

Гидротехника

наука и технологии

КИСЛОГУБСКАЯ
ПЭС

КРАСНОЯРСКИЙ
СУДОПОДЪЕМНИК

3 (52) / 2018

август — октябрь



НАДЕЖНАЯ
СПЕЦТЕХНИКА ДЛЯ РАБОТЫ
НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ. **СТР. 86**

С НАМИ СТРОИТЬ ЛЕГКО!



✓ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО подземных частей технически сложных и уникальных объектов:

подземные автостоянки;
транспортные развязки;
гидротехнические сооружения

✓ ОГРАЖДЕНИЕ КОТЛОВАНОВ

✓ ЗАКРЕПЛЕНИЕ ГРУНТОВ

✓ УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ

✓ ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ на памятниках истории и архитектуры



г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35 тел./факс: (342) 236 90-70

ИЖЕВСК :::: (3412) 56-62-11	САМАРА :::: (846) 922-56-36
КРАСНОДАР :::: (861) 240-90-82	САНКТ-ПЕТЕРБУРГ (812) 923-48-15
КРАСНОЯРСК :::: (391) 208-17-15	ТЮМЕНЬ :::: (3452) 74-49-75
КАЗАНЬ :::: (843) 296-66-61	УФА :::: (917) 378-07-48
МОСКВА :::: (495) 643-78-54	ЧЕЛЯБИНСК :::: (351) 223-24-53



ОАО «НЬЮ ГРАУНД»

www.new-ground.ru

info@new-ground.ru



Конгресс «Гидротехнические сооружения и дноуглубление»

Организатор:



При содействии:



Партнер:



февраль
2019

Москва, ТПП РФ

В РАМКАХ КОНГРЕССА:

VI Международный форум дноуглубительных компаний

и

Вторая техническая конференция
«Современные решения для гидротехнических работ»



Оргкомитет: (812) 570-78-03
(812) 712-45-16

E-mail: snitko@portnews.ru
mn@portnews.ru

Издатель:

ООО Медиа-Группа «ПортНьюс»

Генеральный директор:

Елена Снитко

(812) 570-78-03, snitko@portnews.ru

Директор по развитию:

Надежда Малышева

(812) 570-78-02, mn@portnews.ru

Главный редактор:

Татьяна Ильина

(812) 961-79-62, info@hydrotech.ru

Зам. главного редактора:

Виктория Павлова

(812) 570-78-03, info@hydrotech.ru

Руководитель отдела рекламы:

Наталья Курицына

(812) 570-78-03, reklama@portnews.ru

Руководитель проектов:

Татьяна Вильде

(812) 570-78-02, tv@portnews.ru

Менеджер по подписке:

Елена Ковалевич

(812) 570-78-03, info@hydrotech.ru

Арт-директор:

Сергей Яковлев

Корректор:

Мария Доброва

Перевод:

Сафер Хакуз

Адрес редакции:

**191119 Санкт-Петербург,
ул. Звенигородская, 1, оф. 104**

Свидетельство о регистрации:

ПИ № ФС77-34599.

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Полное или частичное воспроизведение опубликованных в журнале «ГИДРОТЕХНИКА» статей, иллюстративных материалов возможно только с письменного согласия редакции, при этом ссылка на копируемые материалы обязательна. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Подписано в печать 14.08.2018.

Установочный тираж 8000.

Отпечатано в типографии «Лесник-принт».



30



46

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА В РОССИИ

Гидроэнергетика России: проблемы и перспективы развития4

ОБОРУДОВАНИЕ ГЭС

Иванченко И. П., Прокопенко А. Н. Анализ состояния ресурсопределяющих

узлов осевых гидротурбин со сроком службы выше нормативного8

Памяти А. И. Байкова21

КИСЛОГУБСКАЯ ПЭС

Усачев И. Н. Пионерная российская приливная электростанция —

единственное в мире долговечное крупное бетонное сооружение в районах

Арктики (к 50-летию Кислогубской ПЭС им. Л. Б. Бернштейна)22

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЭС

Дороднов В. В., Катаев А. В., Мурзаков Д. Г. Увидеть архитектуру будущего.

Опыт АО «УКБП» в разработке и внедрении САУГ малых ГЭС30

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тетельмин В. В. Размеры и особенности формирования воронки оседания

от веса крупного водохранилища34

ГТС ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

РЕЧНЫЕ ГТС

Шурухин Л. А. Багаевский гидроузел: инженерные решения

и итоги проектирования41

Головкин Е. И. Об эксплуатации металлоконструкций Красноярского

судоподъемника46

МОРСКИЕ ГТС

Макаров К. Н., Макаров Н. К. Моделирование гидро- и литодинамических

процессов в районе порта Набиль на восточном побережье о. Сахалин49

Соколов В. Т. Судоходным каналам — гарантийное обслуживание56

Комаровский Ю. А. Оценка малых скоростей в мероприятиях предупреждения

навалов айсбергов и ледяных полей на морские гидротехнические сооружения58



84



90

ГТС ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ

Гаппаров Ф. А., Кодиров С. М. Математическая модель управления ветровыми волнами.....	63
Об экологии и гидротехнике. Интервью В. И. Данилова-Данильяна	66

БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Тлявлиня Г. В., Тлявлин Р. М. Техническое регулирование в области проектирования берегозащитных сооружений	70
Дзаганя Е. В. Методы прогноза деформаций морских берегов	73
Иваненко Т. А., Садыкова Г. Э. О возможности применения геотекстильных материалов для берегозащиты Западного побережья Крыма	76

СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

РЕМОНТ И ЗАЩИТА ГТС

Инъектирование материалами «АкваВИС» — эффективная гидроизоляция от компании «ГЕЛИОС»	80
Лидерство благодаря ответственности. «ППГ Индастриз»	82

ШПУНТ. МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ

Грушко С. В. Сварные шпунтовые профили для гидротехнического строительства.....	84
--	----

ТЕХНИКА

Василенко С. Э. Экскаваторы-амфибии — надежная спецтехника для гидротехнического строительства.....	86
--	----

ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Долгих С. Н., Путивский А. Н. Новые гидротехнические сооружения с использованием геосинтетических материалов при разработке месторождений на Крайнем Севере	90
--	----

АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА

Опыт применения материалов STELPANT в гидротехническом строительстве	93
--	----

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Алексеев М. И., д. т. н., профессор кафедры водопользования и экологии СПбГАСУ, академик РААСН

Беккер А. Т., д. т. н., профессор Дальневосточного федерального университета

Беллендир Е. Н., д. т. н., генеральный директор АО «Институт Гидропроект»

Ватин Н. И., д. т. н., профессор СПбПУ Петра Великого

Волосухин В. А., д. т. н., профессор, ректор Академии безопасности гидротехнических сооружений

Глаговский В. Б., д. т. н., советник генерального директора АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»

Гуткин Ю. М., к. т. н., гл. специалист «Союзпроектверфь» АО «ЦТСС»

Жигульский В. А., к. т. н., директор ООО «Эко-Экспресс-Сервис»

Макаров К. Н., д. т. н., проф., зав. каф. городского строительства Сочинского государственного университета, академик Академии транспорта РФ

Меншиков В. Л., к. т. н., президент Ассоциации «Морпортэкспертиза»

Прокопенко А. Н., к. т. н., зав. отделом гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования АО «НПО ЦКТИ»

Пятаков В. Г., д. т. н., начальник отдела ГТС и РРМ АО «Иргиредмет»

Улицкий В. М., д. т. н., проф., зав. каф. оснований и фундаментов СПбГУПС

Цернант А. А., д. т. н., профессор, академик РАЕН, научный консультант ТК465 «Строительство» ФАУ ФЦС Минстроя России

Шибакин С. И., д. т. н., специалист ООО «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск»

Шилин М. Б., д. г. н., проф., зав. кафедрой экологии РГГМУ

Шуйский В. Ф., д. б. н., профессор, нач. отдела ООО «Эко-Экспресс-Сервис»

Юркевич Б. Н., к. т. н., первый зам генерального директора — главный инженер АО «Ленгидропроект»

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ



2 июля 2018 г. в комитете Государственной Думы РФ по энергетике состоялся круглый стол, посвященный проблемам и перспективам развития гидроэнергетики в России. В работе приняли участие более 90 человек — представители энергетических компаний, производственных и научных организаций, федеральных и региональных органов власти, надзорных органов, а также журналисты ведущих профильных СМИ, среди которых корреспондент информационно-аналитического агентства «ПортНьюс» Ирина Денисова.

Как отметил спикер круглого стола — председатель комитета Госдумы по энергетике П. Н. Завальный, необходимость обсуждения проблем гидроэнергетики на государственном уровне обусловлена рядом причин. Для обеспечения развития отрасли необходимо совершенствование нормативно-правовой базы, привлечение инвесторов, чтобы проекты ГЭС были окупаемы. На сегодняшний день наступила некоторая пауза в строительстве крупных ГЭС, есть проекты, судьба которых пока не ясна, либо

только 20% — на европейскую часть России, в отдельных регионах наблюдается переизбыток энергии. Имеют место проблемы тарифообразования, возникают вопросы экономической эффективности модели оплаты мощности. В результате инвесторы не спешат вкладывать средства в развитие гидроэнергетики, в первую очередь — из-за недостаточной урегулированности нормативно-правовых вопросов.

Общие данные по состоянию гидроэнергетического комплекса в России представил председатель правления — генеральный директор ПАО «Рус-

гидроэнергетики перед другими видами генерации и ее роли в экономике страны.

Системная надежность: ГЭС обеспечивают 95% резерва регулировочной мощности в энергосистеме, являясь ключевым элементом энергосистем России и сопредельных государств.

Защита от наводнений: гидротехнические сооружения ГЭС играют ключевую роль в борьбе с паводками для защиты населения и объектов экономики от наводнений (Средний Амур, Обь, бассейн р. Волги).

Обеспечение инфраструктуры: ГЭС обеспечивают функционирование и развитие инфраструктурных объектов — ж/д и автотранспорт, судходство, промышленное и коммунальное водоснабжение, сельское хозяйство, рекреация.

Низкоуглеродная энергетика: гидроэнергетика обладает наименьшей величиной удельных выбросов CO₂, создавая потенциал декарбонизации экономики РФ.

Энергоэффективность: выработка ГЭС (170 млрд кВт*ч/год, около 20% электроэнергии) позволяет экономить до 55 млн т условного топлива ежегодно.

Аккумуляция электроэнергии: использование ГАЭС позволяет

ПО ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ГИДРОРЕСУРСАМИ РОССИЯ ЗАНИМАЕТ 2 МЕСТО

В МИРЕ ПОСЛЕ КИТАЯ, НО ЗНАЧИТЕЛЬНО УСТУПАЕТ В ИХ ОСВОЕНИИ:

В НАШЕЙ СТРАНЕ ЭТО ВСЕГО 20%, В ТО ВРЕМЯ КАК, К ПРИМЕРУ, В США — 52%,

В БРАЗИЛИИ — 48%, В КИТАЕ — 41%.

реализация их приостановлена. Наблюдается ситуация, когда при всех преимуществах гидроэнергетики газовая генерация в стране остается более выгодной. При этом размещение экономически целесообразных к освоению гидроресурсов на территории РФ очень неравномерно: 80% приходится на Сибирь и Дальний Восток и

Гидро» Н. Г. Шульгинов, напомнив, что по обеспеченности гидроресурсами Россия занимает 2 место в мире после Китая, но значительно уступает в их освоении: в нашей стране это всего 20%, в то время как, к примеру, в США — 52%, в Бразилии — 48%, в Китае — 41%. Особый акцент руководитель «РусГидро» сделал на преимуществах

HYDROPOWER IN RUSSIA: CHALLENGES AND DEVELOPMENT OUTLOOK

The State Duma Energy Committee on July 2, 2018 held a round table discussion which addressed the problems and future development of hydropower sector in Russia. The meeting brought together more than 90 decision makers and key players, including representatives of energy companies, the industry and research organizations, federal and regional authorities, supervisory bodies, as well as journalists from leading media outlets, among them the IAA PortNews correspondent Irina Denisova.



аккумулировать электроэнергию в объемах, необходимых для регулирования режима работы энергосистемы, в том числе создавая условия функционирования ВИЭ с нестабильной генерацией.

Сегодня на территории РФ действуют 185 ГЭС, из которых: 15 мощностью более 1000 МВт, 102 — более 10 МВт, а также две ГАЭС (Загорская и в каскаде Кубанских ГЭС), Зеленчукская ГЭС-ГАЭС мощностью 140 МВт.

Н. Г. Шульгинов отметил, что при формировании документов государственного стратегического планирования в области электроэнергетики не учитываются положения смежных документов, предусмотренные порядком их формирования, а темпы развития отрасли и перечень реализуемых проектов ГЭС не синхронизированы. Особо руководитель «РусГидро» остановился на проблемах, связанных с проектированием и строительством водохранилищ ГЭС. Водохранилище как водный объект комплексного использования находится в федеральной собственности, при этом отсутствуют инвестиционный механизм и правовое регулирование создания и ввода в эксплуатацию водохранилищ ГЭС. Создание водохранилищ не регулируется законодательством, нормативно не определены:

- порядок принятия решения о создании;
- механизмы финансирования;
- порядок назначения заказчиков строительства;
- правовой статус водохранилища до наполнения водой;
- процедура резервирования земель.

Ранее действовавшие нормативные документы по вопросам создания водохранилищ не легитимны. Фактически создание водохранилищ регламентируется в «ручном режиме» на уровне решений Правительства РФ либо органов власти субъектов РФ.

Н. Г. Шульгинов предложил осуществить комплексные изменения законодательства в части установления правового статуса водохранилища как объекта капитального строительства и регламентации порядка финансирования, создания и ввода в эксплуатацию водохранилищ.

Также в «РусГидро» считают, что необходима корректировка подходов по назначению класса ГТС, поскольку

сооружений) повышает риски для населения, проживающего вблизи ГЭС;

- одной из причин повышения классов ГТС ГЭС является незаконная или непродуманно спланированная частная застройка в защитной зоне водохранилищ;

- произойдет увеличение финансовой нагрузки на потребителей электрической энергии в силу проведения дорогостоящей реконструкции;

- существуют риски возникновения дефицита мощности и отсутствия замещающих мощностей при принятии решения о консервации (ликвидации) ГЭС/ТЭС.

К примеру, отметил Н. Г. Шульгинов, повышение классов ГТС Воткин-

СЕГОДНЯ НА ТЕРРИТОРИИ РФ ДЕЙСТВУЮТ 185 ГЭС, ИЗ КОТОРЫХ:

15 МОЩНОСТЬЮ БОЛЕЕ 1000 МВТ, 102 — БОЛЕЕ 10 МВТ, А ТАКЖЕ ДВЕ ГАЭС (ЗАГОРСКАЯ И В КАСКАДЕ КУБАНСКИХ ГЭС), ЗЕЛЕНЧУКСКАЯ ГЭС-ГАЭС МОЩНОСТЬЮ 140 МВТ.

решения о повышении классов эксплуатируемых сооружений ГЭС/ТЭС, как правило, влекут за собой необходимость реконструкции действующих сооружений, при этом:

- отсутствуют проектные проработки и техническое обоснование, оценка социально-экономических и экологических последствий реконструкции;
- решения обусловлены формальным критерием (величина потенциального ущерба), а не повышением уровня надежности;
- внесение изменений в конструкцию действующих гидроузлов (устройство дополнительных пропускных

ской ГЭС может обойтись в 20,6 млрд, а Усть-Среднеканской — в 21,6 млрд руб.

Серьезной проблемой, озвученной в докладе руководителя «РусГидро», является неоптимальность существующих механизмов обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объектов ТЭК. Исполнение всех указаний и требований нормативных документов приводит к значительным избыточным затратам при сомнительной эффективности осуществляемых мероприятий.

По мнению Н. Г. Шульгинова, для обеспечения реальной безопасности ГЭС необходимо использовать совре-

менные технические средства: сонары, радиолокационные станции, средства оповещения и т. п., а также для охраны водохранилищ необходим персонал на маломерных судах. Что касается такого решения, как установка боносетевых заграждений, то примерная стоимость составляет 300–500 млн руб. для одной ГЭС и дополнительно 6–10 млн в год на эксплуатацию. При том, что эти заграждения требуют демонтажа в период ледостава, не выполняя, таким образом, свою функцию до полугода и более, а также негативно влияют на оперативность управления сбросными расходами.

Установка пунктов досмотра автотранспорта на дамбах, по которым проходят дороги, и их эксплуатация обходятся владельцам ГЭС в 450–900 млн руб. на установку пунктов и порядка 40 млн руб. в год на их эксплуатацию. При этом транспортные услуги предоставляют, получая выгоду за

портовой безопасности»). Говоря об экологических проблемах, несмотря на то, что гидроэнергетика является самой экологически чистой из всех видов генерации, Н. Г. Шульгинов поднял проблему компенсации вреда окружающей среде при строительстве и эксплуатации ГЭС и акцентировал внимание на несовершенстве механизма определения величины компенсации ущерба водным биоресурсам:

- Расчет объема ущерба водным биоресурсам (ВБР) выполняется на основе методик, не учитывающих особенности функционирования ГЭС:
 - отсутствие безвозвратного забора воды;
 - наличие положительного эффекта от водохранилищ.
- При назначении компенсаций регулирующим органом выбираются:
 - наиболее дорогостоящие мероприятия (ценные породы рыб);

ПОВЫШЕНИЕ КЛАССОВ ГЭС ВОТКИНСКОЙ ГЭС ОБОШЛОСЬ В 20,6 МЛРД,
А УСТЬ-СРЕДНЕКАНСКОЙ — В 21,6 МЛРД РУБ.

них, сторонние организации. Кроме того, действующая сегодня в соответствии с нормативами схема контроля автотранспорта непосредственно перед въездом на плотину практически не осуществима в реальных условиях: это вызовет транспортный коллапс (поскольку проверка одного автомобиля занимает 15–20 мин.), к тому же не определен юридический статус подобных проверок. Еще сложнее ситуация состоит с проверкой железнодорожного транспорта.

По мнению «РусГидро», требуется внесение изменений в законодательство в части:

- оптимизации требований безопасности и антитеррористической защищенности объектов ТЭК;
- закрепления ответственности за обеспечение безопасности на автомобильных и железных дорогах, проходящих по плотинам, за собственниками дорог в соответствии с единой зоной транспортной безопасности страны (федеральный закон от 09.02.2007 № 16-ФЗ «О транс-

– наиболее низкий коэффициент возврата (высокий процент гибели молодежи).

- В методиках используется модель оценки вреда 1960-х гг.

К примеру, оценка ежегодных затрат на компенсацию расчетного ущерба ВБР Богучанской ГЭС составляет 2000 млн руб., Усть-Среднеканских — 460 млн, а для каскада Нижне-Черекских ГЭС — 73 млн руб.

На сегодняшний день необходимо внести изменения в законодательство в целях совершенствования системы компенсации вреда, наносимого водным биоресурсам, с учетом существующей системы платежей, отчисляемых собственниками ГЭС в бюджет.

Вопрос о востребованности гидроэнергетики в стране поднял и председатель правления Ассоциации НП «Совет рынка» М. С. Быстров, отметив в докладе, что за последние 5 лет проведения отборов проектов ВИЭ отобрано всего 160 МВт мощности малых ГЭС (41% от целевого показателя), преимущество нередко отдается сол-

нечным и ветровым станциям. Низкая заинтересованность инвесторов связана, по мнению М. С. Быстрова, с недостаточными сроками, отведенными на реализацию проектов (5 лет), значительными рисками «входа в проект», а также, нередко, с отсутствием необходимой информации у потенциальных инвесторов. Для развития малой энергетики в России необходимо:

- увеличение сроков реализации проектов до 7 лет;
- проведение отборов проектов строительства малых ГЭС в два этапа или снижение объема предоставляемого обеспечения при участии в отборе проектов;
- предоставление доступа широкому кругу участников к информации о перспективных проектах малых ГЭС.

А. В. Ильенко, член правления, директор по управлению развитием ЕЭС АО «СО ЕЭС», подчеркнул значимость ГАЭС и необходимость их развития в России. Сегодня доля ГАЭС в энергосистеме страны составляет всего 0,58%, в то время как, к примеру, в Австрии 20,68%, Швейцарии — 16%. Экономическая эффективность строительства ГАЭС определяется следующими факторами:

- снижением потребности в привлечении к регулированию ТЭС;
- сокращением работы оборудования ТЭС в предельных режимах (на нижнем пределе регулировочного диапазона и на техническом минимуме);
- исключением возможности участия ТЭС в суточном регулировании путем останова оборудования (энергоблоков, турбоагрегатов, отдельных ГТУ в составе ПГУ) в холодный резерв в ночные часы;
- увеличением коэффициента использования установленной мощности на работающем оборудовании.

Также, говоря о необходимости поддержки развития ГАЭС в целях обеспечения энергоэффективности и энергобезопасности, исполнительный директор Ассоциации «Гидроэнергетика России» О. Г. Лушников отметил, что за рубежом государство обеспечивает эффективность ГАЭС либо непосредственным участием в их финансировании, либо формирует условия функционирования рынка, при ко-

торых инвестиции в ГАЭС окупаются. Для обеспечения экономической эффективности действующих ГАЭС в России необходимо:

- Установление «своей цены». Получение ГАЭС возможности подавать ценовые заявки на РСВ, в которых будет учтена стоимость электрической энергии, купленной на РСВ при работе в насосном режиме.

- Введение новой, оплачиваемой, системной услуги «Сглаживание ночных минимумов». Средства на оплату услуги, в том числе работы ГАЭС в насосном режиме, в период минимума нагрузки осуществляется за счет ТЭС (ТЭЦ), для которых экономически невыгодно оставаться в ночные часы.

- Тарифное регулирование: получение в отношении ГАЭС статуса особого системного генератора и продажа электроэнергии по тарифам, учитывающим стоимость приобретения электрической энергии для работы в насосном режиме и прочих расходов на основную деятельность.

Для реализации данных предложения в первую очередь необходимо внести изменения в соответствующие нормативно-правовые документы.

Вопросы эксплуатации водохранилищ и компенсаций ущерба природной среде вызвали особо активное обсуждение предложений. Главная проблема, по мнению участников круглого стола, заключается в отсутствии четкой и понятной методологии оценки воздействия ГЭС на окружающую среду. Чаще всего в основе расчетов этого воздействия лежат завышенные показатели экологических ущербов, что неоправданно увеличивает нагрузки на субъекты, осуществляющие строительство и эксплуатацию ГЭС. При этом решения принимаются без согласования с собственником и могут быть изменены на более дорогостоящие, в сравнении с запланированными, на этапе ввода ГЭС в эксплуатацию или в ходе эксплуатации. Ставки платы за пользование водными объектами постоянно растут, и это наряду с действием повышающих коэффициентов. К примеру, плата за водопользование Камской ГЭС в 2017 г. составила порядка 34 млн руб., Саяно-Шушенской — 488 млн руб. При

увеличении ставки на 10%, которое вступило в силу 1 января 2018 г., и при одновременном действии повышающего коэффициента 15% оплата водопользования за 2018 г. вырастет для Камской ГЭС до 43 млн руб., для Саяно-Шушенской — до 604 млн руб. Такая ситуация особенно губительна для малых ГЭС, в отношении которых, по мнению гидроэнергетиков, должны действовать понижающие коэффициенты и снижены ставки платы за водопользование.

Отдельное внимание вызвал вопрос о рыбоохранных мероприятиях. Современные требования к рыбоохранному сооружению обязывают эксплуатирующиеся ГЭС осуществлять их переоборудование, изначально не предусмотренное проектом. ГЭС, введенные в эксплуатацию в XX в., полностью соответствуют нормативным документам того времени, и все рыбоохранные меры были осуществлены в порядке действующего тогда законодательства. А обновление оборудования для рыбоохранного комплекса, к примеру, одной ГЭС Волжско-Камского каскада обойдется примерно в 1,4 млрд руб., что не исключает и ежегодных компенсационных мероприятий. Рыбоохранные мероприятия регулируются Росрыболовством, где предпочтение в компенсационных мерах отдается воспроизводству рыбы и выпуску молоди в водохранилища. Такая деятельность не является профильной для ГЭС, которые вынуждены для организации данных работ привлекать специализированные организации, строить дополнительные сооружения.

Участники круглого стола подчеркнули, что в вопросах оценки экологического ущерба необходимо на государственном уровне пересмотреть природоохранное законодательство; жестко регламентировать компенсационные меры от технологически неизбежного экологического ущерба; ввести стандартизированную фиксированную плату за экологический ущерб с обязательным учетом технико-экономических условий эксплуатации ГЭС; существенно переработать или разработать новую методику оценки воздействия эксплуатирующейся ГЭС на биоресурсы. При этом

начальник управления Росрыболовства А. Г. Здетовский подчеркнул, что ведомство готово предложить новую методику расчета ущерба биоресурсам.

Обобщая итоги обсуждения, участники круглого стола пришли к решению, что для стабильного функционирования и развития гидроэнергетического комплекса России необходимо внести изменения в федеральные законы, а именно:

- в градостроительное, земельное, водное законодательство — для урегулирования вопросов проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию водохранилищ;

- в ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» — с целью установления оснований и процедуры назначения, изменения класса гидротехнических сооружений;

- в ФЗ «О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса» — в части возложения ответственности за обеспечение безопасности автомобильных и железных дорог общего пользования, проходящих по плотинам, на их собственников в соответствии с ФЗ «О транспортной безопасности»;

- в природоохранное законодательство — в целях совершенствования системы компенсации вреда, наносимого водным биологическим ресурсам, с учетом существующей системы платежей, отчисляемых собственниками ГЭС в бюджет.

На основе принятых решений были выработаны рекомендации в адрес Правительства РФ:

- Рассмотреть возможность подготовки и внесения в Государственную Думу Федерального Собрания РФ проекта федерального закона, регламентирующего определение системы развития электроэнергетики в России.

- Подготовить и внести в ГД обозначенные поправки в действующее законодательство.

- Принять меры по разработке акта Правительства РФ, направленного на оптимизацию требований обеспечения безопасности и антитеррористической защищенности объектов ТЭК.

Ирина Денисова

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕСУРСОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УЗЛОВ ОСЕВЫХ ГИДРОТУРБИН СО СРОКОМ СЛУЖБЫ ВЫШЕ НОРМАТИВНОГО



Иванченко И. П.,
к. т. н., главный специалист отдела
гидроэнергетики и гидроэнергетического
оборудования АО «НПО ЦКТИ»



Прокопенко А. Н.,
к. т. н., зав. отделом гидроэнергетики
и гидроэнергетического оборудования
АО «НПО ЦКТИ»

Аннотация. Анализируется опыт эксплуатации ресурсопределяющих узлов осевых гидротурбин после отработки ими нормативного срока службы. Описываются методы оценки состояния ресурсопределяющих узлов гидротурбин, к которым отнесены лопастные системы и камеры рабочих колес.

Ключевые слова: ресурсопределяющие узлы, осевые гидротурбины, нормативный срок службы, опыт эксплуатации, лопастные системы, камеры рабочих колес.

В журнале «Гидротехника» № 1/2018 была опубликована наша статья [1], в которой анализировались комплексные показатели надежности гидротурбин после сверхдлительного периода эксплуатации. Было показано, что возраст оборудования мало сказывается на значениях коэффициентов готовности гидромашин даже после отработки ими нормативного срока службы. Поскольку комплексные показатели надежности не раскрывают проблему конструктивной надежности гидромашин с большим сроком службы, то ниже анализируются отказы ресурсопределяющих узлов, состояние которых определяет во многом необходимость проведения реконструкции оборудования ГЭС с большим сроком службы.

1. Основные понятия об остаточном ресурсе

Гидротурбина представляет собой сложное устройство, состоящее из целого ряда сборочных единиц (узлов). К таким узлам относятся: статор, крышка турбины, направляющий аппарат, сервомотор направляющего аппарата, рабочее колесо,

камера, вал турбины, направляющий подшипник, маслоприемник, МНУ. Каждый из перечисленных узлов может быть разбит, в свою очередь, на отдельные элементы. Например, рабочее колесо осевой турбины состоит из следующих элементов: лопасти, втулка, болты крепления лопастей, уплотнения лопастей, направляющие втулки цапф, детали механизма поворота, шток, конус обтекателя. Такое расчленение турбины на узлы и элементы позволяет построить структурную схему гидромашин, используя которую, можно изучить характер отказов каждого из элементов и оценить значимость этих отказов для узла и гидротурбины в целом [2].

Будем понимать под отказом элемента любое нарушение его механических или функциональных характеристик, требующее проведения восстановительных работ или замены элемента. Например, для такого элемента, как колонна статора, отказами будут следующие нарушения механических характеристик: появление трещин, коррозионно-эрозионный износ. Примерами отказов, связанных с нарушением функциональных

ANALYSIS OF THE CONDITION OF CRITICAL PARTS OF AXIAL FLOW TURBINES EXCEEDING ORIGINAL DESIGN LIFETIME

I. Ivanchenko, PhD, Engineering, Chief Specialist of Hydropower and Equipment Department, Polzunov Central Boiler & Turbine Institute (NPO CKTI)
A. Prokopenko, PhD Engineering, Head of Hydropower and Equipment Department, Polzunov Central Boiler & Turbine Institute (NPO CKTI)

Abstract. The article deals with experience of operation of lifetime-related parts of axial turbines after they have reached the end of their service life. The authors compare methods for assessing the status of these turbine parts and define the condition indicators for their replacement.

Keywords: lifetime critical parts, axial turbines, designed service life, operation experience, blade systems, runner chambers.

характеристик, являются вырывы, износ, потеря эластичности таким элементом, как уплотнение лопастей рабочего колеса.

Восстановление работоспособности отказавшего элемента может быть достигнуто двумя способами: заменой элемента или его ремонтом. Замена элемента означает выработку ресурса элементом, а время наработки до его замены есть количественная характеристика ресурса.

При таком понятии «выработки ресурса» все отказы, связанные с заменой элемента, следует считать ресурсоопределяющими для данного элемента. Например, ресурсоопределяющими отказами для элемента «крепеж корпуса направляющего подшипника» будут обрывы болтов и трещины на них (при обнаружении подобных повреждений персонал ГЭС проводит полную замену крепежа турбинного подшипника). Но отказ в виде ослабления затяга крепежа корпуса подшипника не является ресурсоопределяющим для рассматриваемого элемента — «крепежа корпуса», т. к. этот отказ устраняется подтяжкой существующего крепежа (ремонтными средствами).

Значительная часть элементов гидротурбины не имеет ресурсоопределяющих отказов, поскольку восстановление работоспособности достигается ремонтными мероприятиями, даже если речь идет об ответственных узлах машины. В качестве примера можно назвать статорные колонны турбины, через которые передаются нагрузки агрегата на бетон здания ГЭС. Трещины (отказы) на колоннах статора (узел) нередко встречаются на действующих ГЭС [3], но замена узла проводится в исключительных случаях (при некомпетентности эксплуатационного персонала ГЭС).

