоводных) обеспечивается расход воды  $1200 \text{ м}^3/\text{с}$ , близкий к естественному среднегодовому значению. Ирригационный режим позволяет получить на ГЭС Вахшского каскада лишь минимальную гарантированную выработку электроэнергии и является наименее привлекательным для национальной экономики Таджикистана. По отношению к энергетическому режиму суммарные потери зимней (с октября по апрель) выработки электроэнергии на каскаде действующих Вахшских ГЭС составят 5,7 ТВт · ч. После ввода планируемой Шуробской и строящейся Сангтудинской ГЭС-2 эти потери возрастут.

Энергоиригационный режим регулирования стока незначительно отличается от ирригационного. Полезная емкость Рогунского гидроузла используется для повышения зимней энергоотдачи ГЭС только в той мере, которая обусловлена возможностью Нурекского водохранилища (уже заиленного на одну треть), работающего в режиме контррегулятора и обеспечивающего в вегетационный период (июнь, июль и август) среднемесячные расходы воды в размере  $1200 \text{ м}^3/\text{с}$ . По отношению к энерге-



тическому режиму суммарное снижение зимней выработки электроэнергии составит 5,0 ТВт · ч.

Вряд ли стоит рассчитывать, что нижерасположенные прибрежные государства согласятся компенсировать Таджикистану его энергетические потери как разницу между энергетическим и ирригационным (или энергоирригационным) режимами регулирования стока.

Выходом из этой ситуации может явиться строительство Нижнепянджского водохранилища, которое будет восполнять снижение стока р. Амударьи в вегетационный период при энергетическом режиме работы каскада Вахшских ГЭС. Многолетнее регулирование стока, не вступающее в противоречие с энергетическим и ирригационным режимами, может осуществляться в Рогунском водохранилище. Такая схема работы ГЭС может удовлетворить интересы как Узбекистана и Туркмении, так и Таджикистана, разрядив напряженность в их отношениях.

Схема комплексного использования р. Пянджа и Амударьи была выполнена 45 лет назад. За это время изменилось не только политическое устройство прибрежных государств, но и направленность и темпы их экономического развития. В настоящее время требования, которые будут предъявлены этими государствами к использованию водных и гидроэнергетических ресурсов бассейна, могут существенно отличаться от требований прошлых лет. Кроме того, изменилась нормативная база проектирования, почти вдвое увеличился гидрологический ряд наблюдаемых расходов воды создано новое технологическое оборудование ГЭС, появились более высокопроизводительные строительные машины и механизмы.

Все это указывает на целесообразность актуализации Схемы Пянджа и Амударьи с целью оптимизации режимов использования стока, уточнения величины полезных объемов регулирующих водохранилищ, параметров гидроузлов (высота плотин, установленная мощность ГЭС и пр.), а также определения их экономических показателей на основе современных представлений об эффективности гидроэнергетического строительства. В частности, следует уточнить параметры наиболее крупного Даштиджумского гидроузла, выявив, существует ли необходимость его участия в многолетнем регулировании стока р. Пяндж при наличии Рогунского водохранилища, или же можно ограничиться существенно меньшим полезным объемом, требуемым только для сезонного перераспределения стока в интересах энергетики [7].

Гидроэнергетика является одной из основных составляющих экономики Таджикистана. Значительная часть его гидроэнергетических ресурсов сосредоточена на пограничных с Афганистаном р.

Пяндж и участке верхнего течения р. Амударьи, где схемой энергоиспользования выявлена техническая возможность строительства 17 ГЭС общей установленной мощностью около 20 ТВт и выработкой электроэнергии более 90 ТВт · ч.

В перспективе Таджикистан совместно с Афганистаном неизбежно будет вынужден приступить к освоению и экспорту гидроэнергоресурсов р. Пяндж, удобно расположенной в окружении государств Центральной Азии. Потребителями электроэнергии могут явиться как бывшие советские республики, так и близлежащие государства, в первую очередь Афганистан, Пакистан, Иран, а также Китай и Индия.

Военные конфликты в Афганистане не прекращаются уже более 30 лет, и пока боевые действия не привели к положительным результатам. Далека от завершения борьба с непримиримой вооруженной оппозицией и колоссальной коррупцией. Производство героина за последние 10 лет выросло в 40 раз, причем пятая часть его мировых поставок приходится на Россию.

Военного решения проблемы Афганистана, по-видимому, не существует в принципе. Не исключено, что в данном случае более предпочтительным может оказаться интенсивное экономическое развитие страны, для которого имеются весьма серьезные предпосылки. При этом средства, которые США и страны Евросоюза тратят на бесконечную войну с талибами, могли бы с успехом использоваться в мирных целях.

Как сообщила газета "The New York Times" со ссылкой на доклад Пентагона, Афганистан в будущем может стать одним из мировых центров горнодобывающей отрасли. Согласно этому докладу в последнее время получены сведения о новых запасах таких полезных ископаемых, как железо, медь, кобальт, золото, и ряда промышленных металлов, в частности лития, по залежам которого афганская провинция Газни превосходит Боливию, считающуюся мировым лидером по запасам этого металла. По оценке США стоимость разведанных запасов полезных ископаемых в Афганистане составляет до 1 трлн. долл. В США уверены, что афганская горнодобывающая отрасль будет привлекать инвестиции, даже несмотря на напряженную военно-политическую обстановку в стране. В 2008 г. китайская компания "China Metallurgical Group" выиграла тендер на разработку одного из крупнейших месторождений меди в Айнаке, обойдя западных конкурентов, в частности канадскую "Hunter Dickinson". Запасы меди здесь оцениваются в 88 млрд. долл., что в несколько раз превышает ВВП Афганистана [8].

Энергоснабжение афганских предприятий по добыче полезных ископаемых при существенном их развитии невозможно будет обеспечить без вво-



да новых генерирующих мощностей. Экономически эффективным решением этой задачи может стать использование гидроэнергетических ресурсов р. Пяндж, расположенной на северной границе Афганистана, в наибольшей близости к будущим потребителям электроэнергии.

Гидроэнергетическое строительство на р. Пяндж, развитие горнорудной промышленности, освоение пригодных для орошения земель, несомненно, будут способствовать подъему экономики Афганистана. Увеличится занятость населения, повысится его благосостояние, что благоприятно отразится на снижении объема наркотрафика из страны. Кроме Таджикистана и Афганистана, в этом могут быть заинтересованы и другие страны и международные организации, включая ООН, что возможно расширит круг потенциальных инвесторов.

Строительство Нижнепянджской ГЭС может рассматриваться как первый этап на этом пути.

## Выводы

По мере ввода в эксплуатацию новых регулирующих водохранилищ на реках Вахш и Пяндж будут увеличиваться возможности обеспечения любых требуемых режимов использования стока в бассейне р. Амударья. Для принятия обоснованных решений о масштабах и очередности будущего гидроэнергетического строительства на р. Пяндж необходимо:

выполнить актуализацию «Схемы комплексного использования водных и гидроэнергетических ре-

сурсов рек Пянджа и Амударьи на участке, пограничном между Таджикистаном и Афганистаном», согласовав условия использования трансграничных водных ресурсов со всеми заинтересованными прибрежными государствами;

уточнить технико-экономические показатели Нижнепянджской ГЭС при разработке предварительного ТЭО, согласовав проект ее совместного строительства с правительствами Таджикистана и Афганистана, и, возможно, Узбекистана.

## Список литературы

1. *Генеральная схема комплексного использования водных ресурсов реки Амударьи* / Средазгидропроект. Ташкент, 1971.
2. *Схема развития орошения в северных районах Афганистана* / Средазгипроводхлопок. Ташкент, 1968.
3. *Корчевский В. Ф., Обопись А. Ю.* О проектировании и строительстве Камбаратинских ГЭС на р. Нарын в Киргизии // Гидротехническое строительство. 2012. № 7.
4. *Схема комплексного использования реки Пяндж и реки Амударьи на пограничном участке между СССР и Афганистаном* / Средазгидропроект, Ташкент, 1967.
5. *Рогунская ГЭС на р. Вахш: Технический проект* / Средазгидропроект. Ташкент, 1978.
6. *Гидротехнические сооружения для понижения уровня воды Сарезского озера: Обосновывающие материалы* / Средазгидропроект. Ташкент, 1983.
7. *Асарин А. Е.* Гидроэнергетический потенциал стран СНГ и проблемы его использования // Пятая научно-техническая конференция: Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии. Санкт-Петербург, 2011.
8. *Павлов В.* Афганистану набивают цену // РБК daily. 15.06.2010.

## Динамика абразионных берегов Чебоксарского водохранилища

Коломиец А. М., доктор техн. наук, Зайцева Л. П., инженер (ФГУГП “Волгагеология”),  
Соболь С. В., доктор техн. наук, Соболь И. С., кандидат техн. наук,  
Хохлов Д. Н., Красильников В. М., инженеры (ФГБОУ ВПО “Нижегородский  
государственный архитектурно-строительный университет”)

Проанализирована динамика абразионных берегов Чебоксарского водохранилища на р. Волге по 44 наблюдательным створам за 30-летний период эксплуатации после наполнения до отметки 63,0 м БС в 1981 г. Представлены в сравнении результаты расчетного прогноза берегопереформирования при существующих условиях и при повышении уровня водохранилища до проектного НПУ = 68,0 м БС.

**Ключевые слова:** Чебоксарское водохранилище, абразионные берега, переформирование, наблюдения, прогноз.

По водохранилищам Волжского каскада кое-где фиксируется непредвиденно большое отступление берега, а в целом для этих водохранилищ прогнозная переработка берегов по площади оказалась завышенной в несколько раз [1]. Последним по времени постройки в каскаде является Чебоксарское водохранилище. Оно заполнено в 1981 г. до временного подпорного уровня (ВПУ) 63,0 м БС. ОАО “Инженерный центр энергетики Поволжья” ведет разработку проектной документации “Строительство Чебоксарской ГЭС на р. Волге в части, касающейся поднятия уровня Чебоксарского водохранилища до отметки нормального подпорного уровня 68,0 м”. Эксплуатация крупного равнинного водохранилища при пониженном уровне воды в течение 30 лет с последующим подъемом до НПУ не имеет прецедента в России. Сочетание наблюдений и прогноза переформирования берегов Чебоксарского водохранилища, с открытой возможностью использования материалов прошлых лет, являет собой оригинальный гидродинамический эксперимент в береговой зоне.

Проектная длина водохранилища — 341 км. Верхняя граница современного подпора проходит выше с. Работки в 226 км от ГЭС. Соответственно площади зеркала водохранилища составляют 2162,42 и 1118,33 км<sup>2</sup> [2].

По морфологическим признакам Чебоксарское водохранилище разделяется на три района: приплотинный — узкий и глубокий, длиной 28 км, шириной 2–4,3 км, с наибольшими глубинами 12–20 м; средний — самый широкий с большими площадями мелководий, длиной 131 км, с глубинами до 7–19 м (эти районы составляют озерную часть водохранилища); верхний — наиболее узкий и мелководный, длиной 67 км, шириной 0,9–2,2 км с глубинами до 6–14 м (русовая часть водохранилища).

Продолжительность безледного периода на водохранилище — от 196 до 231 суток.

В связи с небольшими длинами разгона волн и обширными мелководьями, а также преобладанием слабых ветров (до 5 м/с) волнение на водохранилище имеет ограниченное развитие. Максимальные высоты волн (по расчету) составляют в озерной части 1,3–2,5 м, в речной — 0,6–1,9 м. Суммарная средняя многолетняя энергия волнения у берегов по отдельным участкам при ВПУ = 63,0 м находится в пределах 48–681 тыс. кДж/год, а при НПУ = 68,0 м возрастает до 50–1154 тыс. кДж/год на 1 пог. м берега.

Правобережье водохранилища представляет собой высокое плато, обрывающееся крутым склоном к долине реки, сложенное песчано-глинисто-мергельными породами пермского возраста. В своем большинстве коренные склоны имеют оползневой облик. Пойма и первая надпойменная терраса сложены преимущественно песчаными аллювиальными и флювиогляциальными отложениями. На левобережье распространены пойма, I и реже II надпойменные террасы, представленные теми же отложениями, что и соответствующие формы рельефа на правобережье.

Длина береговой линии водохранилища, определенная по цифровой карте 2006 г. масштаба 1:100000, в условиях современного подпора составляет около 700 км, а при проектном НПУ увеличивается до 1060 км.

Берега водохранилища формируются в нижних частях коренных склонов, а также в пределах уступов I и II надпойменных террас и поймы. Большую протяженность имеют берега, характеризующиеся отсутствием современной деформации. Это объясняется слабой гидродинамической активностью вследствие мелководности или небольшой ширины акватории по левобережью, а по правобережью —

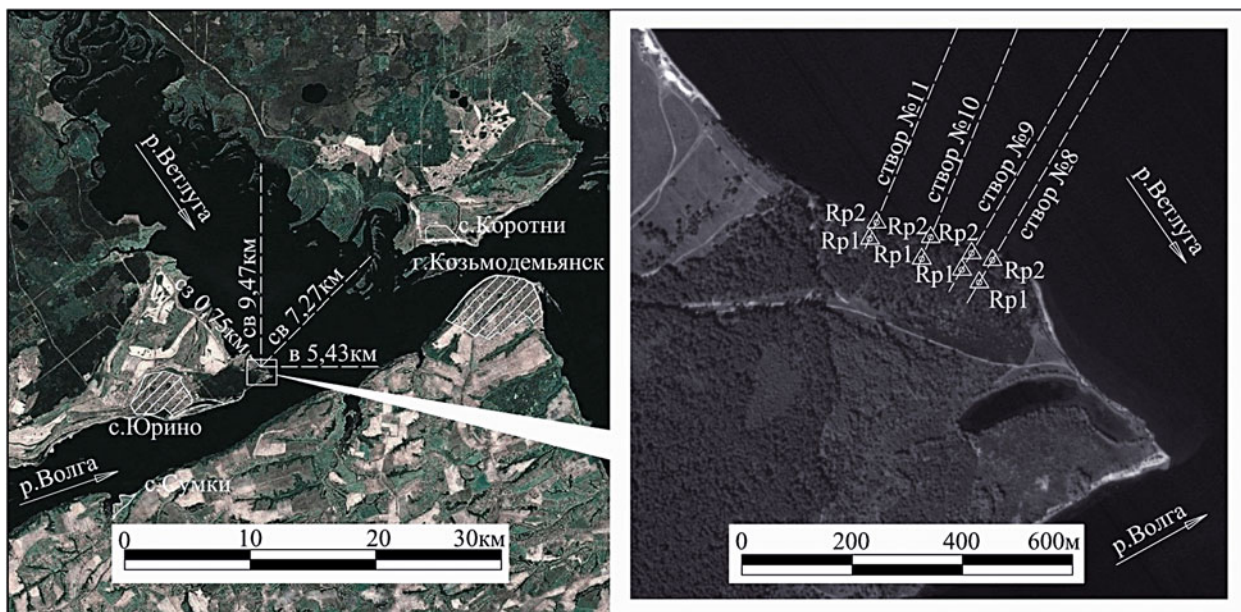


Рис. 1. План участка левого берега Чебоксарского водохранилища у с. Юрино

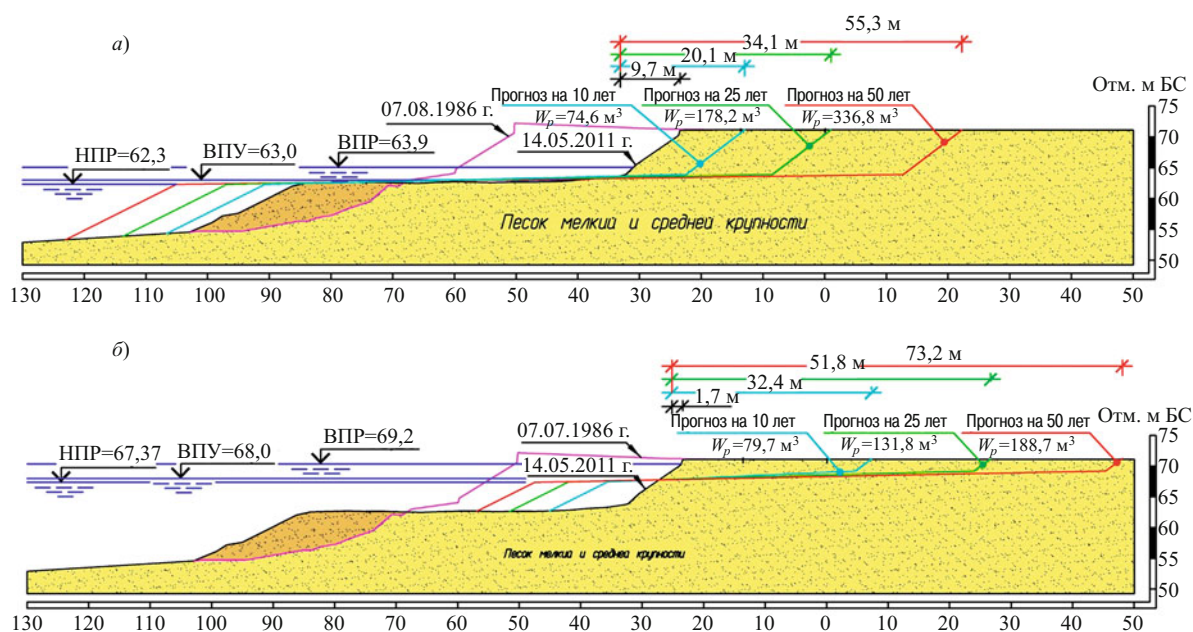


Рис. 2. Наблюдаемые и прогнозные профили левого берега Чебоксарского водохранилища в створе № 9 у с. Юрино при отметках ВПУ = 63,0 (а) и НПУ = 68,0 м (б)

значительной прочностью пород. Протяженность абразионных берегов в современных условиях — 220 км, а при НПУ — порядка 400 км.