В соответствии с изложенными выше представлениями отказы различных элементов гидротурбины подразделяются на ресурсоопределяющие и нересурсоопределяющие.

Среди ресурсоопределяющих отказов есть такие, которые характеризуют ресурс не только элемента, но и всего узла, куда входит данный элемент. Иначе говоря, отказ элемента влечет

за собой замену всего узла. Например, появление трещины (отказ) на корпусе (элемент) подшипника приводило нередко к замене всего подшипника (узла). Или трещина (отказ) на цилиндре (элемент) сервомотора направляющего аппарата вынуждала заменять весь сервомотор (узел).

Наконец, существуют ресурсоопределяющие отказы не только элемента и узла, но и всей гидротурбины в целом. Массовое появление трещин в корневых сечениях лопастей (отказы) осевой турбины после длительного периода эксплуатации (за пределами нормативного срока службы турбины) неизбежно ставит вопрос о замене рабочего колеса (узла). Поскольку действующее колесо не только физически выработало свой ресурс, но и морально устарело, то оно должно заменяться новым современным колесом с улучшенными энергетическими характеристиками (обеспечивающими повышение КПД, мощности агрегата или того и другого вместе). Установка нового колеса в существующий гидроблок (с «зауженными» размерами по сравнению с современными требованиями) приводит к замене механизма поворота лопастей, направляющего аппарата, к изменению конфигурации камеры рабочего колеса. Может возникнуть также необходимость замены подшипника и вала турбины, не говоря уже о более мелких узлах.

Таким образом, выработка ресурса элементами «лопасти» вызывает цепь замен других узлов турбины, каждый из которых может не иметь ресурсоопределяющих отказов. Применительно к поворотной-лопастной гидромашине такими ресурсоопределяющими узлами всей турбины являются: лопасти рабочего колеса; обечайка камеры рабочего колеса. Отказы этих двух узлов осевых турбин рассматриваются ниже.

Использование понятия ресурсоопределяющих узлов в целом имеет условный характер [4]. Из практики эксплуатации оборудования действующих ГЭС известно, что при нарастающем характере отказов ресурсоопределяющих узлов предпочтение нередко отдается замене только этих

узлов (лопастей, камеры), а не замене всей машины. Такое «латание дыр» широко использовалось в советские годы, тогда как в зарубежной практике необходимость замены ресурсоопределяющих узлов рассматривалась чаще всего как основной аргумент необходимости замены существующей машины на новую с улучшенными энергетическими характеристиками.

2. Методика оценки состояния ресурсоопределяющих узлов гидротурбин

Оценка остаточного ресурса выделенных узлов производится сегодня в гидротурбостроении по следующим критериям:

1. нарастание интенсивности отказов ресурсоопределяющего узла после длительного периода эксплуатации;
2. сопоставление фактического коэффициента запаса по усталостной прочности ресурсоопределяющего узла с его нормативным значением;
3. сопоставление прочностных и механических характеристик металла после длительного периода эксплуатации с требованиями нормативных документов.

Указанные критерии дополняют друг друга и в практике исследований ЦКТИ используются обычно совместно. Основное внимание в данной статье уделяется первому критерию.

2.1. Нарастание интенсивности отказов ресурсоопределяющего узла после длительного периода эксплуатации

Данный критерий основан на статистическом анализе сведений об отказах ресурсоопределяющего узла в процессе эксплуатации и режимов его работы. Источниками информации об отказах изучаемого узла служит эксплуатационная документация действующей ГЭС: акты аварийных и внеплановых ремонтов; акты капитальных ремонтов; акты текущих ремонтов; журналы заявок на вывод в ремонт основного оборудования; акты осмотров проточного тракта и узлов машины; суточные ведомости по режимам работы оборудования.

Если обслуживающий персонал ГЭС полностью документировал каж-

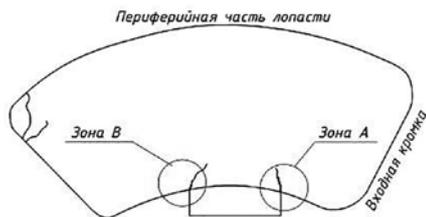


Рис. 1. Схема расположения повреждений лопастей осевой турбины

дый отказ, режимные условия работы оборудования и каждую ремонтную операцию, то можно было бы проследить реальные причины неполадок оборудования. Однако такая возможность существует лишь в теории. Как правило, квалификация эксплуатационного персонала не позволяет выявить причины отказа оборудования и сделать правильные выводы из аварии. Даже самая полная фактическая информация по аварии турбины оказывается бесполезной, если к ее анализу не привлечены соответствующие специалисты. Такая практика расследования аварий была обязательной в советские годы и редко используется в настоящее время.

Причины отказов ресурсопределяющих узлов следует подразделить на две группы. Первая группа связана с разработкой, изготовлением и монтажом самих турбин, а вторая группа определяется режимными условиями эксплуатации и качеством ремонтных работ.

К первой группе причин относятся следующие: неправильный выбор параметров турбины и конструктивной схемы агрегата в проекте; неудачная конструкция (применение недостаточно проверенных и отработанных решений); неудовлетворительное качество материала ресурсопределяющих узлов турбины; несовершенство технологии изготовления; нарушение допусков на изготовление рабочих элементов турбины; плохой монтаж агрегата (с отступлениями от инструкции).

Вторая группа причин отказов оборудования включает в себя: несоответствие режимных условий работы турбин проектным; низкое качество ремонтных работ; эксплуатацию гидротурбин в недопустимых режимах;

неудачную реконструкцию основных узлов турбины; усталостные явления в металле после длительного периода эксплуатации; несоблюдение заводской инструкции на эксплуатацию.

Ниже на примере лопастей осевой турбины излагается сущность критерия оценки ресурса по данным опыта эксплуатации. Отказы лопастей осевой турбины по месту их возникновения бывают следующие (рис. 1): трещины и обрывы кусков лопастей в области выходной кромки и периферийного сечения; трещины в местах перехода пера лопасти во фланец. Природа этих отказов различна.

Разрушение выходного участка лопастей начинается на выходной кромке (являющейся наиболее тонкой частью лопасти), а развитие идет в сторону периферии лопасти, приводя к обрыву ее части. Статистика повреждений этого участка лопастей на разных ГЭС приведена в работе [5].

Прочностные расчеты не обнаруживают в зоне пересечения периферийного сечения лопастей и выходной кромки сколь-нибудь значительных статических напряжений [6, 7, 8]. Натурные измерения напряжений в этой зоне лопастей подтверждают расчетные результаты [9]. Поломки лопастей связаны только с динамическими нагрузками на лопастную систему. Разрушения появляются при эксплуатации турбин на режимах с большими открягями регулирующих органов по углу установки лопастей и открытию направляющего аппарата.

Экспериментальное изучение ЦКТИ распределения давления по лопасти осевой турбины Киевской ГЭС ($N_t = 19,2$ МВт при $N_p = 7,7$ м) показало, что пульсации давления на периферийно-выходном участке лопасти резко возрастают на форсированных по расходу режимах [10]. Двойная амплитуда пульсаций при $H = 7,7$ м была более 2,5 м водяного столба на режиме номинальной мощности, в то время как на оптимальном по КПД режиме пульсации не превышали 0,1 м водяного столба. Этот экспериментальный факт объясняется следующим.

На больших углах установки лопастей нижняя часть периферий-

ного сечения лопасти выходит из сферы камеры и превращается в дополнительную выходную кромку, толщина которой существенно больше толщины штатной выходной кромки. Утолщенная выходная кромка генерирует вихри (вихри Кармана), частота схода которых нередко совпадает (или близка) с собственной частотой колебаний лопасти, в результате чего резко возрастают вибрации периферийно-выходного участка лопасти [11]. Большие углы установки лопастей имеют место при работе турбины на больших мощностях нагрузках и напорах ниже или равных расчетному ($H \leq H_p$). Поэтому трещины и обрывы кусков лопастей отмечались на советских машинах, как правило, на пониженных напорах ГЭС.

Обрывы небольших участков лопастей не приводят к масштабной аварии на агрегате. Более того, они остаются, как правило, даже незамеченными эксплуатационным персоналом в процессе работы оборудования. Лишь в случае одновременного обрыва кусков двух соседних лопастей могут возникнуть повышенные радиальные вибрации турбинного подшипника из-за возникшего небаланса рабочего колеса. Следовательно, эти отказы лопастей не следует считать ресурсопределяющими, из-за которых требуется замена всей турбины. Эффективным способом борьбы с такими повреждениями лопастей является подрезка их периферийно-выходного участка. Подрезанный участок лопасти должен затем утоняться; толщина его выходной кромки не должна превышать толщины штатной выходной кромки лопасти. Правильно выполненная подрезка не ухудшает энергетические и кавитационные показатели турбины [12].

Зато поломки лопастей в корневом сечении сопровождаются большим материальным ущербом, надолго выводя агрегат из строя. Появление трещин в корневом сечении несет потенциальную угрозу разрушения лопасти. Ниже рассматриваются отказы, связанные с трещинообразованием лопастей в корневых сечениях.

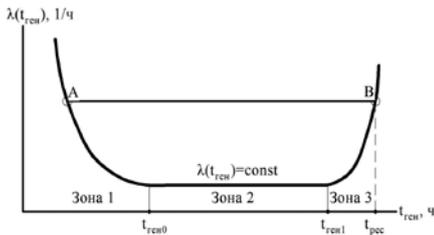


Рис. 2. Интенсивность отказов материального объекта

В процессе эксплуатации интенсивность повреждения лопастей турбин меняется по зависимости, свойственной всем объектам материального мира (рис. 2) [13]. Интенсивность отказов лопастей находится из выражения:

$$\lambda(t_{ген}) = \frac{m}{n \cdot \Delta t_{ген}}, \quad (1)$$

где m — число лопастей, на которых обнаружены трещины первый раз в корневом сечении; n — число неповрежденных лопастей в начале временного интервала $\Delta t_{ген}$; $\Delta t_{ген}$ — продолжительность работы турбины в генераторном режиме с последнего осмотра рабочего колеса.

В соответствии с приведенным графиком на рис. 2 для первого периода эксплуатации (зона 1) интенсивность отказа лопастей может быть велика вследствие проявления дефектов, приобретенных рабочими колесами при их изготовлении (дефекты структуры металла, высокий уровень сварочных напряжений). На втором участке (от $t_{ген0}$ до $t_{ген1}$) величина $\lambda(t_{ген})$ стабилизируется, если сохраняются неизменными режимы работы оборудования. Отказы на этом временном участке (зона 2) имеют эпизодический, случайный характер (интенсивность $\lambda(t_{ген})$ может быть здесь равна даже нулю). Процессы, происходящие на третьей стадии (зона 3) (участок $t_{ген} > t_{ген1}$), характеризуются ростом повреждаемости лопастей, что связано с физической выработкой ресурса материала. Эта стадия сопровождается «лавиной отказов» (резким нарастанием числа поврежденных лопастей). Повреждения лопастей в зонах 1 и 3 имеют усталостную природу. Их разница состоит в том, что разрушение лопастей в зоне 1 вызвано малоцикловой усталостью, а в зоне 3 имеют многоцикловую усталость.

За выработку ресурса принимается такой момент в жизни лопастей, когда значение характеристики $\lambda(t_{ген})$ после длительного периода эксплуатации (зона 3 на рис. 2) оказывается соизмеримым с соответствующим значением характеристики повреждаемости лопастей в приработочный период эксплуатации (зона 1 на рис.2). Выработка ресурса определяется временем $t_{рес}$, найденным из условия:

$$\lambda(t_{ген}^B) = \lambda(t_{ген}^A).$$

Вполне очевидно, что время $t_{рес}$ определяется выбором точки «А» на графике (рис. 2). Задаваясь максимальным значением $\lambda(t_{ген}^A)$ в начальный период, получаем наибольшее число часов работы лопастей до выработки ресурса. Но при этом будут необходимы частые остановки агрегата и большие затраты по восстановлению работоспособности лопастей. Снижая пороговое значение $\lambda(t_{ген}^A)$, мы идем на сокращение ресурса лопастей, предпочитая их полную замену восстановительным ремонтам.

В такой оценке остаточного ресурса предполагается, что в начальный период эксплуатации наблюдались трещины в корневом сечении лопастей. Если повреждений в пусковой период не было, а появились они в процессе эксплуатации из-за многоцикловой усталости металла, то за пороговое значение интенсивности отказов могут приниматься данные опыта эксплуатации турбин-аналогов на других действующих ГЭС. Пороговым значением считается такой уровень $\lambda(t_{ген}^B)$, по достижении которого на турбинах-аналогах выполнялась замена лопастей из-за образования трещин в их корневых сечениях.

Аналогичным образом, по данным опыта эксплуатации, может быть изучен остаточный ресурс камеры рабочего колеса. Под отказом камеры понимается разрушение облицовки как цельной металлической конструкции (образование магистральной трещины) или вырыв металла обечайки [14].

2.2. Сопоставление фактического коэффициента запаса по усталост-

ной прочности ресурсопределяющего узла с его нормативным значением

Лопастей осевой турбины

Лопастей гидротурбины испытывают в процессе эксплуатации оборудования воздействие циклических гидравлических нагрузок, изменяющихся как по величине, так и частоте колебаний. Длительное циклическое нагружение вызывает постепенное накопление повреждений, образование трещин и разрушение лопастей. Процесс постепенного накопления повреждений и разрушения металлов под действием многократно приложенных нагрузок носит название усталости. Характерной особенностью разрушения металла от усталости является пониженный уровень напряжений по сравнению с их уровнем, приводящим к разрушению при однократном приложении нагрузки. Наибольшее напряжение, не приводящее еще к разрушению от усталости того или иного образца металла, называется пределом выносливости, который всегда меньше, чем предел прочности σ_b или предел текучести σ_t . Напряжения усталости не выходят из рамок упругих деформаций материала, но циклические нагружения так эффективно используют дефекты структуры, что с «успехом» разрушают материал.

Сопротивление усталости лопастей существенно зависит от многих факторов: состава и структуры материала; вида напряженного состояния и характера его изменения во времени (режимов работы турбины); формы и размеров нагружаемого объекта; состояния поверхности; остаточной напряженности; коррозионной активности окружающей среды и др. Определить расчетным методом пределы выносливости для реальных конструкций невозможно из-за многообразия перечисленных факторов. Поэтому сопротивление металла усталости определяют всегда на базе экспериментальных исследований [15, 16].

Принятая сегодня в России расчетная методика оценки усталостной прочности лопастей была

разработана еще в советские годы [17]. Она учитывает изменение свойств материала с течением времени, влияние воды, масштабного эффекта, асимметрию цикла нагружения и концентрации напряжений. Методика построена на сравнении расчетного коэффициента запаса по коррозионно-усталостной прочности n_σ (по напряжениям) с нормативным значением $[n_\sigma]$, который для осевых турбин принимается равным $[n_\sigma] = 1,6$. Выбор минимально допустимого запаса по усталостной прочности больше единицы $[n_\sigma] > 1,0$ объясняется следующими причинами [17]:

1. Экспериментальное определение характеристик коррозионно-усталостной прочности применяемых в гидротурбостроении сталей производится на лабораторных образцах при базовом числе циклов $N = 5 \cdot 10^7$. Реальное число циклов нагружения лопастей достигает $10^9 \div 10^{10}$. Вынужденная экстраполяция характеристик коррозионно-усталостной прочности в область больших долговечностей может быть связана со значительными погрешностями.

2. При расчете долговечности не учитываются переходные режимы турбины (пуска, останов и др.).

3. Усталостное разрушение лопастей осевых турбин связано с большим материальным ущербом.

Если расчетный коэффициент запаса n_σ меньше нормативного $[n_\sigma] = 1,6$, то лопасти выработали свой ресурс.

Расчетный коэффициент запаса по напряжениям определяется для режима номинальной мощности по формуле [18]:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}(N)}{K_\sigma \cdot \sigma_a + \frac{\sigma_{-1}(N) \cdot \sigma_m \cdot \alpha}{\sigma_\sigma}}, \quad (2)$$

где: $\sigma_{-1}(N)$ — предел коррозионно-усталостной прочности стали в воде для заданного числа симметричного цикла напряжения N ; σ_a — амплитуда динамических напряжений в лопасти для номинального режима; σ_m — статические напряжения в лопасти от гидравлической и центробежной нагрузок для номинального режима;

σ_σ — предел прочности материала лопасти (определяется маркой стали); α — геометрический коэффициент концентрации напряжения; K_σ — эффективный коэффициент концентрации напряжения.

Необходимые для расчета n_σ величины в формуле (2) находятся следующим образом. Статические напряжения σ_m получают из расчета на прочность лопасти для расчетного режима работы турбины. Предел прочности материала σ_σ принимается по заводским данным.

Геометрический коэффициент концентрации напряжения α принимается по чертежу лопасти. В местах галтельного перехода пера лопасти во фланец (см. рис. 1, зоны «А» и «В») коэффициент может составлять $\alpha = 2 \div 3$, если в этих зонах отсутствуют «выточки» (поднутрение). При наличии поднутрения в зонах «А» и «В», а также для срединной части фланца лопасти этот коэффициент следует считать равным $\alpha = 1,3$. Принимая коэффициент чувствительности лопасти к динамическим напряжениям равным $q = 0,7$ (общепринятая практика), получаем следующее выражение для определения эффективного коэффициента концентрации напряжения K_σ :

$$K_\sigma = 1 + q \cdot (\alpha - 1) = 1 + 0,7 \cdot (\alpha - 1).$$

Наибольшую сложность представляет определение в формуле (2) амплитуды динамических напряжений σ_a и предела усталостной прочности стали $\sigma_{-1}(N)$. Рассмотрим способы получения этих величин.

Динамические напряжения σ_a

При стандартном подходе, используемом заводами, коэффициент усталостной прочности n_σ рассчитывается в предположении, что динамические напряжения в лопасти проявляются на оборотной частоте и составляют 10% от величины статических напряжений, вызванных гидравлической нагрузкой ($\sigma_a = 0,1 \sigma_\sigma^r$, где σ_σ^r — статические рабочие напряжения от гидравлической нагрузки). Однако до настоящего времени неясно, насколько правомерно считать динамические и статические напряжения пропорциональными друг другу [19]. Более того, материалы натуральных прочностных испытаний

лопастей осевых гидротурбин свидетельствуют, что помимо динамических напряжений оборотной частоты в лопастях могут присутствовать также колебания лопаточной частоты ($f_{НА} = f_{o6} \cdot Z_{НА}$, где $Z_{НА}$ — число лопаток НА). Особенно заметна эта составляющая динамических напряжений на турбинах с близким расположением лопаток направляющего аппарата к рабочему колесу ($D_o = 1,16 \cdot D_i$). Полагая, что динамические напряжения лопаточной частоты играют главную роль в накоплении усталостных явлений в металле, целесообразно повторить расчеты коэффициента n_σ по формуле (2) из этого условия.

Другой подход к определению динамических напряжений в лопастях осевых турбин предложен в работе [18]. Суть его заключается в следующем. Спектр осевых вибраций натурального гидроагрегата всегда содержит целый ряд частот колебаний, в том числе и собственные частоты колебаний лопасти. Поэтому, зная жесткость натурального агрегата в осевом направлении, можно найти силы, действующие на рабочее колесо (и, следовательно, на лопасти), а далее расчетным путем определить динамические напряжения в лопасти для каждой частотной составляющей вертикальных вибраций агрегата.

Наиболее достоверные сведения о напряжениях σ_a и σ_m лопастей турбины на различных режимах дают результаты натуральных прочностных испытаний. Лопасти находятся под воздействием широкого спектра гидродинамических нагрузок, что приводит к наложению друг на друга напряжений с разными частотами. Приведение полигармонического напряжения к эквивалентному (по повреждающему действию) одночастотному напряжению с частотой f_1 выполняется из гипотезы линейного суммирования повреждений. Величина эквивалентной амплитуды напряжений с частотой f_1 находится по формуле:

$$\sigma_{a_{эв}} = \sigma_{a_1} + \sigma_{a_2} \cdot \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^B + \sigma_{a_3} \cdot \left(\frac{f_3}{f_1}\right)^B + \dots + \sigma_{a_n} \cdot \left(\frac{f_n}{f_1}\right)^B,$$

где $\sigma_{a_1}, \sigma_{a_2}, \sigma_{a_3}, \dots, \sigma_{a_n}$ — амплитуды динамических напряжений, соответственно, на частотах $f_1, f_2,$

f_3, \dots, f_n ; v — экспериментальный коэффициент, зависящий от материала лопастей.

Приведение к эквивалентной амплитуде динамических напряжений осуществляется по низкочастотной составляющей. Для осевых турбин такой составляющей являются колебания оборотной частоты $f_1 = f_{об}$.

Главным недостатком этого способа является его большая трудоемкость — требуется проведение сложных прочностных испытаний лопастей.

Предел усталостной прочности $\sigma_{-1}(N)$

Рассматриваемый метод расчета на усталостную прочность базируется на классических представлениях о прочности материалов, в которых кинетика разрушения не рассматривается, а лопасть считается бездефектной. Но в действительности усталостное разрушение металла состоит из двух стадий: зарождения усталостных трещин и их развития до критических размеров [20]. При наличии дефектов вторая стадия усталостного разрушения является доминирующей, а характеристика сопротивления материала σ_{-1} определяется кинетикой развития трещин. В работе [20] подробно рассматривается характер влияния протяженности исходных трещин на предел выносливости σ_{-1} . При трещинах протяженностью 0,005 мм и 0,03 мм и низкой прочности материала (предел текучести $\sigma_T < 400$ МПа) влияние дефектов на предел выносливости σ_{-1} незначительно, а соотношение между σ_{-1} и σ_T имеет вид: $\sigma_{-1} = 0,79 \cdot \sigma_T$. Предел выносливости высокопрочных сталей ($\sigma_T > 1400$ МПа) практически не зависит от σ_T , а определяется уровнем и протяженностью исходных дефектов. Предлагается исходные дефекты материала представлять в виде начальных трещин протяженностью l_0 и рассматривать этот параметр в качестве одной из характеристик материала, определяющих его усталостные свойства.

Расчеты на прочность лишь по коэффициенту n_σ (формула 2) не гарантируют безопасную работу оборудования, если в них не учтена дефектность материала

(протяженность исходных трещин или эксплуатационных повреждений типа трещин, выявленных во время плановых осмотров рабочих колес).

Критический анализ используемых в гидротурбостроении методов оценки остаточного ресурса турбин дается в работе [21]. Отмечается, что существующая расчетная методика оценивает ресурсные характеристики лопастей рабочего колеса в предположении, что в течение всего времени велась эксплуатация турбины только на рассматриваемом режиме. Такой подход не предполагает «правил суммирования» по режимам работы агрегата, часто меняющихся на действующих ГЭС. Для устранения этого недостатка предложен подход, основанный на определении суммарного повреждения от всех эксплуатационных факторов. Все эксплуатационные режимы разделяются на группы (блоки) по характерным параметрам цикла напряжений: среднее значение в цикле, амплитуда напряжений и частота воздействия. В пределах каждой группы рассчитывается коэффициент запаса n_σ по формуле (2) и далее рассчитывается повреждение в каждой группе:

$$\lambda_\sigma(i) = \frac{[n_\sigma]}{n_\sigma(i)},$$

где $\lambda_\sigma(i)$ — повреждение в «i»-й группе.

Суммарное повреждение для всех групп предлагается в качестве критерия остаточного ресурса

$$\lambda_\sigma = \sum_1^m \lambda_\sigma(i),$$

где m — число групп. Ресурс считается исчерпанным, когда суммарное повреждение станет равным $[\lambda_\sigma] = 1,0$. Следовательно, остаточный ресурс будет:

$$\lambda_\sigma^{ост} = [\lambda_\sigma] - \lambda_\sigma.$$

Из сказанного выше понятно, что в гидротурбостроении отсутствует сегодня общепринятая расчетная методика оценки остаточного ресурса оборудования. В конечном итоге получаемые расчетом оценки остаточного ресурса лопастей должны

сопоставляться с результатами оценки ресурса по данным опыта эксплуатации действующих гидромашин, которые выступают здесь критерием истины.

Камера рабочего колеса

Под отказом камеры понимаются, как указывалось выше, вырывы обечайки. В методике ЦКТИ (разработана Н. И. Зубаревым) критическая толщина обечайки $[\delta]$, при которой возможны вырывы металла, находится расчетом при следующих допущениях:

- камера не имеет статических рабочих напряжений;
- со стороны рабочего колеса действуют на камеру циклические гидродинамические нагрузки лопастной частоты ($f_{лоп} = z_{рк} \cdot f_{об}$, где $z_{рк}$ — число лопастей; $f_{об}$ — оборотная частота вращения);
- штрабной бетон не участвует в восприятии гидродинамической нагрузки (условия работы камеры аналогичны тем, в которых работает съемный сегмент);
- коэффициент запаса по усталостной прочности металла составляет $[n_\sigma] = 1,6$;
- камера имеет отстройку по частоте от возмущающих сил лопастной частоты (коэффициент динамичности равен единице).

Напряженное состояние камеры рассматривается при следующих допущениях: камера считается кольцом постоянной толщины (оребрение не учитывается); эпюра давления считается неизменной по высоте кольца. Расчетная оценка коэффициента запаса по усталостной прочности n_σ находится по формуле (2) с учетом того, что в камере отсутствуют статические напряжения:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}(N)}{k_\alpha \cdot \sigma_\alpha},$$

где: $\sigma_{-1}(N)$ — предел коррозионно-усталостной прочности материала камеры; σ_α — расчетные динамические напряжения лопастей частоты; k_α — эффективный коэффициент концентрации от сварки (находится в пределах 1,1÷1,7).

Далее расчетным путем определяется критическая толщина

обечайки камеры $[\delta]$, при которой ресурс металла считается исчерпанным. Оценка состояния камеры производится в дальнейшем путем сравнения фактической толщины камеры $\delta_{\text{факт}}$ с допустимым значением $[\delta]$.

2.3. Сопоставление прочностных и механических характеристик металла после длительного периода эксплуатации с требованиями нормативных документов

Данный критерий основан на исследовании физико-химических и прочностных характеристик металла по образцам, вырезанным из ресурсопределяющего узла турбины, и сопоставлении этих характеристик с требованиями нормативных документов. Сравнительный анализ свойств металла ресурсопределяющих узлов позволяет оценить остаточный ресурс гидротурбины на текущий момент времени.

Вырезки металла из лопастей рабочего колеса выполняются из зоны пересечения периферийного сечения лопасти с выходной кромкой (рис. 1). Как уже отмечалось, в этой зоне отсутствуют статические напряжения. Усталостные разрушения развиваются здесь только под действием циклических гидродинамических нагрузок. Вырезки металла делаются из всех лопастей обследуемого рабочего колеса. Из них изготавливаются образцы для определения следующих характеристик: химического состава металла лопастей; механических свойств металла (условного предела текучести $\sigma_{0,2}$; предела прочности σ_s ; относительного удлинения δ_s ; относительного сужения ψ); ударной вязкости; твердости по толщине стали лопастей; предела коррозионно-усталостной прочности стали при симметричном цикле нагружения $\sigma_{-1}(N)$; металлографической оценки структуры металла. Полученные в результате испытаний образцов характеристики металла сравниваются с требуемыми по ТУ108.1425-86.

Повышенное внимание в данных исследованиях должно уделяться определению коррозионно-

усталостной прочности σ_{-1} . Как говорилось выше, при коррозионном воздействии среды (что имеет место в гидротурбостроении) кривая усталости (зависимость σ_{-1} от числа циклов нагружения N) никогда не выходит на горизонталь. Она снижается с ростом числа циклов нагружения. В пределах можно считать, что как бы ни были малы переменные напряжения, они приведут к разрушению металла при достаточно большом числе циклов нагружения.

Из сказанного понятна необходимость экспериментального определения характеристики $\sigma_{-1}(N)$ металла, вырезанного из лопастей после длительного периода эксплуатации (за пределами нормативного срока службы турбины). Поскольку экспериментальные данные характеризуются большим разбросом по числу циклов до разрушения, то испытания ведутся на четырех-пяти уровнях напряжений (по 6÷10 образцов на каждом уровне).

Примеры оценки остаточного ресурса лопастей и камеры рабочего колеса по этому критерию не приводятся в настоящей статье ввиду ограниченности ее объема.

3. Результаты оценки состояния ресурсопределяющих узлов

Лопастей рабочего колеса осевой турбины

Аварии на турбинах действующих ГЭС из-за поломки лопастей в корневых сечениях происходят редко, но сопровождаются большим материальным ущербом и надолго выводят агрегат из строя. Одной из первых известных аварий в отечественном гидротурбостроении была поломка лопасти турбины Рыбинской ГЭС (после 40000 часов работы). При сбросе полной мощности произошло разрушение лопастей турбины Каховской ГЭС. Имели место поломки лопастей двухперовых турбин на Капчагайской ГЭС (8500 часов наработки). В 1983 г. отломалась по корневому сечению лопасть пропеллерной турбины на Иовской ГЭС после 8428 часов наработки. В 1990 г. произошла авария с отрывом двух лопастей на турбине ПЛ30/587 Жигулевской ГЭС (камера рабоче-

го колеса вышла в проточную часть). Поломки лопастей имели место на трех турбинах типа ПЛ20/811 Варцихе ГЭС (агрегат 2 — 1988 г.; агрегат 5 — 1990 г.; агрегат 1 — 1993 г.) после их перевода в пропеллерный режим работы. Обрывы лопастей с последующей угрозой затопления машинного зала происходили на подземных Усть-Хантайской, Вилюйской и Колымской ГЭС. Последняя известная нам авария с обрывом лопастей произошла в текущем году на турбине Нарвской ГЭС, имеющей срок службы более 60 лет.

Разрушение лопастей на осевых турбинах начинаются всегда в зонах «А» и «В» галтельного перехода (рис. 1), которые являются конструктивными концентраторами напряжений.

Разрушение лопастей в корневых сечениях протекает по одной схеме, имеющей условно три зоны на поверхности излома. Первая — зона чисто усталостного излома с характерными «кольцами» роста. Кольца располагаются достаточно равномерно, что говорит о довольно малых колебаниях нагрузки, действующей на лопасть во время роста трещины. Эта зона составляет, как правило, половину и более от общей площади излома корневого сечения. Вторая зона характеризуется как усталостным ростом трещины, так и неравномерной крупнозернистой поверхностью разрушения. Третья зона — сравнительно небольшая по площади, зона окончательного долома с характерной крупнозернистой поверхностью разрушения. Усталостное образование трещин в корневом сечении предшествует поломке лопасти и принимается в дальнейшем за отказ лопасти. Статистика по трещинообразованию лопастей имеется на действующих ГЭС в значительно большем объеме, чем по поломкам лопастей. Рассмотрим эту статистику.

Иркутская ГЭС. Из всех обследованных нами типов турбин классический характер изменения интенсивности отказов во времени (рис. 2) имеют лопасти турбин ПЛ-577 Иркутской ГЭС ($N_{\text{max}} = 32$ м, $N_r = 90$ МВт). Срок службы машин на этой ГЭС давно превысил нормативный, а наработка в генераторном режиме достигла

400*10³ часов и является рекордной для отечественных агрегатов. Лопасти турбин изготовлены из следующих марок стали — 20ГСЛ с облицовкой полосами из нержавеющей стали 1Х18Н9Т (25 штук) и нержавеющей стали 20Х13НЛ (31 штука). Собранные с начала эксплуатации сведения по трещинообразованию нержавеющей сталей в галтельном переходе по всем машинам приведены в табл. 1. Трещины на момент обследования наблюдались почти на половине лопастей.

Используя табличные данные, по формуле (1) были рассчитаны интенсивности отказов лопастей для различных периодов эксплуатации оборудования Иркутской ГЭС. Нарастание интенсивности отказов лопастей в корневом сечении $\lambda(t_{ген})$ в процессе эксплуатации характеризуется следующим образом:

Наработка $t_{ген}, ч \cdot 10^3$	Интенсивность отказа лопастей $\lambda(t_{ген}), 1/ч \cdot 10^6$
(0÷65) (прирабочный период)	1,47
(65÷260)	0,00
(260÷375)	2,03
(375÷430)	4,26

В наглядном виде изменение интенсивности отказа нержавеющей сталей лопастей от времени работы турбин в генераторном режиме представлено на рис. 3.

Наработка в генераторном режиме $t_{ген} \geq 260 \cdot 10^3$ часов соответствует зоне 3 на рис. 2, т. е. начальной стадии выработки ресурса лопастями. Интенсивность отказов лопастей в этой зоне уже превышает здесь интенсивность отказов в прирабочный период ($\lambda(t_{ген}) = 1,47 \cdot 10^6$ 1/ч).

Расчетные исследования ЦКТИ (по второму критерию) также подтверждают, что ресурс

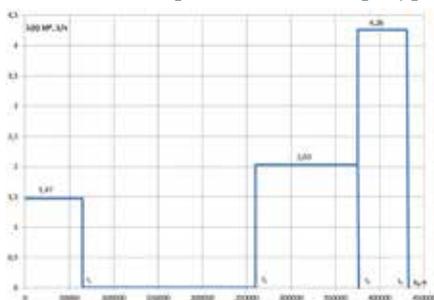


Рис. 3. Интенсивность отказа лопастей из стали 20Х13НЛ гидротурбин Иркутской ГЭС с начала эксплуатации

лопастей исчерпан. Расчеты по трем турбинам дали следующие значения фактического коэффициента запаса по усталостной прочности лопастей при сегодняшнем их состоянии: агрегат 1 — $n_{\sigma} = 1,43$ [22]; агрегат 2 — $n_{\sigma} = 1,16$; агрегат 3 — $n_{\sigma} = 1,46$ [23]. Нормативный коэффициент запаса, напомним, равен $[n_{\sigma}] = 1,6$.

Усталостные трещины в корневых сечениях нержавеющей сталей лопастей наиболее часто имеют место при напорах $H \geq 20$ м на осевых турбинах с четырьмя лопастями. Приведенные ниже примеры из опыта эксплуатации гидротурбин различных ГЭС бывшего Союза иллюстрируют сказанное.

Воткинская ГЭС. Имеет 10 турбин единичной мощностью $N_T = 107$ МВт;

напор $H_{max} = 23,5$ м. Существуют две группы машин, которые после выхода на проектные параметры эксплуатировались в различных мощностных режимах. Первая группа из шести турбин (агрегаты 3÷8) работала с более высокими мощностями (в среднем на 10 МВт) и при более низких напорах, чем вторая группа из четырех машин (агрегаты 1÷2, 9÷10). Иначе говоря, при одинаковых проектных параметрах турбины первой группы работали на более форсированных режимах по расходу воды, чем турбины второй группы.

В первые годы эксплуатации в корневом сечении лопастей трещин не наблюдалось вообще. Первая поврежденная лопасть была обнаружена через 61391 час на турбине

Табл. 1. Сведения о наработке лопастей из стали 20Х13НЛ турбин Иркутской ГЭС с начала эксплуатации (трещины в галтельном переходе)

Номер агрегата	Номер лопасти по формуляру	Наработка, ч		Месторасположение трещин
		Без отказа	До отказа	
1	1	360356	409426	Со стороны выходной кромки
	3	250086	286278	Середина галтельного перехода
	4	250086	286278	Со стороны входной кромки
	5	409426		
	6	360356	409426	Середина галтельного перехода
2	1	427569		
	2	376744	427569	Со стороны входной и выходной кромок
	3	302519	376744	Информации нет
	4	427569		
	5*	367487		
	6	427569		
3	7	376744	427569	Середина галтельного перехода
	1*	389578		
	4*	315088	331185	Со стороны входной и выходной кромок
4	7*	331185	389578	Со стороны выходной кромки
	2	348076		
5	5*	411189		
	3*	333633		
7	6*	33406	66734	Середина галтельного перехода
	1	288313	343353	Информации нет
	2	288313	343353	Со стороны входной кромки
	3	401342		
	4	401342		
	5	401342		
	6	288313	343353	Со стороны выходной кромки
8	7	401342		
	2	419832		
	3	419832		
	5	419832		
	6**	24290	45755	Со стороны выходной кромки
	6	374077		
	7	419832		

Примечание: * Первоначально были лопасти из стали 18ДГСЛ.

** Первоначально была лопасть из стали 20Х13НЛ, затем ее заменили на аналогичную новую.

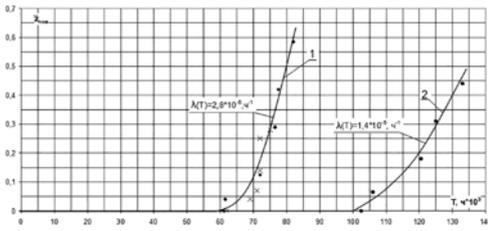


Рис. 4. Относительная повреждаемость лопастей турбин Воткинской и Новосибирской ГЭС в корневом сечении:
 • — опытные данные по Воткинской ГЭС;
 1 — агрегаты: 3, 4, 5, 6, 7, 8;
 2 — агрегаты: 1, 2, 9, 10; × — опытные данные по Новосибирской ГЭС

4 из первой группы машин (табл. 2). В дальнейшем процесс трещинообразования лопастей быстро прогрессировал, особенно на лопастях турбин первой группы. Примерно через $80 \cdot 10^3$ часов наработки в генераторном режиме трещины в корневом сечении были обнаружены на 14 из 24 лопастей шести турбин.

Изменение относительной повреждаемости лопастей $\bar{Z}_{пов}$ от времени работы машин в генераторном режиме $t_{ген}$ показано на рис. 4. Относительная повреждаемость $\bar{Z}_{пов}$ есть отношение числа поврежденных первый раз лопастей в группе (имеющих трещины в корневом сечении) к общему числу лопастей в группе. Угол наклона $\bar{Z}_{пов} = f(t_{ген})$ к оси абсцисс характеризует интенсивность отказа лопастей $\lambda(t_{ген})$.

Гидроагрегаты группы из четырех машин (1, 2, 9, 10) Воткинской ГЭС имели значительно большую наработку, но использовались в оптимальных по КПД режимах, на которых гидродинамические нагрузки ниже, чем на форсированных режимах. Эксплуатация турбин (3, 4, 5, 6, 7) в пиковых режимах привела к образованию трещин в корневых сечениях лопастей (сталь 20Х13НЛ) более быстрому (через $60 \cdot 10^3$ ч), чем на лопастях машин (1, 2, 9, 10), работающих в оптимальных по КПД режимах (через $100 \cdot 10^3$ ч). Интенсивность отказа лопастей машин, работающих превалирующую часть времени на форсированных режимах, оказалась также в 2 раза выше, чем интенсивность отказа лопастей агрегатов 1, 2, 9, 10 (рис. 4).

Не дожидаясь поломок лопастей, руководство Воткинской ГЭС заменило их на всех турбинах, хотя лопасти не отработали даже

Табл. 2. Повреждения лопастей турбины ПЛ 661 на Воткинской ГЭС в корневом сечении (лопасти из стали 20Х13НЛ)

№ агрегата и дата пуска	№ лопасти	Наработка, ч		Характер повреждения
		без трещин	обнаружение трещин	
4 март 1962	3	45964	61391	трещина в области «А»
5 июль 1962	1	58649	71643	трещина в области «А»
	4	58649	71643	трещина длиной l=140 мм в области «А»
8 апрель 1963	1	53292	76447	трещины в областях «А» и «В»
	2	53292	76447	трещины в областях «А» и «В»
	3	53292	76447	трещина в области «А»
	4	53292	76447	трещины в областях «А» и «В»
3 декабрь 1961	1	60586	76809	трещина в области «А»
	4	60586	76809	трещина длиной l = 105 мм в области «А»
6 октябрь 1962	1	56342	77314	трещина в области «А»
7 декабрь 1962	1	58593	81648	трещина длиной l = 260 мм и глубиной h = 180 мм в области «А»
	2	58593	81648	трещина длиной l=165 мм и глубиной h = 230 мм в области «А»
	3	58593	81648	трещина небольшой длины в области «А»
	4	58593	81648	трещина длиной l = 230 мм и глубиной h = 230 мм в области «А»
1 декабрь 1963	2	102571	105600	трещина длиной l = 200 в области «А»
10 сентябрь 1963	1	92013	121311	трещина в области «А»
	4	92013	121311	трещина в области «А»
9 июнь 1963	3	98595	124899	трещина в области «А»
	4	98595	124899	трещина в области «А»
2 декабрь 1961	1	105776	132900	трещина длиной l=200 мм в области «А»
	4	105776	132900	трещина длиной l = 75 мм в области «А»

своего нормативного срока службы. Замена лопастей была сделана после 25 лет эксплуатации. Через 20 лет эксплуатации на новых нержавеющих лопастях турбин также появились трещины в корневых сечениях. Сегодня на этой ГЭС четырехлопастные турбины заменяются новыми пятилопастными машинами повышенной мощности.

Новосибирская ГЭС. На ГЭС первоначально было установлено семь турбин типа ПЛ548 ($N_t = 58,6$ МВт; $H_{max} = 19,8$ м). Рабочие колеса имели лопасти, выполненные из стали 20ГСЛ и стали 18ДГСЛ, а на одной турбине (агрегат 2) три лопасти были выполнены из нержавеющей стали 20Х13НЛ. Лопасти из стали 18ДГСЛ и стали 20ГСЛ обладали низкой кавитационной стойкостью и склонностью к трещинообразованию в корневых сечениях. Все три нержавеющие лопасти агрегата 2 имели трещины в корневых сечениях после 76000 часов работы в генераторном режиме. Принимая во внимание сложившуюся предаварийную обстановку с

лопастями на ГЭС, было принято решение заменить все лопасти типа ПЛ548 на новые из нержавеющей стали 20Х13НЛ типа ПЛ661. Реконструкция турбин растянулась на 10 лет (с 1985 по 1995 гг.).

Трещины в корневых сечениях новых нержавеющих лопастей ПЛ661 были обнаружены после такой же наработки турбин в генераторном режиме, что и нержавеющих лопастей ПЛ-548. Нарастание повреждаемости лопастей $\bar{Z}_{пов} = f(t_{ген})$ протекает на Новосибирской ГЭС с такой же интенсивностью $\lambda(t_{ген})$, что и на агрегатах 1-й группы Воткинской ГЭС (рис. 4). Такое развитие трещинообразования в корневых сечениях лопастей было признано опасным, и сегодня четырехлопастные турбины заменяются новыми пятилопастными машинами. Увеличение числа лопастей турбины сделано с целью обеспечения повышения ее мощности при сложившихся на ГЭС кавитационных условиях.

Нижегородская ГЭС. Другим примером могут служить гидромашин типа ПЛ-510

Нижегородской ГЭС ($N_T = 59$ МВт; $H_{max} = 18$ м). Одни лопасти этих машин выполнены из стали 20Х13НД, а другие из стали 20ГСЛ с облицовкой. Нарботка нержавеющей лопастей (17 шт.) без трещин превысила $350 \cdot 10^3$ ч. Срок службы машин при этом практически в 2 раза превышает нормативный (30 лет). Используя выражение для расчета коэффициента запаса по усталостной прочности (2), ЦКТИ выполнил прочностную оценку выработки ресурса нержавеющей лопастями. Оказалось, что выработку ресурса лопастями (снижение коэффициента запаса ниже нормативного значения) следует ожидать через $t_{ген} \geq 450 \cdot 10^3$ часов с начала их эксплуатации.

Зато интенсивность отказа лопастей из стали 20ГСЛ резко выросла после $200 \cdot 10^3$ часов наработки, хотя принципиальных изменений в режиме работы турбин с начала эксплуатации не было. Нарастание интенсивности отказов лопастей $\lambda(t_{ген})$ было следующим:

Наработка $t_{ген}$, ч	Интенсивность $\lambda(t_{ген})$, ч ⁻¹
$(0 \div 115) \cdot 10^3$	0
$(115 \div 145) \cdot 10^3$	$2,5 \cdot 10^{-6}$
$(145 \div 200) \cdot 10^3$	$9,8 \cdot 10^{-6}$

Трещины в массовом порядке стали появляться в корневом сечении лопастей в срединной части фланца. Их образование в этом месте является нетипичным для осевых гидромашин. Как выше говорилось, разрушение лопастей в корневых сечениях всегда начинается в зонах «А» и «В», где существуют концентраторы напряжений. На лопастях турбин Нижегородской ГЭС заводом сделано в зонах «А» и «В» поднутрение, которое позволило снять концентрацию напряжений в этих местах.

Среди гидроэнергетиков существует мнение, что работа гидротурбин при напорах ниже расчетного сопровождается низким уровнем КПД, и потому такие режимы являются наиболее тяжелыми. Однако опыт эксплуатации лопастных систем опровергает это ошибочное мнение.

На многих ГЭС турбины работают по разным причинам с напорами

ниже проектных 30–40 лет и более. К таким машинам относятся прежде всего рабочие колеса ПЛ20/811, установленные на Чебоксарской, Нижне-Камской, Майнской, Кегумской ГЭС. До настоящего времени трещин в корневых сечениях нержавеющей лопастей турбин не наблюдалось ни на одной ГЭС.

Капчагайская ГЭС. Двухперовые турбины ПЛ₂-642 Капчагайской ГЭС ($N_T = 111$ МВт; максимальный проектный $H_{max} = 42,7$ м) работают при незаполненном водохранилище более 40 лет. Фактический напор составляет $28 \div 30$ м, а максимальная мощность турбины не превышает 90 МВт. Повреждения проточного тракта, выполненного из нержавеющей стали, отсутствуют. НПО ЦКТИ за этот период трижды проводил расчетно-экспериментальные исследования по оценке состояния ресурсоопределяющих узлов турбин. Вывод был всегда один — рабочее колесо и камера не выработали своего ресурса [24].

Хорошее состояние гидротурбинного оборудования после длительного периода эксплуатации при напорах ниже проектного расчетного вполне объяснимо. Основные узлы турбины конструировались с учетом нагрузок, ожидавшихся на расчетном режиме (он является самым тяжелым для гидромашин). Напоры ниже расчетного характеризуются меньшими гидродинамическими нагрузками, что обеспечивает надежную работу оборудования, несмотря на низкий уровень КПД.

Обосновать реконструкцию машин на таких ГЭС с учетом фактора надежности не представляется возможным.

Гидротурбины, предназначенные на более высокие напоры, чем $H = 25$ м, имеют по кавитационным условиям большее число лопастей ($Z_{ПК} \geq 5-8$ шт.). При прочих равных условиях увеличение числа лопастей сопровождается снижением в них уровня напряжений. На рис. 5 показаны результаты экспериментальных прочностных испытаний модели, выполненных за рубежом [25]. Авторы работы подчеркивают, что одинаковые максимальные напряжения будут на 6-лопастном колесе при напорах, на 150% более высоких, чем напоры для 4-лопастного колеса.

Анализ состояния нержавеющей лопастей высоконапорных гидротурбин действующих ГЭС подтверждает показанную на рис. 5 закономерность. Введенные в 1961 г. гидротурбины Чир-Юртской ГЭС ($N_T = 36$ МВт; $H_{max} = 45,3$ м) не имеют усталостных трещин на лопастях до настоящего времени, хотя срок службы превышает 50 лет. Нарботка восьмилопастных рабочих колес ПЛ642 в генераторном режиме превысила сегодня $t_{ген} = 275 \cdot 10^3$ часов. Единственным повреждением лопастей является небольшая кавитационная эрозия периферийно-выходной зоны. Глубина эрозии составляет, как правило, не более 2,0 мм (устраняется шлифовкой). В последний капитальный ремонт турбины общая площадь шлифовки вось-

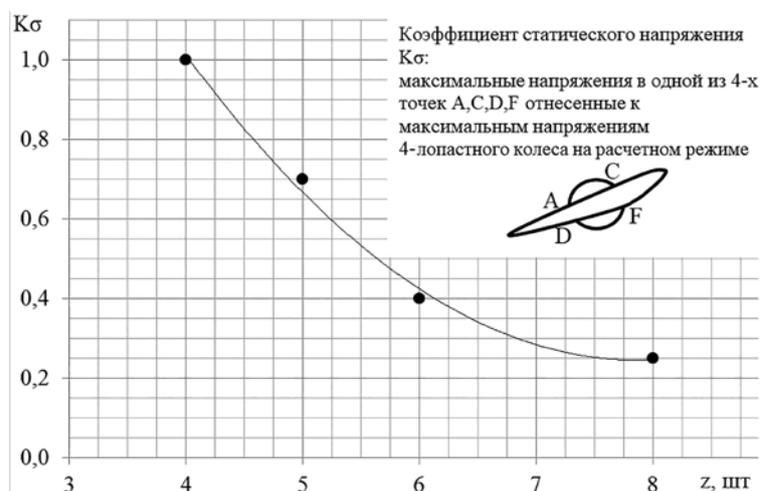


Рис. 5. Напряжения в лопастях турбин Каплана в зависимости от числа лопастей

ми лопастей составила $3,0 \text{ м}^2$ ($0,375 \text{ м}^2$ на одну лопасть). Говорить о том, что лопасти выработали ресурс к сегодняшнему дню на Чир-Юртской ГЭС-1, нет оснований.

Однако встречаются случаи, когда лопасти высоконапорных турбин в начальный период эксплуатации также имеют трещины в корневых сечениях и даже обрывы перьев. Хотя разрушение металла имеет усталостную природу, основной причиной повреждения лопастей является производственный фактор, а именно наличие концентраторов напряжений, в качестве которых выступают не только металлургические дефекты литья, но и острые переходы, оставленные после механической обработки. Полное отсутствие поднутрения в зонах «А» и «В» (рис. 1), как отмечалось ранее, является также опасным концентратором напряжений.

Например, на турбинах Усть-Хантайской ГЭС (ПЛ60/5а, мощность $N_r = 65 \text{ МВт}$ при $H_p = 45,8 \text{ м}$) первые $40 \cdot 10^3$ часов наработки сопровождались трещинами в корневых сечениях лопастей. Более того, на одном агрегате произошел обрыв половины лопасти от корневого сечения по диагонали к выходной кромке [26]. Лопасти гидротурбин не имели поднутрения в зонах «А» и «В». После выполнения поднутрения радиусом $R = 17 \text{ мм}$ образование трещин в корневых сечениях лопастей прекратилось (наработка турбин достигла почти $300 \cdot 10^3$ часов).

Аналогичное развитие событий происходило и на высоконапорных турбинах Вилюйской ГЭС-1. После замены рабочего колеса ПЛ60/5а ($N_r = 79,5 \text{ МВт}$ при $H_p = 55 \text{ м}$) на колесо повышенной мощности ПЛ70/3164



Рис. 6. Кавитационные разрушения основного металла камеры в местах срыва облицовки

произошло разрушение (обрыв) новой лопасти. Оказалось, что лопасти нового колеса имели недостаточный радиус поднутрения. Увеличение радиуса поднутрения с $R = 17 \text{ мм}$ до $R = 35 \text{ мм}$ на лопастях турбин снизило напряжения в 1,5 раза и обеспечило работу лопастям без трещин последние 25 лет.

Описанные выше разрушения лопастей высоконапорных рабочих колес относятся к приработочному периоду эксплуатации (рис. 2, зона 1). При отсутствии производственных дефектов усталостная прочность лопастей высоконапорных гидротурбин обеспечивается даже за пределами нормативного срока службы оборудования.

Результаты обобщения опыта по трещинообразованию лопастей осевых турбин следует принимать во внимание при реконструкции оборудования ГЭС (прежде всего ГЭС с напорами $H = 20 \div 25 \text{ м}$). При замене рабочих колес предпочтение следует отдавать турбинам с большим числом лопастей (см. рис. 5).

Что касается повышения надежности существующих лопастных систем со сверхдлительным сроком эксплуатации, то здесь рекомендуется выполнение следующих мероприятий:

- устранение концентраторов напряжений в зоне галтельного перехода пералопастивофланец (рис. 2, зоны «А» и «В»), которые свойственны практически всем турбинам советского производства;
- при выполнении ремонтных работ проточной части турбин снимать с напорной стороны лопастей в зоне галтельного перехода поверхностный слой глубиной 50–100 мкм (в этом слое происходит зарождение трещиноподобных дефектов, из которых далее развиваются усталостные явления в металле);
- выявить и исключить из практики эксплуатации гидротурбин режимы с повышенным уровнем гидродинамических нагрузок лопаточной частоты ($f_{\text{лопат}} = Z_{\text{НА}} \cdot f_{\text{об}}$), которые играют основную роль в накоплении усталостных явлений в металле.

Камера рабочего колеса

Камеры рабочих колес осевых гидротурбин, выпущенных 60 лет назад, изготавливались из углеродистой стали 30Л. На одних ГЭС камеры колес не имели вообще заводской облицовки (Новосибирская, Шардаринская ГЭС), на других облицовка камер выполнялась листами из стали 3 (Нижегородская ГЭС), на третьих заводская облицовка была изготовлена из нержавеющей стали 09Х13Н9Т (Иркутская ГЭС). Неэффективность защиты основного металла камер от кавитационного воздействия (даже в случае применения нержавеющей облицовки) выявилась уже в первые годы эксплуатации турбин. Вода проникала под облицовку, и под воздействием пульсаций давления со стороны рабочего колеса происходило разрушение основного металла камеры (рис. 6). На турбинах некоторых ГЭС толщина обечайки камеры снижалась до 5 мм вместо проектной толщины 30 мм. Одновременно имел место отрыв больших участков облицовки. Поэтому в дальнейшем от облицовки камер отказались и перешли к наплавке на ней защитного слоя нержавеющей стали электродами. Сегодня этот способ борьбы с кавитационной эрозией камер является основным на отечественных турбинах, изготовленных 60 лет назад.

Камеры рабочих колес являются для большинства гидротурбин наиболее проблемным узлом. Рассмотрим конкретные примеры из опыта эксплуатации действующих ГЭС.

Чир-Юртская ГЭС-1. Камера выполнена из углеродистой стали толщиной 20 мм и подвержена большим кавитационным разрушениям из-за низкой кавитационной стойкости этой стали. Восстановительные работы по камере ведутся на агрегатах ГЭС ежегодно, что является основной причиной длительных простоев машин в ремонтах.

В результате кавитационного воздействия и последующего применения воздушно-дуговой резки по устранению поврежденного металла толщина камеры уменьшилась с проектной толщины 20 мм до 5–6 мм (а местами разрушена до бетона). Это приводит к

Табл. 3. Сведения о повреждениях камеры рабочего колеса агрегата 2 Чир-Юртской ГЭС-1 за период 2000–2008 гг.

Срок проведения ремонта	Состояние камеры	Зазор «камера-лопасть», мм	Ремонтные мероприятия
30.10.2000 — 15.11.2000	Кавитационные повреждения и вырывы обечайки	2,5–5,0	1. Шлифовка и наплавка поврежденных участков общей площадью 3 м ² . 2. Сделаны две вставки 630×240 мм.
04.10.2001 — 18.10.2001	Кавитационные повреждения и разрушение обечайки	5,0–7,0	Шлифовка и наплавка поврежденных участков общей площадью 1,6 м ² .
25.10.2002 — 09.11.2002	Кавитационные повреждения и вырывы обечайки	2,8–6,3	1. Удаление поврежденных участков РВД (общая площадь 0,7 м ² , глубина 3–4 мм). 2. Шлифовка и наплавка поврежденных участков общей площадью 2,1 м ² . 3. Сделана вставка 200×300 мм.
18.08.2003 — 27.10.2003 Наработка с начала эксплуатации 265108 часов	Кавитационные повреждения и вырывы обечайки, пустоты в бетоне за обечайкой	4,0–9,0	1. Шлифовка и наплавка поврежденных участков, а также замена вырванных карт — общая площадь 3,8 м ² . 2. Заполнение пустот за облицовкой бетоном, общий объем — около 780 л.
2004	нет данных	нет данных	нет данных
02.04.2005 — 16.04.2005	Кавитационные повреждения и вырывы обечайки	4,2–7,2	1. Шлифовка и наплавка поврежденных участков общей площадью 1 м ² . 2. Сделаны вставки общей площадью 1 м ² .
05.04.2006 — 18.04.2006	Кавитационные повреждения, вырывы обечайки, трещины в местах варки предыдущих вставок обечайки, пустоты в бетоне	3,0–6,0	1. Удаление поврежденных участков РВД. 2. Шлифовка и наплавка поврежденных участков общей площадью 1,5 м ² . 3. Сделаны вставки общей площадью 0,6 м ² . 4. Заполнение пустот за облицовкой бетоном.
09.04.2007 — 23.04.2007	Кавитационные повреждения, трещины в местах варки предыдущих вставок	3,0–6,0	Шлифовка и наплавка поврежденных участков общей площадью 1,5 м ² .
01.08.2008 — 15.09.2008	Кавитационные повреждения, вырывы вставок, трещины в местах варки предыдущих вставок	3,0–6,0	1. Удаление поврежденных участков РВД. 2. Шлифовка и наплавка поврежденных участков общей площадью 5,1 м ² . 3. Сделана вставка площадью 0,3 м ² .

постоянным вырывам обечайки камеры, которые ликвидируются применением вставок (табл. 3). Такое состояние камеры свидетельствует, что она выработала свой ресурс.

Большой объем ремонтных работ по удалению разрушенного кавитацией металла и последующая наплавка защитного слоя нержавеющей стали электродами привели не только к неконтролируемой деформации камеры, но и большим зазорам «камера — лопасть». Нормативное значение зазора должно быть $[\delta] = 1,15$ мм, тогда как фактические зазоры в 2 раза и более выше. По оценочным расчетам, повышенные зазоры снижают выработку энергии турбиной на 1%.

Усть-Хантайская ГЭС. При проектной толщине 25 мм камера имеет в результате неравномерной заводской проточки различную толщину, в отдельных местах до 5 мм. На облицовке камеры систематически возникают усталостные трещины, что требует их ремонта вырубкой, заплавкой и шлифовкой. По расчетам ОАО ЛМЗ, коэффициент запаса по усталостной прочности еще 15 лет назад был ниже нормативного значения. Камеры рабочих колес выработали ресурс.

Новосибирская ГЭС. Камеры турбин выполнены из углеродистой стали Ст3 толщиной 30 мм. Кавитационные повреждения начали проявляться с самого начала эксплуатации, а ремонты кавитационных повреждений проводились практически ежегодно. Через 20 лет эксплуатации

глубина кавитационных разрушений достигала 10–20 мм. Выполненный ОАО ЛМЗ еще 25 лет назад расчет камеры на коррозионно-усталостную прочность показал, что ресурс камеры исчерпан. Зазор «камера — лопасть» существующих турбин Новосибирской ГЭС превышает на некоторых машинах 25–30 мм, тогда как по нормативным документам он должен быть не более 4 мм для колеса диаметром $D_1 = 8,0$ м.

Иркутская ГЭС. Камера выполнена из стали Ст30Л и облицована нержавеющей сталью 09Х3Н9Т. Фактическая толщина обечайки камеры составляет 50–60 мм и выше, что много больше проектной величины 38 мм. Расчет камеры на усталостную прочность даже при проектной ее толщине свидетельствует, что ресурс основного металла не будет выработан даже через 15 лет ее дальнейшей эксплуатации [23].

И тем не менее камера является критическим узлом турбин из-за постоянного отслаивания нержавеющей наплавки от основного металла. По опыту ремонтных работ на различных ГЭС камера представляет во многих случаях «слоистый пирог» из основного металла и нержавеющей наплавки. Основным металлом камеры при этом не всегда имеет хорошее сплавление с защитным покрытием. Во многих случаях отслаивание облицовки достигает 80% площади камеры. В результате отслоения нержавеющей наплавки не выполняет свою главную функцию защиты основного металла от кавитационных разрушений (рис. 7).

Необходимость замены физически изношенных камер рабочих колес на Иркутской ГЭС не вызывает сомнения, хотя основной металл камер не выработал ресурса.

Неудачное исполнение камер рабочих колес имеет место практически на всех осевых турбинах, созданных 60 лет назад. При напорах более 10 м все они подвержены интенсивным эрозионным разрушениям, т. к. выполнены из материала, имеющего низкую кавитационную стойкость. Восстановительные работы по поддержанию работоспособности таких камер определяют до настоящего времени основной объем затрат и фактическую продолжительность капитальных ремонтов. Отсутствие заводской надежной защиты углеродистых камер от кавитационного воздействия объясняется тем, что нержавеющие стали в послевоенные годы были фондируемым материалом в нашей стране, который трудно было получить в плановой экономике для гидротурбостроения.



Рис. 7. Кавитационные разрушения нержавеющей наплавки и основного металла камеры

Вместе с тем применение нержавеющей стали для изготовления камер является основным средством повышения их надежности. Приведенные ниже примеры подтверждают сказанное.

Установленные фирмой «Тампелла» (Финляндия) камеры на турбинах Дубоссарской ГЭС выполнены полностью из нержавеющей стали. Четыре турбины единичной мощностью $N_T = 10,5$ МВт при $H_p = 11,5$ м работают без кавитационных повреждений камеры уже более 60 лет.

Высоконапорные турбины Миатлинской ГЭС ($N_T = 113$ МВт при $H_p = 46,0$ м) оборудованы камерами толщиной 20 мм. Камеры имеют биметаллическое покрытие из нержавеющей стали 0X13 толщиной 2,5–3,5 мм. Пуск гидромашин состоялся в 1985 г. За 30 лет эксплуатации кавитационных разрушений камер не наблюдалось. В настоящее время на ГЭС идет замена рабочих колес ПЛ60/1075 на новые повышенной мощности до $N_T = 140$ МВт (изготовитель — фирма «Фойт»).