Инструментальные измерения профилей абразионных берегов водохранилища проводились на 22 участках: по 9 створам — предприятием ПНИИ-ИС “Противокарстовая и береговая защита” в 1981, 1986, 1992 гг.; по 44 створам — ФГУГП “Волгагеология” в 1981 – 1986 гг. и по тем же створам — экспедициями ННГАСУ в 2010, 2011 гг.

Прогнозные расчеты переформирования абразионных берегов выполнены методом Е. Г. Качугина. Он относится к группе энергетических методов,

основанных на предположении, что объемы переработки породы склона пропорциональны энергии волн, воздействующих на берег. Метод шире других использовался при проектировании крупных водохранилищ в 1950 – 1980 гг., включен в рекомендации по прогнозированию берегопереформирования на водохранилищах [3]. Его апробация в условиях первых лет существования Чебоксарского водохранилища показала, что во всех случаях расчетные величины размыва берегов оказались близкими к фактическим с расхождением 4 – 19 % [4]. В ННГАСУ метод Е. Г. Качугина модифицирован для вариантного компьютерного прогноза перефор-



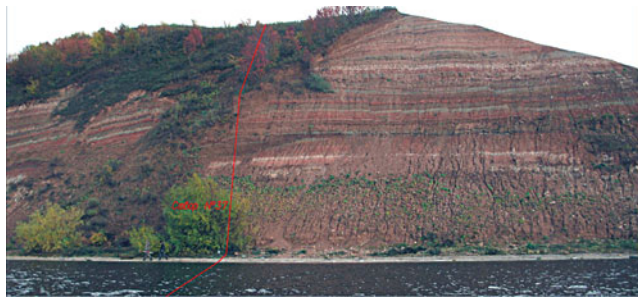


Рис. 3. Вид правого берега Чебоксарского водохранилища у с. Бармино, створ № 37

мирования абразионных берегов эксплуатируемых водохранилищ, включая расчеты ветроволновых характеристик и энергии волнения [5].

Исходными для прогноза брали профили берегов, измеренные в 2011 г. При расчете высот волн и среднегодовых значений энергии волнения наветренные румбы и волнообразующие направления определяли по картографическим материалам с использованием космических снимков высокого разрешения. Верхний и нижний пределы размывающего действия волн (ВПР, НПР), уклоны надводного абразионного уступа (обрыва) и свала отмели принимали по натурным данным, когда это было возможно, в иных случаях — по рекомендациям [3]. Коэффициенты размываемости пород находили из материалов прошлых лет обратным пересчетом по формуле Е. Г. Качугина при известной энергии волнения, объеме размывной породы и времени перестроения — в сравнении с рекомендуемыми значениями [3]. Таким образом исходные данные варьировались по нескольким параметрам.

Результаты наблюдений и расчетов берегоперестроений иллюстрируются профилями, характерными для лево- и правобережья.

Участок у с. Юрино на левом берегу Чебоксарского водохранилища при устье Ветлужского залива в 81 км от гидроузла (рис. 1). Берег низкий, пологий, сложен песками мелкими и средней крупности, осыпной абразионный, высота надводного ус-

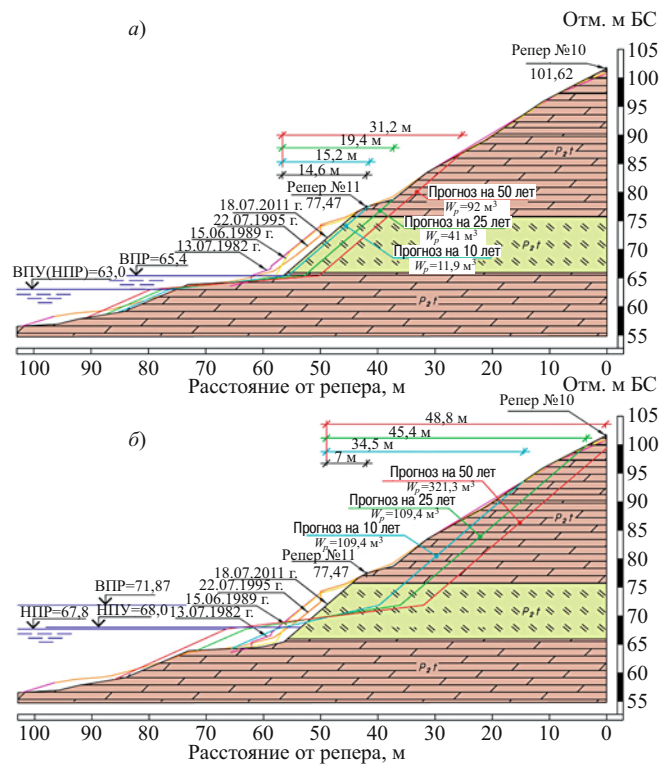


Рис. 4. Наблюдаемые и прогнозные профили правого берега Чебоксарского водохранилища в створе № 37 у с. Бармино при отметках ВПУ = 63,0 м (а) и НПУ = 68,0 м (б)

тупа местами до 10 м. Средняя скорость отступления бровки берега за 1986 – 2011 гг. составила 0,6 м/год. При ВПУ = 63,0 м в предстоящие 50 лет она будет отступать со скоростью 0,2 – 0,9 м/год. При НПУ = 68,0 м высота берега над уровнем воды уменьшится до 3 м, средняя скорость отступления бровки обрыва увеличится до 0,8 – 1,4 м/год (рис. 2).

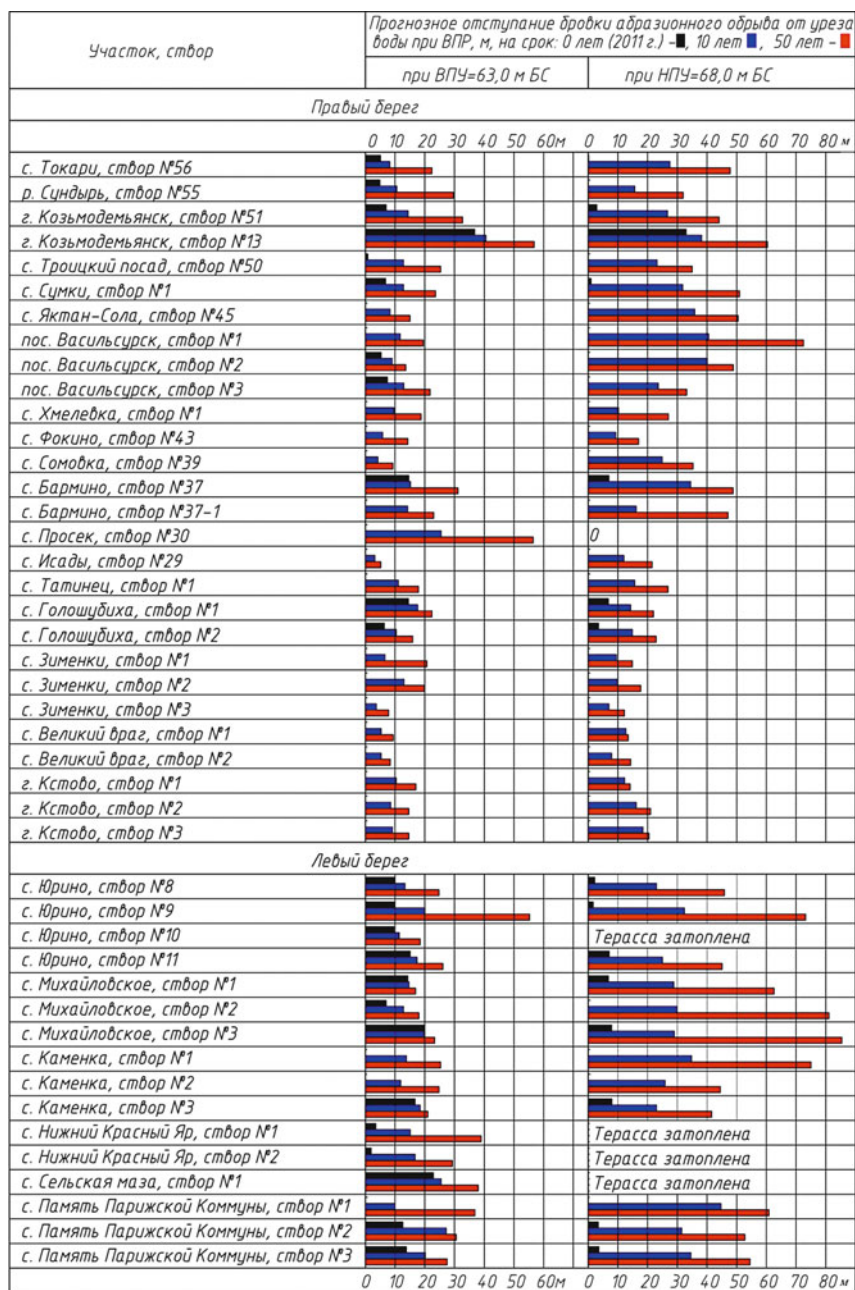
Участок у с. Бармино на правом берегу водохранилища в 154 км от гидроузла. Представляет собой крутой склон с узкой полосой пляжа. В его строении участвуют пермские пестроцветные породы и делювиальные суглинки, дислоцированные за счет древних оползневых процессов. Местами видны следы современных небольших оползневых подви-

Т а б л и ц а 1

Прогнозируемая переработка абразионных берегов Чебоксарского водохранилища

| Уровень водохранилища, м БС | Срок прогноза, лет | Средние значения отступления бровки абразионного обрыва, м |              |                |              |
|-----------------------------|--------------------|--|--------------|----------------|--------------|
|                             |                    | в озерной части  |              | в речной части |              |
|                             |                    | левый берег  | правый берег | левый берег    | правый берег |
| ВПУ = 63,00                 | 10                 | 4,5  | 7,0          | 7,8            | 7,9          |
|                             | 50                 | 20,1   | 18,6         | 18,2           | 16,0         |
| НПУ = 68,00                 | 10                 | 23,1   | 25,1         | 28,1           | 13,6         |
|                             | 50                 | 51,1   | 42,3         | 58,7           | 22,0         |





**Рис. 5.** Диаграммы прогнозируемого отступления бровки абразионного обрыва от уреза воды при ВПУ в процессе перестроения берегов Чебоксарского водохранилища

жек (рис. 3). Абразия в 1981 – 2011 гг. сдерживалась прочностью пород берега. При ВПУ = 63,0 м в дальнейшем можно ожидать переработки низа склона со скоростью до 0,3 м/год. При повышении уровня водохранилища до отметки НПУ = 68,0 м абразией будет захвачена средняя часть склона, скорость смещения бровки уступа составит 2,7 – 0,8 м/год (рис. 4).

В целом по водохранилищу за период с 1981 до 1989 г. средние наблюдаемые скорости отступления бровки абразионных берегов равнялись 0,5 – 1,5 м/год [4]. За весь период эксплуатации с 1981 по 2011 г. они составили 0,2 – 1,2 м/год. При этом размывы левобережья были более значительными. На некоторых участках берег отступил на 20 – 50 м.

На рис. 5 представлена диаграмма расстояний от уреза воды (при ВПУ) до бровки абразионного обрыва для разных сроков прогноза по всем рассмотренным створам. Из анализа прогнозных данных (табл. 1) следует, что абразия берегов после подъема уровня водохранилища до отметки 68,0 м усилится. Средние скорости отступления бровки обрыва в пермских породах (на правобережье озерной и речной частей водохранилища) могут составить в первые 10 лет 2,5 – 1,4 м/год, а за 50 лет — 0,85 – 0,4 м/год против 0,7 – 0,79 м/год и 0,37 – 0,32 м/год при уровне водохранилища 63,0 м. Размыв песчаных берегов (на левобережье) будет иметь более высокие скорости: в первое 10-летие — 2,3 – 2,8 м/год, а за 50 лет — 1,0 – 1,2 м/год при

Наблюденные и прогнозируемые потери земель вследствие абразии берегов Чебоксарского водохранилища

| Уровень водохранилища, м БС | Длина абразионных берегов, км | Площадь потерянных земель к 2011 г. по данным о наблюдаемой скорости берегоперестройки, га | Риск дальнейшей потери земель по прогнозу, основанному на материалах наблюдений |  |                               | Площадь потери земель по проектному прогнозу от начала эксплуатации водохранилища в 1981 г. [2], Га |
|-----------------------------|-------------------------------|--|---|--|-------------------------------|---|
|                             |                               |  | Срок прогноза, лет  | Средняя ширина зоны переработки берегов, м | Площадь потерянных земель, га |   |
| ВПУ = 63,00                 | 220                           | 132 – 792  | 10  | 4,5 – 8                                    | 99 – 176                      | –   |
|                             |                               |  | 50  | 16 – 20                                    | 325 – 440                     | 2936  |
| НПУ = 68,00                 | 400                           | –  | 10  | 13 – 28                                    | 520 – 1120                    | –   |
|                             |                               |  | 50  | 22 – 59                                    | 880 – 2360                    | 6330  |

НПУ = 68,0 м против 0,45 – 0,78 м/год и 0,40 – 0,36 м/год при ВПУ = 63,0 м. При эксплуатации водохранилища с отметкой ВПУ = 63,0 м абразией будут захвачены участки побережья средней шириной 4,5 – 8 м в следующее 10-летие и 16 – 20 м за 50 лет, а при НПУ = 68,0 м соответственно 13 – 28 м и 22 – 59 м. Полученные данные согласуются с показателями прогноза, выполнявшегося в 1980-х гг. для нескольких створов под отметку НПУ водохранилища 68,0 м [4].