Выводы

1. Рассмотрены состояние проблемы остаточного ресурса осевых гидротурбин со сверхдлительным сроком службы и используемые критерии оценки ресурса их узлов: по нарастанию отказов узла во времени (первый критерий); сопоставлению фактического коэффициента запаса по усталостной прочности с нормативным значением (второй критерий); изменению прочностных и физико-механических характеристик металла рассматриваемого узла в процессе длительной эксплуатации (третий критерий).

2. К ресурсопределяющим узлам осевых гидротурбин отнесены лопасти и камера рабочего колеса. Выработка ресурса этими узлами позволяет ставить вопрос о необходимости замены всей гидромашин.

Изучение опыта эксплуатации ресурсопределяющих узлов и результаты расчетно-экспериментальных исследований установили следующее.

Лопастей рабочих колес

1. Лопасти гидротурбин из нержавеющей стали имеют (в зависимости от режима) в два-три раза более высокую усталостную прочность, чем лопасти из углеродистой стали.

2. Установленные на напор $H = 20$ –25 м четырехлопастные колеса даже из нержавеющей стали вырабатывают свой ресурс раньше истечения нормативного срока службы оборудования (30 лет). При замене оборудования на таких ГЭС первоочередной задачей является обеспечение надежной работы лопастной системы новой турбины, что достигается увеличением числа лопастей до 5–6 штук.

3. Использование четырехлопастных колес из нержавеющей стали при $H < 20$ м гарантирует отсутствие трещин в корневых сечениях лопастей в течение 50–60-летнего периода работы оборудования.

4. Осевые рабочие колеса с числом нержавеющей лопастей $Z_{PK} = 6 \div 8$ шт. не вырабатывают ресурса за нормативный срок службы. При этом, чем выше напор турбины, тем большим запасом по усталостной прочности обладает колесо.

Камеры рабочих колес

1. Изготовленные полностью из нержавеющей стали камеры рабочих колес (или имеющие заводское кавитационное покрытие из нержавеющей облицовки) не вырабатывают своего нормативного ресурса даже при напорах 60–70 м. Кавитационная стойкость покрытия (облицовки) оказывается выше уровня кавитационного воздействия потока.

2. Камеры рабочих колес с большим сроком службы выполнены на большинстве российских ГЭС из обычной углеродистой стали, которая подвержена интенсивной кавитационной эрозии даже при небольших напорах ($H = 10$ м). Из-за большого объема эрозионных повреждений необходимость замены таких камер возникает нередко до истечения нормативного срока службы турбин. В этих случаях неудовлетворительное состояние защитной облицовки камер следует рассматривать как основной аргумент в обосновании необходимости замены гидротурбин.

Литература

1. Иванченко И. П., Прокопенко А. Н. Состояние проблемы реконструкции гидротурбин в России // Гидротехника. 2018. № 1(50). С. 27–39.
2. Иванченко И. П. Принципы оценки остаточного ресурса гидротурбин по данным опыта эксплуатации // Труды НПО ЦКТИ. 2002. Вып. 290. С. 39–47.
3. Иванченко И. П., Прокопенко А. Н., Замараев М. С. Техническое состояние статорных колонн гидротурбин Борисоглебской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2014. № 4. С. 2–9.
4. Байков В. Н., Незаметдинов Э. У. Об остаточном ресурсе гидроагрегатов и о замене оборудования // Гидротехническое строительство. 2014. № 2. С. 47–52.
5. Лохматин Г. П., Станкевич В. Л., Иванченко И. П. Анализ повреждаемости лопастей осевых гидротурбин // Труды НПО ЦКТИ. 2002. Вып. 290. С. 119–130.
6. Аронсон Л. Я., Бабаченко В. Е., Зайцев Г. З. Вопросы прочности рабочих колес в связи с их циклической нагруженностью // Машиностроение. Гидротурбостроение. 1969. № 12. С. 127–131.
7. Голвин О. А., Матвеев А. М., Постоев В. С., Смелков Л. Л. Расчет на прочность лопастей поворотно-лопастных и диагональных гидротурбин методом конечных элементов // Энергомашинное строительство. 1977. № 8. С. 1–2.
8. Смелков Л. Л., Зиндман А. П., Маслов С. М., Косач И. С. Исследование влияния режимов на напряженное состояние рабочих колес РО и ПЛ гидротурбин // Труды НПО ЦКТИ. 1985. Вып. 222. С. 90–95.
9. Любощев П. Г., Эдель Ю. У. О распределении давлений на лопасти натурной поворотно-лопастной гидротурбины // Гидротурбостроение. Т. 8. Машгиз. 1961. С. 265–274.
10. Чубаров И. Д. Распределение давлений на лопасти рабочего колеса натурной гидротурбины Киевской ГЭС // Сборник трудов МИСИ. 1969. № 67.
11. Шрамков К. А. Надежность поворотно-лопастных гидротурбин // Вестник машиностроения. 1969. № 6. С. 17–19.
12. Иванченко И. П., Косач И. С. Повышение надежности работы лопастей поворотно-лопастных гидротурбин // Гидротехническое строительство. 1981. № 9. С. 50–55.
13. Полово А. М. Основы теории надежности // М.: Наука, 1964. 443 с.
14. Левин С. М., Васильченко К. И. Общие проблемы оценки состояния и остаточного ресурса металлоконструкций водопроводящего тракта гидротурбин ГЭС // Гидротехническое строительство. 2014. № 2. С. 37–46.
15. Кудрявцев И. В., Науменков Н. Е. Усталость сварных конструкций // Машиностроение, 1976. С. 271.
16. Зайцев Г. З., Аронсон А. Я. Усталостная прочность деталей гидротурбин // Машиностроение, 1975. С. 160.
17. РТМ 108.243.101–83. Турбины гидравлические поворотно-лопастные. Расчеты на усталостную прочность лопастей. 56 с.
18. Смелков Л. Л. Методика определения остаточного ресурса лопастной системы рабочего колеса гидротурбины // Труды ЦКТИ. 2002. Вып. 290. С. 112–118.
19. Шрайберг Ю. Л. Об усталостной прочности и ресурсе лопастей гидротурбин // Труды ЦКТИ. 1986. Вып. 226. С. 19–25.
20. Домошников Л. И. К обоснованию усталостного ресурса гидротурбинного оборудования с учетом дефектов и повреждений типа трещин // Гидротехническое строительство. 2006. № 7. С. 38–45.
21. Суданов А. В., Георгиевская Е. В. Проблемы нормативного и методологического обеспечения оценки прочности и ресурса гидротурбин // Гидротехническое строительство. 2014. № 2. С. 52–58.
22. Смелков Л. Л., Гаврилов С. Н., Левина С. М., Колесников Е. В., Афанасенко А. С. Оценка остаточного ресурса и вероятности безотказной работы гидроагрегата № 1 Иркутской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2009. № 9. С. 21–26.
23. Иванченко И. П., Прокопенко А. Н., Пущин Н. В. Оценка технического состояния гидротурбинного оборудования Иркутской ГЭС после сверхдлительного периода эксплуатации // Гидротехническое строительство. 2015. № 1. С. 6–12.
24. Иванченко И. П., Прокопенко А. Н., Щур В. А. Проблемы повышения эффективности использования водотока на Капчагайской ГЭС // Гидротехника. 2016. № 4 (45). С. 37–41.
25. Grein H., Barp B., Holler K. Stress on blades of Kaplan and bulb turbines due to hydrodynamic forces. Труды 7-го симпозиума МАГИ. Вена. 1974. III–2. С. 1–12.
26. Попов А. И. Реконструкция и техническое перевооружение Усть-Хантайской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2005. № 10. С. 67–71.



*«Я живу так,
будто завтра война»*

Памяти А. И. Байкова

В МАЕ ЭТОГО ГОДА УШЕЛ ИЗ ЖИЗНИ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ БАЙКОВ...

Как сказал руководитель одной из ГЭС, ушел «последний из могикан».

«Золотые руки», «человек-легенда», «самородок», «ас своего дела», «монтажник высшего пилотажа», «профессионал, способный решить любую проблему», «хирург российской гидроэнергетики», «талант от бога», «наш учитель» — так его называли коллеги, партнеры, ученики. Для работников редакции он был другом, консультантом, «энциклопедией» и «нашим настоящим мужчиной»...

Придя 18-летним в «Трест «Гидромонтаж», он всю свою жизнь посвятил монтажу и ремонту гидротурбинного оборудования, относясь к нему, как к живому организму, — чувствовал, мог разобрать чуть ли не до винтика, найти «больное место» и вылечить. И потому, что умел, постоянно учился, думал, изобретал, и потому, что ценил труд людей и деньги, вложенные в турбины. Относился к оборудованию, как настоящий хозяин, — бережно и профессионально. Десятки ГЭС по всей стране помнят его руки, немало механизмов и конструкций было буквально спасено от разрушения и необоснованного демонтажа Александром Ивановичем.

О технических решениях, найденных Байковым в, казалось бы, безвыходных ситуациях, до сих пор ходят легенды и можно книгу написать — и это была бы поистине «золотая книга монтажника». Но он остается в памяти не только как профессионал высочайшего уровня, а как бесконечно порядочный, честный, необыкновенно деликатный и при этом человек с негибким внутренним стержнем, человек слова и дела.

Пройдя великие стройки и расцвет советской энергетики, остро переживал «кризисы» нового времени, но сделал все, чтобы сохранить и обеспечить работой в новых условиях «Волга СГЭМ — Камспецэнерго». Очень любил молодежь, понимал, принимал, поддерживал лучшие порывы и не скупился на профессиональные секреты — передавал все, что знал и умел, не кичась своим огромным опытом и высокими званиями. И в свои 80 был современным, мог в деталях объяснить особенности нового оборудования, думал, как решать проблемы «слабых мест» на ГЭС.

Темп его жизни поражал, словно он заряжался энергией от своей любимой профессии. Однажды на предложение отдохнуть сказал: «Я живу так, будто завтра война и меня уже не будет, нет времени отдыхать». Александр Иванович ушел, а дела его живут в огромных конструкциях, как и добрая, светлая память в наших сердцах.



ПИОНЕРНАЯ РОССИЙСКАЯ ПРИЛИВНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ — ЕДИНСТВЕННОЕ В МИРЕ ДОЛГОВЕЧНОЕ КРУПНОЕ БЕТОННОЕ СООРУЖЕНИЕ В РАЙОНАХ АРКТИКИ

К 50-ЛЕТИЮ КИСЛОГУБСКОЙ
ПЭС ИМ. Л. Б. БЕРНШТЕЙНА



Игорь Николаевич Усачев,

к. т. н., главный конструктор СПКТБ «Мосгидросталь» АО «Трест Гидромонтаж»

Один из основоположников российской научно-инженерной школы приливной энергии и наплавных конструкций. Соавтор создания пионерной в России приливной электростанции — Кислогубской ПЭС на Баренцевом море. Автор более 350 научных работ, опубликованных на русском, английском, испанском и китайском языках. Лауреат Государственной премии Совета министров СССР и лауреат премии им. М. В. Ломоносова. Заслуженный работник и почетный гидроэнергетик энергетической отрасли РФ.

Аннотация. В Арктике в губе Кислая Баренцева моря с 1968 г. работает первая российская приливная электростанция — Кислогубская ПЭС им. Л. Б. Бернштейна, которая впервые в мировой практике гидроэнергетики сооружена наплавным способом, что позволило кардинально сократить ее смету и вдвое ускорить срок строительства в условиях Крайнего Севера. Кислогубская ПЭС признана в мире одним из выдающихся сооружений XX в. и единственным долговечным крупным бетонным сооружением в районах Арктики, а в России — памятником науки и техники. В настоящее время ПЭС — единственная в стране морская энергетическая научная база, на которой исследуются стойкость строительных материалов (бетон, металл, полимеры) в океанической среде, методы их защиты от электрохимической и биологической коррозии; проходят испытания железобетонные и металлические наплавные конструкции и новое турбинное оборудование, а также осуществляется создание новых свободно-поточных, волновых и ветровых энергетических установок.

Ключевые слова: приливная электростанция, долговечность материалов в Арктике, защита от океанической коррозии, наплавной способ строительства, ортогональный гидроагрегат, локальный энергоблок.

Приливная энергия — круглогодичный энергетический ресурс нашей планеты; ее гарантом являются неизменяемые космические силы [3].

Если для ТЭС и АЭС нужны нефть, газ, уголь, уран; для ГЭС — поток речной воды, который может иссякнуть и тому есть многочисленные известные случаи; для волновых и ветровых электростанций необходим ветер (сегодня есть, завтра нет); то для ПЭС в любом створе Мирового океана выработка электроэнергии зависит лишь от неизменного физического фактора — притяжения Луны, и величину получаемой энергии можно точно определить за любой промежуток времени

на весь период эксплуатации, поэтому и управлять ПЭС можно дистанционно на расстоянии сотен километров (к примеру, опыт ПЭС Ранс во Франции).

Исключительное достоинство ПЭС — практически абсолютная безопасность и экологическая чистота: при аварии на плотине ПЭС никого не затопит, в отличие от волны прорыва на плотинах ГЭС, угрожающей громадной территории и миллионам людей; сама ПЭС не выделяет в атмосферу никаких выбросов и не представляет никакой потенциальной опасности [13].

За полвека, с тех пор как в мире начала развиваться приливная энергетика, удалось преодолеть главное

THE PIONEERING RUSSIAN TIDAL POWER PLANT IN THE ARCTIC REGION (TO THE 50TH ANNIVERSARY OF KISLOGUBSKAYA TPP N. A. L. B. BERNSTEIN)
I. N. Usachev, candidate of technical Sciences, Chief designer of SPKTB Mosgidrostat JSC «Trust Hidromontazh», Moscow, Russia

Abstract. Located in the Arctic region Barents sea («Kislaya» bay) in conditions of island area, the pioneering Russian tidal power plant — «Kislogubskaya» TPP n. a. L. B. Bernstein — is successfully operating for more than half a century. Kislogubskaya TPP (KTPP) was built by the floating method for the first time in the world hydropower practice, which made it possible to reduce its estimate by 33% and speed up the construction period by half.

KTPP is recognized worldwide as «one of the most outstanding structures of the 20th century» and «the only durable large concrete structure in the Arctic regions», and «The Monument of Science and Technology» in Russia.

Keywords: tidal power plant (TPP), durability of materials in the Arctic, protection against oceanic corrosion, floating construction method, orthogonal hydraulic unit.



Рис. 1. Общий вид гидроузла Кислогубской ПЭС (лето 2017 г.)



Рис. 2. Фронтон здания ПЭС с эмблемой



Рис. 3. Морская научная база энергетике на Кислогубской ПЭС. Сооружения: [1] Железобетонное здание ПЭС; [2] Металлический энергоблок малой Мезенской ПЭС; [3] Стыковочный узел; [4] Дамбы; [5] Причал; [6] Дом многоцелевого назначения; [7] ОРУ-35кВ; [8] Дизельная; [9] Причал в бассейне; [10] Морской катер; [11] А/д к питьевому озеру (0,8 км)

Научная база:

- (1) участок марекультуры ПИНРО; (2) атмосферный стенд; (3) опытный ж/б фрагмент; (4) катодная защита арматуры; (5) электролизная защита от обрастаний; (6) КИА (609 приборов); (7) волнограф; (8) сорбционная установка извлечения металлов из воды; (9) водолазный участок; (10) подводные стенды; (11) стенды в зоне прилива; (12) мареограф; (13) ГМС; (14) плавстенд; (15) ортогональный гидроагрегат с турбиной диаметром 2,5 м; (16) ортогональный гидроагрегат с турбиной диаметром 5 м; (17) солнечная установка; (18) ветроустановка; (19) ледовый стенд; (20) бентосные и планктонные станции

препятствие для ее развития — кардинально снизить затраты на ПЭС и сделать их конкурентными со всеми другими видами генерирующих установок. Высокой конкурентоспособности ПЭС удалось добиться за счет применения инновационных российских технологий: наплавного способа сооружения ПЭС в заводских условиях и модернизации основного оборудования — создания ортогональных гидротурбин.

Также необходимо отметить и разработку для Кислогубской ПЭС долговечного строительного материала — водонепроницаемого, некорродирующего и необрастающего в океанической среде бетона особо высокой морозостойкости, что открывает новые возможности для освоения Арктики и Арктического шельфа.

Здание Кислогубской ПЭС (рис. 1, 2) было сооружено УС «Севгидрострой» в 1965–1967 гг. в строительном доке в Мурманске (построен в 1964 г. на мысе Притыка, на берегу Кольского залива), оттранспортировано на плаву за 100 км судами Северного ВМФ в губу Кислая Баренцева моря, опущено на подводное основание, подготовленное в 1964–1965 гг. строителями, передано в эксплуатацию в Кольскую энергосистему 28 декабря 1968 г. Сегодня, в соответствии с государственной программой НИР, предоставляется на периоды проведения исследований институту «Гидропроект», различным заинтересованным отраслевым НИИ и институтам РАН [2]. Ввиду уникальности своей конструкции, способа сооружения, модели и района эксплуатации Кислогубская ПЭС состоит на государственном учете и охраняется как памятник науки и техники России.

Кислогубская ПЭС является первым в России энергетическим сооружением, эксплуатируемым в условиях океанической среды; единственным в мире по долговечности крупным бетонным сооружением в районах Арктики, первым в практике мирового гидроэнергетического строительства сооружением, выполненным без перемычек наплавным способом. Значение Кислогубской ПЭС как энергетического объекта в том, что она доказала возможность использования в составе энергосистемы прерывистых суточных и пульсирующих месячных потоков приливной энергии при всегда гарантированной и неизменной ее среднемесячной величине, апробировала оптимальную модель использования приливной энергии в виде однобассейновой установки с гидроагрегатом двустороннего действия [2].

Таким образом, в течение 50 лет Кислогубская ПЭС находится в промышленной эксплуатации в энергосистеме и одновременно используется как научная морская база в условиях арктического побережья России, которая включает в себя: помещения со всеми удобствами в доме многоцелевого назначения для эксплуатационного и научного персонала; архив проектов ПЭС и натурных наблюдений за 50-летний период исследований, 20 морских стационарных стендов в зоне прилива, под водой и в морской атмосфере, ледовый стенд и экологический полигон в бассейне (рис. 3) [11]. На энергетической базе ПЭС создана также научная лаборатория Полярного института океанологии и рыбного хозяйства (ПИНРО) с опытным участком марикультуры.

За полвека на Кислогубской ПЭС были выполнены масштабные работы по освоению энергии Мирового океана и решению ряда проблемных вопросов для гидроэнергетической отрасли и строительства на Крайнем Севере. Обозначим наиболее существенные из них.

Определены оптимальные схемы для современных ПЭС. Составлены математические модели по эксплуатации многоагрегатных ПЭС в энергосистеме. Определена трансформация прилива у плотины ПЭС.

Многолетние исследования в бассейне Кислогубской ПЭС также определили построение модели гидродинамических процессов при отсечении плотиной ПЭС морских заливов: движение наносов, изменения биоценоза донных отложений,



Рис. 4. Коррозионные испытания на Кислогубской ПЭС образцов металла для нужд Военно-морского флота (2017 г.)

ритм изменения приливных течений в бассейне, изменения гидрологического режима окружающей акватории под влиянием работы ПЭС, состояние и изменения структуры и биомассы планктонных сообществ в отсеченном от моря бассейне. Определены сроки стабилизации бассейна при ограничении естественного попуска воды и при этом показано увеличение биомассы фито- и зоопланктона в нем до 10% [2, 7].

Созданы долговечные строительные материалы для тонкостенной железобетонной наплавной конструкции здания ПЭС, работающей в сверхсуровых природных условиях Крайнего Севера на арктическом побережье приливного моря при знакопеременном в течение каждых шести часов цикле увлажнения — осушки (до 700 циклов/год), замораживания — оттаивания (до 400 циклов/год) в течение до семи месяцев с отрицательными температурами до -41°C , влажностью более 80% и океанической соленостью воды в 30–35%. Практически все бетонные сооружения, эксплуатируемые в этих условиях, начинали разрушаться в зоне прилива в первый же зимний период. Тем не менее для Кислогубской ПЭС удалось создать практически водонепроницаемый бетон особо высокой морозостойкости (F1000 при максимально нормируемой F500) за счет введения в его состав ряда стандартных добавок и осуществления специальных мероприятий по его укладке, которые на 50-м году обеспечили прочность бетона выше проектной более чем на 70% на всех участках конструкции, в том числе и в зоне прилива, а также сохранность ар-

матуры при толщине защитного слоя всего в 2 см и отсутствии за полвека каких-либо ремонтов здания ПЭС [9]. Выполненная на ПЭС катодная защита от электрохимической коррозии арматуры в бетоне и гидроэнергетического оборудования позволила сохранить конструкцию ПЭС и его гидроагрегат без каких-либо повреждений в течение 50 лет службы в океанической среде.

Выполненные на ПЭС исследования позволили также создать необрастающие составы бетона, который не обрастает более 10 лет, в отличие от покрытия поверхности лучшими необрастающими красками, которые обрастают уже через 1–2 года [9]. Создана защита от биологического обрастания водоводов ПЭС, позволившая полностью, практически на 100%, защитить турбинный водовод от биологического обрастания на весь срок эксплуатации ПЭС. При этом установка экономически выгодная, т. к. сырьем является сама морская вода, и экологически чистая, т. к. не уничтожает личинки обрастателей, а лишь не позволяет им прикрепляться к поверхности. На выходе из водовода признаков хлора не обнаруживается [12].

Создана прочная и жесткая наплавная конструкция здания ПЭС. Мониторинг по установленным в конструкцию 600 дистанционным приборам позволил сделать заключение об ее исключительной долговечности, т. к. она в течение полувека не имеет никаких повреждений и находится, можно утверждать, в отличном состоянии [15].

В 2017 г. АО «ВНИИГ» установил на Кислогубской ПЭС для натурных испытаний образцы различных марок металла для нужд ВМФ в Арктической зоне (рис. 4). Образцы установлены в наиболее коррозионной зоне на берегу губы Кислая. На ПЭС параллельно также продолжают работы по натурным атмосферным коррозионным испытаниям марок металлов для изготовления арктических видов приборного оборудования ВНИИ телевидения.

Исследования АО «НИИЭС», Института океанологии РАН, НИИ Арктики и Антарктики, НПФ «Эверест» морского льда в бассейне ПЭС и у

здания ПЭС (в суровый 1972 г., когда Мурманское побережье покрывалось льдом), а также в акваториях будущих ПЭС на Белом и Охотском морях позволили сделать вывод о возможности строительства и эксплуатации будущих отечественных ПЭС в условиях замерзающих морей при воздействии на них торосистого льда. Натурные испытания установили возможные нагрузки ото льда на сооружения ПЭС в 30,1–46,8 МН и величину заглубления верхней кромки отсасывающей трубы со стороны моря от подныривания дрейфующего ледяного покрова. Наиболее существенное влияние льда на сооружения ПЭС наблюдается в зоне прилива, где в результате периодического смачивания и напеска происходит намерзание льда на бетонную поверхность. Максимальная толщина намерзшего льда на бетонных поверхностях Кислогубской ПЭС в зиму 1972–1973 г. составила 1,45 м, что значительно увеличивает вес конструкции и может обуславливать отрыв защитного слоя ее железобетонных элементов.

На Кислогубской ПЭС обоснованы конструкция и условия работы ножа продавливания льда для 200-метрового пролета уникального судопропускного сооружения Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений (КЗС). Исследования ледовых условий на Кислогубской ПЭС для строительства и эксплуатации российских морских сооружений позволили обеспечить безопасный перегон в сложных ледовых условиях Финского залива в новогоднюю ночь 1984 г. сверхкрупных наплавных железобетонных блоков (аналог будущих наплавных блоков мощных ПЭС на Белом и Охотском морях) русловых водопропускных сооружений КЗС. Также уникальным был перегон металлического энергоблока малой Мезенской ПЭС с завода «ПО «Севмаш» из г. Северодвинска на Кислогубскую ПЭС: на 1000 км, всего за 4–5 дней, через тяжелые льды горла Белого моря зимой 2006–2007 гг., при штормовом ветре и температурах до -33°C .

В летний период 2016–2017 гг. на ПЭС были продолжены гео-

ботанические экспедиции МГУ им. М. В. Ломоносова, начатые еще в 1968 г., с целью изучения длительного влияния промышленного объекта на состояние растительного сообщества на всей территории ПЭС, причем особое внимание было уделено сохранности легкоранимой природы Крайнего Севера [1]. Наплавной способ строительства ПЭС, когда практически все (до 95%) строительномонтажные работы были выполнены вне территории ПЭС, позволил резко сократить техногенно эксплуатируемую территорию гидроузла и свести к минимуму повреждения растительного покрова около ПЭС. В итоге установлено, что эксплуатация крупного сооружения, выполненного наплавным способом, показывает возможность достижения экологической чистоты взаимодействия промышленной электростанции и окружающей природной территории. Положительное влияние Кислогубской ПЭС на прилегающую к ней территорию позволяет придать всему комплексу статус особо охраняемой природной территории в виде заповедника и рассматривать его в качестве национального парка с возможным включением его в погранично располагаемый Лапландский заповедник.

В отличие от ГЭС, зоопланктон и рыба практически в полном объеме проходят через ПЭС. Так, натурные испытания на Кислогубской ПЭС доказали, что вся рыба (в поперечнике до 25 см, что составляет 96% промысла) без повреждения проходит как через рабочее колесо капсульного гидроагрегата ПЭС при скорости его вращения в 72 об/мин, так и через ортогональную турбину при скорости ее вращения всего 37 об/мин и расстоянии между лопастями типовой турбины 2,1 м.

Работы АО «НИИЭС» позволили создать для ПЭС новую, так называемую ортогональную турбину (ось поперек потока), которая, по существу, решает проблему широкомасштабного использования морских приливов во всем мире [6]. Преимущества ортогональных машин перед традиционными осевыми заключаются, в первую очередь, в простоте форм кон-

струкции турбины: лопасти рабочего колеса прямолинейны, постоянны в сечении, их можно просто нарезать из прокатного профиля, что позволяет вести изготовление турбинных колес в необходимых для крупных ПЭС больших количествах (несколько сот единиц в год) и не на специализированных турбинных заводах, а на заводах общего машиностроения. Кроме этого, турбинная камера и отсасывающие трубы прямоугольны и не имеют лекальных форм, как на ГЭС. Также за счет увеличения более чем в 1,7 раза пропускной способности ортогональной машины в холостом режиме можно значительно уменьшить количество или вовсе отказаться от водопропускных отверстий гидроузла.

На ПО «Севмаш» был изготовлен пионерный образец серийной ортогональной машины с диаметром рабочего колеса турбины 5,0 м, предназначенной для мощных ПЭС. Его установили в типовом наплавном энергоблоке малой Мезенской ПЭС в губе Кислая, где он безаварийно работает с 2007 г. с КПД 72%. Уместно вспомнить, что КПД ортогональных гидроагрегатов за рубежом (Канада, Япония) не превышал 38%, в связи с чем работы по ним были приостановлены. Создание типового наплавного металлического энергоблока размером 33×10×16 м малой Мезенской ПЭС с типовым ортогональным гидроагрегатом диаметром 5,0 м в заводских условиях всего за 5,5 месяцев показывает возможность строительства мощных ПЭС в России и мире из нескольких сот энергоблоков в заводских условиях в уже существующих крупных доках. К примеру, размеры дока Лиснаке в Португалии 520×97 м позволили выпускать до 200 блок-агрегатов всего за 1 год [16]. На Кислогубской ПЭС энергоблок малой Мезенской ПЭС в океанических условиях работает без ремонта уже более 12 лет, а его антикоррозионная защита осуществляется современным лакокрасочным покрытием и установкой сменных протекторов.

На ГЭС на Соловецком острове (1912 г.) устанавливается новый гидроагрегат с ортогональной турбиной, изготовленный на ПО «Севмаш»



Рис. 5. Модель типового наплавного здания для Северной, Мезенской и Тугурской ПЭС

по аналогу ортогональной машины Кислогубской ПЭС.

Мировой океан содержит 5×10^{16} т минералов в растворенном виде и является главным возобновляемым источником минерального сырья для человечества. Исследования по совместной работе ПЭС с извлечением из морской воды ценных микроэлементов были проведены на Кислогубской ПЭС институтом «Гидропроект» с участием Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН. Созданная на Кислогубской ПЭС опытная сорбционная установка была совмещена с заградительной решеткой здания ПЭС, а проведенные на ней работы позволили получить опытные порции урана и золота [11].

На основе опыта наплавного строительства Кислогубской ПЭС во всем мире с 1970-х гг. широко осуществляется сооружение наплавным способом подводных туннелей: построено более 100 подводных наплавных туннелей длиной от сотен метров до 30 км для перехода автодорожного и железнодорожного транспорта. Например, в 1978–1980 гг. с Канонерского острова под Ленинградским каналом сооружен пионерный в России автодорожный наплавной туннель длиной 375 м, состоящий из пяти наплавных железобетонных секций. Именно наплавной туннель исключительно под-



Рис. 6. Ветроэнергетическая установка с ортогональными лопастями, предназначенная для размещения на плотине ПЭС

ходит для перехода через морские проливы и, по сравнению с выполненным мостовым переходом Керченского пролива, по оценке авторов проектов ПЭС, более чем в 8 раз дешевле, а его строительство возможно всего за 2 года! При этом исключаются какие-либо недоразумения с соседними государствами и влияние его работы на изменение параметров моря [18]. Проектируемые переходы через крупнейшие водные преграды на Крайнем Севере в Якутске через р. Лену, в Салехарде через р. Обь и с о-ва Сахалин на материк предлагается рассматривать с использованием Кислогубского опыта и канонерского туннеля с сооружением наплавных подводных туннелей.

На основе опыта Кислогубской ПЭС и пристыкованного к нему энергоблока малой Мезенской ПЭС в 2007–2010 гг. в АО «НИИЭС» с участием АО «Мособлгидропроект» и МГСУ были разработаны проекты Северной ПЭС в губе Долгая Баренцева моря и Мезенской ПЭС на Белом море (рис. 5).

Пионерные в России стандарты по приливным электростанциям по определению нагрузок и требований к безопасности сооружений ПЭС (ГОСТ Р55615.1-2013) были разработаны и введены в 2013 г. благодаря, главным образом, опыту производства инженерных изысканий, проектирования,

Табл. 1. Затраты на морскую энергетику

Электростанции	Тип станции	Энергоустановки (страна)	Год пуска (проекта)	Капзатраты, \$/кВт. тыс.			
				На год пуска (проекта)	По данным (IEA)*		
					2007	2020	
1	2	3	4	5	6	7	
Морские	Приливные напорные	Действующие	Ранс (Франция) пионерная в мире	1966	2,32 тыс. франк	-	-
			Кислогубская пионерная в России	1968	22,98	-	2,20
			Аннаполис (Канада)	1984	28,00		
			Типовой энергоблок (Россия)	2007	9,90		
			Сихва (Ю. Корея)	2011	2,50		
	Проектируемые	Мезенская (Россия)	(2007)	(2,35)			
		Северн (Англия)	(2010)	(2,20)			
		Сан-Хосе (Аргентина)	(2008)	(2,08)			
		Свободно поточные (на течениях)	Seaflow (Англия) пионерная в мире	2003	18,00	-	-
			AK100 Шотландия	2010	25,00		
ПЭС в Британии (Франция)	2012		6,90				
Пионерная в России (проект)	(2018)		(5,0)				
Волно-напорные	Пионерная в России (проект)	2014	-	-	-		
	Мацдонелл (Австралия)	2006	8,00	-	-		
	Напорные ГЭС	Канкунская (Якутия, Россия)	(2011 г., Ленгидропроект)	7,17 (без НДС)	-	-	
ГЭС Европы (более 70 МВт)		2007	-	4,04*	-		
ГЭС Европы (от 9 до 70 МВт)		2007	-	8,08**	-		

* Данные Международного энергетического агентства (IEA).