Риск потери земель из-за абразии берегов за первое десятилетие дальнейшей эксплуатации водохранилища при существующем подпорном уровне 63,0 м составит 99 – 176 га (0,09 – 0,16 % к площади затопления), а при проектном НПУ = 68,0 м — 520 – 1120 га (0,24 – 0,52 %); за 50 лет соответственно 325 – 440 га (0,29 – 0,39 %) и 880 – 2360 га (0,40 – 1,09 %). При этом выполненный прогноз, основанный на материалах наблюдений, дает существенно меньшие площади теряемых земель, чем проектный прогноз от начала эксплуатации водохранилища (табл. 2).

По Волжско-Камскому каскаду водохранилищ площадь затопленных земель составляет 2 128 800 га, а потерянных в результате берегопереработки на середину 1990-х гг. по разным оценкам — от 34 000 до 43 400 га, или 1,59 – 2,03 % к площади затопленных земель [6]. В процентном отношении потери земель в береговой зоне Чебоксарского водохранилища меньше, чем в среднем по каскаду.

### Вывод

Очевидно, что адекватность прогноза берегоперестройки самому процессу можно оценить только эмпирически, поэтому важно продолжить натурные наблюдения за берегами Чебоксарского водохранилища, от года его наполнения до НПУ сделать новый прогноз с использованием уточненных натурных данных, а завершение гидродинамический эксперимент получит через 10 лет нормальной эксплуатации объекта.

### Список литературы

1. *Каякин В. В.* Современные задачи и практика инженерно-геологических изысканий при проектировании крупных водохранилищ // Гидротехническое строительство. 1989. № 10.
2. *Обоснование инвестиций завершения строительства Чебоксарского гидроузла / 0272-ОИ. Этап 2. Том 2. Оценка воздействия на окружающую среду.* — Самара: ОАО “Инженерный центр энергетики Поволжья”, 2006.
3. *Методические рекомендации по прогнозированию перестройки берегов водохранилищ.* П 30-75 / ВНИИГ. — Л.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1975.
4. *Иконников Л. Б.* Прогноз разрушения берегов при повышении уровня Чебоксарского водохранилища // Гидротехническое строительство. 1990. № 2.
5. *Соболь И. С., Хохлов Д. Н.* Модификация метода Е. Г. Качугина для вариантного компьютерного прогноза перестройки абразионных берегов эксплуатируемых равнинных водохранилищ // Вестник МГСУ. 2012. № 8.
6. *Вода России.* Водохранилища / Под. науч. ред. А. М. Черняева. ФГУП РосНИИВХ. — Екатеринбург: Аква-Пресс, 2001.

# Послойное кинематическое подобие в плоских турбулентных потоках

Скребков Г. П., кандидат техн. наук,

Федоров Н. А., инженер (Чувашский государственный университет)

Впервые показано, что некоторые безразмерные характеристики, установленные для целого плоского турбулентного потока, справедливы и для слоя этого потока, прилегающего к стенке, если толщина его существенно больше толщины вязкого подслоя.

**Ключевые слова:** турбулентный поток, скорость плоского потока, шероховатость стенки, послойное подобие.

Известно, что в круглом потоке с гладкими и шероховатыми стенками безразмерная разность между максимальной скоростью  $u_m$  на оси потока и местной скоростью  $u$ , называемая недостатком (дефицитом) скорости, подчиняется зависимости [1, с. 301]

$$\frac{u_m - u}{u_*} = f\left(\frac{y}{r_0}\right), \quad (1)$$

где  $u_*$  — динамическая скорость на стенке трубы;  $y$  — расстояние от стенки;  $r_0$  — радиус трубы.

Важнейшая особенность распределения (1), впервые подмеченная Стэнтоном [2, с. 212], заключается в том, что форма кривой дефицита скорости в центральной области турбулентного потока не зависит от градиента скорости и шероховатости стенки. Вязкий сдвиг оказывает влияние на картину течения только вблизи стенки. Признание этого обстоятельства Прандтлем остается одним из наиболее важных вкладов, которые делались в современную механику жидкости [2, с. 174]. В основной же части потока действует механизм турбулентного обмена, независимый от вязкости жидкости. Гипотеза о характере этого механизма, предложенная Прандтлем и Карманом, позволила получить одинаковые по структуре безразмерные профили скорости в таких различных по форме потоках, как круглый [2, с. 217] и плоский [3, с. 554]:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \frac{yu_*}{\nu} + B, \quad (2)$$

где  $\chi$  — параметр Кармана, принимаемый обычно одинаковым по всей толщине потока;  $B$  — постоянная, зависящая от формы поперечного сечения потока.

При  $\chi = 0,4$  уравнение (2) дает кривую распределения скорости, практически совпадающую с опытными наблюдениями в основной части потока. Более того, из уравнения (2) следует закон сопротивления гладких труб, вполне удовлетворительно согласующийся с результатами экспериментов.

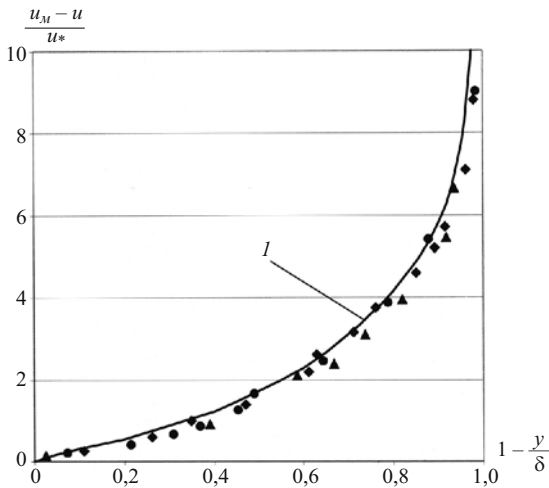
Простота распределений (1) и (2) является их важным преимуществом в исследованиях послойного кинематического подобия, под которым будем понимать возможность описания некоторых характеристик слоев потока безразмерными уравнениями, полученными для целого потока.

На пионерном этапе такого исследования ограничимся доказательством подобия в плоских потоках, являющихся наиболее простыми по форме. Это не означает, что в потоках иной формы, например в пограничных слоях, послойное подобие вообще исключено. Просто столь интересное и новое явление в потоках другой формы может иметь свои особенности, которые предстоит еще изучить.

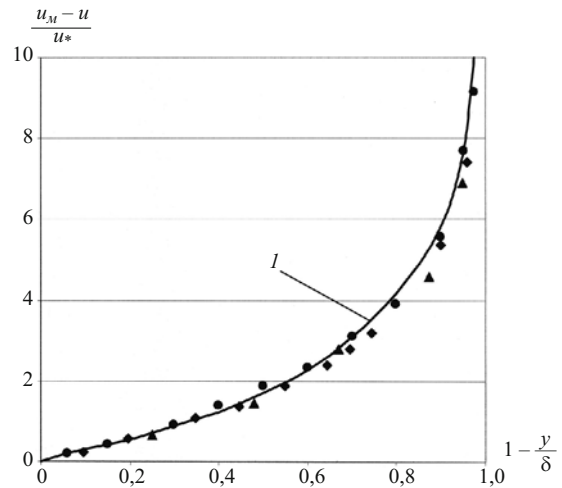
Сначала покажем, что распределение дефицита скорости (1) практически одинаково для круглых и плоских потоков.

На рис. 1 представлена единая обобщенная кривая Никурадзе, описывающая распределение дефицита скорости по радиусу круглых потоков с гладкими и шероховатыми стенками, а также опытные точки, характеризующие распределение дефицита в гладких прямоугольных потоках с отношением сторон  $b/h = 18:1$  [4],  $8:1$  [5]. Выбор указанных экспериментальных материалов обусловлен следующими соображениями: величина отношений сторон  $b/h = 18$  почти рекордная для опытов в прямоугольных турбулентных потоках, а измерения ФЭИ хотя и проведены при  $b/h = 8$ , но отличаются очень высокой точностью определения скоростей и физических параметров потока. Для широких потоков безразмерное расстояние от стенки  $y/r_0$  в уравнении (1) заменяется на  $y/h$ , где  $h$  — полувысота прямоугольного канала.

Отметим, что при анализе опытов в прямоугольных каналах всегда возникает проблема надежного определения динамической скорости на стенке в створе измерения профиля скорости. Существуют разные методики её нахождения, использование которых приводит к разным значениям  $\chi$  и  $B$  в распределении (2). Указанный вопрос подробно рассматривался в работе [6], где показано, что наиболее правильно находить  $u_*$  по методике, основанной на измерении профиля скоростей по нормали к



**Рис. 1.** Дефицит скорости в круглых и плоских потоках:  
 ◆ —  $b/h = 18$ ,  $Re_h = 28900$ ; ● —  $b/h = 8$ ,  $Re_h = 40400$ ; ▲ — шероховатый канал; *I* — кривая Никурадзе



**Рис. 2.** Сравнение дефицита скорости в трубах и слоях плоско-го потока:  
 ◆ —  $\delta = 0,3h$ ; ● —  $\delta = 0,6h$ ; ▲ —  $\delta = 0,1h$ ; *I* — кривая Никурадзе

стенке. Операция измерения местной скорости считается в гидравлике одной из наиболее простых и надежных. Достаточно точно находится и местный коэффициент гидравлического трения, вычисляемый по закону сопротивления, следующему из логарифмического профиля скорости. Поэтому в настоящей работе величина  $u_*$  определялась по формуле

$$u_* = \bar{u} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{пл}}{2}}, \quad (3)$$

где  $\bar{u}$  — осреднённая по нормали скорость потока;  $\lambda_{пл}$  — коэффициент гидравлического трения гладкого канала с параллельными стенками, вычисляемый по формуле [6]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{пл}}} = 3,61g \frac{\bar{u} \cdot h}{\nu} - 2,0. \quad (4)$$

Расположение на рис. 1 опытных точек, безразмерные координаты которых определены с использованием (3), указывает, во-первых, на практическое совпадение дефицита скорости в плоском потоке (при  $b/h = 18$ ) с кривой Никурадзе и, во-вторых, на малое влияние величины  $b/h$  на распределение дефицита скорости по оси прямоугольных потоков. Это позволяет использовать опытный материал ФЭИ в канале с отношением сторон  $b/h = 8$  и в дальнейших исследованиях.

На рис. 1 представлены также опытные точки, полученные в потоке с шероховатым дном в условиях, приближенных к плоскому течению [7]. Эти измерения выбраны из тех соображений, что при их обработке не стояли вопросы выбора плоскости начала отсчета глубин и величины эквивалентной

шероховатости стенки, так как для создания шероховатости дна канала использовалась наждачная бумага. Её шероховатость  $k_s = 0,85$  мм предварительно определялась испытаниями в квадратном канале. Поэтому плоскость начала отсчета глубин в обоих случаях была идентичной. Динамическая скорость вычислялась по формуле (3), а коэффициент трения по формуле для шероховатой стенки [8]

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{ni}}} = 41g \frac{k_s}{h} + 3,48. \quad (5)$$

Как следует из рис. 1, опытный профиль дефицита скорости в плоском потоке с шероховатой стенкой вполне удовлетворительно соответствует профилю дефицита Никурадзе в круглых трубах.

Покажем теперь, что профиль дефицита скорости в плоском потоке, описываемый распределением (1), выполняется при замене  $r_0$  на  $h$  и для его части (слоя) толщиной  $\delta$ , если в распределении (1) за  $u_M$  принимать скорость  $u(\delta)$  на верхней границе слоя, а за  $r_0$  — толщину слоя  $\delta$  отсчитываемую от дна канала. При сравнении профилей дефицита скорости в целом потоке и в его слоях следует сравнивать скорости в сходственных точках, расположение которых соответствует условию

$$\frac{y_1}{h} = \frac{y_2}{\delta}, \quad (6)$$

где  $y_1$  — координата точки в целом потоке глубиной  $h$ ;  $y_2$  — координата точки в слое потока толщиной  $\delta$ .

Минимальная толщина слоя  $\delta$ , в котором можно изучать распределение дефицита скорости, подде-



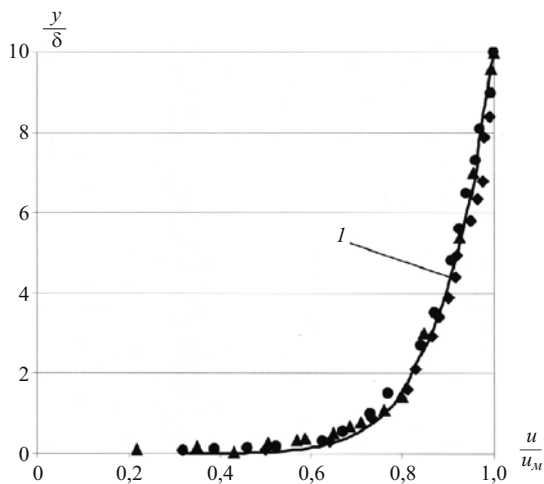


Рис. 3. Безразмерные профили скорости в целом потоке и его слоях:

1 — расчет по (7) при  $n = 0,12$  и  $\delta/h = 1,0$ ;  $\blacklozenge$  —  $\delta/h = 1$ ;  $\bullet$  —  $\delta/h = 0,6$ ;  $\blacktriangle$  —  $\delta/h = 0,3$

жит экспериментальному определению. По предварительным данным она должна составлять не менее  $\delta = (0,05 - 0,1)h$ .

На рис. 2 представлены результаты послойной обработки распределения дефицита скорости в гладком прямоугольном потоке с отношением сторон  $b/h = 8/1$  при  $Re_{4R} = 161680$ . Они указывают на удивительный факт: дефицит скорости в слоях потока подчиняется той же закономерности, что и в целом потоке. При этом нет практически заметного различия между распределением дефицита скорости в слоях плоского потока и распределением Никурадзе для целого круглого потока. Лишь две опытные точки в слое, имеющие толщину  $\delta = 0,1h$ , отклонились от кривой Никурадзе, что естественно, ибо эти точки, из числа помеченных треугольником, располагаются на очень малых (доли миллиметра) расстояниях от стенки.

Подобие дефицита скорости в целом плоском потоке и в его слоях указывает на наличие в них сходного или одинакового механизма турбулентного переноса количества движения в направлении нормали к стенке.

Следующая примечательная кинематическая особенность плоского потока состоит в том, что безразмерные профили скорости степенного типа в целом потоке и в его слоях по результатам обработки измерений ФЭИ для случая  $Re_{4r} = 161\ 680$  [5] практически совпадают (рис. 3). При построении этих профилей натуральные координаты опытных точек пересчитывались в безразмерные по условию (6), а местные скорости в этих точках нормировались локальной скоростью  $u(\delta)$  на границе слоя.

В итоге степенные профили в слоях плоского потока приобрели вид

$$\frac{u}{u(\delta)} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^n, \quad (7)$$

где показатель степени для плоского потока рекомендуется вычислять по формуле

$$n = 1,76\sqrt{\lambda_{пл}}, \quad (8)$$

где в случае использования (8) для слоя потока величина  $\lambda_{пл}$  заменяется на  $\lambda_\delta$  (коэффициент гидравлического трения слоя), вычисляемый по (4) с использованием числа Рейнольдса слоя  $Re_\delta = \bar{u}(\delta) \cdot \delta/\nu$ .

Формула (8) получена из условия эквивалентности логарифмического и степенного профилей скоростей плоского потока.

Как следует из рис. 3, все опытные профили в слоях потока оказались близки к расчетному для целого потока. При этом профили в слоях с  $\delta = 0,3h$

#### Некоторые характеристики плоского потока и его слоёв

|   |                                     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | $\delta/h$                          | 1,0    | 0,9    | 0,8    | 0,6    | 0,5    | 0,4    | 0,3    | 0,2    | 0,1    |
| 2 | $u(\delta)$ , м/с                   | 18,42  | 18,36  | 18,22  | 17,60  | 17,17  | 16,60  | 16,06  | 15,42  | 13,99  |
| 3 | $\bar{u}(\delta)$ , м/с             | 16,57  | 16,38  | 16,23  | 15,58  | 15,17  | 14,62  | 14,08  | 13,40  | 12,00  |
| 4 | $\bar{y}/(\delta)$                  | 0,4    | 0,4    | 0,4    | 0,39   | 0,4    | 0,39   | 0,39   | 0,39   | 0,39   |
| 5 | $\frac{u(\delta)}{\bar{u}(\delta)}$ | 1,111  | 1,121  | 1,123  | 1,130  | 1,132  | 1,135  | 1,14   | 1,143  | 1,166  |
| 6 | $Re_\delta \times 10^{-3}$          | 40,39  | 35,96  | 31,67  | 22,8   | 18,5   | 14,26  | 10,3   | 6,55   | 2,93   |
| 7 | $\sqrt{\lambda_\delta}$             | 0,0686 | 0,0694 | 0,0704 | 0,0731 | 0,0748 | 0,0778 | 0,0803 | 0,0852 | 0,0954 |
| 8 | $u_*$ , м/с                         | 0,803  | 0,804  | 0,808  | 0,805  | 0,802  | 0,798  | 0,799  | 0,807  | 0,809  |

и  $\delta = 0,6h$  располагаются ближе друг к другу и к расчетному профилю, чем опытный профиль целого потока к расчетному. Этот факт можно объяснить различием верхнего граничного условия для целого потока и его слоев. Однако эта тема заслуживает отдельного рассмотрения как по физическим явлениям вблизи динамической оси потока, так и по способам количественного учета этого явления. Для выявления других свойств послойного подобия составим таблицу на основе опытного профиля скорости плоского потока со следующими параметрами [5]:  $h = 40$  мм;  $u_m = 18,34$  м/с;  $\bar{u} = 16,56$  м/с;  $\nu = 1,64 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с;  $Re_{4R} = 161\ 680$ ,  $u_* = 0,803$  м/с.

В первой строке таблицы приведена толщина размеры слоя  $\delta$ , выраженная в долях глубины  $h$  всего потока. Во второй и в третьей строках даны местная опытная скорость  $u(\delta)$  на границе слоя и  $\bar{u}(\delta)$  средняя скорость по толщине слоя. Четвертая строка характеризует еще одно свойство плоского потока, согласно которому точки потока, имеющие скорость  $\bar{u}(\delta)$ , располагаются по результатам обработки опытных профилей скорости ниже верхней границе слоя на практически одинаковую величину  $\bar{y} = (0,39 - 0,40)\delta$  вне зависимости от размера слоя. Пятая строка содержит число Рейнольдса, вычисленное по формуле  $Re_\delta = \bar{u}(\delta) \cdot \delta / \nu$ , которое позволяет контролировать режим движения в слое. При малой толщине слоя  $\delta$  можно попасть в переходную область, где профиль скорости меняется и послойное подобие в рассматриваемой постановке отсутствует. Седьмая строка содержит характеристику коэффициента гидравлического трения слоя  $\lambda_\delta$ , вычисляемую по уравнению (4) при замене в нем глубины потока  $h$  на толщину слоя  $\delta$ . Первый результат строки использован при построении кривой  $I$  на рис. 3.

Зная величину  $\sqrt{\lambda_\delta}$ , можно определить по формуле (3) важнейшую характеристику турбулентного потока — динамическую скорость на стенке  $u_*$ , представленную в строке 8. По результатам вычислений с использованием параметров разных слоев величина динамической скорости на стенке оказалась во всех случаях практически одинаковой. По-

лученный результат является принципиально важным: во-первых, он согласуется с граничным условием на стенке для целого потока, которое одинаково для всех его слоев; во-вторых он косвенно подтверждает правильность методики определения величины динамической скорости на стенке, предложенной в [6]; в третьих, он полезен при анализе опытных материалов по кинематической структуре плоских потоков.

## Выводы

1. Плоский турбулентный поток обладает свойством послойного подобия, заключающемся в практической тождественности ряда безразмерных характеристик целого потока и его слоев, имеющих относительную толщину слоя в пределах  $\delta/h = 0,1 - (0,8 - 0,9)$ .

2. Послойное подобие является следствием сходственности механизма перемешивания жидкости в турбулентной толще всего потока и его слоев.

3. Главное влияние на формирование профиля скорости в слоях равномерного плоского потока оказывает величина напряжения трения на стенке.

## Список литературы

1. *Идельчик К. И.* Гидравлические сопротивления. — М.-Л.: ГЭИ, 1954. 316 с.
2. *Пауэ Х.* Механика жидкости для инженеров-гидротехников. — М.: ГЭИ, 1958. — 368 с.
3. *Хице И. О.* Турбулентность, её механизм и теория. — М.: Физматгиз, 1963. 680 с.
4. *Hussain A. K. M. F. and Reynolds W. C.* Measurements in Fully Developed Turbulent channel Flow // ASME Journal of Fluids Engineering, Vol 97, № 4, 1975. Pp. 568 – 580.
5. *Субботин В. Н.* и др. Исследование осредненных гидродинамических характеристик турбулентного потока в прямоугольном канале. — Обнинск: Препринт Физико-энергетического института, 1973, № 455.
6. *Скрёбков Г. П., Паращенко И. Е.* О величине постоянных логарифмического профиля скорости при движении потока между гладкими стенками // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — Новосибирск, 1983. № 2. С. 88 – 92.
7. *Скрёбков Г. П., Паращенко И. Е.* Исследование кинематической структуры потока и пристенного трения в трапецеидальных каналах со стенками одинаковой и разной шероховатости // Водные ресурсы. 1989. № 2. С. 91 – 96.
8. *Скрёбков Г. П.* О гидравлическом сопротивлении русел плоскому потоку // Изв. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1981. Т. 145. С. 87 – 92.

### Владимир Александрович Мелентьев (к 100-летию со дня рождения)



25 ноября 2012 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Владимира Александровича Мелентьева (1912 – 1987), доктора технических наук, видного российского ученого в области гидромеханизации, гидротранспорта, намывных плотин, хвостохранилищ и золоотвалов. В. А. Мелентьев — один из создателей отечественной школы промышленного гидрозолоудаления, автор 100 научных работ, в том числе нескольких монографий, патентов на изобретения, справочных пособий о свойствах золы и шлака, широко используемых при проектировании и эксплуатации золоотвалов ТЭС.

В. А. Мелентьев родился в г. Санкт-Петербурге, в семье военного моряка. Окончив школу, Владимир Александрович поступил на работу топографом в экспедиционную партию, занимавшуюся изысканиями на реках Лене, Печоре и на строительстве каскада Нивских ГЭС. Затем он стал студентом гидрофака Ленинградского политехнического института (ЛПИ). По окончании ЛПИ В. А. Мелентьев был направлен в Главное управление аэродромного строительства НКВД (ГУАС), где в его служебные обязанности входила разработка дренажных систем аэродромов, которые в те годы в большинстве своем были земляными.

Великая Отечественная война застала В. А. Мелентьева в Бобруйске, где он работал на обустрой-

стве взлетно-посадочной полосы этого приграничного военного аэродрома, оказавшегося уничтоженным в первый же день войны. Чудом избежав гибели и немецкого плена, В. А. Мелентьев с остатками своей разгромленной воинской части сумел добраться до Москвы. В Центральном управлении ГУАС приняли решение направить его в г. Иваново, на пока еще тыловой аэродром, который в ближайшие недели мог оказаться на передовой. После года успешной работы в г. Иваново В. А. Мелентьев был откомандирован в г. Барабинск, где ему вменялось в обязанности обеспечение безопасности полетов американской авиационной техники, которая в рамках проекта “Алсиб” перебрасывалась с Аляски в Сибирь и далее на запад на фронты Великой Отечественной войны.

После прорыва блокады Ленинграда в начале 1944 г. В. А. Мелентьев был направлен на восстановление аэродрома г. Гатчины. Войну закончил в Эстонии в г. Тарту, где был использован его опыт круглогодичной эксплуатации военных и гражданских аэродромов.

С 1946 г. В. А. Мелентьев работал во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, с лабораторией гидромеханизации которого он связал всю свою дальнейшую творческую деятельность.

Наверное, на территории бывшего Советского Союза нет гидротехнического сооружения, где бы ни трудился Владимир Александрович. Это практически весь Волжско-Камский каскад от первых послевоенных Горьковской и Молотовской ГЭС до таких гигантов гидроэнергетики, как Куйбышевская и Сталинградская ГЭС; многие из Днепровских гидроэлектростанций, прежде всего Днепродзержинская и Каховская, а также Дубоссарская и Мингечаурская ГЭС, сооружавшиеся по проекту ВНИИГ; многочисленные среднеазиатские гидроэлектростанции, среди которых Кайраккумская, Чардарьинская, Чирчикская и Нурекская. По признанию самого Владимира Александровича, крайней точкой на востоке нашей страны, где ему посчастливилось трудиться, оказались Зейская ГЭС и г. Свободный, а последними объектами его созидательного труда стали Бурейская и Богучанская ГЭС.

Широкое развитие теплоэнергетики на низкосортных углях и сланцах, начатое СССР в середине 1950-х гг., создавало проблему складирования отходов золы и шлаков, научному обоснованию и инже-

нерному решению которой посвящен ряд пионерских работ В. А. Мелентьева. Среди длинного списка обогатительных комбинатов и тепловых станций, на которых осуществлялось внедрение результатов его новаторских исследований, отметим строительство хвостохранилищ в Челябинской области и на Украине в Днепродзержинске, а также его предложения по обустройству золоотвалов Троицкой ГРЭС и крупных тепловых станций, работающих на сланцах в Эстонии.

В. А. Мелентьев откликнулся на просьбы даже самых скромных заказчиков, посылавших запросы во ВНИИГ из самых дальних уголков нашей родины, где возникали различные экологические проблемы и чрезвычайные ситуации, связанные с ошибками в проектировании и эксплуатации объектов гидро- и теплоэнергетики. Вспомним, к приме-

ру, его оригинальные технические решения по ликвидации прорыва тоннеля ленинградского метро между станциями “Лесная” и “Площадь Мужества”, по обустройству производственного водозабора Окуловской бумажной фабрики, сооруженной в начале XX века еще при Рябушинских, или его рекомендации по укреплению дамб обвалований золоотвала Армянской ГРЭС, построенной в сейсмоопасном районе, прорыв которого грозил сбросом многомиллионной массы отходов не только в Аракс, но и в приграничные районы Ирана.

Заслуги Владимира Александровича Мелентьева отмечены правительственными наградами — орденом “Знак Почета” и медалями, среди которых он особенно выделял медаль “За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941 – 1945 гг.”.

Пантелеев В. Г., доктор техн. наук, зав. лабораторией намывных сооружений и отвалов ОАО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”

---

---

## Дискуссии

---

---

### О научном подходе к расчетам устойчивости откосов грунтовых сооружений

Истомин В. И., инженер (ООО “СтройПроект”)

Предлагается комплексный подход к решению задачи определения коэффициента устойчивости грунтового откоса, переводящий данную область человеческих знаний из искусства в науку. Приведены основные положения этого подхода. Все обоснования по приведенной информации представлены в работе [1].

**Ключевые слова:** грунтовые откосы, коэффициент устойчивости, сумма нормальных сил на поверхности скольжения; универсальный аналитический метод расчета коэффициента устойчивости, теория подобия расчетных схем, анализ точности методов расчета устойчивости, решение обратной задачи устойчивости откоса.

*Сумма нормальных сил на поверхности скольжения для оползневого тела, находящегося в предельном состоянии. Из экспериментов по сдвигу следует, что*

$$\Sigma N_i = \Sigma P_i \cos(a_{\min}), \quad (1)$$

где  $\Sigma N_i$  — сумма нормальных сил на произвольной поверхности скольжения для оползневого тела, находящегося в предельном состоянии;  $\Sigma P_i$  — вес оползневого тела;  $\cos(a_{\min})$  — косинус угла между горизонталью и касательной к поверхности скольжения, проведенной из точки касания этой горизонтальной линией поверхности скольжения (рис. 1).

*Основное уравнение универсального метода расчета.* Общий вид универсального метода расчета коэффициента устойчивости произвольного грунтового откоса можно записать в виде

$$K_u = K_T + I_s, \quad (2)$$

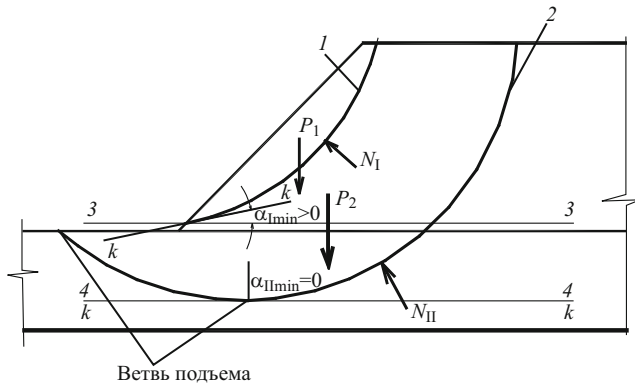
где  $K_u$  — коэффициент устойчивости по Истомину;  $K_T$  — коэффициент устойчивости, определенный по Терцаги;

$$K_T = \Sigma(P_i \cos(a_i) \operatorname{tg}(\phi_i) + c_i l_i) / \Sigma(P_i \sin(a_i)), \quad (2.1)$$

где  $P_i$  — вес столбика  $i$ ;  $\cos(a_i)$  — косинус угла наклона подошвы  $i$ -го столбика к горизонтальной поверхности;  $\phi_i$  — угол внутреннего трения для грунтов, находящихся на площадке скольжения для  $i$ -го столбика;  $c_i$  — удельное сцепление;  $l_i$  — длина подошвы столбика;  $\sin(a_i)$  — синус угла наклона подошвы  $i$ -го столбика оползневого тела к горизонтальной поверхности.

Добавка Истомина к коэффициенту устойчивости, определенного методом Терцаги:





**Рис. 1.** Иллюстрация к понятию  $\alpha_{\min}$ : 1, 2 — поверхности скольжения, ограничивающие снизу оползневое тело 1, 2 соответственно; 3–3 — горизонтальная линия, проведенная от нижней точки оползневого тела 1;  $\kappa-\kappa$  — касательная к поверхности скольжения в точке ее касания горизонтальной линией 3–3; 4–4 — горизонтальная линия, она же касательная для поверхности скольжения 2;  $\alpha_{\min}$ ,  $\alpha_{\text{IImin}}$  — углы между горизонталью и касательными;  $P_1, P_2$  — вес оползневых тел 1, 2;  $N_I, N_{II}$  — суммарные нормальные силы, действующие на поверхности скольжения в 1, 2

$$I_s = dN \text{tg}(\phi_{\text{ср}}) / (\sum P_i \sin(a_i)), \quad (2.2)$$

где  $dN$  — дополнительная нормальная сила (к вычисляемой по Терцаги);  $\phi_{\text{ср}}$  — средневзвешенное значение угла внутреннего трения для грунтов, находящихся на поверхности скольжения.