** Данные президента Ассоциации по малой энергетике Европы Б. Пеликана (Австрия).

строительства и 50-летней безаварийной эксплуатации Кислогубской ПЭС.

Также на основе опыта Кислогубской ПЭС создана пионерная в России волновая энергетическая установка (ВолнЭС). Ее номинальная мощность составляет 30 кВт при расчетной высоте волны 2 м с периодом 7–12 с. Общая высота конструкции 16,5 м, габаритный диаметр воздушной камеры 6 м, общая масса установки 150 т. В 2013 г. ВолнЭС установлена в Баренцевом море у о-ва Кильдин [20].

Наплавной способ по опыту Кислогубской ПЭС был использован и при разработках в РНЦ «Курчатовский институт» проекта «неограниченного» продления срока службы АЭС путем осуществления реакторного отделения АЭС в виде наплавного здания и замены его по окончании срока службы реактора [5]. Сегодня совместно с Курчатовским институтом ведется разработка про-

мышленной технологии получения на ПЭС водорода. Циклическая приливная энергия может эффективно использоваться с помощью энергоемкого потребителя-регулятора, продукция которого пользуется устойчивым спросом. В настоящее время такими потребителями-регуляторами ПЭС, способными работать в дискретном режиме, являются энергоемкие и малоинерционные процессы электролиза воды с целью получения водорода, крайне необходимого для экономии дефицитного углеродного топлива и создания систем запаса произведенной энергии. Фактически эта инновационная технология запасаает энергию ПЭС в водороде. Для Кислогубской ПЭС разработан проект экспериментального водородного комплекса с целью отработки технологий производства, хранения и транспортировки водорода на основе ПЭС как энергоисточника дискрет-

Табл. 2. Действующие приливные электростанции (ПЭС) в России и мире

№№	Название ПЭС (страна)	Мощность, МВт	Год пуска (проекта)	Макс. высота прилива, м	Способ строительства	Материал	Габаритные размеры здания ПЭС, длина × ширина × высота, м	Глубина створа, от ТНГ, м	Объем бетона, тыс. м ³	Тип гидроагрегата, фирма (количество), диаметр колеса, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Ранс (Франция)	240,0	1966	13,5	В перемычках	Железобетон	332,5×53,54×25,05	12	350	капсульный «Нейрпик», (20), 5,35
2	Кислогубская (Россия)	1,7	1968	3,96	Наплавной	Железобетон	36×18,3×15,35	8,5	1,8	капсульный «Нейрпик», (1), 3,3
										ортогональный горизонтальный, (1), 2,0
										ортогональный вертикальный, (1), 5
3	Цзяньсянь (Китай)	3	1980	8,93	В перемычках	Железобетон	56,9×45×25	5,1	10	капсульный, (5), 2,5
4	Аннаполис (Канада)	20	1964	8,7	В перемычках	Железобетон	46,5×24×30	10	24	«Страфло», (1), 7,6
5	Малая Мезенская ПЭС (Россия)	1,5	2007	3,96	Наплавной	Металл	33×10×15	8,5	1,02*	ортогональный, (1), 5
6	Сихва (Южная Корея)	254,0	2011	7,8	В перемычках	Железобетон		–	20	капсульный, (10), 7,5

* При совмещении с ВолнЭС.

ного действия, что позволяет полностью решить и проблему использования ПЭС в солнечном времени без сооружения дополнительной ГАЭС, а также использовать водород в структуре энергообеспечения [19].

В настоящее время в СПКТБ «Мосгидросталь» АО «Трест Гидромонтаж» по авторскому патенту Ю. Б. Шполянского и Б. Л. Историка с использованием кислогубского опыта осуществляется создание экспериментальной пионерной свободно-поточной наплавной энергоустановки на морских (приливных) и речных течениях [21].

ПЭС выгодно совмещать не только с волновыми энергоустановками, но и с возможным размещением на ее плотине солнечных панелей. В настоящее время на Кислогубской ПЭС установлены стандартные солнечные панели. При их площади в 7,44 м² максимальная выдача электроэнергии составила 14 кВт*ч/сут, а среднесуточная годовая 5 кВт*ч/сут. — и это при наличии на ПЭС полярной ночи и всего одиннадцати (по нормативу) полностью солнечных дней в году.

Также на Кислогубской ПЭС рассматривается совмещение работы ПЭС с работой размещаемых на ее плотине ветровых энергетических установок с ортогональными воздушными турбинами (рис. 6).

Для сооружения наплавных энергоблоков для энергоснабжения отдаленных объектов на шельфе арктических и дальневосточных морей России необходимо воспользоваться успешным полувековым опытом эксплуатации в Арктике Кислогубской ПЭС. Доставка энергоблоков на плаву возможна за тысячи километров всего за 3–5 суток с посадкой за считанные часы в необходимом месте побережья на неподготовленное основание без применения водолазных работ [10].

Полный архив по морской энергетике России, в том числе по Кислогубской ПЭС, охватывающий 1927–2018 гг., собранный главными инженерами проектов ПЭС Л. Б. Бернштейном и И. Н. Усачевым, сохраняется в СПКТБ «Мосгидросталь» АО «Трест Гидромонтаж» и работает на будущие проекты морской энергетике России. Книга «Приливные электростанции» Л. Б. Бернштейна и специалистов, создававших Кислогубскую ПЭС, издана на русском, английском и китайском языках и признана современным классическим руководством для проектирования ПЭС во всем мире [3].

В 1991 г. на Кислогубской ПЭС был проведен Международный симпозиум по приливным электростанциям, в работе которого приняли участие ведущие зарубежные специалисты по ПЭС из США, Великобритании, Кана-

ды, Франции, Республики Кореи, России. Работы, осуществляемые на Кислогубской ПЭС, по освоению энергии Мирового океана экспонировались на Всемирных выставках ЭКСПО: в Португалии (1998), Германии (2000), Японии (1976, 2005), Испании (2008), Китае (2010) и Республике Корея (2012).

Говоря об экономической составляющей, следует отметить, что стоимость Кислогубской ПЭС в 1968 г. составила \$22,0 тыс./кВт, а стоимость также экспериментальной ПЭС Аннаполис в Канаде, выполненной в 1984 г. не наплавным, а классическим способом «за перемычками», составила \$28,0 тыс./кВт.

Создание для ПЭС нового ортогонального гидроагрегата российского производства и заводской способ изготовления опытного наплавного блока малой Мезенской ПЭС обеспечили кардинальное снижение стоимости ПЭС до \$9,9 тыс./кВт. Эту стоимость также можно считать завышенной по двум причинам. Во-первых, энергоблок изготавливался на ПО «Севмаш» из дорогостоящего металла, поставляемого в центр для специализированных объектов. Во-вторых, лопасти нового ортогонального гидроагрегата изготавливались вручную на специализированном станке, а не прокатным способом, как предусматривается для типовых ПЭС. К примеру, стоимость проекта промышленной Северной

Табл. 3. Перспективные створы размещения. Состав и параметры приливных электростанций предоставлены Мировым энергетическим советом

№№	Страна	Наименование ПЭС	Средняя величина прилива (м)	Площадь бассейна ПЭС (км ²)	Установленная мощность ПЭС (МВт)	Ежегодная выработка
1	2	3	4	5	6	7
1	Аргентина	San Jose	5,8	778	5040	9,4
2		Golfo Nuevo	3,7	2376	6570	16,8
3		Rio Deseado	3,6	73	180	0,45
4		Santa Cruz	7,5	222	2420	6,1
5		Rio Gal legos	7,5	177	1900	4,8
6	Австралия	Secure Bay (Berby)	7,0	140	1480	2,9
7		Walcott Inlet	7,0	260	2800	5,4
8	Канада	Cobequid	12,4	240	5338	14,0
9		Cumberland	10,9	90	1400	3,4
10		Shepody	10,0	115	1800	4,8
11	Индия	Gulf of Kutch	5,0	170	900	1,6
12		Gulf of Khambat	7,0	1 970	7000	15,0
13	Южная Корея	Garolim	4,7	100	400	0,836
14		Cheonsu	4,5	–	–	1,2
15	Мексика	Rio Colorado	6–7	–	–	5,4
16	Англия	Severn	7,0	520	8640	17,0
17		Mersey	6,5	61	700	1,4
18		Duddon	5,6	20	100	0,212
19		Wyre	6,0	5,8	64	0,131
20		Conwy	5,2	5,5	33	0,060
21	США	Pasama-guoddy	5,5	–	–	–
22		Knik Arm	7,5	–	2900	7,4
23		Turnagain Arm	7,5	–	6500	16,6
24	Российская Федерация	Mezen	6,7	2640	15000	45
25		Tugur	6,8	1080	7800	16,2
26		Penzhinsk	11,4	20530	87400	190

ПЭС в России в 2010 г. была оценена в \$7,25 тыс./кВт, а стоимость мощной Мезенской ПЭС в том же 2010 г. в стадии проектирования «Обоснование инвестиций» составила всего \$2,35 тыс./кВт.

В 2011 г. была пущена в эксплуатацию новая промышленная ПЭС Сихва в Республике Корея, ее стоимость составила \$2,5 тыс./кВт, а стоимость проектного предложения сооружения ПЭС Сан-Хосе на п-ве Вальдес в Аргентине мощностью 4,0 ГВт была оценена в \$2,08 тыс./кВт.

Показательно, что стоимость электроэнергии на первой в мире промышленной ПЭС Ранс во Франции (введена в эксплуатацию в 1966 г.) дешевле, чем стоимость электроэнергии в энергосистеме на всех других типах электростанций — ГЭС, ТЭС и АЭС.

Для сравнения стоимости сооружения современных мощных ГЭС и ПЭС можно привести проект Канкунской ГЭС в Якутии мощностью в 1,0 ГВт, удельная стоимость проекта которой в ценах 2011 г. (без НДС) составила

\$7,17 тыс./кВт. По оценке Международного энергетического агентства (IEA), капитальные вложения на 1 кВт мощности в строительство ПЭС на 2020 г. оцениваются в \$2,2 тыс./кВт, а на традиционную гидроэнергетику в \$2,5 тыс./кВт. (табл. 1) [14]. В настоящее время в мире работают шесть приливных электростанций (табл. 2), рассматривается Мировым энергетическим советом (МИРЭС) к проектированию и сооружению 26 ПЭС (табл. 3).

Заключение

На Арктическом побережье в губе Кислая Баренцева моря 50 лет работает первая в России приливная электростанция — Кислогубская ПЭС им. Л. Б. Бернштейна. ПЭС впервые в мировой гидроэнергетической практике сооружена наплавным способом, признана в мире одним из выдающихся сооружений XX в., единственным долговечным крупным бетонным сооружением в районах Арктики, является единственной в стране морской

энергетической научной базой и состоит на государственном учете как памятник науки и техники России.

На Кислогубской ПЭС впервые в мировой практике решены проблемы долговечности в арктической океанической приливной среде строительных материалов и их защиты от электрохимической и биологической коррозии, созданы новые отечественные ортогональные гидроагрегаты, превосходящие классические осевые гидроагрегаты по энергетике, экологии и экономике, а также разработаны технологии получения на ПЭС из морской воды ценных микроэлементов (уран, золото, калий) и водорода.

На основе Кислогубской ПЭС разработаны проекты уникальных сооружений и конструкций: Северной, Мезенской и Тугурской ПЭС, водопропускные русловые сооружения КЗС Санкт-Петербурга, где определена возможность работы затвора уникального 200-метрового судопропускного шлюза при ледовом покрове; пионерный в России переход высоко-

вольтной линии электропередач через протяженные водные преграды; наплавной энергоблок малой Мезенской ПЭС — типовой для локального энергетического обслуживания Северного морского пути, арктических нефтяных месторождений и использования в оборонных целях.

По инновационным технологиям, разработанным на Кислогубской ПЭС, создана и установлена в Баренцевом море у о-ва Кильдин пионерная в России волновая энергетическая установка и выполняется изготовление пионерной свободно-поточной (на приливных течениях) энергоустановки.

В результате полувековой эксплуатации Кислогубской ПЭС установлена экологическая чистота взаимодействия промышленной электростанции и окружающей природной среды, что позволяет придать всему комплексу «Кислогубская ПЭС — территория» статус особо охраняемой в виде заповедника и рассматривать ее как национальный парк с включением в погранично располагаемый Лапландский заповедник.

Апробированные на Кислогубской ПЭС технологии сделали ПЭС конкурентными ГЭС, что позволяет сегодня приступить к широкомасштабному использованию приливной энергии, потенциал которой оценивается в 4000 ГВт и совпадает с запасами речного энергетического потенциала.

Литература

1. Баринов О. Г., Барина М. А. Геоботанические исследования влияния Кислогубской ПЭС на окружающую природную среду (1968–2016 гг.) // Гидротехника. 2017. № 3. С. 46–52.
2. Бернштейн Л. Б., Гельфер С. Л., Усачев И. Н. и др. Приливные электростанции. М.: Гидропроект, 1994; Сеул, Корея, KORDI (на английском языке), 1996; Ханчжоу, Китай, MANGYOO (на китайском языке), 1996.
3. Бернштейн Л. Б., Усачев И. Н., Гаврилов В. Г. и др. Кислогубская ПЭС. М.: Энергия, 1972.
4. Бернштейн Л. Б., Усачев И. Н., Иванов Ф. М., Гончаров В. В. Устройство наплавных фундаментов перехода ЛЭП через Каховское водохранилище // Бетон и железобетон. 1980. № 7.
5. Велихов Е. П., Галустов К. З., Усачев И. Н. и др. Способ возведения крупноблочного сооружения в прибрежной зоне водоема и плавкомплекс для осуществления способа (многократное продление службы АЭС), патент РФ № 2195531, БИ № 36, 2002.
6. Историк Б. Л., Усачев И. Н., Шполянский Ю. Б. Новый ортогональный гидроагрегат для приливных электростанций на Кислогубской ПЭС // Гидротехническое строительство. 2007. № 4. С. 24–30.
7. Марфенин Н. Н., Малютин О. И., Усачев И. Н. Влияние приливных электростанций на окружающую среду. МГУ им. М. В. Ломоносова, 1995.
8. Михайлов Л. П., Бернштейн Л. Б., Усачев И. Н. и др. Наплавные конструкции защиты Ленинграда от наводнения (проект и осуществление) // Энергетическое строительство. 1985. № 11.
9. Розенталь Н. К., Усачев И. Н., Галашов А. В. Долговечность железобетонного здания Кислогубской ПЭС в Арктике // Технологии бетона. 2014. № 1. С. 22–26.
10. Усачев И. Н. Автономные комплексные энергетические установки для побережья Северного Ледовитого океана // Региональная энергетика и энергосбережение. 2018. № 1.
11. Усачев И. Н. Кислогубская ПЭС — морская научная база по обоснованию энергетического обеспечения арктического побережья России. М.: Региональная энергетика и энергосбережение, 2017.
12. Усачев И. Н. Морские энергетические установки // Новое в российской электроэнергетике. 2016. № 9. С. 51–76.
13. Усачев И. Н. Приливные электростанции // Энциклопедия систем, поддерживающих жизнь. Том ЕЗ-08-05, ЮНЕСКО, Оксфорд, 2003 (на англ. языке).
14. Усачев И. Н. Стоимость современных проектов по морской возобновляемой энергетике // Региональная энергетика и энергосбережение. 2018. № 3.
15. Усачев И. Н., Историк Б. Л., Шполянский Ю. Б. Мониторинг морской энергетической установки на Арктическом побережье и перспективы крупномасштабного использования приливной энергии // Гидротехническое строительство. 2004. № 7.
16. Усачев И. Н., Шполянский Ю. Б., Историк Б. Л. и др. Сооружение типового наплавного энергоблока для ПЭС // Гидротехническое строительство. 2004. № 9.
17. Усачев И. Н. Новые эффективные технологии переработки морской воды на приливных электростанциях // Новое в российской электроэнергетике. 2015. № 9. С. 23–31.
18. Усачев И. Н., Историк Б. Л. Наплавной туннель в Крым за два года // Гидротехника. 2016. № 2. С. 30–34.
19. Усачев И. Н., Шполянский Ю. Б., Историк Б. Л. и др. Приливные электростанции (ПЭС) — источник энергии, запасаемый в водороде // Малая энергетика. 2008. № 1–2.
20. Шполянский Ю. Б., Историк Б. Л., Соболев В. Ю., Усачев И. Н., Городничев Р. М. Пионерная российская волновая электростанция с низконапорной воздушной ортогональной турбиной // Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности: международный форум, сборник. М.: РАН, 2013. С. 406–407.
21. Шполянский Ю. Б., Историк Б. Л. Свободно-поточная турбина с концентратором энергии потока и гидроагрегат с такой турбиной. Патент на изобретение РФ № 2642717 С1, опубликован БИ № 3, 2018.

СПКТБ «МОСГИДРОСТАЛЬ»



123423 г. Москва,
Карамышевская наб., 37
Тел.: +7 (495) 788-96-84
(доб. 3534, 3526)
Моб. + 7 (926) 291-18-03

E-mail: mgst-project@mosgidrostal.ru

WWW.MGS.TREST-HIDRO.RU

Специальное проектное и конструкторско-технологическое бюро «Мосгидросталь» (СПКТБ «Мосгидросталь») — филиал АО «Трест Гидромонтаж» создано в 1934 г. и продолжает оставаться одной из ведущих проектных организаций.

На сегодняшний день СПКТБ «Мосгидросталь» является лидирующей инженеринговой компанией, осуществляющей комплексное проектирование уникальных конструкций и оборудования для гидротехнических сооружений и объектов гражданского строительства.

СПКТБ «Мосгидросталь» разрабатывает проектно-конструкторскую документацию для производства специальных стальных конструкций и механического оборудования для тепловых, атомных и гидроэлектростанций, судоходных, мелиоративных и других гидросооружений в России, странах СНГ и зарубежья. Выполняет полный комплекс проектно-исследовательских работ для объектов промышленного и гражданского назначения.

За годы успешной деятельности по разработанным нашими специалистами инновационным и конструкторским проектам построено более 600 гидротехнических, энергетических, гидромелиоративных, судоходных и промышленных объектов. В нашей команде трудятся профессионалы высокого класса с многолетним опытом работы.

СПКТБ «Мосгидросталь» — проверенный временем и надежный бизнес-партнер. Приглашаем вас к долгосрочному и взаимовыгодному сотрудничеству! Мы с интересом рассмотрим предложения о совместной работе, которая поможет наладить новые деловые контакты.

Наши конкурентные преимущества — сроки, стоимость и качество выполнения проектных работ любой сложности.

УВИДЕТЬ АРХИТЕКТУРУ БУДУЩЕГО. ОПЫТ АО «УКБП» В РАЗРАБОТКЕ И ВНЕДРЕНИИ САУГ МАЛЫХ ГЭС

Дороднов В. В.,
главный конструктор
АО «УКБП»

Катаев А. В.,
и. о. начальника отдела
НИО-51 АО «УКБП»

Мурзаков Д. Г.,
инженер-исследователь
отдела НИО-51 АО «УКБП»

Аннотация. Представлены инженерные решения автоматизации малых ГЭС, разработанные Ульяновским конструкторским бюро приборостроения за 12 лет работы в данном направлении. Показана инновационная разработка стойки управления гидроагрегатом, выполненная для Белопорожских ГЭС и обеспечивающая управление их работой в полностью автоматизированном режиме.

Ключевые слова: малые ГЭС, автоматизация ГЭС, системы автоматического управления гидроагрегатом.

В сентябре 2018 г. исполняется 12 лет со дня пуска в промышленную эксплуатацию Ульяновской малой ГЭС-1 (2×0,63 МВт). Это первая станция, которая открыла для Ульяновского конструкторского бюро приборостроения (УКБП) возможность изготовления оборудования для АСУ ТП малых ГЭС в череде последующих вновь вводимых и модернизируемых станций.

К сентябрю 2007 г. предприятие накопило значительный опыт в разработке и производстве цифровых систем управления для малых ГЭС. Нами был проведен подробный анализ развития таких систем отечественного и зарубежного производства и определены тенденции их дальнейшего развития. В связи с этим, для ускорения разработки и наладки цифровых систем регулирования гидротурбин, подтверждения требуемых гарантий регулирования, а также проведения заводских испытаний и сдачи оборудования заказчику, на базе АО «УКБП» одними из первых в России были созданы математические и моделирующие стенды.

К этому времени нами уже были реализованы проекты в гидроэнергетике: совместно с АО «ТЯЖМАШ» разработан и внедрен на Волжской ГЭС (ГА № 23) первый в России цифровой регулятор гидротурбин с прямым воздействием на главный золотник управления и аварийной остановкой гидроагрегата при пропадании электропитания; сдана в промышленную эксплуатацию комплексная цифровая система управления и сигнализации гидроагрегатами №№ 1–3 Гунибской ГЭС (3×5,0 МВт) в Республике Дагестан с передачей информации на верхний уровень управления.

Итогом начатой в АО «УКБП» на тот период работы стали типовые подходы и архитектуры управления для крупных, средних и малых ГЭС. Для крупных ГЭС (более 40 МВт) — это цифровые 100% резервируемые архитектуры управления с гидравлическим приводом; для средних ГЭС (от 5 до 40 МВт) — цифровая система с двумя контроллерами (основным и резервным) и гидравлическим приводом; для малых ГЭС (менее 5 МВт) — цифровая система с одним

SHAPING ARCHITECTURE OF THE FUTURE.

EXPERIENCE OF UIMDB JSC IN DESIGNING AND COMMISSIONING OF HYDROPOWER UNIT CONTROL SYSTEM AT SMALL-SCALE HPPS

V. Dorodnov, Design Manager, UIMDB

A. Kataev, Interim Director, R&D Department 51, UIMDB

D. Murzakov, Research Engineer, R&D Department 51, UIMDB

Abstract. The authors review engineering solutions for automation of small-scale HPPs that have been developed for the past 12 years now by Ulyanovsk Instrument Manufacturing Design Bureau and introduced the innovative hydropower unit control console designed for the Belorophorzhsky HPPs, which enables fully automated control and management of the facilities operations.

Keywords: small-scale HPPs, automation of HPPs, hydropower unit control system.



Рис. 1. Структурная схема САУГ малой ГЭС



Рис. 2. Мухольская малая ГЭС

контроллером и гидравлическим или электрическим приводом.

Типовая архитектура построения системы автоматического управления гидроагрегатом (САУГ) малых ГЭС первого поколения к тому времени была определена и имела решение, представленное на рис. 1.

САУГ малой ГЭС предназначена для работы как в общую энергосеть, так и на изолированную нагрузку и состоит из стойки управления гидроагрегатом малой ГЭС (СУГ-1М) в комплекте с электроприводом прямоходным (ЭРП) или гидростанцией (ГС) с воздействием на направляющий аппарат. В комплекте поставлялась цифровая система возбуждения генератора.

САУГ малой ГЭС, как правило, комплектовалась беспроводной системой дистанционного управления (СДУ) с единой точкой контроля и управления несколькими (каскадом) ГЭС. Исходя из конкретных условий эксплуатации, месторасположения электростанции и предпочтения заказчика,

система СДУ малых ГЭС применялась с использованием цифровой сети передачи данных WiMAX, сети Ethernet на базе оптоволоконного (медного) кабеля, сети GSM с предоставляемой услугой 3G/4G, радио или спутникового канала связи.

За прошедшие годы после внедрения САУГ Ульяновской малой ГЭС за нашими плечами более десятка успешно реализованных по типовой архитектуре САУГ малых ГЭС проектов на объектах гидроэнергетики России и за рубежом. Наиболее значимые среди них — Магинская (2×0,63 МВт); МГЭС «Коконуко» в Колумбии (1×3,2 МВт), Мухольская (2×0,45 МВт, рис. 2), МГЭС «Большие Зеленчуки» (2×0,65 МВт), Ульяновская МГЭС-2 (2×0,25 МВт), Быстринская МГЭС-4 (2×0,57 МВт), Эшкакская (1×0,60 МВт), Краснополянская



Рис. 3. Стойка СУГ-2М Белопорожских ГЭС-1 и ГЭС-2 в период заводских испытаний

(4×8,0 МВт), Зюраткульская (1×3,7 МВт), Томская (1×1,0 МВт), Красноярская (1×0,8 МВт), Верхне-Русская ГЭС-33 (2×1,2 МВт).

В конце 2017 г. специалистами АО «УКБП» завершено изготовление, пуско-наладочные работы и запланирован ввод в эксплуатацию двух комплектов оборудования САУГ Белопорожских ГЭС-1 и ГЭС-2 (2×13,0 МВт).

В данном проекте АО «УКБП» выступило идеологом, разработчиком и производителем оборудования САУГ малых ГЭС второго поколения. Накопленный опыт в процессе разработки и эксплуатации малых, средних и крупных ГЭС позволил при классической архитектуре САУГ малых ГЭС внедрить новые решения в стойку управления гидроагрегатом СУГ-2М.

Стойка СУГ-2М (рис. 3) построена на базе нового, более производительного контроллера, для удобства обслуживания и предоставления информации в стойке расширены функции диагностики и сигнализации, применяемые в САУГ средних ГЭС. СУГ-2М совмещает в себе функции регулирования, автоматики и защит гидроагрегата и является главным средством ведения оперативным персоналом технологического процесса во всех режимах функционирования ГЭС.

Можно с уверенностью сказать, что за счет применения заложенной в предыдущих проектах архитектуры управления, современной высоконадежной элементной базы, средств передачи данных и новых алгоритмов управления оборудование Белопорожских ГЭС-1 и ГЭС-2 будет надежно работать в полностью автоматическом режиме.

Тенденции развития АСУ ТП для гидроэнергетики нам очевидны, и основная цель ОАО «УКБП» — активное участие в модернизации российской гидроэнергетики, ее оснащение самым передовым оборудованием и инновационными решениями, отвечающими или превосходящими мировые стандарты и отраслевые требования.



УКБП

432071 г. Ульяновск, ул. Крымова, 10 «а»
Тел. (8422) 43-36-30
Факс (8422) 41-33-84
E-mail: inbox@ukbp.ru, hydro@ukbp.ru
www.ukbp.ru



15 - 16
ноября 2018 г.



XII НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии

ПРЕДПОЛАГАЕМАЯ ТЕМАТИКА секций и круглых столов

Секции

1. Оборудование ГЭС и ГТС
2. Гидравлические исследования ГТС
3. Бетонные и железобетонные конструкции ГТС
4. Грунтовые ГТС и основания
5. Гидротехнические сооружения ТЭС, АЭС и промышленных предприятий
6. Новые материалы и технологии в гидротехническом строительстве
7. Экологические проблемы энергетики и гидротехники

Круглые столы

1. Обеспечение безопасности ГТС
2. Инвестиционная привлекательность строительства объектов гидроэнергетики

УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ

Организационные взносы не предусмотрены

Заявки на участие в работе Конференции и заказ мест в гостинице просим присылать до **01 ноября 2018 г.**

Резюме докладов объемом не более 1,5 страниц (2700 знаков, doc.) должно быть представлено до **12 октября 2018 г.** по электронной почте.

Просим указывать тематику секций и круглых столов.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ

АО «ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева» (Гжатская ул., 21)

АО «Ленгидропроект» (пр.Испытателей, 22)

Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого, Научно-исследовательский корпус
(ул. Политехническая, 29, лит.АФ)

СЕКРЕТАРИАТ КОНФЕРЕНЦИИ:

195220, Санкт-Петербург
ул. Гжатская, 21

Тел.: (812) 535-54-45

(812) 493-93-34

(812) 493-93-95

Факс: (812) 535-67-20

E-mail: ntk@vniig.ru

<http://www.vniig.rushydro.ru/ntk>



РусГидро



РусГидро
ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева



РусГидро
Ленгидропроект



Ассоциация
«Гидроэнергетика России»



ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого



ГИДРОЭНЕРГЕТИКА БАЛКАНЫ



II Ежегодный международный саммит и выставка
6–8 ноября 2018, Будва, Черногория

**300+ руководителей ГЭС, инвесторы,
инициаторы инвестиционных проектов**

Среди докладчиков и почетных гостей 2017:



Зоран Павловски,
Государственный секретарь,
Министерство экономики Македонии



Андрей Петрисор Майорену,
Государственный секретарь,
Министерство энергетики Румынии



Клемен Потисек,
Государственный секретарь,
Министерство инфраструктуры Словении



Фатир Берзати,
Заместитель министра,
Министерство экономического развития Косово



Миодраг Канович,
Генеральный директор по дирекции энергетики,
Министерство экономики Черногории



Деян Дивак,
Президент совета директоров,
Jaroslav Cerni Institute

SUMMIT HIGHLIGHTS 2018:

- **Технические визиты** на гидроэлектростанции Черногории, которые будут реконструированы в ближайшие 5 лет
- **Стратегическая пленарная сессия:** планы по строительству и реконструкции ГЭС Балканского региона на период 2019-2022
- **СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФОКУС!** Новости и последняя информация о знаковых проектах строительства и реконструкции ГЭС на Балканах
- **Практические примеры** от компаний, успешно реализующих проекты строительства, модернизации и эксплуатации ГЭС региона
- **Эксклюзивная выставка:** Инновационные решения и оборудование для гидроэнергетических проектов
- **Роуд шоу:** Представление передовых решений в области гидроэнергетики
- **Беспрецедентные возможности делового общения:** торжественный ужин, круглые столы с шампанским, встречи один-на-один

Среди участников наших мероприятий:

Бронзовый спонсор 2018:

VOITH ANDRITZ Hydro

Партнеры тех. визитов 2017:

Verbund kesh

Спонсоры 2017:

DUYHOFF BLANSKO

Экспоненты 2017:

aim&sir

SEVINC

auma

IAV

Среди участников 2017:



Следите за новостями:



Получите полную программу саммита на сайте:

www.hydropowerbalkans.com

events@vostockcapital.com

+44 207 394 30 90

+7 (499) 505 1 505

РАЗМЕРЫ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОРОНКИ ОСЕДАНИЯ ОТ ВЕСА КРУПНОГО ВОДОХРАНИЛИЩА



Тетельмин В. В.,

д. т. н., профессор Российского университета дружбы народов, зам. председателя Всероссийского общества охраны природы

Аннотация. Выполнен анализ особенностей формирования воронки оседания земной поверхности от веса крупных водохранилищ при нарушении изостатического равновесия земной коры. На примере водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС выполнены расчеты вертикальных перемещений земной поверхности. Показаны свойства структурных элементов земной коры в районе СШГЭС.