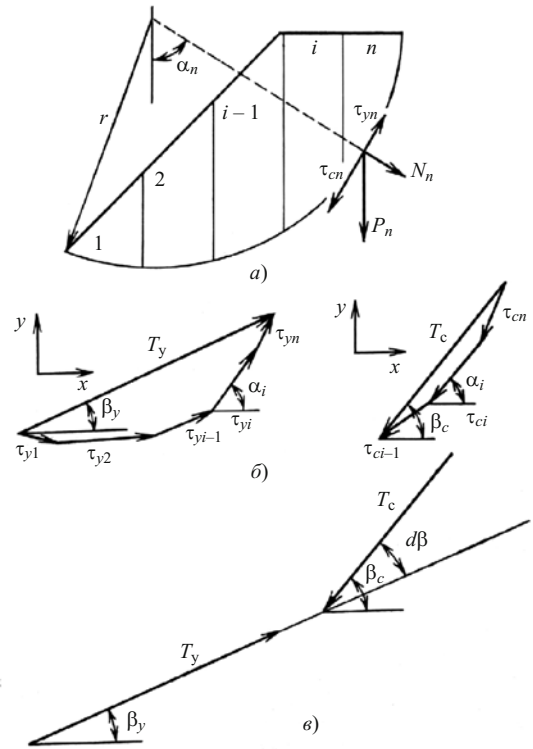
$$dN = P_i \cos(\alpha_{\min}) - \sum (P_i \cos(a_i)), \quad (2.3)$$

где  $\cos(\alpha_{\min})$  — косинус угла между горизонталью и касательной к поверхности скольжения, проведенной из точки касания этой горизонтальной линией поверхности скольжения (рис. 1).

Автор считает, что метод (2) наиболее точный и универсальный из всех существующих аналитических методов. К нему по точности могут приближаться только численные методы. Желая опровергнуть это заявление, автор готов безвозмездно предоставить соответствующую программу расчета устойчивости и консультацию по ее использованию. Единственным требованием при передаче программы является обязательство оппонента сделать сообщение в редакцию по результатам расчетов.

*Теория подобия расчетных схем для определения коэффициента устойчивости.* Предлагаемая теория подобия базируется на трех гипотезах:

1. Два оползневых тела подобны, если равны их универсальные характеристики.
2. Для подобных оползневых тел один и тот же метод дает одинаковые отклонения расчетных коэффициентов устойчивости от их фактических значений.
3. Любому оползневому телу, находящемуся в предельном состоянии, можно подобрать механи-



**Рис. 2.** Иллюстрация к демонстрации понятия угла  $d\beta$  между равнодействующими сдвигающих и удерживающих сил, действующих на поверхности скольжения для оползневое тело, находящегося в предельном состоянии:  $P_n$  — вес  $n$ -го столбика;  $N_n, \tau_{cn}, \tau_{yn}$  — нормальная сдвигающая и удерживающая составляющие для  $n$ -го столбика, полученные при разложении  $P_n$  на подошве этого столбика;  $T_y, T_c$  — равнодействующие удерживающих и сдвигающих сил;  $\beta_y, \beta_c$  — углы между удерживающей, сдвигающей равнодействующими и горизонталью

ческий аналог с одинаковой универсальной характеристикой (эталон).

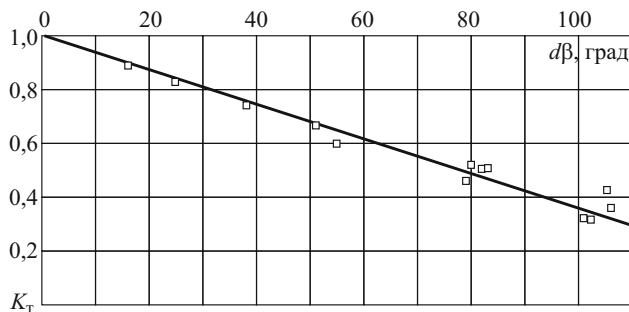
В качестве универсальной характеристики оползневое тело, находящегося в предельном состоянии, принимаем угол между равнодействующими сдвигающих и удерживающих сил  $d\beta$ , рис. 2.

Универсальная характеристика позволяет при анализе точности расчетной схемы работать только с одним параметром  $d\beta$ .

*Методика анализа точности методов расчета устойчивости.* Для примера на рис. 3 представлен график  $K_T = f(d\beta)$ , построенный по экспериментальным данным, полученным на механической модели для метода Терцаги.

Графики, построенные подобным образом, можно использовать в качестве паспортов точности методов, для которых построены эти графики.

Для метода Терцаги просматривается линейная зависимость точности определения  $K_T$  от  $d\beta$ : чем меньше значение  $d\beta$ , тем ближе значение расчетного коэффициента устойчивости к правильному результату. При правильном результате точка графика рис. 3 должна лежать на горизонтальной линии с  $K_T = 1$ . Безусловно, при наличии сцепления в грун-



**Рис. 3.** Зависимость расчетного коэффициента устойчивости  $K_T$ , определенного по Терцаги, от угла между равнодействующими удерживающих и сдвигающих сил. На графике группы данных — это не повтор эксперимента, а результаты независимых экспериментов с совершенно другими силовыми составляющими, тем не менее, если в экспериментах мы достигаем одинаковых  $d\beta$ , то отклонения по точности также получаются одинаковые

те линия будет менее наклонной, но характер зависимости не изменится.

В реальных расчетах при определении коэффициента устойчивости, попутно определяется и  $d\beta$

реального оползневое тела. При наличии “паспорта точности метода”, например для Терцаги (рис. 3), сопоставляя полученное значение  $d\beta$  с паспортным значением, можно судить о точности выполненного расчета.

Условия однозначного определения пары прочностных характеристик (угол внутреннего трения, удельное сцепление) из решения обратной задачи, посредством обработки информации только по одному оползневому телу. Для однозначного решения этой задачи вводится дополнительное условие: только поверхность скольжения, по которой произошел оползень, на момент этого события имела коэффициент устойчивости 1, любая другая поверхность скольжения в оползневом откосе имела коэффициент устойчивости больше 1.

### Литература

Истомин В. И. О научном подходе к расчетам устойчивости грунтовых откосов // Гидротехника. 2011. № 1, 2.

## Отзыв о статье В. И. Истомина “О научном подходе к расчётам устойчивости откосов грунтовых сооружений”

Следует сказать, что задача ограничивается рассмотрением устойчивости откоса определённой конфигурации, сложенного однородным грунтом, при отсутствии подземных вод. Такие задачи тривиальны, существует много методов их решения, не только метод Терцаги. При этом точность решения в первую очередь зависит от точности определения прочностных характеристик этого грунта, в том числе его удельного сцепления.

Если решить до конца уравнение (2, 3), по которому определяется “добавка” В. И. Истомина к методу Терцаги, то, при условии  $\cos\alpha_i \rightarrow 1$  ( $\alpha_i \rightarrow 0$ , рис. 1), дополнительная нормальная сила  $dN = \text{tg}(\alpha_i/2)$ , т.е. величина чрезвычайно малая. Подставив значение  $dN$  в формулу (2.2), получим, что “добавка Истомина” к коэффициенту устойчивости Терцаги  $I_s \rightarrow 0$ , поскольку в этом уравнении

знаменатель существенно больше числителя. Если же учесть сцепление грунта, то значимость добавки ещё уменьшится.

О “Теории подобия расчётных схем”. Единственный критерий подобия, представляющий собой “универсальную характеристику  $d\beta$ ”, явно недостаточен для решения задачи устойчивости откосов, разве что для откосов, абсолютно аналогичных по геометрии, геологическому строению, гидрогеологическим особенностям (отсутствие грунтовых вод или их одинаковое положение сравниваемых массивов) и т.п. А что такое “оползневое тело, находящееся в предельном состоянии”? Если оно, это состояние, было рассчитано, зачем аналог? Если расчёт не выполнялся, откуда информация о его предельном состоянии? Из характеристики  $d\beta$  без учёта всех остальных его особенностей?

Количко А. В., кандидат геол.-мин. наук, зам. главного инженера, главный геолог (ОАО “Институт Гидропроект”)

## Новости гидроэнергетики и гидротехники

### Строительство Богучанской ГЭС

После пуска 15 и 25 октября 2012 г. трех агрегатов Богучанской ГЭС строительство станции вступило в новую стадию. Параллельно со строительными работами, монтажом пяти агрегатов (№№ 4 – 8) и отделочными работами в машинном зале и служебно-производственном корпусе началась эксплуатация трех агрегатов с выработкой электроэнергии и передачей ее потребителям. Первой ЛЭП, передающей электроэнергию Богучанской ГЭС, стали две линии 220 кВ протяженностью 10 км, ведущие на понизительную подстанцию “Кодинская”. Потребителями выработанной энергии стали жители города Кодинска и Кежемского района, административные и социальные учреждения.

В течение октября в бетонную плотину, водосброс № 2 и здание ГЭС было уложено 6853 м<sup>3</sup> бетона, в первой половине ноября – 3783 м<sup>3</sup>. По информации ЗАО “Организатор строительства Богучанской ГЭС”, до завершения строительства бетонной плотины на начало октября 2012 г. оставалось уложить 20 тыс. м<sup>3</sup> бетона в четыре секции, до завершения строительства водосброса № 2 – 16 тыс. м<sup>3</sup> бетона.

Завершается подготовка к испытаниям на холостом ходу агрегатов №№ 4, 5 и 6. Гидросиловое оборудование ГА № 4 смонтировано полностью, ведутся пусконаладочные работы на осушенной спирали. Завершен монтаж вспомогательного оборудования. Последние операции были выполнены на системе технологического водоснабжения генератора и блочного трансформатора. В ближайшее время планируется закончить сборку основного электротехнического оборудования. Проведены высоковольтные испытания блочного трансформатора и элегазовых токопроводов; завершается монтаж воздушных токопроводов 15,75 кВ. Контрольный кабель, являющийся частью вторичной коммутации гидроагрегата, проложен на 70 % от необходимого объема; 30 % кабеля подключено к оборудованию, обеспечивающему функционирование программно-технического комплекса (ПТК) маслонапорной установки и ПТК автоматического управления гидроагрегатом.

Гидросиловое оборудование ГА № 5 смонтировано полностью. В ближайшие дни планируется завершить сборку трубопроводов технологического водоснабжения. Ведется доработка аварийно-ремонтного затвора, предстоит установка подрамника, рамы и гидроцилиндра. 13 ноября была завершена перекачка блочного трансформатора, что позволяет начать монтаж элегазовых вводов и воздушных токопроводов. После завершения работ по установке блочного щита управления и промежуточных шкафов работники

монтажных организаций начнут сборку систем вторичной коммутации агрегата.

Гидросиловое оборудование ГА № 6 было отгружено ОАО “Силовые машины” в декабре 2011 г., поэтому его монтаж был начат позже, чем на других агрегатах. В списке работ на гидросиловом оборудовании остались два пункта: монтаж щеточного аппарата и колпака генератора. Требуется выполнить доработку аварийно-ремонтного затвора, установить подрамник, раму и гидроцилиндр. Монтаж электротехнического оборудования и вторичной коммутации планируется начать в декабре.

На ГА № 7 завершается сборка статора, на монтажной площадке – сборка ротора этого агрегата. С учетом того, что на сборку в среднем уходит три месяца, а сборка ротора началась в сентябре, монтаж ротора состоится в конце 2012 г. Всего в октябре и ноябре 2012 г. смонтировано около 1000 т гидросилового и гидромеханического оборудования.

В первой трети машинного зала (большая часть монтажной площадки и секции агрегатов № 1 – 3) отделочные работы завершены. В октябре уложено около 500 м<sup>2</sup> гранитной плитки, в ноябре – около 250 м<sup>2</sup>. В служебно-производственном корпусе отделочные работы выполнены в октябре на площади 4885 м<sup>2</sup>, в ноябре – 1100 м<sup>2</sup>.

Продолжается демонтаж старой опалубки с лицевых поверхностей бетонной плотины. В октябре верхолазы подрядных организаций очистили 5800 м<sup>2</sup> поверхности, в ноябре – 1630 м<sup>2</sup>.

Уровень Богучанского водохранилища во второй декаде ноября стабилизировался на отметке 185,0 м. Повышение уровня в течение зимы 2012 – 2013 гг. не планируется.

### Восстановление и комплексная модернизация Баксанской ГЭС

На Баксанской ГЭС в рамках программы предпусковых испытаний систем и оборудования гидроэлектростанции завершено 72-х часовое тестирование под нагрузкой гидроагрегата под стационарным номером 2 – последнего из трех, установленных на станции. В соответствии с утверждённой заводом-изготовителем программой испытания проходили с непрерывным контролем электрических параметров, температурного и вибрационного состояния гидроагрегата. Они проводились под контролем представителей Ростехнадзора и шеф-инженеров ОАО “Силовые машины”. Им предшествовали сушка обмотки статора на холостом ходу, монтаж и наладка основного и вспомогательного оборудования, проверка работы ротора агре-

гата на различных скоростных режимах, измерения различных контролируемых параметров. После этого были проведены высоковольтные испытания генератора.

Аналогичные испытания прошли ГА № 1 и № 3. По их результатам рабочей комиссией, включающей представителей ОАО “РусГидро”, ОАО “Силовые машины” и Ростехнадзора, подписан Акт, подтверждающий готовность гидроагрегатов к эксплуатации.

Готовы к промышленной эксплуатации все гидротехнические сооружения и механизмы головного узла и напорного тракта. На станционном узле завершаются отделочные работы фасада административного здания и благоустройство территории. Завершение комплексной реконструкции и ввод в промышленную эксплуатацию станции намечены на декабрь текущего года.

### **Модернизация Жигулевской ГЭС**

На Жигулевской ГЭС после модернизации введен в эксплуатацию ГА № 2. В ходе работ, длившихся 10 месяцев, была заменена старая 6-лопастная турбина. Новое оборудование имеет повышенный коэффициент полезного действия и отвечает самым современным экологическим стандартам. Помимо замены гидротурбинной установки на агрегате смонтирована современная система управления.

Это первая машина, модернизированная в рамках договора, подписанного между ОАО “РусГидро” и “Силовые машины” в 2010 г. Всего будет изготовлено, поставлено и смонтировано оборудование для 14 гидроагрегатов. Остальные шесть машин станции были модернизированы до 2010 г. Установка новых турбин позволит повысить номинальную мощность каждого гидроагрегата с 115 МВт до 125,5 МВт. После завершения модернизации суммарная мощность Жигулевской ГЭС увеличится на 147 МВт и составит 2488 МВт.

Обновление оборудования проводится в соответствии с Программой комплексной модернизации ОАО “РусГидро”. В рамках этой программы на Жигулевской ГЭС будут также выполнены работы по замене электротехнического, гидромеханического оборудования и систем автоматики.

### **Модернизация Новосибирской ГЭС**

Введена в эксплуатацию после реконструкции новая гидротурбина. Работы проводились с 2011 г. в соответствии с Программой комплексной модернизации Новосибирской ГЭС. В ходе реконструкции было заменено рабочее колесо турбины, при этом количество лопастей увеличилось с четырёх до пяти. Кроме того, на гидроагрегате смонтированы современная система управления, регулирования, вибродиагностики и торможения. В дальнейшем эти новейшие системы управления будут использованы на всех реконструируемых гидроагрегатах Новосибирской ГЭС.

В период с 2012 по 2019 гг. совместно с ОАО “Турбоатом” будет проведен большой объем работ по реконструкции оборудования Новосибирской ГЭС. В соответствии с условиями контракта будут спроектированы, изготовлены и поставлены на станцию шесть новых гидротурбин, а также комплект вспомогательного оборудования. Ориентировочная стоимость одной гидротурбины, включая ее монтаж и наладку, составляет 1 млрд. рублей.