Ключевые слова: водохранилище, земная кора, прогиб, упругость, вязкость, воронка оседания.

Введение

Создание крупных водохранилищ изменяет не только гидрологический и климатический режимы района строительства, но и запускает мощные глубинные геодинамические процессы в большом объеме горных пород. К ним относятся процессы массо- и теплопереноса в геологической среде, нарушение изостатического равновесия всей толщи земной коры и навешенные сейсмические события. Обозначенные процессы — это источники риска аварий, энергетическими донорами которых являются водохранилища. На Земле создано около 50 искусственных водохранилищ весом более 25 млрд т, каждое из которых формирует мощную гравитационную нагрузку на земную кору.

В невозмущенном состоянии упругая земная кора «плавает» в подстилающем вязком мантийном веществе и находится в состоянии изостатического равновесия. Границей раздела между двумя оболочками литосферы, принципиально различными по своей структурной организации, — упругой земной корой и верхней

мантией — является преломляющая граница Мохо, залегающая на глубинах от 20 до 60 км. Механизм изостатического уравнивания блоков земной коры объясняется перетеканием вязкого подкорового мантийного вещества, представляющего собой астеносферу — аморфную частично расплавленную массу, через которую проходят поперечные сейсмические волны. Астеносфера является регулятором тектонических движений блоков литосферы и обуславливает амортизацию движений земной коры, вызванных изменением гравитационной нагрузки.

Существует уникальный пример [1, 7] проведения геодезических работ на гидроузле Гувера на р. Колорадо (США). В 1935 г. перед началом заполнения водохранилища объемом 35 км³ была проведена высокоточная нивелировка по нескольким линиям, общая длина которых составляла 1140 км. Каждое повторное нивелирование геодезической линии обнаруживало изменения в высоте определенной отметки. В 1941 г., сразу после наполнения водохранилища, создавшего

THE PROCESS AND EXTENT OF SUBSIDENCE CRATER FORMATION BY OWN WEIGHT OF A LARGE RESERVOIR

V. Tetel'min, D. Eng. Sc, Professor, PFUR, Deputy Chairman of the All-Russian Society for Nature Conservation (VOOP)

Abstract. Analysis peculiarities of settlement funnel formation of the Earth's surface from the weight of large water reservoirs at isostatic balance disorder was performed. The authors present calculations of vertical displacements of the earth's surface based on the reservoir behavior of the Sayano-Shushenskaya Dam and show the properties of the structural elements of the earth's crust in the Dam area.

Keywords: water reservoir, Earth's crust, resilience, viscosity, settlement funnel.

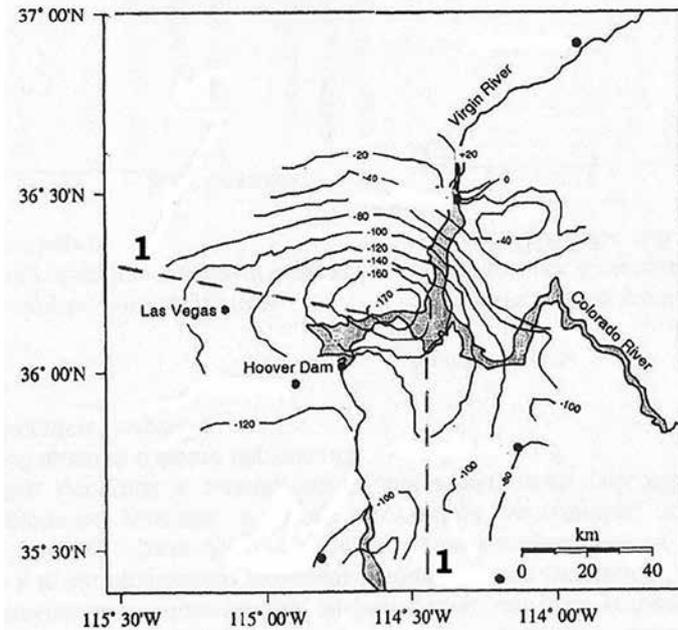


Рис. 1. Относительная осадка (мм) поверхности в районе водохранилища Гувера между 1935 и 1950 гг. 1 — один их ходов повторного нивелирования

удельную линейную нагрузку на земную кору $P = 3500 \text{ МН/м}$, нивелирование повторили. Измерения показали, что на тот момент максимальное вертикальное перемещение земной поверхности составило 120 мм.

В 1950 г. была выполнена третья нивелировка (рис. 1), в 1963 г. проведено четвертое геодезическое исследование. К 1950 г. общая амплитуда вертикальных перемещений достигла 170 мм, а к 1963 г. составила 200 мм. Следовательно, за 24 года эксплуатации гидроузла амплитуда вязкого погружения ложа водохранилища составила 80 мм, а радиус прогиба (воронки оседания) земной коры составил не менее 70 км. К этому времени процесс погружения земной коры еще не завершился: скорость погружения составляла 2,3 мм/год.

Создаваемая крупными водохранилищами гравитационная нагрузка выводит земную кору из состояния

равновесия (изостазии), что реализуется в формировании многолетних вертикальных перемещений земной поверхности. Чтобы дать надежный прогноз работы комплекса «плотина — водохранилище», необходимо представлять количественную сторону погружения толщи земной коры в вязкое мантийное вещество под действием веса водохранилища. С этой целью были выполнены расчеты вертикальных перемещений земной поверхности применительно к условиям водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) на р. Енисей мощностью 6400 МВт. Арочная плотина высотой 242 м образует водохранилище длиной 312 км, объемом 30,7 млрд м³ с площадью зеркала 621 км².

Параметры земной коры и мантийного вещества

В табл. 1 представлены свойства структурных элементов земной коры в районе Саяно-Шушенской ГЭС [2].

В расчетных моделях земная кора представляется в поперечном разрезе в виде упругой плиты или бесконечной балки единичной ширины, с изгибной жесткостью (EJ), где E — эффективный модуль упругости земной коры, значение которого в границах толщи коры может изменяться в пределах $(2-10) \cdot 10^4 \text{ МПа}$; J — момент инерции сечения. Значение изгибной жесткости многослойной земной коры может изменяться в пределах $(5-35) \cdot 10^{22} \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ [3].

В работах [7, 8] приводятся расчеты эффективной толщины h упругой земной коры и динамической вязкости μ подстилающего мантийного вещества в разных районах Земли. Например, расчеты, выполненные по осадкам земной поверхности в районе водохранилища Гувера на р. Колорадо (США), дали следующие результаты: толщина земной коры $h = 30 \text{ км}$; вязкость подстилающей мантии $\mu = 10^{18} \text{ Па} \cdot \text{с}$. По данным постледникового смещения области, расположенной в 400 км севернее водохранилища Гувера, получены следующие значения параметров: толщина земной коры 25–30 км; подкорковая вязкость $2,5 \cdot 10^{19} \text{ Па} \cdot \text{с}$. Оценочные расчеты, выполненные для прогнозируемой литосферной плиты под тяжестью вулканических островов Гавайского архипелага, дают следующий результат: толщина упругой литосферы $h = 34 \text{ км}$ при модуле упругости $E = 70 \text{ ГПа}$ [7]. В целом, различия в значениях толщины упругой земной коры и вязкости подстилающей мантии, полученные разными исследователями в разных районах Земли, достаточно умеренные.

Близость значений эффективной толщины земной коры объясняется тем, что по мере повышения температуры горные породы на глубинах

Табл. 1. Свойства структурных элементов земной коры в районе СШГЭС

№	Характеристика слоя	Мощность слоя, км	V_p , км/с	V_s , км/с	Кoeffиц. Пуассона, ν	ρ , г/см ³	$E \cdot 10^4$, МПа
1	Зона выветривания и разгрузки	До 0,3	4,50	2,54	0,26	2,65	2,6
2	Приповерхностная часть верхнекорового гранитного комплекса	8,0	5,24	2,90	0,28	2,75	3,7
	Приповерхностная часть верхнекорового метаморфического комплекса		5,85	3,10		2,70	
3	Глубинная часть верхнекорового комплекса	10,0	6,32	3,73	0,23	2,75	6,5
4	Среднекоровый мегакомплекс	18,0	6,55	3,86	0,23	2,89	8,0
5	Нижнекоровый мегакомплекс	16,0	7,03	4,04	0,25	2,93	10,0

30–40 км переходят из класса упругих в реологический класс вязких сред. Таким образом, можно заключить, что с позиций реологии эффективная толщина земной коры (упругой части литосферы) может меняться от 30 до 40 км. При дальнейших расчетах и моделировании процесса вертикальных перемещений земной поверхности от веса водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС было принято, что условная подошва земной коры находится на глубине 36 км, а вязкость и плотность подстилающего земную кору мантийного вещества, соответственно, $\mu = 1,5 \cdot 10^{18}$ Па·с и $\rho = 3200$ кг/м³.

Определение упругой составляющей осадок земной поверхности

Водоохранилища крупных гидроузлов имеют большую протяженность, измеряемую сотнями километров, что обеспечивает в плане линейную нагрузку на земную кору. Для водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС средняя удельная нагрузка на земную кору равна 200 тыс. т/м, или $P = 2000$ МН/м. Эта особенность позволяет рассматривать процессы оседания земной поверхности как плоскую задачу теории упругости.

При рассмотрении процесса прогиба земной коры и вертикальных перемещений территории использовались следующие условия:

- до наполнения водохранилища упругая земная кора эффективной толщины h , с изгибной жесткостью (EJ) покоится на упруго-вязком полупространстве мантийного вещества с коэффициентом постели k , плотностью ρ , вязкостью μ и находится в состоянии изостатического равновесия;
- водохранилище обеспечивает удельную линейную нагрузку P на земную кору, которая выводит ее из состояния изостазии.

Реакция земной коры с изгибной жесткостью (EJ) на создаваемую водохранилищем гравитационную нагрузку P состоит из двух классов вертикальных перемещений:

- классическая осадка земной поверхности A_B (назовем ее «осадкой по Буссинеску») как реакция сжатия упругой толщи h земной коры на действие гравитационной нагрузки P ;
- погружение подошвы упругой

земной коры в подстилающее вещество упруго-вязкой мантии.

Вклад второй составляющей в общее перемещение вызван изгибом толщи земной коры с амплитудой A_B , аналогично изгибу балки на упругом основании Винклера, а также последующим медленным изгибом земной коры с амплитудой $A_{АРХ}$, связанным с «архимедовым» погружением ее подошвы в подстилающее вязкое мантийное вещество. Таким образом, полная осадка земной поверхности A формируется тремя процессами и определяется тремя слагаемыми вертикальных перемещений: $A = A_B + A_B + A_{АРХ}$.

Амплитуда A_B упругого оседания ложа водохранилища «по Буссинеску» определяется из выражения:

$$A_B = (2P/\pi E) \cdot [\ln(h/d) + (1-\eta)/2]. \quad (1)$$

где d — полуширина водохранилища; h — толщина земной коры; η — коэффициент Пуассона.

Упругая осадка земной поверхности в точке, отстоящей на расстоянии x от силы P при закрепленной подошве земной коры, определяется уравнением:

$$Y_B(x) = (2P/\pi E) \cdot [\ln(h/x) - (1+\eta)/2]. \quad (2)$$

Расстояние от точки приложения силы до точки на поверхности, где упругая осадка равна нулю (радиус воронки оседания R_B), определяется уравнением:

$$R_B = h/\exp[(1+\eta)/2]. \quad (3)$$

Применительно к свойствам структурных элементов земной коры СШГЭС ($E = 6 \cdot 10^4$ МПа; $h = 36$ км; $\eta = 0,26$), в соответствии с (3), получаем значение радиуса упругого оседания земной поверхности «по Буссинеску» $R_B = 19$ км.

В табл. 2 приводятся осадки земной поверхности вблизи водохранилища СШГЭС с шагом 4 км при неподвижной подошве земной коры ($P = 2000$ МН/м, $d = 500$ м). Приводимые в табл. 2 значения характеризуют только упругую часть большой воронки оседания, формируемой водохрани-

Табл. 2. Расчетная упругая осадка земной поверхности от веса водохранилища СШГЭС за счет сжатия земной коры «по Буссинеску»

x, км	0	4	8	12	16
y, мм	100	33	19	10	4,0

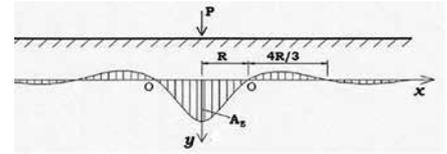


Рис. 2. Форма погружения и компенсационного поднятия поверхности при изгибе земной коры от веса водохранилища

лищами. Для получения полной картины вертикальных перемещений прилегающей к водохранилищу территории следует учесть перемещения земной коры при ее упругом изгибе «по Винклеру», а также при последующем изгибе и погружении в вязкую мантию «по Архимеду».

Эпюра вертикальных перемещений земной поверхности от изгиба бесконечной плиты на упругом основании Винклера (рис. 2) определяется следующим уравнением:

$$Y_B(x) = A_B \cdot e^{-nx} \cdot [\sin(nx) + \cos(nx)]. \quad (4)$$

где $n = (k/4EJ)^{0,25}$; A_B — перемещение в точке приложения нагрузки; k — коэффициент постели подстилающего земную кору слоя мантии.

Максимальная амплитуда осадки земной поверхности за счет упругого изгиба земной коры «по Винклеру» и соответствующий радиус воронки оседания R_B определяются с помощью выражений [3]:

$$A_B = P \cdot (4EJ/k)^{0,75} / 8EJ, \quad (5)$$

$$R_B = 0,75\pi \cdot (4EJ/k)^{0,25}. \quad (6)$$

Переход деформированной земной коры от центрального участка погружения (прогиба) в мантию к периферийным участкам компенсационного поднятия происходит через две точки O , которые не испытывают вертикальных перемещений.

Используя натурные данные осадок в районе водохранилища Гувера, из (5) и (6) находим порядок значений коэффициента постели $k = 1,0 - 1,5$ МПа. Применительно к условиям СШГЭС из (5) и (6) получаем: $A_B = 32$ мм; $R_B = 72$ км.

Для иллюстрации влияния толщины земной коры на размеры упругой воронки оседания в табл. 3 приведены значения изгибной жесткости (EJ) коры, амплитуды прогиба A_B и радиуса влияния прогиба R_B ($P = 2000$ МН/м; $E = 6 \cdot 10^4$ МПа; $k = 1,0$ МПа/м). Как видим, радиус воронки оседа-

Табл. 3. Осадка ложа водохранилища и радиус влияния прогиба в зависимости от толщины земной коры h при изгибе «по Винклеру»

h , км	20	30	40	50
$EJ \cdot 10^{16}$ МН·м ²	4,0	13,5	32,0	62,5
ΔB , мм	50	36,9	29,8	25,3
R_B , км	47,1	63,8	79,3	93,9

ния земной коры «по Буссинеску» 19 км намного меньше радиуса воронки оседания от изгиба «по Винклеру» 72 км. Полные значения упругих вертикальных перемещений поверхности земной коры могут быть получены суммированием выражений (2) и (4). На **рис. 3** приводится примерное расположение изолиний упругих осадок (воронки оседания) территории, наиболее нагруженной весом водохранилища СШГЭС на момент его наполнения в 1990 г.

Для решения практических задач с использованием натурных данных удобно использовать новый безразмерный комплекс Te , составленный из основных размерных параметров, определяющих процесс прогиба упругой земной коры, который имеет постоянное значение [6]:

$$Te = (EJ)A/PR^3 = 0,0096. \quad (7)$$

Постоянство критерия Te можно использовать для определения изгибной жесткости (EJ) земной коры в районах крупных водохранилищ, формирующих удельную нагрузку P . Для этого необходимо в процессе эксплуатации крупных гидроузлов выполнить геодезические работы по определению текущих значений амплитуды погружения ложа водохранилища A и радиуса воронки оседания R прилегающей территории. Например, используя натурные данные по прогибу земной коры в районе водохранилища Гувера (США) и критерий Te , получаем значение изгибной жесткости земной коры в районе р. Колорадо: $(EJ) = 18 \cdot 10^{22}$ Н·м².

Табл. 4. Интенсивность процесса прогиба земной коры от веса водохранилища и роста максимальных изгибных напряжений в условиях СШГЭС

Годы	1990	2000	2020	2040	2080	∞
Амплитуда вязкого прогиба, мм	32	58	106	150	214	390
Радиус воронки оседания, км	72	88	110	118	138	162
Напряжения сжатия, σ_x , кПа	70	130	238	337	482	878
Напряжения сдвига, τ_{xy} , кПа	42	76	139	197	281	512

Определение вязкой составляющей осадок земной поверхности

Решения (5) и (6) дают минимальные значения амплитуды упругого погружения и радиуса воронки оседания «по Винклеру», т. к. учитывают только упругие свойства земной коры и подстилающей мантии. Мантийное вещество является вязкой субстанцией, поэтому сразу после завершения упругих осадок начинается стадия вязкого погружения земной коры в мантию.

После завершения процессов упругой осадки «по Буссинеску» с амплитудой A_B и изгиба земной коры на упругом основании «по Винклеру» с амплитудой A_B погружение подошвы земной коры продолжится в режиме вязкого погружения. При этом эпюра вертикальных перемещений земной коры в режиме вязкого погружения «по Архимеду» аналогична эпюре, приведенной на рис. 2, и описывается уравнением вида (4), в котором вертикальные перемещения зависят не только от координат, но и от времени: $Y(x,t) = A(t) \cdot e^{-mx} [\text{Sin}(mx) + \text{Cos}(mx)]$. (8) где $m = (\rho g / 4EJ)^{0,25}$; $A(t)$ — переменная во времени амплитуда вертикального перемещения (погружения) земной поверхности в точке приложения силы P .

Под действием удельной нагрузки P от веса гидроузла происходят затухающее во времени погружение подошвы земной коры в вязкую мантию и соответствующая деформация земной поверхности. Вес созданного водохранилища совместно держат

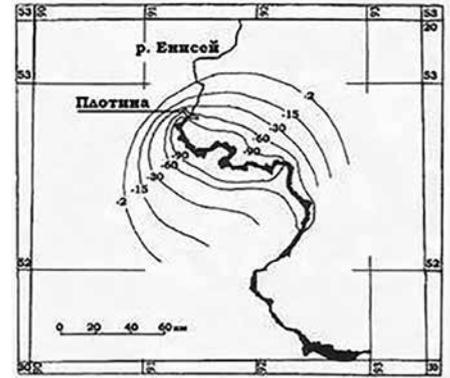


Рис. 3. Расчетные изолинии упругих осадок (мм) территории, наиболее нагруженной водохранилищем СШГЭС после его наполнения в 1990 г.

упругая реакция системы «земная кора — мантия» и архимедова сила, действующая со стороны «мантийной жидкости» на погрузившуюся в нее подошву земной коры. Вязкое мантийное вещество вследствие присущих ему реологических свойств сопротивляется внедрению в него прогибающейся упругой земной коры. Баланс внешних и внутренних сил, действующих на земную кору в процессе ее длительного погружения в вязкую мантию, определяется следующим дифференциальным уравнением [6]:

$$P = (4EJ/R^3 + R\rho g) \cdot A + 4\mu \cdot (dA/dt). \quad (9)$$

Здесь A и R — текущие значения амплитуды погружения точки приложения силы P и радиуса воронки оседания земной поверхности; dA/dt — производная функции вертикального перемещения по времени, т. е. скорость погружения ложа водохранилища; μ и ρ — динамическая вязкость и плотность мантийного вещества, соответственно; g — ускорение силы тяжести.

Первое слагаемое в скобках (9) учитывает упругую реакцию изгиба земной коры, второе слагаемое в скобках — подъемную архимедову силу, действующую на погрузившуюся в мантию подошву земной коры. Последнее слагаемое в уравнении (9) определяет силу вязкого сопротивления погружению земной коры со стороны мантийного вещества. Интегрирование уравнения (9) дает следующее выражение, определяющее зависимость амплитуды погружения земной коры в вязкую мантию от времени [6]:

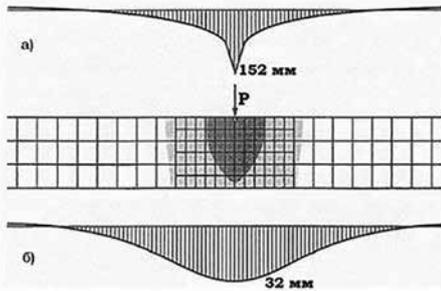


Рис. 4. Эпюры расчетных вертикальных перемещений поверхности — *a* и подошвы — *b* трехслойной модели земной коры от удельной нагрузки 2000 МН/м.

Мощность коры 36 км (12 км × 3), коэффициент постели $k=1$ МПа/м

$$A(t) = \{1 - [1/\exp(bt/4\mu)]\} \cdot P/b, \quad (10)$$

где $b = 8EJ(\rho g/4EJ)^{0,75}$.

Определив текущее значение амплитуды погружения $A(t)$, можно с помощью критерия Te (7) найти соответствующее значение радиуса воронки оседания $R(t)$.

Процесс погружения земной коры будет происходить в режиме вязкого течения подстилающей мантии до полного восстановления нарушенного водохранилищем изостатического равновесия. Релаксация наведенных сдвигающих напряжений в мантии и рост амплитуды погружения земной коры происходят в течение продолжительного времени. Выражения (8) и (10) в совокупности позволяют определить изменяющиеся в процессе эксплуатации водохранилища параметры воронки оседания, т. е. определить вертикальные перемещения в вязком режиме любой точки земной поверхности в районе водохранилища в любой момент времени.

Погружение земной коры прекращается в момент, когда в результате перераспределения сил наступает состояние изостатического равновесия, т. е. когда скорость погружения — последнее слагаемое в (9) — становится равным нулю. В этот момент амплитуда погружения «по Архимеду» A_{max} и соответствующий радиус погружения земной коры в мантию R_{max} приобретают максимальное значение. Максимальная амплитуда и максимальный радиус погружения земной коры в вязкую мантию под действием линейной



Рис. 5. Интенсивность увеличения осадок ложа водохранилища СШГЭС после наполнения в 1990 г.

нагрузки P определяется из выражений (5) и (6) заменой в них коэффициента постели k на произведение (ρg) .

Натурные данные уникальной нивелировки в районе водохранилища Гувера [1, 7] позволяют проверить адекватность предлагаемых решений. Процесс медленного прогиба земной коры происходил под действием удельной гравитационной нагрузки $P = 3500$ МН/м. Для расчета вязкости подстилающего мантийного вещества плотностью $\rho = 3200$ кг/м³ используем следующие натурные данные: за время наблюдений $t = 12$ лет ложе водохранилища погрузилось в вязкую мантию на 50 мм (рис. 1). При значении изгибной жесткости $(EJ) = 18 \cdot 10^{22}$ Н·м² из (10) вязкость мантийного вещества $\mu = 1,5 \cdot 10^{18}$ Па·с.

Моделирование и расчет перемещений земной коры

Расчет упругих перемещений земной коры применительно к условиям СШГЭС был выполнен также на моделях методом конечных элементов с использованием программного комплекса «Ли́ра». Применение численных методов расчета позволяло изменять физико-механические характеристики земной коры и размеры модели в большом диапазоне.

Один из результатов расчетов приводится на рис. 4. Модель земной коры длиной в поперечном разрезе 300 км и толщиной 36 км, состояла из трех слоев толщиной по 12 км; модуль упругости слоев увеличивался с глубиной и имел значения $E = 30, 60$ и 80 ГПа, что при-

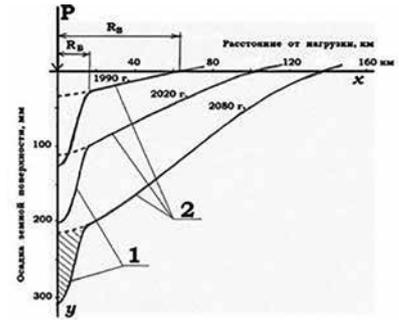


Рис. 6. Увеличение воронки оседания прилегающей территории в процессе эксплуатации водохранилища СШГЭС: 1 — постоянная во времени осадка земной поверхности за счет упругого сжатия толщи земной коры; 2 — переменная во времени осадка земной поверхности за счет погружения земной коры в вязкую мантию

мерно соответствует данным табл. 1.

Особенность моделирования процесса прогиба заключалась в том, что допускался свободный сдвиг между подошвой трехслойной земной коры мощностью 36 км с изгибной жесткостью $EJ=23 \cdot 10^{22}$ Н·м² и подстилающим мантийным веществом. На глубине 36 км выполнено рассечение полупространства литосферы горизонтальной плоскостью, отделяющей упругую земную кору и подстилающую мантию, которые отличаются по своим реологическим свойствам. Дополнительная степень свободы обеспечивает увеличение амплитуды погружения подошвы A и радиуса R воронки оседания. Общее вертикальное перемещение ложа водохранилища составляет 152 мм, из которых осадка за счет сжатия толщи земной коры «по Буссинеску» составляет $A_B = 120$ мм, а осадка за счет изгиба «по Винклеру» составляет $A_B = 32$ мм.

Прогиб подошвы земной коры без изменений передается на дневную поверхность и формирует большой радиус воронки оседания поверхности. Радиус воронки оседания поверхности более 70 км. За пределами радиуса прогиба наблюдается небольшое компенсационное поднятие территории.

Горизонтальные упругие перемещения в ложе водохранилища направлены к центру и составляют около 20 мм, что вызывает эффект «сближение берегов» водохранилища. Горизонтальные сжимающие напряжения от изгиба составляют в центре на-

грузки $\sigma_x = 70$ кПа. Их общее максимальное значение в районе ложа водохранилища: $\sigma_x = 1700$ кПа. На глубине 500 м они равны $\sigma_x = 500$ кПа. Наибольшие вертикальные нормальные сжимающие напряжения на глубине 500 м оказались равными $\sigma_y = 1600$ кПа. Небольшие техногенные нормальные и касательные напряжения в земной коре фиксируются на удалении до 80 км от точки приложения нагрузки.

К принятым ранее для района СШГЭС параметрам земной коры: толщина $h = 36$ км; изгибная жесткость $EJ = 23 \cdot 10^{22}$ Н·м² [4, 5, 6] добавим значение плотности мантийного вещества $\rho = 3200$ кг/м³, а также, по аналогии с расчетной вязкостью мантии «под плотиной Гувера», примем $\mu = 1,5 \cdot 10^{18}$ Па·с.

В таком случае при удельной гравитационной нагрузке $P = 2000$ МН/м амплитуда максимального погружения ложа водохранилища Саяно-Шушенской ГЭС составляет $A_{\max} = 390$ мм. Динамика приближения погружающейся земной коры к этому максимуму показана на рис. 5 и 6.

В табл. 4 приводится расчетная интенсивность увеличения показателей прогиба территории и роста наибольших изгибных напряжений применительно к условиям эксплуатации СШГЭС. Как видим, со временем напряжения в толще земной коры от изгиба медленно увеличиваются и будут оказывать влияние на медленное схождение береговых массивов и на сдвиг в среднем слое земной коры.

Таким образом, нарушение изостазии существенно увеличивает область влияния водохранилища. К состоянию изостатического равновесия земная кора будет приближаться в течение всего срока эксплуатации водохранилища.

Выводы

Создаваемая крупным водохранилищем удельная гравитационная нагрузка более 100 тыс. т/м выводит земную кору из состояния изостатического равновесия, медленно погружая ее подошву в вязкое вещество подстилающей мантии.

В процессе эксплуатации гидро-

узла интенсивность вертикальных перемещений ложа водохранилища и прилегающей территории уменьшается, следуя экспоненциальному закону. Связь между основными параметрами процесса формирования воронки оседания определяется величиной безразмерного критерия $Te = 0,0096$. Адекватность предлагаемых решений (1), (8) и (10) подтверждается натурными данными высокоточного геодезического нивелирования в районе водохранилища Гувера.

При нарушении изостатического равновесия активная область влияния крупных гидроузлов, определяемая воронкой оседания, составляет не менее 70–80 км в каждую сторону от линии уреза водохранилища.

При толщине земной коры 30–40 км и удельной гравитационной нагрузке на земную кору в пределах 100–400 тыс. т/м амплитуда медленного погружения ложа водохранилища на протяжении жизненного цикла гидроузла может достигать 300–500 мм.

Образующаяся от веса крупных водохранилищ воронка оседания изменяет геодезическую и гидрогеологическую обстановку большой территории в районе гидроузлов и изменяет в пределах радиуса прогиба напряженно-деформированное состояние всей толщи земной коры. Нарушение изостатического равновесия земной коры может являться причиной наблюдаемых в районе гидротехнических объектов инициированных сейсмических событий с гипоцентром на глубине 10–20 км и большом удалении от водохранилищ.

Определяемая в настоящее время «воронка оседания» по составу геодезических работ не является таковой. Вертикальные перемещения плотин и прилегающей территории определяются относительно условно неподвижных фундаментальных реперов, расположенных в нижнем бьефе не далее 2–3 км от плотин. В реальности кусты фундаментальных реперов и плотины крупных гидроузлов находятся в центре большой воронки оседания и в процессе эксплуатации испытывают вертикальные пере-

мещения более 200 мм. Фактически крупные гидроузлы находятся на дне большой воронки оседания, размеры и экологические последствия формирования которой необходимо принимать во внимание.

Литература

1. Никонов А. А. Современные движения земной коры. М.: КомКнига, 2007. 280 с.
2. Савич А. И., Речицкий В. В. О влиянии Саяно-Шушенской ГЭС на геодинамические процессы в земной коре // Гидротехническое строительство. 2013. №7. С. 39–48.
3. Тернот Д., Шуберт Д. Геодинамика: геологические приложения физики сплошных сред (пер. с англ.). М.: Мир, 1985. Т. 1. 376 с.
4. Тетельмин В. В., Даниелов Э. Р. Реакция земной коры на создание крупных водохранилищ // Гидротехника. 2014. № 3. С. 51–55.
5. Тетельмин В. В. Сильные воздействия водохранилищ на геологическую среду и земную кору. М.: Интеллект, 2015. 240 с.
6. Тетельмин В. В., Даниелов Э. Р. Прогиб земной коры от веса крупных водохранилищ и его последствия. Издатель: LAP LAMBERT Academic Publishing. Saarbrücken 2016. 106 с.
7. Kaufmann G., Amelung F. Reservoir-induced deformation and continental rheology in vicinity of Lake Mead // Journal of geophysical research. Vol. 105. № B7. July 10. 2000.
8. Rogers A., Lee W. Seismic study of earthquakes in the Lake Mead. // Bull. Seismol. Soc. Am., 66, 1657–1681, 1976.