Конструктивные изменения позволят в дальнейшем рассчитывать на увеличение установленной мощности Новосибирской ГЭС на 100 МВт. До конца 2012 г. будут проведены комплексные испытания гидроагрегата, по результатам которых он будет перемаркирован на большую мощность.

Модернизация оборудования позволит значительно повысить надежность и эксплуатационные характеристики оборудования Новосибирской ГЭС.

### **Модернизация Чебоксарской ГЭС**

ОАО “РусГидро” и ОАО “Силовые машины” заключили договор на модернизацию восьми гидрогенераторов Чебоксарской ГЭС. В соответствии с условиями договора специалисты ОАО “Силовые машины” проведут обследование генераторов ГА №№ 2, 10, 11, 12, 13, 14, 17 и 18, а затем изготовят для них статоры, тахогенераторы и другие комплектующие. Кроме того, ОАО “Силовые машины” обеспечат шефмонтаж поставленного оборудования.

Поставка первого из восьми комплектов оборудования запланирована на январь 2014 г., последнего – на февраль 2017 г. ОАО “Силовые машины” начали реконструкцию оборудования Чебоксарской ГЭС в 2007 г. с модернизации механизма поворота лопастей рабочего колеса ГА № 7. В 2011 – 2012 гг. энергомашиностроительная компания реконструировала рабочие колеса ГА № 16 и № 8. В 2011 г. ОАО “Силовые машины” и ОАО “РусГидро” расширили сотрудничество, заключив договор на реконструкцию еще семи рабочих колес, включающую изготовление новых деталей и узлов. Первое из них, колесо ГА № 4, планируется ввести в работу в четвертом квартале 2012 г. Поставка последнего из семи реконструируемых рабочих колес запланирована на май 2016 г.

### **Модернизация Волжской ГЭС**

В филиале ОАО “РусГидро” – “Волжская ГЭС” после реконструкции введен в эксплуатацию ГА № 8, на котором была заменена турбина. Новая турбина обладает улучшенными техническими характеристиками и имеет повышенную мощность, что в перспективе позволит увеличить установленную мощность станции.

Проектирование, изготовление, испытания, поставку, строительно-монтажные работы, а также шефмонтаж и пусконаладку гидротурбины №8 выполнило ОАО “Силовые машины”. Это вторая из четырех тур-



бин, которая реконструирована по условиям долгосрочного контракта между ОАО “РусГидро” и ОАО “Силовые машины”. До конца текущего года в эксплуатацию планируется ввести еще одну новую турбину. Это будет 11-я по счету замененная гидротурбина.

Реконструкция началась в июне 2011 г. Обновление оборудования проводилось в соответствии с Программой комплексной модернизации ОАО “РусГидро”. Срок реализации программы рассчитан до 2025 г. К этому времени планируется заменить все 22 гидротурбины. Реконструкция и модернизация оборудования позволят значительно повысить его надежность и эксплуатационные характеристики, а также увеличить установленную мощность Волжской ГЭС на 198,5 МВт. В итоге к 2021 г. установленная мощность станции составит 2739,5 МВт.

### **Верхненарынский каскад ГЭС в Киргизии**

Председатель Правления ОАО “РусГидро” Дод Е. В. и Президент Кыргызской Республики Алмазбек Атамбаев приняли участие в торжественной церемонии установки памятного знака на месте строительства Акбулунской ГЭС. Эта ГЭС станет первой из четырех ГЭС Верхненарынского каскада. Соглашение о строительстве и эксплуатации было подписано между Правительством Кыргызской Республики и Правительством Российской Федерации 20 сентября этого года в Бишкеке. В рамках этого Соглашения на реке Нарын также будут построены Нарынская ГЭС-1, Нарынская ГЭС-2 и Нарынская ГЭС-3. Общая установленная мощность каскада составит 191 МВт, среднегодовая выработка – 1055 млн. кВт · ч. Предварительная стоимость проекта оценивается в 410 ... 425 млн. долларов США (в ценах 2009 года). Строительство всех станций может быть завершено в течение четырех – пяти лет. В качестве партнера ОАО “РусГидро” выступит кыргызская компания “Электрические станции”. Каждый из участников проекта получит по 50 % в создаваемом совместном предприятии ЗАО “Верхненарынские ГЭС”. Российская сторона будет осуществлять стратегическое и оперативное управление проектом на период окупаемости. Параметры финансирования строительства каскада будут определены после разработки технико-экономического обоснования проекта.

### **Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева**

25 – 27 октября на базе ОАО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева” и СПбГПУ прошла седьмая научно-техническая конференция “Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии”. Организаторами кон-

ференции выступили ОАО “РусГидро”, ОАО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”, НП “Гидроэнергетика России” и ГОУ СПбГПУ. В этом году ведущие гидроэнергетики страны обсудили использование передовых научных и инженерных решений в смежных областях для целей гидроэнергетики, перспективы развития научно-проектного комплекса ОАО “РусГидро”, сотрудничество с Российской Академией наук и ведущими исследовательскими университетами в выполнении научных разработок и подготовке кадров.

На Богучанской ГЭС ВНИИГ завершил работы по визуальному и инструментальному обследованию сводовых и боковых частей облицовок турбинных водоводов и спиральных камер ГА № 1 и 2. Обследование выполнялось с использованием передвижной платформы и лесов, установленных внутри турбинных водоводов и спиральных камер. Продолжаются обследования асфальтобетонной диафрагмы. ВНИИГ постоянно проводит определение физико-механических (реологических) характеристик при различных условиях работы диафрагмы, расчеты её поведения и сопоставление с натурными наблюдениями.

Проведено геологическое обследование аварийной плотины на ручье Певек, вода которого используется для водоснабжения города Певек и Чаунской ТЭЦ на Чукотке. Для разработки и срочного обоснования мероприятий по укреплению грунтов тела плотины и основания специалисты ВНИИГ в настоящее время проводят экспресс-исследования по выявлению зон разуплотнения и таликов (участков незамерзающей породы среди вечной мерзлоты) в теле плотины и ее основании. В ближайшее время планируется выполнить экспериментальные полевые и расчетные исследования, а также разработать проект ликвидации аварийной ситуации.

Разработки ВНИИГ в области 3D-моделирования были представлены на специализированном форуме. Среди представленных разработок – объектно-информационная система ГЭС, компьютерный тренажерный комплекс и др.

Завершены исследования по разработке современной технологии строительства водосливной части плотины для применения на средненапорных ГЭС. В итоге создана новая тонкостенная железобетонная конструкция водосливной части плотины, так называемый водослив лабиринтного типа. Результаты исследований были реализованы в пилотном проекте малой переливной плотины Хоробровской ГЭС, для которой в заводских условиях на площадке Загорской ГАЭС изготовили отдельные секции тонкостенного железобетонного лабиринта. Монтаж секций на Хоробровской ГЭС осуществляется при помощи муфтовых (механических) соединений арматуры.

*Материалы подготовлены пресс-службой ОАО “РусГидро”: И. Слива, В. Скращук, М. Мишина, П. Гельтищев, Е. Сучкова, О. Тарасова, Г. Шацкая, И. Беликова.*

## 100 лет вихревой теории ротора проф. Н. Е. Жуковского

В этом году исполняется 100 лет с момента создания вихревой теории ротора (гребного винта, пропеллера, ветровой турбины и пр.), опубликованной в первой статье цикла из 4 статей под общим названием «Вихревая теория гребного винта», изданного с 1912 по 1918 гг. Эта работа является самым значительным произведением Николая Егоровича Жуковского, так как в аэродинамике теория винта является самым сложным и важным разделом, в котором все результаты, накопленные по обтеканию отдельных тел и крыльев, должны быть обобщены для вращающихся объектов – лопастей.

Вклад великого русского ученого в создании теории ротора высоко оценен в мире, а 100 летний юбилей его теории ротора был отмечен проведением специальной сессии на 4-ой международной конференции «The Science of Making Torque from Wind», посвященной аэродинамике ветровых турбин, собравшей более 300 участников из 20 стран.



Место проведения конференции: Университет г. Ольденбурга (Германия)

## 38-е Общее собрание ассоциации “Гидропроект”

Шайтанов В. Я., президент ассоциации “Гидропроект”

С 21 по 24 августа 2012 г. на Кислогубской приливной электростанции состоялось очередное 38-е Общее собрание ассоциации “Гидропроект”, посвященное вопросам использования возобновляемой энергии морских приливов и волн для производства электрической энергии. В работе Общего собрания приняли участие: президент ассоциации “Гидропроект”, доктор технических наук, профессор Шайтанов В. Я.; первый вице-президент ассоциации “Гидропроект”, кандидат технических наук, профессор Золотов Л. А.; заместитель генерального директора ОАО “Институт Гидропроект”, кандидат технических наук Новоженин В. Д.; директор ЦСГНЭО ОАО “Институт Гидропроект”, действительный член Академии естественных наук (РАЕН), доктор технических наук, профессор Савич А. И.; директор Института гидротехнического и энергетического строительства МГСУ, доктор технических наук, профессор Анискин Н. А.; заведующий кафедрой гидротехнических сооружений МГСУ, заслуженный деятель науки и техники России, доктор технических наук, профессор Расказов Л. Н.; заместитель генерального директора ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, доктор технических наук Глаговский В. Б.; заместитель генерального директора ОАО “УкрГидропроект” Погосян С. Н.; советник председателя Правления ОАО “РусГидро”, заслуженный строитель России, доцент кафедры энергетического строительства, кандидат технических наук Лашенов С. Я.; советник генерального директора ОАО “НИИЭС”, главный инженер проектов приливных электростанций, кандидат технических наук Усачев И. Н.; заместитель генерального директора - директор по научной работе ОАО “НИИЭС”, кандидат технических наук, член-корреспондент РАЕН Семенов И. В.; генеральный директор ОАО “НИИЭС”, кандидат технических наук, член-корреспондент РАЕН Шполянский Ю. Б.; директор Кислогубской ПЭС Галашов А. В.; главный инженер Кислогубской ПЭС Нурмагомедов М. М.; директор каскада Туломских ГЭС Ткаченко А. В.; генеральный директор ООО “Морстройпроект” Кушнерик В. И.; заместитель генерального директора ОАО “Мурманский морской порт” Жирко А. П.

С докладом об использовании энергии морских приливов выступил генеральный директор Дирекции приливных электростанций ОАО “РусГидро”, генеральный директор строительства Ленинградской ГАЭС, заслуженный строитель России, кандидат экономических наук С. Н. Савченков. В своем

докладе он рассказал о структуре организации проектирования и строительства приливных электростанций и Ленинградской гидроаккумулирующей электростанции. Проектирование и строительство этих объектов энергетики осуществляется в системе ОАО “РусГидро” в рамках единой программы развития приливной энергетики России. Созданная в системе ОАО “РусГидро” Дирекция по приливной энергетике, которую возглавляет С. Н. Савченков, осуществляет функции заказчика проектно-изыскательских и научно-исследовательских работ по приливной тематике в районе Баренцева и Белого морей, а также в регионах Дальнего Востока и Камчатки. Кроме того, на Дирекцию возложены функции эксплуатации Кислогубской ПЭС и заказчика технологического оборудования. С 2006 г. по настоящее время Дирекция приливной энергетики выполнила большой объем работ по актуализации ТЭО Тугурской ПЭС установленной мощностью 3640 МВт с выработкой 13,8 млрд. кВт·ч электрической энергии, выполнила весь комплекс проектно-изыскательских и научно-исследовательских работ по обеспечению инвестиций в строительство Мезенской ПЭС мощностью 8000 МВт и среднегодовой выработкой 38,9 млрд. кВт·ч. За этот период выполнен большой объем поисковых работ по выбору створов перспективных ПЭС на побережье Баренцева и Белого морей. В результате этих работ в качестве первоочередного объекта для строительства Северной ПЭС выбран створ в губе Долгая Баренцева моря. В настоящее время проектно-изыскательские работы по этой ПЭС находятся в стадии завершения. Установленная мощность Северной ПЭС определена в 12 тыс. кВт, годовая выработка электроэнергии – 18,8 млн. кВт·ч.

В рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области приливной энергетики разработаны и апробированы новые технические решения по гидросиловому и вспомогательному оборудованию приливных электростанций, усовершенствованы методы расчетов пространственных железобетонных конструкций наплавных блоков ПЭС, разработан высокопрочный бетон для конструкции наплавного блока, проведены исследования по водообмену “море – бассейн – море” и состоянию планктонного сообщества (на примере Кислогубской ПЭС).

Ведутся разработки современного оборудования для приливных электростанций. Запроектирован и изготовлен высоковольтный преобразователь частоты, который дает возможность ставить турби-





Рис. 1. Общий вид Кислогубской ПЭС и пристыкованного к ней энергоблока Малой Мезенской ПЭС

ну ПЭС под нагрузку при напоре 0,6 м. Это позволит получить дополнительную выработку электроэнергии. Сейчас это оборудование проходит испытания на Кислогубской ПЭС, а затем будет применено в проекте Северной ПЭС.

В настоящее время по заказу ОАО «Ленинградская ГАЭС» с целью увеличения КПД ортогонального гидроагрегата (ОГА) ОАО «НИИЭС» ведет разработку конструкции ортогональной турбины с диаметром рабочего колеса 2 м. Данный гидроагрегат установлен в одном из проточных трактов Кислогубской ПЭС и проходит испытания в натуральных условиях.

После почти двадцатилетнего перерыва на Кислогубской ПЭС возобновлены экспериментальные работы в области приливной энергетики. В декабре 2004 г. на Кислогубской ПЭС был смонтирован разработанный ОАО «НИИЭС» отечественный ортогональный гидроагрегат с рабочим колесом диаметром 2,5 м (ОГА – 2,5) установленной мощностью 200 кВт. Результаты натуральных испытаний показали его высокую эффективность.

В 2006 г. на ПО «Севмаш» был изготовлен разработанный ОАО «НИИЭС» экспериментальный металлический наплавной энергоблок Малой Мезенской ПЭС установленной мощностью 1500 кВт, в котором смонтирован вертикальный гидроагрегат с рабочим колесом диаметром 5 м (ОГА-5). После вывода энергоблока со стапеля «Севмаша» он был отбуксирован по морю в губу Кислая, а затем пристыкован к агрегатному блоку Кислогубской ПЭС.

В течение прошедшего времени Дирекция ОАО «Ленинградская ГАЭС» инициировала на Кислогубской ПЭС большой объем работ по программе комплексных натуральных испытаний ортогональных гидроагрегатов. Цель натуральных испытаний – доведение ОГА до проектных параметров, а также подтверждение правильности принятых инженерно-технических решений по конструкциям ОГА и наплавных блоков ПЭС, выбора применяемых ма-

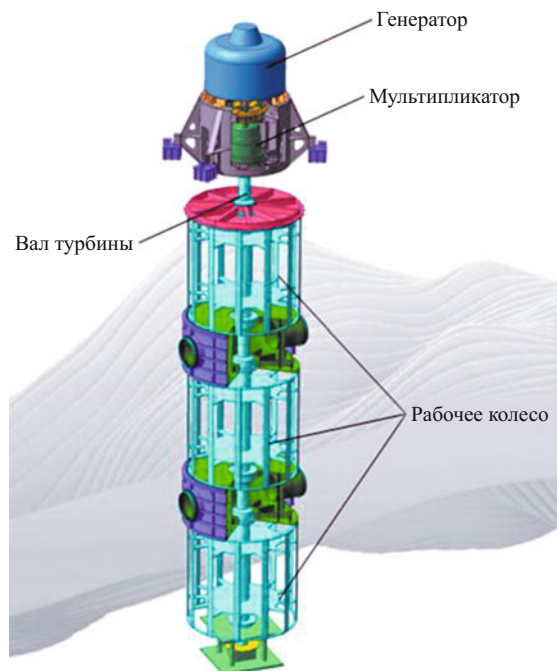


Рис. 2. Трехъярусный ортогональный гидроагрегат Северной ПЭС

териалов. В результате испытаний получены натурные данные, соответствующие прогнозным параметрам ортогональных гидроагрегатов. Они явились основанием для принятия новых конструктивных решений, направленных на улучшение основных характеристик турбинного оборудования ПЭС. Так, например, в результате проведенной ОАО «НИИЭС» на ОГА-5 модернизации проточного тракта и лопастной системы ортогональной турбины удалось существенно повысить значение КПД турбины.