12–14 сентября, Нижний Новгород

ЕЖЕГОДНАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ СУДОХОДНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ»

Организаторы: РосНТО ВТ, Росморречфлот, ФБУ «Администрация Волжского бассейна»

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ:

- О реализации комплексных проектов реконструкции гидротехнических сооружений в рамках подпрограммы «Морской и речной транспорт» государственной программы Российской Федерации «Развитие транспортной системы».
- О проектируемых и строящихся гидроузлах: Нижегородский, Багаевский, Белоомут.
- О повышении уровня наблюдений и исследований на СГТС за гидротехнической частью и механическим оборудованием. Новые методы исследования и обследования СГТС.
- О проблемных вопросах, возникающих в процессе технической эксплуатации судоходных гидротехнических сооружений.
- Организация автоматизированных систем мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений.
- Об опыте внедрения и эксплуатации АСУ электрооборудованием СГТС.
- О применении передовых и уникальных технологий при проведении капитального ремонта и реконструкции СГТС. Современные материалы и методы устранения повреждений (размылов) элементов грунтовых сооружений паводками.
- О результатах выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области обеспечения безопасности и надежности СГТС.
- Обмен опытом работы по вопросам проведения декларирования безопасности СГТС, проведения капитального ремонта и реконструкции СГТС.
- Анализ причин аварийных событий на судоходных шлюзах водных путей, оценка последствий аварий, связанных с разрушением напорного фронта гидроузла.
- О нормативно-правовом обеспечении безопасности СГТС.
- Вопросы и проблемы, возникающие при размещении заказов (в соответствии с 44-ФЗ и 223-ФЗ) на проектирование, капитальный и текущий ремонты СГТС.
- Вопросы подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в области эксплуатации СГТС и обеспечения транспортной безопасности.

Во время конференции планируются производственная поездка на Городецкий гидроузел, а также выставка новых технологических решений и оборудования, используемого при современной эксплуатации СГТС.

По результатам конференции будет выпущен сборник материалов.

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:

Конференция будет проходить в гранд-отеле «Ока», расположенном по адресу: Нижний Новгород, пр. Гагарина, 27.
Заявки на участие принимаются по электронной почте rosntovt@mail.ru.

КОНТАКТЫ ОРГКОМИТЕТА

РосНТО ВТ:

8 (495) 642-23-69 — Зеленков Юрий Игоревич (моб. 8-906-047-60-00)

Росморречфлот:

8 (495) 626-98-69 — Клюкин Александр Владимирович, начальник отдела гидротехнических сооружений Управления внутреннего водного транспорта

ФБУ «Администрация Волжского бассейна»:

8 (831) 431-33-03 — Марфин Владимир Сергеевич, заместитель руководителя по гидротехническим сооружениям (моб. 8-951-919-34-68)

8 (831) 431-31-10 — Камоза Сергеевич Васильевич, начальник службы гидротехнических сооружений (моб. 8-906-353-60-81)



БАГАЕВСКИЙ ГИДРОУЗЕЛ: ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ И ИТОГИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Шурухин Л. А.,
руководитель проекта, АО «Акватик»

Аннотация. В апреле 2018 г. был дан старт строительству Багаевского гидроузла на р. Дон. В статье подведены итоги инженерных изысканий и проектирования гидроузла, представлены компоновочные решения, обоснованы проектные разработки конкретных объектов — водохранилища, каналов, плотин, систем управления и жизнеобеспечения. Показаны заложенные в проект и прошедшие различные экспертные оценки решения проблем экологического характера.

Ключевые слова: Багаевский гидроузел, судоходство на реке Дон, Цимлянское водохранилище.

ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СОСТАВ СООРУЖЕНИЙ

Между ФБУ «Администрация Азово-Донского бассейна внутренних водных путей» и АО «Акватик» 10 ноября 2016 г. был заключен государственный контракт № 03-16-ОК на выполнение проектных работ по объекту «Строительство Багаевского гидроузла на р. Дон».

Основным назначением объекта является обеспечение требуемых габаритов пути (глубины 4,0 м, ширины 80 м, радиуса закругления 500 м)

на проблемном участке р. Дон и порогах камер шлюза Кочетовского гидроузла (глубины 4,0 м). Вместе с тем, не менее важно отметить, что реализация проекта строительства Багаевского гидроузла обеспечит возможность установления гарантированной глубины 4,0 м на всем протяжении Волго-Донского водного пути.

Предельная стоимость строительства Багаевского гидроузла, включая обустройство водохранилища, составляет 22 млрд руб. в ценах соот-

BAGAEVSKY HYDROSYSTEM: ENGINEERING SOLUTIONS AND THE PROJECT RESULTS
L. Shurukhin, Project Manager, AQUATIC JSC

Abstract. The Don River Bagayevsky hydro engineering complex project first phase kicked off in April 2018. The article summarizes the results of engineering surveys and design of the hydrosystem, reviews the layout solutions, substantiates the project design of specific facilities: reservoirs, canals, dams, control systems, life support. The author presented the solutions to ecological challenges that had been incorporated in the project and passed various environmental impact assessments.

Keywords: Bagayevsky Hydrosystem, navigation on the Don River, Tsimlyansk Reservoir.

ветствующих лет. Планируемые сроки строительства 2018–2020 гг.

Выполнение работ было предусмотрено в 2 этапа. К объектам 1-го этапа относятся: устройство судоходной прорези в левом рукаве, используемой как для судоходства в период строительства основных сооружений, так и для пропуска расходов воды; образование из вынимаемого при устройстве прорезей грунта двух площадок — площадки стройбазы на правом берегу и площадки под комплекс объектов служебно-технического, вспомогательного назначения и под поселок строителей на левом берегу; устройство причала стройбазы для доставки всех основных стройматериалов и оборудования; устройство временной линии электроснабжения от подстанции БГ-2. Также в состав проектной документации 1-го этапа был включен комплекс землеустроительных работ и затрат по изъятию земельных участков, необходимых для реализации проекта в целом.

В ноябре 2017 г. было получено положительное заключение от ФАУ «Главгосэкспертиза России» на проектную документацию и результаты инженерных изысканий по объектам 1-го этапа (подготовительного периода). По результатам проектирования и прохождения государственной экспертизы сметная стоимость строительства 1-го этапа составила 1,407 млрд руб., включая затраты на компенсационные мероприятия за изъятие необходимых земельных участков. В настоящее время определен генеральный подрядчик, и начаты строительные-монтажные работы по объектам 1-го этапа.

К объектам 2-го этапа относятся: судоходный шлюз (двухниточный, однокамерный); водосбросная плотина; рыбопропускной шлюз; земляная плотина с водоспуском в теле; рыбоходно-нерестовый канал; объекты производственного, служебно-технического и вспомогательного назначения; объекты социально-бытового и жилого назначения, поселок эксплуатационников; подъездная дорога; сети инженерно-технического обеспечения; водозабор; берегоукрепления; здание ЦПУ; насосная станция, а также дам-



бы в зоне водохранилища и участки берегоукреплений и спрямления русла, водосброс-регулятор на р. Аксай и дноуглубление на участке нижнего бьефа от створа гидроузла до г. Аксай (3121 км с. х.).

В ходе проектирования получены вся необходимая исходно-разрешительная документация и согласования с компетентными органами. В том числе по одному из болезненных экологических вопросов из «прошло-го» проекта получено согласование строительства объекта и величины ущерба водным биоресурсам от Азово-Черноморского территориального управления Федерального агентства по рыболовству. Следует также отметить, что рассмотрение проектной документации проходило всесторонне и комплексно, по сути являясь также очередной экспертизой проекта в рамках рабочей группы, сформированной на площадке ФГБУ «ЦУРЭН», с привлечением ведущих специалистов из основных подведомственных Росрыболовству организаций.

Согласно федеральному закону № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе», проектная документация по объекту «Строительство Багаевского гидроузла на р. Дон» не является объектом государственной экологической экспертизы. Вместе с тем, в ходе проектирования было организовано широкое обсуждение проекта строительства Багаевского гидроузла с учеными, различными специалистами и

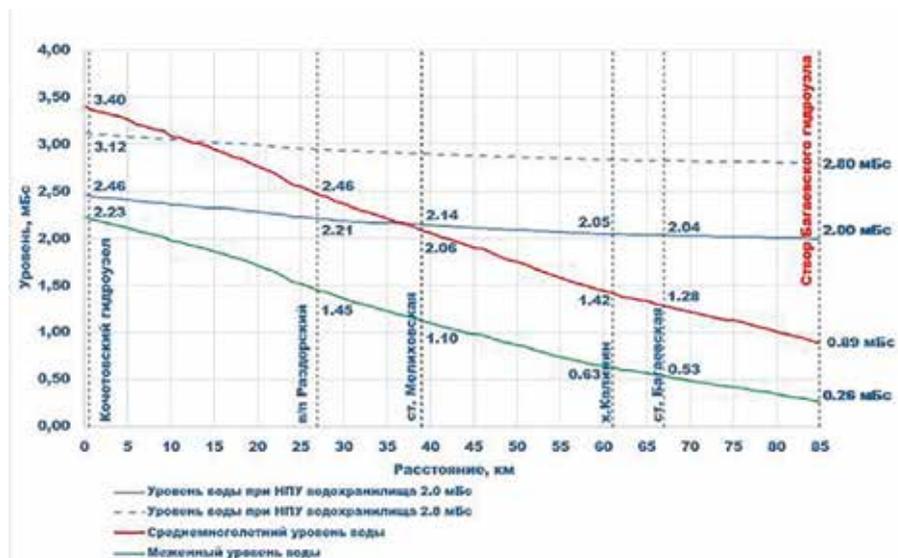
жителями, проведены общественные слушания.

Наряду с прохождением государственной экспертизы проектная документация по объекту прошла две независимые общественные экологические экспертизы, выполненные в установленном действующим законодательством порядке. По результатам этих экспертиз также сделаны однозначные выводы о соответствии проектных решений экологическим требованиям, установленным законодательством РФ, и допустимости оказываемого на окружающую среду от строительства Багаевского гидроузла воздействия.

В мае 2018 г. было получено положительное заключение от ФАУ «Главгосэкспертиза России» на проектную документацию и результаты инженерных изысканий по объектам 2-го этапа (основного периода). По результатам проектирования и прохождения государственной экспертизы сметная стоимость строительства 2-го этапа составила 18,889 млрд руб.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В настоящее время при нормальном навигационном попуске воды в 410 м³/с с Цимлянского водохранилища и дноуглубительными работами поддерживается гарантированная глубина 3,40 м — без учета сгонно-нагонных явлений Азовского моря, что значительно меньше, установленной



Продольный профиль Багаевского водохранилища

глубины в 4,0 метра для ЕГС. Увеличение навигационных расходов с Цимлянского водохранилища для обеспечения гарантированной глубины судового хода 4,0 м на данном лимитирующем участке не представляется возможным в связи с ограниченностью водных ресурсов Цимлянского водохранилища и установленным фактом уменьшения водности р. Дон (объема годового стока) за весь многолетний период наблюдений.

В маловодные годы вводятся дополнительные ограничения по осадке судов, а в катастрофически маловодные годы, подобно 1972 г., навигация прекращалась. Также, помимо недостаточной глубины судового хода, на данном участке в силу извилистости русла р. Дон имеются перекаты, где не обеспечивается и необходимый радиус судового хода в 500 м, что вводит дополнительные ограничения на движение судов и негативным образом влияет на безопасность судоходства.

В результате строительства Багаевского гидроузла образуется водохранилище руслового типа, без выхода воды на пойму, земельные участки отводятся в минимально необходимом объеме для строительства.

На начальном этапе проектирования рассмотрена и обоснована целесообразность снижения нормального подпорного уровня водохранилища с отметки 2,8 мБС до отметки 2,0 мБС,

при которой, с одной стороны, обеспечиваются необходимые габариты судового хода (глубина 4 м, ширина 80 м, радиус 500 м), а с другой стороны, существенным образом снижается воздействие Багаевского гидроузла на окружающую среду. С учетом снижения НПУ практически на половине длины создаваемого водохранилища среднегогодовой уровень р. Дон находится выше принятой отметки НПУ, т. е. на данном участке нет дополнительного негативного воздействия от создаваемого водохранилища. При этом в створе Багаевского гидроузла превышение отметки НПУ создаваемого водохранилища над среднегогодовым уровнем воды в р. Дон составляет всего 1,1 м, что находится в пределах естественных колебаний уровня воды в р. Дон и также не оказывает существенного негативного влияния на окружающую среду.

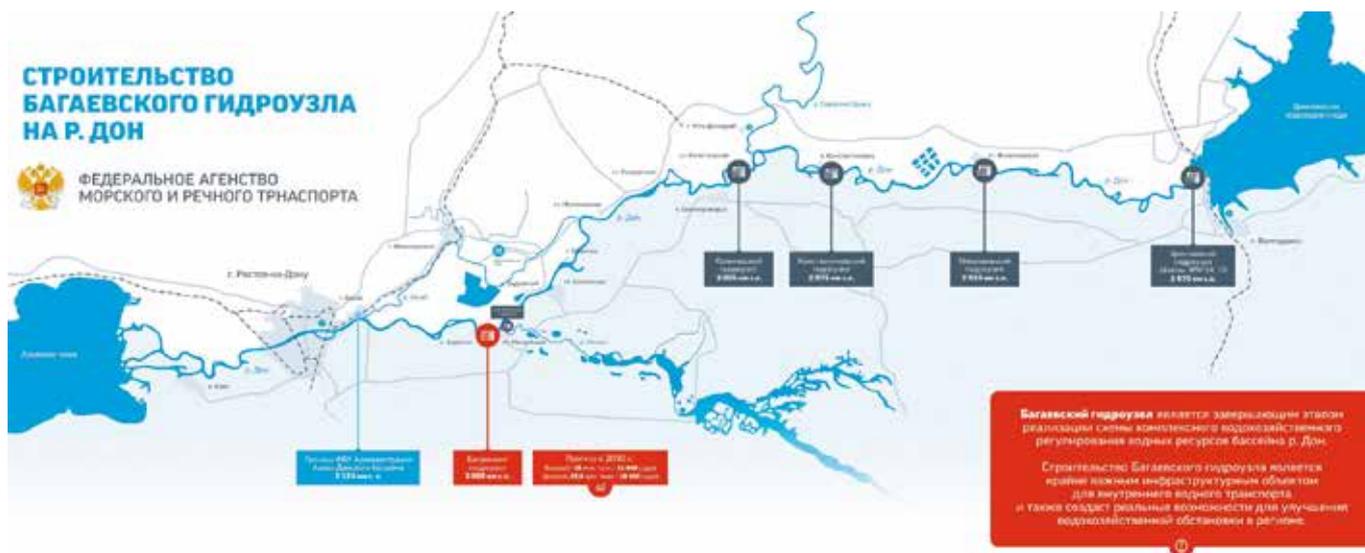
При снижении нормального подпорного уровня оптимизируются также и параметры водохранилища — сокращаются необходимый объем для заполнения и площадь зеркала водохранилища, увеличивается проточность водохранилища. Необходимый объем воды для заполнения водохранилища составляет всего 40,5 млн м³, в сумме с объемом воды в реке общий статический объем составляет всего 103 млн м³, что более чем в 220 раз меньше объема Цимлянского водохранилища, — этот факт нередко ис-

пользуется в качестве отрицательного аргумента экологического характера.

Не менее важным является и принятый режим эксплуатации водохранилища. Сооружения гидроузла рассчитаны на работу во всевозможных условиях, в том числе зимой, но при нормальной отметке воды в Цимлянском водохранилище. На конец водохозяйственного года Багаевское водохранилище может быть опорожнено, а гидроузел полностью открыт и переведен в безнапорный режим эксплуатации, аналогично тому, как это делается на Кочетовском гидроузле. Помимо этого, за счет специально предусмотренной конструкции судоходного шлюза без стенки падения, судоходство в створе гидроузла будет возможно даже без наполнения водохранилища, сам гидроузел может быть переведен в бесподпорный режим эксплуатации, т. е. полностью открыт при расходе воды 600 м³/с и более, обеспечивая при этом свободный естественный ток воды и проход рыбы через гидроузел. А на спаде действия данного расхода при срезке в 300 м³/с Багаевское водохранилище может быть наполнено менее чем за сутки.

Плотина Багаевского гидроузла не имеет как такового характерного для данного типа сооружений водосливного порога с переливом воды через него. Водослив плотины представляет из себя низкий широкий порог — по сути, плоскую железобетонную плиту, расположенную на уровне средней отметки дна реки в этом месте, на которую установлены плоские подъемно-опускные затворы. При полностью открытых пролетах плотины она не является препятствием для потока воды, стока наносов и прохода рыбы через створ гидроузла.

Согласно своему прямому назначению водохранилище должно обеспечить необходимые габариты судового хода даже в условиях экстремальной маловодности. Но помимо этого, сам факт наличия Багаевского гидроузла и водохранилища напрямую положительным образом влияет на водохозяйственный баланс Цимлянского водохранилища, сокращая необходимость в больших судоходных попу-



Грузопоток и основные сооружения в створе гидроузла

сках в течение навигационного периода и обеспечивая возможность для более эффективного перераспределения расходов воды в течение года, в том числе путем подачи в весенний нерестовый период, особенно важный для экологии, большего количества воды, в меженный период — меньше, аналогично естественным условиям. Более того, в случае достаточной водности года гидроузел может быть полностью открыт, и в течение всего навигационного периода р. Дон будет находиться в естественных условиях.

ГРУЗОПОТОК И ОСНОВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ В СТВОРЕ ГИДРОУЗЛА

Существующие на данном участке ограничения полной загрузки крупнотоннажного флота и, как следствие, снижение грузопотоков, в основном экспортного направления, приводят к уменьшению транзитного потенциала страны, а также к потерям налоговых поступлений в бюджеты различных уровней. Вместе с тем, выполненные в рамках проектирования исследования перспективных грузопотоков, тяготеющих к Азово-Донскому и Волго-Донскому бассейнам водных путей, показывают, что потенциальный консолидированный объем грузопотоков в створе проектируемого гидроузла на расчетный срок к 2030 г. может увеличиться до 18–25,6 млн т/год, в зависимости от сценария макроэкономического развития страны. Количество и размеры ка-

мер судоходного шлюза (двухниточный, с размерами камер $150 \times 18 \times 5$ м) определены на основании величины расчетного перспективного грузопотока в створе гидроузла на 2030 г. в размере 25,6 млн т, а также специфики судоходства на данном участке, при которой судопропуск осуществляется в основном по схеме односторонних шлюзований, что обусловлено ограничениями по пропуску судов через створ Ростовского развального железнодорожного моста.

По результатам анализа сводных годовых эксплуатационных показателей по судопропуску в створе Кочетовского гидроузла за период 2007–2016 гг., соотношение двухсторонних шлюзований к односторонним составило 30/70% при нормативном значении 75/25%. При таком соотношении более целесообразно устройство причальных сооружений на подходных каналах по несимметричной схеме, при которой причальная линия продолжает лицевую грань устоев головы шлюза, и можно максимально близко поставить судно к голове шлюза, что упрощает заход судна в камеру и значительно сокращает время одностороннего шлюзования.

Для обеспечения возможности судоходства в створе гидроузла при любой гидрологической обстановке судоходный шлюз принят без стенки падения с глубиной на порогах голов, равной 5,0 м от минимального навигационного уровня в створе гидроузла,

с учетом сгона, равного $-1,0$ мБС. Также важным отличием проектируемого судоходного шлюза в составе Багаевского гидроузла от существующих на Нижнем Дону является наличие аварийно-ремонтных ворот на верхних головах и предохранительных устройств на нижних головах.

Параметры водосбросной плотины: отметка порога, равная $-4,0$ мБС, размеры и количество водосбросных отверстий — 12 шт. шириной по 20 м определены по результатам гидравлических исследований в условиях пропуска максимального руслового расхода $2850 \text{ м}^3/\text{с}$ (при дальнейшем увеличении расхода и включении поймы в работу расходы, пропускаемые в створе гидроузла через плотину, уменьшаются) с учетом возможного выхода из строя двух отверстий, при обеспечении отсутствия размывов, влияющих на устойчивость основных сооружений гидроузла.

По результатам выполненных гидравлических исследований установлено, что при принятых компоновочных решениях гидроузел не влияет на пропуск высоких половодий 1%-й обеспеченности. Расчетная отметка уровня воды в створе при 1%-м расходе, равном $13200 \text{ м}^3/\text{с}$, составила 6,80 м.

Проектом предусмотрено устройство автоматизированной системы управления технологическим процессом — в виде резервированной системы, обеспечивающей техно-



логическую безопасность судопропуска во всех, как штатных, так и аварийных, режимах функционирования, включая ситуации однократного отказа любого внутреннего элемента системы. Управление технологическим процессом судопропуска и маневрирования затворами водосбросной плотины производится из здания ЦПУ, который размещен в межкамерном пространстве, в районе НГ, таким образом, чтобы при шлюзовании был обеспечен достаточный визуальный контроль камер шлюза, причалов верхнего и нижнего бьефов, ближайших подходов к шлюзовым камерам.

Грунтовая плотина, для исключения изъятия земельных участков с жилыми домами и переселения граждан, смещена в сторону верхнего бьефа. При этом стоимость удлинения грунтовой плотины сопоставима со стоимостью изъятия земельных участков, но в данном случае исключается значительный и обоснованный социальный резонанс при реализации проекта.

Комплекс объектов служебно-технического и вспомогательного назначения был размещен на левом

берегу, исходя из удобства подъезда и обеспечения инженерными коммуникациями. По территории гидроузла организован технологический переезд на правый берег р. Дон для целей эксплуатации, а также для обеспечения возможности проезда спецтехники при необходимости. Проезд через шлюз организован при помощи поворотных мостов, установленных перед верхними головами шлюза на отдельных устоях. Поселок эксплуатационников, в виде одноэтажных однотипных домов с централизацией инженерного обеспечения, располагается на левом берегу р. Дон на участке площадью 4,25 Га, на территории ст. Манычская по улице Советской.

Исходя из обоснованных значений прогнозных грузопотоков в створе проектируемого гидроузла и расчетных потерь провозной способности крупнотоннажного флота при загрузке на полную осадку (от 1,6 до 8,0 млн т/год в зависимости от водности года), была выполнена оценка (общественная, бюджетная, коммерческая) эффективности инвестиций на основе действующих методических рекомендаций по оценке эффек-

тивности инвестиционных проектов, а также структуры и конфигурации денежных потоков по проекту с учетом отраслевых особенностей, по результатам которой сделан вывод об эффективности инвестиций в строительство Багаевского гидроузла — даже с учетом ограничений грузопотока пропускной способностью вышерасположенных шлюзов ВДСК.

В заключение следует отметить, что в работу над проектом было вовлечено много профильных и, в первую очередь, отраслевых экспертов в качестве как непосредственных соисполнителей, так и независимых экспертов и консультантов. С теми, кому работа над проектом была действительно интересной инженерной задачей, мы провели много совместных расчетов и исследований для выбора оптимальных проектных решений. И, безусловно, самой важной и характерной особенностью, способствующей успешному завершению проектирования Багаевского гидроузла, было именно отсутствие безразличия к своему делу у всех вовлеченных в этот процесс людей на всех — как технических, так и административных — уровнях.

ОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КРАСНОЯРСКОГО СУДОПОДЪЕМНИКА



Головкин Е. И.,
главный инженер Управления
эксплуатации Красноярского
судоподъемника — филиала ФБУ
«Администрация «Енисейречтранс»

СПРАВКА

Красноярский судоподъемник расположен на левом берегу р. Енисей непосредственно у берегового примыкания глухой плотины Красноярской ГЭС, выполнен по типу продольно-наклонного судоподъемника с поворотным устройством и самоходной судовозной камерой, заходящей в воду обоих бьефов. Класс судоводных гидротехнических сооружений Красноярского судоподъемника — 1.

Согласно проекту, судоподъемник предназначен для транспортировки судов грузоподъемностью 1500 тн с габаритами: по длине 78,15 м, по ширине 15,05 м, с осадкой 1,86 м. В процессе эксплуатации освоена технология перевозки судов с габаритами по длине до 80,5 м. Проектная мощность (пропускная способность) судоподъемника — 500 тыс. тн грузов в навигацию, при расчетной продолжительности навигации 5 месяцев. Способ транспортировки судов — на плаву в приемном бассейне судовозной камеры с уровнем перевозимой воды до 2,2 м. >

От редакции. Более 40 лет уникальное гидротехническое сооружение — Красноярский судоподъемник, единственный в России, безотказно выполняет свою работу — перевозит суда через гребень плотины Красноярской ГЭС. Эксплуатировать сооружение начали еще в ходе пусконаладочных работ: 20 сентября 1976 г. из нижнего бьефа в верхний бьеф было перевезено первое судно. Из года в год, с июня по октябрь, судоподъемник работает без единой аварии — еще ни одно судно не было повреждено в ходе транспортировки. С 1995 по 2006 гг. был проведен первый этап реконструкции сооружения, в ходе которого были обновлены гидромеханическое оборудование, инженерные сети, восстановлено антикоррозионное покрытие судовозной камеры. Однако на сегодняшний день изношенность гидромеханического оборудования достигла предельного состояния. В 2017 г. Главгосэкспертизой был одобрен проект второго этапа реконструкции судоподъемника в соответствии с ФЦР развития транспортной системы России до 2020 г. Объем государственных средств на реконструкцию Красноярского судоподъемника составляет 1,2 млрд руб., и в 2018 г. должна начаться реализация проекта. Конкурс на проведение работ какое-то время никак не мог состояться, т. к. подрядные организации не готовы брать огромные кредиты и два года, как минимум, ждать возврата потраченных средств, что предусмотрено ФЗ-94 о проведении торгов. Но вот в июле для участия в конкурсе на право заключения договора о выполнении работ по реконструкции гидротехнических сооружений Красноярского судоподъемника подали заявки два участника, 13 августа определился победитель конкурса — ООО «РКС-ИНЖИНИРИНГ». В ближайшее время начнутся работы по реконструкции Красноярского судоподъемника.

Красноярский судоподъемник — единственное судопропускное гидротехническое сооружение на реках Восточной Сибири и Дальнего Востока, является стратегическим объектом и обеспечивает сквозное судоходство по р. Енисей, связывая южные и северные регионы Красноярского края.

Спроектированный в 60-х гг. прошлого века, судоподъемник является единственным судопропускным гидротехническим сооружением подобного типа в отечественной и мировой практике их строительства и эксплуатации.

Красноярский судоподъемник как судопропускной комплекс конструктивно значительно отличается от судопропускных шлюзовых систем, но проблемы эксплуатации металлоконструкций схожи. Выбранная проектировщиками продольно-наклонная схема с самоходной судовозной

камерой и поворотным устройством, насыщенность объектов электротехническим и гидравлическим оборудованием, применение сложных схем электрогидравлического и электрического управления основными системами жизнеобеспечения привели к тому, что в вопросах надежности эксплуатации судопропускного комплекса роль металлоконструкций чрезвычайно высока.

Судовозная камера (СК), осуществляющая транспортировку судов, является самым сложным и наиболее ответственным объектом сооружения. Она состоит из приемного бассейна, опирающегося на косяковую несущую часть камеры, выполненную в виде двух безраскосных плоских ферм с наклонным нижним поясом. Передача веса камеры на судовозные пути производится посредством 78 двухколесных опорно-ходовых тележек (по 39 на каждой стороне камеры), на кото-

ON OPERATION AND MAINTENANCE OF KRASNOYARSK DAM SHIFLIFT METAL STRUCTURES

E. Golovkin, Chief Engineer, the Operation Department of the Krasnoyarsk Dam Shiplift, a branch of the Federal Basin Authority ENISEYRECHTRANS Administration

Editorial note. The Krasnoyarsk Dam Shiplift, the unique hydraulic engineering facility and the only one of this kind in Russia, has performed its work smoothly for more than 40 years now, transporting ships in a huge bath on rail tracks over the Krasnoyarskaya Dam. This engineering facility was first tested during its pre-commissioning. On September 20, 1976 the first vessel was transported from the tail-water to the upper wall. Over the years, June through October, the shiplift operates without a hitch: there has not been a single ship damage accident so far during her transportation. The first overhaul of the structure was carried out between 1995 and 2006, including upgrading of the hydromechanical equipment and engineering network, with corrosion-resistant coating of the rail-mounted ship bath. However, currently, the wear-and-tear level of steel structures is critical. In 2017, the country's main state expert review Glavgosexpertiza approved the project of the shiplift rehabilitation second phase in line with the Federal Target Programme for the Development of the Transport System of Russia until 2020. The Russian Government earmarked as much as RUB 2 billion for the Krasnoyarsk Dam Shiplift reconstruction and the project works start was slated for 2018. However, the overhaul is being delayed due to deferred payments envisaged by the procedure within the framework of Russian legislation (94-FZ). Contractors are not ready to take huge loan facilities and wait for at least a couple of years for payback for performed work of higher complexity. There has been an attempt to introduce changes to Federal Law 94-FZ earlier this year, and hopefully legislators will go ahead and shipping on the Yenisei River will not be interrupted due to the forced decommissioning of the unique Krasnoyarsk Dam Shiplift.



рых установлено в общей сложности 156 радиально-поршневых гидромоторов 1МР16С. Движение судовозной камеры происходит по судовозным путям рельсового типа с уклоном 1:10 и скоростью движения до 20 м/мин, она преодолевает расстояние 1747 м: верховой судовозный путь (ВСП) — 305,15 м; низовой судовозный путь (НСП) — 1189,66 м; поворотное устройство (ПУ) — 105,15 м; ремонтно-монтажная площадка (РМП) — 133,45 м.

Боковые стенки приемного бассейна образованы помещениями машинных залов левого и правого бортов. В машинных залах располагаются главные насосные агрегаты гидропривода передвижения судовозной камеры, системы управления гидроприводами, насосные агрегаты подпитки и другие элементы технологического оборудования. Основные системы судовозной камеры имеют электрогидравлическое управление.

Один из торцов приемного бассейна представляет собой пятиэтажную металлическую каркасную конструкцию, в помещениях и на открытых площадках которой расположено электротехническое оборудование, насосная станция пожаротушения и пульт управления судовозной камерой. Другой торец приемного бассейна, открытый для захода судов, оснащен сегментным затвором с гидроцилиндром для его подъема и опускания.



Основные параметры судовозной камеры:	
длина габаритная	113 м
ширина габаритная	26 м
высота	30 м
длина приемного бассейна	90 м
ширина приемного бассейна	18 м
максимальный уровень воды в приемном бассейне	2,2 м
скорость передвижения	до 20 м/мин.

Масса судовозной камеры без воды — 4530 т, с уровнем воды в приемном бассейне 2,2 м — 8100 т.

Регулирование скорости вращения валов гидромоторов и, соответственно, скорости движения судовозной камеры по судовозным путям производится путем изменения расхода масла, подаваемого в гидромоторы.

Для перевода судовозной камеры из одного бьефа в другой или на ремонтно-монтажную площадку в наивысшей точке трассы судовозных путей предусмотрено поворотное устройство, которое расположено в круглом котловане, ограниченном подпорными стенками. Опорные плиты стен выполняют также роль фундаментов для кругового рельса.