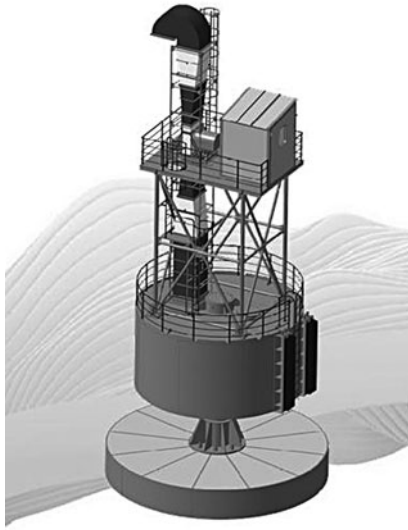
Испытания и исследования параметров систем и оборудования, запроектированного и созданного нашими проектными институтами, проводятся независимыми экспертами и компаниями, что гарантирует высокое качество полученных результатов и точность предоставляемых отчетных данных.

Одновременно с созданием и доводкой нового оборудования ПЭС с 2006 по 2012 г. ОАО «Ленинградская ГАЭС» были проведены работы по реконструкции основных технологических и вспомогательных сооружений Кислогубской ПЭС, построенных 40 лет назад, а именно: закрытого распределительного ЗРУ-35 кВ, административно-производственного корпуса, причала, ВЛ-35 кВ и инженерных систем электростанции.

На Кислогубской ПЭС расположены оперативно-диспетчерская и ремонтная службы, что позволяет параллельно с исследованиями вырабатывать электроэнергию.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующий шаг в освоении энергии





**Рис. 3.** Общий вид волновой энергетической установки с воздушной ортогональной турбиной

приливов – создание опытно-промышленной Северной ПЭС. Для реализации проекта Северной ПЭС в составе Дирекции ОАО “Ленинградская ГАЭС” создано дочернее общество ООО “ИЦПВЭ РусГидро”, которое по заданию ОАО “Ленинградская ГАЭС” и ОАО “НИИЭС” проводит государственную экологическую экспертизу проектной документации по Северной ПЭС; планируется также провести независимую экспертную оценку проекта Северной ПЭС зарубежными компаниями. На рис. 1 показан энергоблок Малой Мезенской ПЭС, присоединенный к действующей Кислогубской ПЭС. На рис. 2 показан ортогональный агрегат Северной ПЭС.

21 августа 2012 г. в Мурманском морском порту участники Общего собрания ассоциации “Гидропроект” ознакомились с опытным пионерным образцом волновой энергетической установки, разработанной учеными и инженерами ОАО “НИИЭС”. Разработка и изготовление установки осуществлялись при непосредственном руководстве и участии генерального директора ОАО “НИИЭС” Ю. Б. Шполянского. Мощность экспериментальной установки 30 кВт. Принцип действия установки заключается в следующем: установленная на прочное основание в прибрежной зоне волновая энергетическая установка с воздушной ортогональной турбиной под воздействием морских волн нагнетает и отсасывает из специально созданной камеры воздух, приводя в действие воздушную ортогональную турбину, соединенную одним валом с ротором генератора. Общий вид установки показан на рис. 3.

Заслушав и обсудив доклады С. Н. Савченкова по проблемам приливной энергетики и Ю. Б. Шполянского по волновым энергетическим установкам,

участники Общего собрания пришли к следующему заключению:

проводимые ОАО “Ленинградская ГАЭС” и ОАО “НИИЭС” научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы имеют чрезвычайно важное значение для создания экспериментальных и опытно-промышленных установок, использующих вечно возобновляемые энергетические процессы в естественных условиях для производства электрической энергии;

при создании Кислогубской и Малой Мезенской ПЭС разработан ряд уникальных технических решений, позволяющих в ближайшей перспективе перейти к широкомасштабному использованию энергии приливов;

морская научная база ОАО “РусГидро” на Кислогубской ПЭС и энергоблок Малой Мезенской ПЭС являются постоянно действующими энергетическими объектами и находятся в образцовом состоянии благодаря высокому уровню их эксплуатации;

созданию Большой Мезенской ПЭС должно предшествовать строительство инновационной Северной ПЭС, наплавные блоки которой являются полным прототипом Мезенской ПЭС. В этой связи представляется целесообразным актуализировать проект Северной ПЭС с учетом опыта эксплуатации Кислогубской и Малой Мезенской ПЭС.

Общее собрание ассоциации “Гидропроект”, исходя из этих условий:

отмечает высокий уровень технологических решений, реализованных при создании Кислогубской ПЭС и энергоблока Малой Мезенской ПЭС, а также высокий уровень их опытно-промышленной эксплуатации;

рекомендует НТС ОАО “РусГидро” рассмотреть технические предложения ОАО “НИИЭС” по актуализации проекта Северной ПЭС с целью внесения этих предложений в проект, находящийся в настоящее время на утверждении в Госэкспертизе;

предлагает внести в руководство ОАО “РусГидро” предложение об актуализации проекта Северной ПЭС и скорейшем начале ее строительства.

Ознакомившись с экспериментальной волновой энергетической установкой мощностью 30 кВт, смонтированной в Мурманском морском порту, заслушав сообщения ее авторов-разработчиков Ю. Б. Шполянского, И. Н. Усачева и др., участники Общего собрания отметили:

волновая энергетическая установка с воздушной ортогональной турбиной имеет большие перспективы практического использования в России;

после завершения лабораторных и натурных испытаний воздушной ортогональной турбины, которые проводятся в настоящее время в ОАО “НИИЭС”, и проведения натурных испытаний волновой

установки в открытом море, намеченных на первую половину 2013 г., волновые энергетические установки могут рассматриваться в составе комплексов ПЭС-ВолноЭС, возводимых в условиях открытых морских побережий.

После обсуждения докладов и выступлений Общее собрание одобрило результаты НИОКР ОАО “НИИЭС” в области волновой морской энергетики и рекомендовало руководству ОАО “РусГидро” рассмотреть вопрос о включении в состав сооружений актуализированного проекта Северной ПЭС системы блоков волновых установок.

Участники Общего собрания выразили свою благодарность и признательность генеральному директору ОАО “Ленинградская ГАЭС” С. Н. Савченкову, директору Кислогубской и Малой Мезенской ПЭС А. В. Галашову, главному инженеру ПЭС М. М. Нурмагомедову за высокий уровень организации приема участников собрания и за возможность ознакомиться с сооружениями Кислогубской ПЭС. Участники Общего собрания поблагодарили руководителей ОАО “НИИЭС” и лично генерального директора Ю. Б. Шполянского и его заместителя И. В. Семенова, а также главного инженера проектов приливных электростанций И. Н. Усачева за оказанную помощь и возможность ознакомиться с новейшими достижениями в области использования возобновляемых природных ресурсов – энергии морских приливов и энергии морских волн для производства электрической энергии.

В период работы Общего собрания его участники ознакомились с опытом эксплуатации двух уникальных гидроэлектростанций, работающих в условиях Заполярья: Нижне- и Верхнетуломских ГЭС. В результате посещения, обстоятельных докладов руководителей этих гидроузлов и обсуждения участники Общего собрания отметили высокий уровень эксплуатации ГЭС, находящихся в условиях Крайнего Севера; положительный опыт эксплуатации ступенчатого рыбохода на Нижнетуломской ГЭС и выборазводного хозяйства на Верхнетулом-

ской ГЭС, существенно снижающих уровень воздействия ГЭС на окружающую экосистему и выразили свою признательность директору Кольского филиала ТГК-1 А. Г. Антипову и директору каскада Туломских ГЭС А. В. Ткаченко за предоставленную возможность ознакомиться с сооружениями и опытом эксплуатации каскада Туломских ГЭС.

В период работы Общего собрания его участники и члены ассоциации “Гидропроект” рассмотрели и обсудили вопросы собственной деятельности. С отчетом выступил президент ассоциации “Гидропроект” В. Я. Шайтанов, который отметил, что за прошедший период была проделана большая работа по подготовке и участию в проведении 80-го Исполкома и 24-го Конгресса Международной комиссии по большим плотинам в г. Киото (Япония). Ассоциация участвовала в работе очередного 42-го заседания Электроэнергетического Совета СНГ, которое проходило в г. Минске (Беларуссия); принимала активное участие в работе Совета ветеранов Минэнерго России; рассмотрела вопросы оплаты участниками ассоциации ежегодных членских взносов.

Общее собрание отметило, что основными задачами ассоциации “Гидропроект” в ближайшей перспективе являются:

- координация деятельности участников ассоциации по разработке новых технических решений для освоения возобновляемых источников энергии;

- разработка нормативных и правовых актов в рамках реализации Федерального закона “О техническом регулировании”;

- подготовка и участие в важнейших научно-технических и организационных мероприятиях 2013 г. в области электроэнергетики и возобновляемых источников энергии.

По результатам докладов и выступлений Общее собрание решило одобрить итоги деятельности ассоциации “Гидропроект” за период с февраля по сентябрь 2012 г., а также ее задачи на ближайшую перспективу.

## Содержание журнала за 2012 год

**Айткеев Б. Б.** – Причины недобора мощности гидроагрегатов Шамалдысайской ГЭС, № 9.

**Аксенов П. В.** – Финансовые инструменты повышения конкурентоспособности энергетической компании, № 3.

**Александров А. Е., Торопов Б. А.** – Обследование и наладка подпятников агрегатов Нижегородской ГЭС, № 2.

**Александровский А. Ю., Борщ П. С.** – Зависимость водно-энергетических показателей Эвенкийской ГЭС от стока р. Нижняя Тунгуска и режима использования водных ресурсов водохранилища, № 4.

**Александровский А. Ю., Хасянов С. В.** – Оценка влияния ограничений по скорости изменения уровня воды в водохранилище на энергетические показатели работы гидроэлектростанций, № 10.

**Алимов А. Г.** – Совершенствование теоретических основ, методов и методологии исследования противофильтрационной эффективности защитных облицовок каналов и водоёмов, № 6.

**Аргал Э. С.** – О книгах Л. Ф. Фурсова, № 7.

**Асарин А. Е.** – Межконтинентальная энциклопедия многолетних колебаний речного стока, № 11.

**Асарин А. Е., Корчевский В. Ф.** – О гидроэнергетическом строительстве на трансграничных реках бассейна Амударьи, № 12.

**Афанасьева Е. В., Лоцманов Д. Г.** – Динамика финансово-экономических показателей и основные индикаторы роста и успешного развития ОАО “Ленгидропроект”, № 8.

**Бабаев Б. Д., Волшаник В. В.** – Волноэнергетические ресурсы Каспийского моря, № 2.

**Байков А. И., Руденко А. Л.** – Состояние гидросилового оборудования на гидроэлектростанциях России, № 5.

**Байков А. И., Руденко А. Л., Мишакин В. В., Сорокина С. А., Ключников В. А.** – Исследование структурного состояния и механических свойств материала лопаток направляющего аппарата гидроагрегата ГЭС, № 5.

**Бальзанников М. И., Селиверстов В. А.** – Исследования водоприемного устройства гидроаккумулирующей электростанции, № 4.

**Башнин О. И.** – Саяно-Шушенская катастрофа – синхронный гидроакустический резонанс, № 7.

**Беккер А. Т., Уварова Т. Э., Помников Е. Е.** – Расчет ледовой абразии на примере маяков в Ботническом заливе, № 11.

**Беллендир Е. Н., Глаговский В. Б., Пак А. П.** – Современное состояние технического нормирования в области гидротехнических сооружений, № 3.

**Берлин В. В., Муравьев О. А.** – Исследование резонансных явлений в напорных водоводах и отсасывающих трубах ГЭС, № 7.

**Берлин В. В., Муравьев О. А.** – О статье В. Н. Тарасова “Гидроупругие колебания агрегатов ГЭС”, № 1.

**Бронштейн В. И., Бугаевский А. Г.** – О динамической безопасности гидротехнических сооружений (комментарии к статье А. Г. Василевского и А. Б. Козлова “О внедрении “Типового динамического паспорта гидротехнических сооружений электростанций”, № 4.

**Булин А. Г., Стоцкий А. Д.** – Проектирование электротехнической части гидроэлектростанций, № 8.

**Бухарцев В. Н., Ву Мань Хуан** – Повышение надежности оценки устойчивости бетонных сооружений на нескальном основании против сдвига с поворотом, № 11.

**Бухарцев В. Н., Петриченко М. Р.** – Нестационарная фильтрация в однородном грунтовом массиве, № 4.

**Бухарцев В. Н., Петриченко М. Р.** – Решение задачи о фильтрации в однородном прямоугольном грунтовом массиве на основе вариационных принципов, № 3.

**Василевский А. Г., Козлов А. Б.** – О внедрении “Типового динамического паспорта гидротехнических сооружений электростанций”, № 4.

**Васильев А. В., Кокурин С. А., Дерюгин Г. К.** – Испытания эксплуатационного водосброса Бурейской ГЭС при пропуске паводка, № 2.

**Васильев О. Ф., Семчуков А. Н.** – Создание современных систем оперативного прогнозирования половодий и паводков как один из путей модернизации средств управления работой гидроэлектростанций в многоводные периоды, № 2.

**Вертопрахова Л. А., Соловьёва И. А., Климов В. Е., Скакун В. П., Афанасин В. А.** – Разработка технических условий и освоение производства умереннотермичного портландцемента для гидротехнических сооружений в ООО “Красноярский цемент”, № 3.

**Воронков О. К.** – Отзыв на статью Сашурина А. Д. “Истоки и причины аварии на Саяно-Шушенской ГЭС: возможное развитие ситуации”, № 1.

**Воскресенский С. М.** – Ленгидропроектору — 95 лет, № 8.

- Воскресенский С. М., Соловьев А. Н.** – Совершенствование управления в области повышения качества проектов, № 8.
- Всемирная декларация “Водообеспечение для устойчивого развития”,** № 10.
- Высоцкий Л. И., Высоцкий И. С.** – Сопоставительный анализ эффективности новой формулы для распределения осредненных скоростей в продольно-однородных турбулентных потоках, № 10.
- Газиев Э. Г.** – Комментарии к отклику В. В. Тельмина, № 11.
- Газиев Э. Г.** – Наклоны горизонтальных сечений Саяно-Шушенской арочно-гравитационной плотины, № 3.
- Газиев Э. Г., Замахаев А. М., Савич А. И.** – Комментарий к отзыву А. Н. Марчука, № 9.
- Газиев Э. Г., Замахаев А. М., Савич А. И.** – О проблеме “нестационарного состояния” плотины и скального основания Саяно-Шушенской ГЭС, № 1.
- Гиргидов А. А., Гиргидов А. Д., Фёдоров М. П.** – Использование рассеивающих трамплинов для уменьшения придонных скоростей в водобойном колодце, № 2.
- Гольдфарб А. И., Сысоев А. В.** – Участие ОАО “СГЭМ” в создании комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений, № 5.
- Григоренко Р. И., Минина А. А.** – Молодежная политика ОАО “Ленгидропроект”, № 8.
- Гуляев С. И., Пантелеев В. И., Спирин Е. С., Похабов В. И.** – Результаты технического мониторинга нижнего бьефа Курейской ГЭС, № 9.
- Деев А. П., Борисевич Л. А., Фисенко В. Ф.** – Решение основных проблем эксплуатации гидротехнических сооружений Воткинского гидроузла, № 6.
- Деев А. П., Фисенко В. Ф., Сольский С. В., Лопатина М. Г., Гинц А. В., Арефьева А. Н.** – Научное обеспечение безопасной эксплуатации грунтовых плотин Воткинской ГЭС, № 6.
- Житников И. Ю.** – Современное состояние и перспектива развития возобновляемых источников энергии и их роль в энергосистеме, № 3.
- Зерцалов М. Г., Марчук А. Н., Косолапов А. В.** – Особенности и преимущества технологии алмазной резки и сверления при ремонте и реконструкции гидротехнических сооружений, № 11.
- Золотов Л. А., Лапин Г. Г., Лашенков С. Я., Шайтанов В. Я.** – Строительство гидроаккумулирующего комплекса NANT DE DRANCE (Западная Швейцария), № 2.
- Иванов В. М.** – Проектирование водохранилищ в современных условиях, № 8.
- Ивашенко И. Н., Радкевич Д. Б., Ивашенко К. И.** – Вероятностная оценка риска аварий плотин по результатам их мониторинга и обследований, № 7.
- Исиченко Б. Н.** – Нижне-Бурейская ГЭС, № 8.
- Истомин В. И.** – О научном подходе к расчетам устойчивости откосов грунтовых сооружений, № 12.
- Кантаржи И. Г., Чан Л. З.** – Воздействие ветровых волн на вертикальную стенку конечной длины, № 11.
- Картвелишвили Л. Н., Степанова Т. Г.** – Ресурсосбережение в системах гидротехнической мелиорации, № 2.
- Касаткин Н. В., Кониш Г. С., Петров В. В.** – Зарамагские ГЭС, № 8.
- Кафтан В. И., Устинов А. В.** – Глобальные навигационные спутниковые системы для мониторинга деформаций гидротехнических сооружений, № 12.
- Киселёв В. Н., Петров В. В., Кузнецов Р. Я.** – О некоторых особенностях разработки проекта организации строительства современных объектов, № 8.
- Кожевников Н. Н.** – Расчет фильтрации, оплывания и устойчивости откосов грунтовых плотин во время намыва, № 9.
- Козинец Г. Л., Вульфович Н. А., Денисов Г. В., Потехин Л. П.** – Расчетное обоснование массивной гравитационной плотины Канкунской ГЭС с расширенными полостями, № 8.
- Количко А. В.** – Отзыв о статье В. И. Истомина “О научном подходе к расчетам устойчивости откосов грунтовых сооружений”, № 12.
- Коломиец А. М., Зайцева Л. П., Соболев С. В., Соболев И. С., Хохлов Д. Н., Красильников В. М.** – Динамика абразионных берегов Чебоксарского водохранилища, № 12.
- Колосов М. А.** – Надежность направляющего аппарата турбины Саяно-Шушенской ГЭС, № 3.
- Комаров Ю. С.** – Об инженерных изысканиях в современных условиях, № 8.
- Коновалов И. К., Пилюзин А. В.** – Метрологическая надежность струнных датчиков, № 9.
- Корныльев Л. А., Мизонова О. Д., Стоцкий А. Д.** – Гидросиловое оборудование в проектах ОАО “Ленгидропроект”, № 8.
- Корчевский В. Ф., Оболюев А. Ю.** – О проектировании и строительстве Камбаратинских гидроэлектростанций на р. Нарыне в Киргизской Республике, № 7.
- Косарев С. Г.** – Методика расчета развития прорана в теле однородных земляных намывных плотин вследствие возникновения аварийных ситуаций, № 4.



- Косарев С. Г.** – Обоснование выбора расчетной зависимости для определения транспорта наносов в процессе развития прорана в теле однородных земляных намывных плотин, № 4.
- Котеров В. Н., Беликов В. В.** – Исследование и моделирование тепловой конвекции воздуха и переноса локальных осадков при работе эксплуатационного водосброса Саяно-Шушенской ГЭС в зимний период, № 4.
- Кудинов А.** – Отклик на статью А. А. Клюкача “К вопросу об оценке вибрационного состояния гидроагрегатов ГЭС” [1], № 4.
- Кудрина Е. В., Ахременко А. И.** – Пространственно-временная изменчивость гидрохимических параметров Угличского водохранилища, № 10.
- Кураев С. Н.** – Санкт-Петербург защищен от наводнений, № 8.
- Лавров Н. П., Логинов Г. И., Борисенко Д. А., Шипилов А. В.** – Водозаборный гидроузел для деривационной ГЭС на р. Мерке, № 10.
- Лапин Г. Г.** – О статьях дискуссионного содержания, № 1.
- Лапин Г. Г., Судаков В. Б., Шангин В. С.** Пути повышения технологичности бетонных плотин, № 10.
- Львовский В. А., Румянцев В. Н.** – Об изученности гидроэнергетического потенциала рек России, № 8.
- Макаров А. Л., Мильцин В. Л., Рябинцев А. Н.** – Майнский гидроузел, № 8.
- Малько А. В., Янель В. В., Макаренко Е. А., Бондаренко А. Г., Старшинов С. Н., Сахаров Г. Г., Шахов Н. А.** – Организация мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений Светлинской ГЭС (Виллойской ГЭС-3), № 12.
- Марчук А. Н.** – О тангенциальных смещениях плотины Саяно-Шушенской ГЭС, № 1.
- Марчук А. Н.** – Отзыв о статье “О проблеме “нестационарного состояния” плотины и скального основания Саяно-Шушенской ГЭС”, № 9.
- Марчук А. Н., Марчук Н. А.** – Геологические и геодинамические аспекты в комплексе причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, № 1.
- Мигуренко В. Р.** – ОАО “СГЭМ” — 70 лет в отечественной гидроэнергетике (история и традиции организации), № 5.
- Мигуренко В. Р., Василевский А. Г., Станкевич В. Л.** – О необходимости стандарта на организацию работ при создании оборудования, собираемого на месте эксплуатации, № 5.
- Мигуренко В. Р., Лисичкин С. Е.** – Обоснование конструкции турбинного блока со сталежелезо-бетонной спиральной камерой в здании Рогунской ГЭС, № 5.
- Мигуренко В. Р., Петров В. В.** – Контроль геометрических характеристик элементов линии вала гидроагрегата Рогунской ГЭС с применением мобильных промышленно-геодезических систем, № 5.
- Мигуренко В. Р., Петров В. В., Медяников В. О., Краев Е. В.** – Применение лазерного трекера для контроля положения клиньев статора крупного гидрогенератора, № 5.
- Михайлов Г. К.** – Европейские инженеры-гидротехники и ученые в области теоретической и прикладной гидродинамики XIX – XX веков, № 4.
- Мишин Н. Н.** – Ленинградская ГАЭС, № 8.
- Мищенко Б. И.** – Анализ Акта технического расследования причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, № 1.
- Мухаммадиев М. М., Уришев Б. У., Носилов Ф. Ж.** – Осаждение частиц наносов в аванкамере насосной станции, № 10.
- Никишкин В. А.** – Микроструктура цементного камня и ее влияние на водонепроницаемость и прочность бетона, № 11.
- Новости гидроэнергетики и гидротехники,** №№ 2 – 10, 12.
- Ноговицын Д. Д., Николаева Н. А., Пинигин Д. Д.** – Гидролого-гидрохимический режим р. Тимптон по материалам инженерно-экологических изысканий по проекту Канкунской ГЭС, № 11.
- Одинец Ю. С.** – О коэффициенте разрежения под нижним ригелем гидротехнического затвора, № 2.
- Орехов В. Г., Толстикова В. В.** – Напряженно-деформированное состояние бетонной плотины Канкунского гидроузла, № 2.
- Остякова А. В.** – Уточнение параметров распределения скорости течения в широких каналах, № 11.
- Петров Г. Н.** – Водные ресурсы Центральной Азии и их использование в интересах гидроэнергетики и ирригации, № 6.
- Пехтин В. А., Беллендир Е. Н., Радченко В. Г.** – Настоящее и будущее гидроэнергетики Швейцарии, № 4.
- Пургин К. В., Гончаров А. Д.** – Сооружения Волго-Балтийского водного пути, № 8.
- Радченко В. Г., Лопатина М. Г., Николайчук Е. В., Радченко С. В.** – Опыт возведения противотрационных устройств из грунтоцементных смесей, № 6.
- Рассказов Л. Н., Саинов М. П.** – Численные исследования надёжности высокой каменной плотины

тины с железобетонным экраном и подэкрановой зоной из грунтоцементобетона, № 2.

**Рассказчиков В. А.** – Влажностные изменения в бетоне Саяно-Шушенской плотины и их влияние на напряженно-деформированное состояние сооружения, № 10.

**Рассказчиков В. А.** – Состояние бетона основных сооружений Саяно-Шушенской ГЭС, № 9.

**Речицкий В. И., Алешин И. В.** – Исследования деформационных свойств пород в скважинах на больших глубинах, № 11.

**Румянцев И. С., Калустян Э. С.** – В. В. Подарев (к 150 летию со дня рождения), № 1.

**Савельев К. Л., Козлов Д. В.** – Модель движения кромки льда в водохранилищах руслового типа в период замерзания, № 6.

**Савич А. И., Замахаев А. М., Пудов К. О.** – Напряженное состояние массива пород в основании плотины Саяно-Шушенской ГЭС, № 3.

**Сашурин А. Д.** – Истоки и причины аварии на Саяно-Шушенской ГЭС: возможное развитие ситуации, № 1.

**Селезнев В. С., Лисейкин А. В., Громыко П. В.** – Были ли повышенные колебания второго гидроагрегата до аварии на Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 г., № 10.

**Семенов А. Н.** – 50-летие Министерства топлива и энергетики Украины, № 9.

**Семенов А. Н., Аксенов В. А.** – О приоритетных задачах инновационного развития БНЭС России, № 9.

**Семенов А. Н., Новоженин В. Д., Шайтанов В. Я.** – К 50-летию образования Совета ветеранов-энергетиков Минэнерго Российской Федерации, № 9.

**Скребков Г. П.** – Моделирование сбросных аэрированных потоков в комплексе с энергогасящими сооружениями, № 3.

**Скребков Г. П., Федоров Н. А.** – Послойное кинематическое подобие в плоских турбулентных потоках, № 12.

**Соколовский П. С.** – О монографии “Противофильтрационные завесы гидротехнических сооружений на многолетней мерзлоте”, № 4.

**Сокуров В. В., Ермолаева А. Н., Матрошили-на Т. В.** – Исследование субъективности границы раскатывания глинистых грунтов, № 3.

**Соловьев А. Н., Васильев А. В., Боярский В. М., Мусаев А. Ш.** – Канкунская ГЭС, № 8.

**Ступаков Г. Б., Матвеев А. В.** – Особенности сборки, монтажа и наладки кольцевого затвора обр-ратимой гидротурбины Днестровской ГАЭС, № 5.

**Тарасов В. Н.** – Гидроупругие колебания агрегатов ГЭС, № 1.

**Тарасов В. Н.** – Физические механизмы Саяно-Шушенской аварии, № 1.

**Тетельмин В. В.** – Отклик на статью Э. Г. Газиева “Наклоны горизонтальных сечений Саяно-Шушенской арочно-гравитационной плотины”, № 11.

**Ферингер А. Б., Кабанов Н. В.** – Усть-Среднеканская ГЭС, № 8.

**Фролов А. Н.** – Совершенствование методик расчета и конструкций намывных золошлакоотвалов для повышения их эксплуатационной безопасности, № 10.

**Фролов Д. И., Щурский О. М., Пименов В. И.** – Организация и проведение работ по выявлению и сокращению количества бесхозных гидротехнических сооружений и обеспечению их безопасности, № 11.

**Чебурашкин С. Г.** – Опыт гидромеханизированной разработки техногенных месторождений хвостохранилищ в криолитозоне, № 9.

**Чумаков В. В., Ханов И. К.** – Социально-экологический мониторинг на объектах гидроэнергетики, № 8.

**Шайтанов В. Я.** – Ассоциации “Гидропроект” – 20 лет, № 2.

**Шайтанов В. Я.** – Итоги работы 24-й Молодежной научно-технической конференции и 36-го Общего собрания ассоциации “Гидропроект”, № 2.

**Шайтанов В. Я.** – 38-е Общее собрание ассоциации “Гидропроект”, № 12.

**Шайтанов В. Я., Золотов Л. А., Лескес И. Н.** – Общее собрание участников ассоциации “Гидропроект”, № 7.

**Шарифуллин В. Н., Мардиханов А. Х.** – Методика прогноза уровня нижнего бьефа ГЭС в условиях суточного регулирования стока, № 6.

**Юркевич Б. Н., Быков Д. С., Васильев А. В., Киселёв В. Н.** – Организация проектных работ по восстановлению Саяно-Шушенской ГЭС, № 8.

**Ялтанец И. М.** – VI Съезд гидромеханизаторов России, № 7.

**Ялтанец И. М., Иванов С. А., Казаков В. А., Ермолаев С. В.** – Geotube® Dewatering — технология обезвоживания при добыче и переработке сырья в горной промышленности, № 7.

**Ялтанец И. М., Штин С. М.** – Использование землесосных снарядов для гидромеханизированной добычи торфа, № 9.

## Поздравления

Глаговскому В. Б., № 6.  
Каганову Г. М., № 10.  
Мгалобелову Ю. Б., № 1.  
Осипову А. Д., № 10.  
Павшинскому Ю. Я., № 11.  
Савченкову Н. Г., № 3.  
Станкевичу В. Л., № 2.  
Усачеву И. Н., № 7.  
Шангину В. С., № 10.

## Памяти

Борового А. А. (к 100-летию со дня рождения), № 6.  
Дмитриева Н. В. – основателя отечественной школы  
специальных работ в энергетическом строительстве, № 6.  
Долгинина Е. А., № 6.  
Завалишина И. С. (к 100-летию со дня рождения), № 6.  
Мелентьева В. А. (к 100-летию со дня рождения), № 12.  
Подарева Н. Н. (к 150-летию со дня рождения), № 1.  
Розанова Н. П. (к 100-летию со дня рождения), № 9.  
Чулкова Е. И., № 6.

### Уважаемые читатели и подписчики!

В связи с имеющимися сведениями о тиражировании в корпоративных сетях журналов, издаваемых ЗАО НТФ «Энергопрогресс», и о том, что некоторые распространители предлагают и незаконно продают подписчикам наши издания в электронном виде, информируем, что такие действия являются нарушением законов РФ и влекут за собой гражданскую, административную и уголовную ответственность.

Извещаем Вас, что электронные копии номеров журналов за текущий год издательством не изготавливаются и не распространяются. В электронном виде имеются архивные копии журналов только за прошедшие годы. Права на изготовление электронных копий журналов, издаваемых ЗАО НТФ «Энергопрогресс», никому не передавались. Если Вы видите на экране монитора компьютера материал из номера журнала, изданного в текущем году, это означает, что Вы вольно или невольно нарушаете права Издателя и подлежите привлечению к предусмотренной законом ответственности.

ЗАО НТФ «Энергопрогресс»

---

Сдано в набор 25.10.2012. Подписано в печать 12.12.2012. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Печ. л. 7,0. 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](mailto:info@folium.ru)

Отпечатано в типографии издательства “Фолиум”

---

## 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 \_\_\_\_\_



# 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 PC-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.