Поворотное устройство по конструктивному исполнению аналогично судовозной камере и предназначено для разворота на угол 142° судовозной камеры при перевозках из бьефа в бьеф. Конструкция поворотного устройства при развороте обеспечивает горизонтальное положение воды и судна в приемном бассейне



> Запас воды под днищем перевозимого судна (min 0,34 м) гарантированно обеспечивает его защиту от механического повреждения в случае экстренной остановки судовозной камеры.

В конце 1961 г. было разработано техническое задание на проектирование судоподъемного сооружения, был рекомендован вариант наклонного судоподъемника с самодвижущейся судовозной камерой и поворотным устройством. Проектирование Красноярского судоподъемника велось рядом организаций — Ленинградским отделением института «Гидропроект» (генеральный проектировщик), СПКТБ «Ленгидросталь», ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» и др. Заказчиком сооружения выступала Красноярская ГЭС, генеральным подрядчиком — СУ «КрасноярскГЭСстрой». Строительство судоподъемника велось в составе комплекса Красноярского гидроузла в период с 1963 г. и было в основном закончено в 1975 г. В связи с тем, что на строящемся сооружении наступил период пуско-наладочных работ, 13 мая 1974 г. в составе СУ «КрасноярскГЭСстрой» было образовано Управление эксплуатации Красноярского судоподъемника (УЭК), первым руководителем которого был назначен кадровый работник речного флота Георгий Павлович Рузанов.

Судоходство вверх по течению реки Енисей от г. Красноярска было восстановлено после тринадцатилетнего перерыва, когда 22 сентября 1976 г. судоподъемником через плотину Красноярской ГЭС было перевезено первое судно — теплоход «ГН-8» Енисейского речного пароходства. В период с 1976 по 1982 г. выполнялись пуско-наладочные работы, одновременно осуществлялись перевозки флота через плотину. 26 сентября 1977 г. Государственная комиссия приняла сооружение в опытную эксплуатацию. В 1977–1983 гг. с использованием судоподъемника была осуществлена уникальная транспортная операция по доставке водным путем из Ленинграда для строящейся Саяно-Шушенской ГЭС всех десяти крупногабаритных рабочих колес и гидротурбин. 4 ноября 1982 г. Красноярский судоподъемник был введен в промышленную эксплуатацию, а 2 июля 1984 г. был передан с баланса Минэнерго СССР на баланс Министерства речного флота РСФСР. Сегодня эксплуатацию сооружения осуществляет Управление эксплуатации Красноярского судоподъемника — филиал ФБУ «Администрация Енисейского бассейна внутренних водных путей».



судовозной камеры. Вес поворотного устройства — 2200 т.

Важно отметить, что и остальные технологические сооружения, обеспечивающие жизнедеятельность и надежность комплекса, насыщены металлоконструкциями и оборудованием, за состоянием которых необходим системный контроль.

На примере судовозной камеры как основного объекта судоподъемника обозначим проблемы надежности эксплуатации металлоконструкций, которые возникли еще на этапе проектирования сооружения. Прежде всего необходимо отметить, что комплексный расчет прочности металлоконструкций судовозной камеры проектировщиками выполнен не был. Были выполнены прочностные расчеты по плоской схеме отдельных балок, стоек, подкосов и т. д., но не конструкции в целом. На эти моменты было обращено внимание Государственной приемочной комиссией еще в 1977 г., и рекомендовалось выполнить расчеты по пространственной схеме, но они так и не были выполнены. Проектировщики — специалисты СКБ «Ленгидросталь» треста «Гидромонтаж» объяснили, что отсутствуют (на тот момент) методики прочностного расчета пространственной конструкции судовозной камеры. Но в 1976–1977 гг. при проведении пуско-наладочных работ по заказу Государственной приемочной комиссии СКБ «Ленгидросталь» проведено тензометрические исследования металлоконструкций СК и ПУ. Из полученных результатов исследований следует, что измеренные значения приложенных напряжений значительно ниже предела усталости металлоконструкций при максимальном уровне воды в приемном бассейне. Зафиксировано возрастание значений напряжения по всем измеренным сечениям по мере увеличения уровня воды в приемном бассейне.

Истинных запасов прочности металлоконструкций мы не знаем и сегодня.

Для того чтобы как-то восполнить этот пробел и определить состояние металлоконструкций, в 2016 г. с ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова» был заключен контракт на выполнение научно-исследовательских работ по теме «Исследование технического состояния несущих металлоконструкций судоподъемника с определением напряженно-деформированного состояния наиболее нагруженных элементов и оценкой остаточного ресурса» (сроки выполнения 2016–2017 гг.). Работу возглавили главный научный сотрудник, доктор технических наук Михаил Леонидович Кузьмицкий и научный сотрудник Николай Михайлович Ксенофонов.

Цель исследования — определение технического состояния и динамики изменений наиболее нагруженных зон и узлов несущих металлоконструкций судовозной камеры и поворотного устройства Красноярского судоподъемника, разработка схем мониторинга безопасности и уточнение критериев безопасности сооружения. По состоянию на 2017 г. основные этапы работы выполнены.

В ходе исследования была отмечена низкая контролепригодность металлоконструкций судовозной камеры и поворотного устройства (малая доступность). Их визуальный контроль для обнаружения деформаций и повреждений элементов отличается большой трудоемкостью и во многих случаях не обеспечивает их точного выявления. Так как для несущих металлоконструкций судовозной камеры и поворотного устройства в большинстве случаев имеет место циклическое нагружение, при наличии агрессивной среды в качестве критического фактора для них следует

рассматривать процесс коррозионно-усталостного разрушения.

Целостность и безаварийное состояние металлоконструкций судовозной камеры и поворотного устройства напрямую связаны с состоянием опорно-ходовых частей, в первую очередь ходовых колес и гидравлических опор. Эти узлы при нормальном техническом состоянии не допускают эксплуатационных деформаций судовозной камеры и поворотного устройства выше нормированных величин.

Нарастающие из года в год эксплуатационные износы уже достигают предельных величин. Это явилось одной из основных причин того, что Красноярский судоподъемник внесен в федеральную целевую программу «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)». В 2017 г. получено положительное заключение государственной экспертизы на проект реконструкции судоподъемника, предусмотрена замена гидромоторов, плунжеров гидроопор, ходовых колес с осями опорно-ходовых тележек и другого гидравлического и механического оборудования. Финансирование проекта осуществляется за счет средств федерального бюджета.

Также следует обратить внимание на железобетонные конструкции, которые имеют не менее важное значение, чем металлоконструкции. Поэтому необходимо проведение научно-исследовательской работы по определению несущих способностей железобетонных конструкций судовозных путей Красноярского судоподъемника в связи с воздействием на них масла, вытекающего из гидросистем судовозной камеры.

Надеемся, что реконструкция уникального гидротехнического сооружения, на которую в рамках федеральной целевой программы выделено 1,2 млрд руб. начнется, как и было запланировано, в этом году.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРО- И ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНЕ ПОРТА НАБИЛЬ НА ВОСТОЧНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ О. САХАЛИН



Макаров К. Н.,
д. т. н., профессор, зав. кафедрой
городского строительства Сочинского
государственного университета, академик
Академии транспорта РФ



Макаров Н. К.,
к. т. н., научный сотрудник Сочинского
государственного университета

Аннотация. Рассматриваются результаты математического моделирования волновых условий, течений, транспорта наносов и заносимости подходного канала, выполненного в рамках научного обоснования проекта реконструкции порта Набиль. Проект разработан ООО «Морстройтехнология» (Санкт-Петербург). Моделирование выполнялось по программам, разработанным в России и реализующим как нормативные методы, так и пионерные разработки. В результате исследований получены расчетные гидро- и литодинамические характеристики и разработаны рекомендации для проектирования гидротехнических сооружений, в частности оградительных дамб подходного канала.

Ключевые слова: реконструкция порта, подходные каналы, дноуглубление, волны и течения, вдольбереговой транспорт наносов, заносимость, устойчивость сооружений.

Проектный участок располагается в проливе Асланбегова на входе в Набилский залив, расположенный на восточном (Охотоморском) побережье о. Сахалин, **рис. 1.**

В состав проектируемых сооружений входят новые причалы, углубление

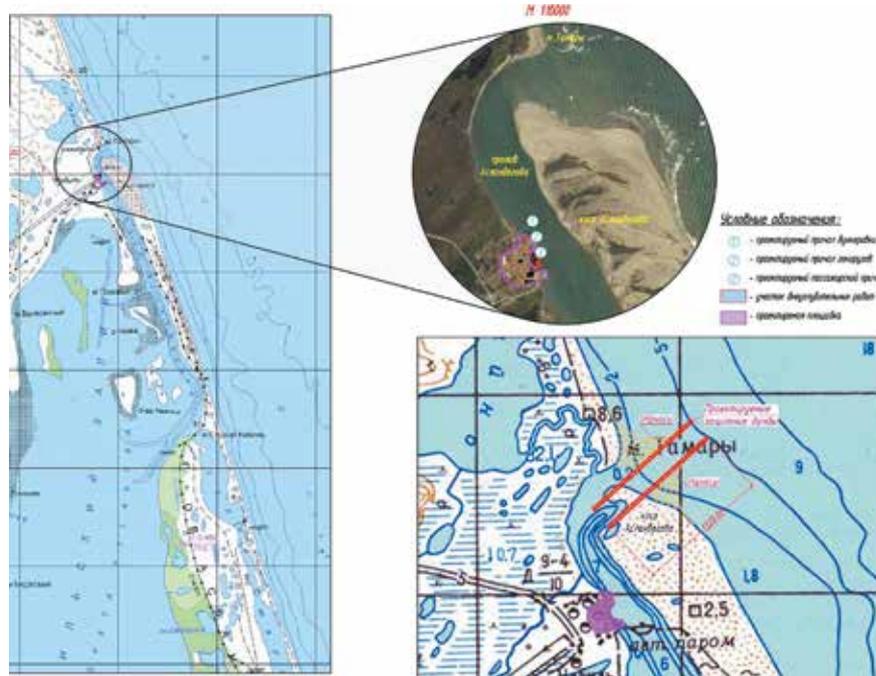


Рис. 1. Расположение проектного участка

MODELING OF HYDRO AND LITODYNAMIC PROCESSES NEAR PORT NABIL ON THE EASTERN COAST OF SAKHALIN

K. Makarov, D. Eng. Sc, Professor, Head of Construction Department, Sochi State University

N. Makarov, PhD in Engineering, research associate, Sochi State University

Abstract. Discusses the results of mathematical modeling of wave conditions, currents, sediment transport and sediment accumulating approach channel, made in the context of scientific substantiation of the project of reconstruction of the port of Nabil. The project was developed by ООО «Morstroytechnology» (St. Petersburg). The simulation was performed using the software developed in Russia and realizing how normativ methods and pioneering development. As a result of research obtained hydro-lithodynamic characteristics and recommendations for the design of hydraulic structures, in particular, the protective dams of the marine approach canal.

Keywords: reconstruction of the port, dredging, waves and currents, coastal sediment transport, sinoimeri, the stability of structures.

пролива Асланбегова до 9,7 м и защита дноуглубительной прорези от заносимости ограждающими дамбами. Класс проектируемых сооружений равен II.

Цель работы заключалась в определении расчетных характеристик волн, течений и оценке литодинамических процессов.

Задачи данной работы заключались в следующем:

- сбор и обобщение исходной информации по естественным условиям в районе расположения проектируемых причалов в порту Набиль;
- расчет элементов волн в штормах повторяемостью 1 раз за 50 лет и 1 раз в год от всех волноопасных направлений на глубокой воде и на подходах к проливу Асланбегова;
- определение расчетных гидродинамических характеристик;

- моделирование вдольберегового транспорта наносов с оценкой заносимости дноуглубительной прорези.

Указанные задачи решались путем сбора и анализа данных натурных наблюдений и исследований с последующим математическим моделированием волновых условий и транспорта наносов на подходах и на акватории проектируемых причалов. Для расчетов применялись нормативные и рекомендательные методы, изложенные в соответствующей литературе и реализованные в программных средствах, разработанных в России.

В результате выполнения работы получены расчетные гидро-, литодинамические характеристики и разработаны рекомендации для проектирования гидротехнических сооружений.

Волновые условия

По режиму волнения Охотское море относится к группе бурных морей. Частые ветры в осенне-зимний период способствуют развитию волнения на акватории моря, свободной от льда. С октября по апрель в основном волнение бывает от СЗ, в это время преобладают волны высотой менее 3 м (83%). Повторяемость волн высотой 4 м и более не превышает 14–16%, а волн высотой 8 м и более — 1%. Иногда высота волн зимой может достигать 16 м.

Моделирование волнового режима выполнено по данным о ветре для 2 района Охотского моря, приведенным в [1], — табл. 1, рис. 2.

Расчет генерации волн ветром на акватории Охотского моря, прилегающей к проливу Асланбегова, выполнен по программе из комплекса [2, 3], реализующей нормативную методику [4, 5]. Продолжительность безледного периода принята равной 210 дням.

По результатам расчетов установлено, что наибольших высот волн в штормах повторяемостью 1 раз за 50 лет на подходах к проектному участку следует ожидать от направлений СВ и ЮЮВ, в которых средние высоты волн составляют 5,9–6,0 м при средних периодах 11,0–11,4 с, средняя длина волн 185–202 м. Продолжительность развитой фазы штормов составляет 12 часов. Высота волн 1% обеспеченности в системе этих штормов достигает 14,3 м (СВ направление).

Средние высоты волн на глубокой воде в штормах повторяемостью 1 раз в год от направлений СВ и ЮЮВ составляют 3,4–3,8 м при средних периодах 8,7–8,9 с, средняя длина волн 117–124 м. Продолжительность развитой фазы штормов 14–16 часов. Высота волн 1% обеспеченности в системе этих штормов достигает 9,0 м (СВ направление).

Расчет рефракции, трансформации и разрушения волн на подводном береговом склоне для направлений от ССВ до ЮЮВ выполнен по программе из комплекса [2, 3], реализующей нормативный лучевой метод согласно [4, 5]. Результаты расчетов для штормов повторяемостью 1 раз за 50 лет от СВ и ВЮВ направлений представлены на рис. 3, 4.

Табл. 1. Роза ветров за безледный период от волноопасных для проектного участка направлений

W, м/с	С	СВ	В	ЮВ	Ю
0–3	0,90	1,00	1,10	1,30	1,20
3–6	2,50	2,80	2,90	3,00	3,00
6–9	2,90	3,30	3,60	3,50	4,10
9–12	1,60	2,60	3,00	3,00	3,40
12–15	1,00	1,00	1,80	1,70	2,50
15–18	0,50	0,40	0,60	0,60	1,40
18–21	0,20	0,10	0,20	0,30	0,50
21–24	0,02	0,03	0,04	0,01	0,20
24–27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04

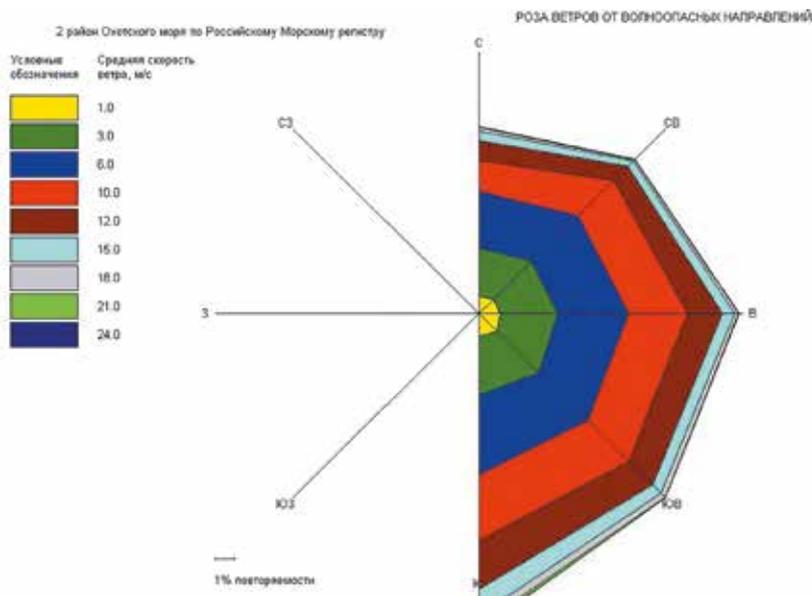


Рис. 2. Роза ветров за безледный период от волноопасных для проектного участка направлений

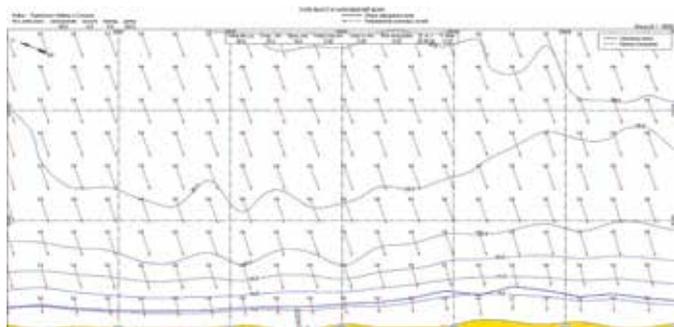


Рис. 3. Поле высот волн в шторме повторяемостью 1 раз за 50 лет от СВ направления

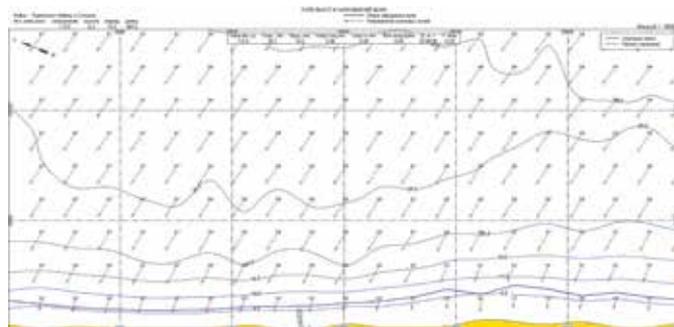


Рис. 4. Поле высот волн в шторме повторяемостью 1 раз за 50 лет от ВЮВ направления

Элементы наиболее опасных для сооружений волн, обрушающихся на различных глубинах с учетом расчетного уровня +2,52 м БС (глубина в головных частях дамб составит 7,5 м)

и угла подхода фронта волны к осям дамб, приведены в табл. 2. Азимут осей дамб принят равным 69°.

Среднегоголетняя расчетная роза волнений представлена на рис. 5.

Течения

Под влиянием ветров и притока вод через Курильские проливы формируются характерные черты системы неперiodических течений Охотского моря (рис. 6). Основная из них — циклоническая система течений, охватывающая почти все море. Она обусловлена преобладанием циклонической циркуляции атмосферы над морем и прилегающей частью Тихого океана. Кроме того, в море прослеживаются устойчивые антициклональные круговороты и обширные области циклонической циркуляции вод.

В районе проектного участка, вдоль восточного побережья острова Сахалин с севера на юг, проходит Восточно-Сахалинское течение (ВСТ). Это холодное морское течение, являющееся одним из основных течений на рассматриваемой акватории. Оно, как и Охотское море в целом, воздействует на климат острова как гигантский термоаккумулятор, определяя затяжную холодную весну. Летом и осенью Восточно-Сахалинское течение усиливает контраст между прохладным восточным и теплым юго-западным

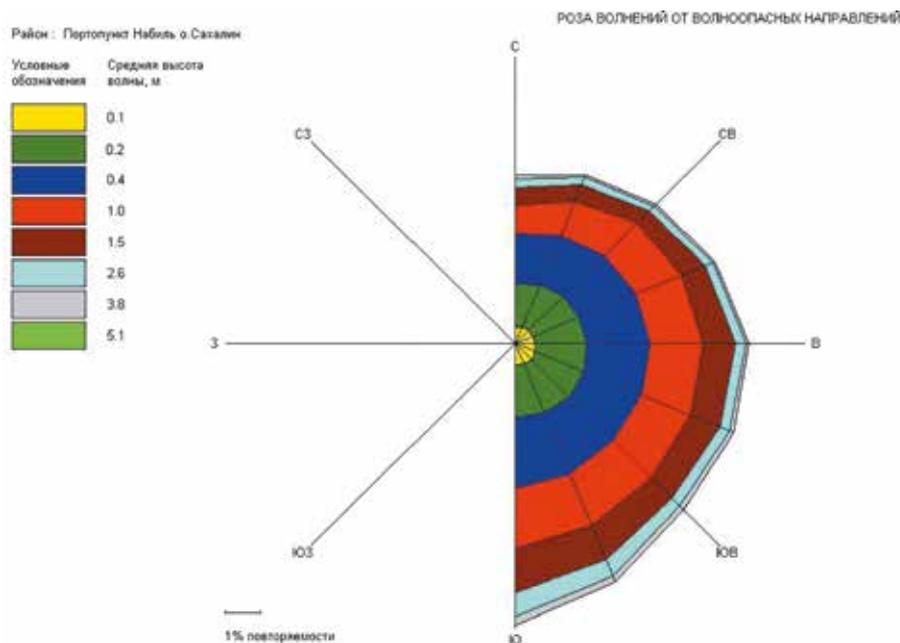


Рис. 5. Среднегоголетняя роза волнений на подходах к проливу Асланбегова

Табл. 2. Элементы волн в прибойной зоне на различных глубинах при расчетном уровне +2,52 м БС в штормах повторяемостью 1 раз за 50 лет

Расположение элемента дамбы	Азимут луча волны, градус	Угол между лучом волны и осью дамбы, градус	Глубина, м	Высота/возв. гребня волны, м	Средний период волны, с	Длина волны, м
Головной	63	6	7,6	6,0/5,3	11,4	131
Внутренний	79	-10	5,5	4,4/3,9	10,4	102
Внутренний	75	-6	3,6	2,8/2,6	10,2	81
Внутренний (на урезе спокойного уровня)	66	3	2,5	1,9/1,7	10,1	67
Внутренний (на урезе спокойного уровня)	66	3	2,5	1,9/1,7	10,1	67



Рис. 6. Общая схема циркуляции вод в Охотском море

побережьями острова, т. к. юго-запад омывают воды теплого Цусимского течения Японского моря.

Само течение образуется по причине наличия разницы в плотности между сравнительно легкими водами шельфа и плотными водами, заполняющими впадину Дерюгина. Как и у других морских течений, его интенсивность меняется в зависимости от сезона года. В летний период ВСТ ослабевает, поскольку ветры южных румбов вызывают апвеллинг на северо-восточном шельфе Сахалина.

У мыса Терпения часть вод ВСТ поворачивает на восток, огибая Курильскую впадину и устремляясь к Северо-Курильским островам, уходя через проливы между ними в Тихий океан, где его остатки сливаются с холодным Курило-Камчатским течением.

Скорость Восточно-Сахалинского течения максимальна в прибрежной зоне (до 65 км от берега), где она достигает 10–20 см/с, по удалении от берега еще на 45 км понижается до

5–10 см/с, и, наконец, постепенно сменяется на противотечение на более дальнем расстоянии. Течение хорошо заметно с октября по май и довольно слабо летом. Наиболее затронут течением поверхностный слой прибрежных вод на глубине до 150 м.

Поле приливных течений суточных волн в северо-восточной части шельфа о. Сахалин имеет почти однородный характер, напоминающий структуру течений для волны Кельвина, распространяющейся вдоль берега. Средние скорости суточных приливотливных течений составляют порядка 20 см/с.

Непосредственно в проливе Асланбегова течения определяются фазой приливов. Максимальные скорости, приуроченные обычно к моментам полных и малых вод, достигают в поверхностном слое воды 1,8 м/с при отливах, 0,9 м/с при приливах. У дна максимальные скорости течения составляют 0,7 и 0,5 м/с, соответственно.

Для оценки режима штормовых течений на подходах к проектному участку были выполнены расчеты полей течений в штормах от ССВ и ЮЮВ направлений повторяемостью 1 раз за 50 лет и 1 раз в год. Расчетные скорости ветра составляют в штормах от ССВ направления 25,2 и 17,7 м/с, в штормах ЮЮВ направления — 28,2 и 20,2 м/с. Продолжительность штормов, возможных 1 раз за 50 лет, — 12 часов, ежегодных штормов — 16 и 14 часов.

В расчетах течений в штормах от северных направлений принималось, что течение совпадает с отливным течением со скоростью 0,20 м/с. В штормах от южных румбов, наоборот, предполагалось, что течение совпадает с приливным течением. Восточно-Сахалинское течение считалось направленным с севера на юг со сред-



Рис. 7. Точки в проливе Асланбегова, принятые для оценки его заносимости

ней скоростью 0,15 м/с. Расчетные скорости течений приведены в табл. 3.

Литодинамические характеристики

Для оценки заносимости пролива Асланбегова на его выходе в море были проанализированы глубины в четырех точках по оси пролива, показанных на рис. 7, по данным промеров глубин с 1993 по 2014 гг. Промерные работы производились во все годы в июне. Данные анализа приведены в табл. 4 и на рис. 8.

Из табл. 4 и рис. 8 следует, что с 1993 по 1998 гг. глубины в точках пролива, показанных на рис. 7, изменились незначительно. В период с 1998 по 2007 гг. произошло существенное увеличение глубины в точке 1 внутри пролива. В то же время в точках 2–4 глубины уменьшились. В период с 2007 по 2011 гг. в точке 1 происходило постепенное уменьшение глубины, и в 2014 г. она стала такой же, как в 1993 г.

Таким образом, можно констатировать, что за 20-летний период значительных размывов или аккумуляции наносов в проливе Асланбегова не наблюдалось. Это, по-видимому, свидетельствует, с одной стороны, о том,

Глубины в точках пролива Асланбегова

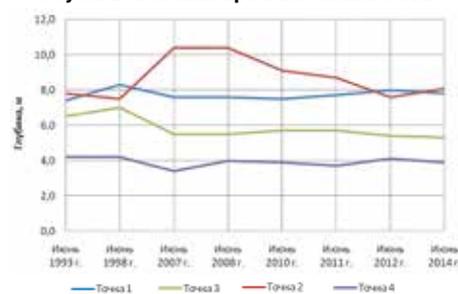


Рис. 8. Графики изменений глубин в точках пролива Асланбегова

Табл. 3. Скорости вдольбереговых течений в расчетных штормах в прибрежной зоне на подходах к проливу Асланбегова с учетом приливо-отливных и Восточно-Сахалинского течения

Повторяемость шторма	Направление шторма	Скорость течения в прибрежной зоне, м/с
1 раз за 50 лет	ССВ	0,60
1 раз в год	ССВ	0,43
1 раз за 50 лет	ЮЮВ	0,51
1 раз в год	ЮЮВ	0,32

Табл. 4. Глубины в точках пролива Асланбегова по данным промеров

Дата промера	Номера точек в проливе			
	1	2	3	4
Июнь 1993 г.	7,4	7,8	6,5	4,2
Июнь 1998 г.	8,3	7,5	7,0	4,2
Июнь 2007 г.	7,6	10,4	5,5	3,4
Июнь 2008 г.	7,6	10,4	5,5	4,0
Июнь 2010 г.	7,5	9,1	5,7	3,9
Июнь 2011 г.	7,7	8,7	5,7	3,7
Июнь 2012 г.	8,0	7,6	5,4	4,1
Июнь 2014 г.	7,8	8,1	5,3	3,9

что основная масса песка переносится вдоль берега транзитом, а с другой — о том, что сам пролив довольно активно промывается приливо-отливными течениями.

При этом следует отметить, что на расстоянии порядка 800 м от уреза спокойного уровня моря имеет место подводный вал с глубинами над гребнем 2–3 м.

Для прогноза динамики берега в районе проектного участка по программе [6], реализующей методики [7–9], был выполнен расчет среднесноголетнего и штормового вдольберегового транспорта наносов. При этом средний диаметр наносов по данным литологической съемки принят равным $d_{ср} = 0,2$ мм. Пролив Асланбегова расположен на 10 поперечнике цифровой модели местности — рис. 9.

По результатам расчетов установлено, что среднесноголетний результирующий вдольбереговой поток наносов на исследуемом побережье направлен с юга на север. Его емкость составляет порядка 150–170 тыс. м³/год. При этом размах миграций весьма зна-

чителен: 270–300 тыс. м³/год с севера на юг и 410–450 тыс. м³/год с юга на север.

Максимальная емкость штормового вдольберегового потока наносов в штормах повторяемостью 1 раз за 50 лет имеет место в расчетных штормах от СВ (228 м³/сут.) и ЮВ (276 тыс. м³/сут.) направлений.

Согласно выполненным расчетам, общий объем перемещаемых наносов в районе проектного участка с севера на юг и с юга на север составляет порядка 700 тыс. м³/год.

В соответствии с данными наблюдений на песчаных берегах Юго-Восточной Балтики (порты Пионерск, Клайпеда), в подходных каналах аккумулируется до 25% перемещаемых вдоль берега песчаных наносов [8, 9]. Следовательно, можно предположить, что в подходном канале к порту Набилль будет аккумулироваться около 175 тыс. м³ песка в год. Тогда заносимость канала (на длине порядка 1400 м) составит $H_3 \approx 1,3$ м в год.

Для снижения заносимости канала предполагается устройство ограждающих дамб.

Высота суммарного нагона в расчетном шторме ежегодной повторяемости от ВЮВ направления составит 1,1 м. С учетом прилива (порядка 0,6 м), высота подъема уровня моря во время шторма составит 1,7 м.

Таким образом, для того чтобы перекрывать во время шторма глубину порядка 6,6 м, ограждающие дамбы должны в штилевых условиях достигать до глубины 5,0 м. Тогда длина их морской части должна составлять не менее $L_{м.д.} \approx 1400$ м.

На рис. 10, 11 представлены результаты моделирования динамики берега в районе проектного участка в штормах повторяемостью 1 раз в год от СВВ и ВЮВ направлений по программе [6].

Из рис. 10, 11 следует, что при прохождении расчетных штормов в корневых частях дамб будут с наветренной стороны формироваться «входящие углы» в результате аккумуляции наносов перед дамбами. С подветренной стороны будут наблюдаться размывы береговой линии. Максимальное выдвигание линии берега составляет порядка 60 м, максимальный размыв — 55 м.

Поскольку объемы переноса песчаного материала в штормах ежегодной повторяемости от противоположных направлений примерно одинаковы, можно утверждать, что односторонних значительных процессов аккумуляции или размыва берега в корневых частях дамб не произойдет.

К северу и к югу от головных частей дамб в результате расширения фронта вдольберегового потока наносов мористее дамб возможно образование подводных аккумулятивных форм (банок).

Конструкция ограждающих дамб

Рекомендуемые к строительству ограждающие наносодерживающие дамбы можно рассматривать как буны на песчаном побережье и, соответственно, проектировать согласно [7]. В указанном документе для песчаных берегов рекомендуются к применению: буны из фасонных массивов или наброски камня однородной крупности; буны из наброски с ядром и защитным покрытием (ядро буны может

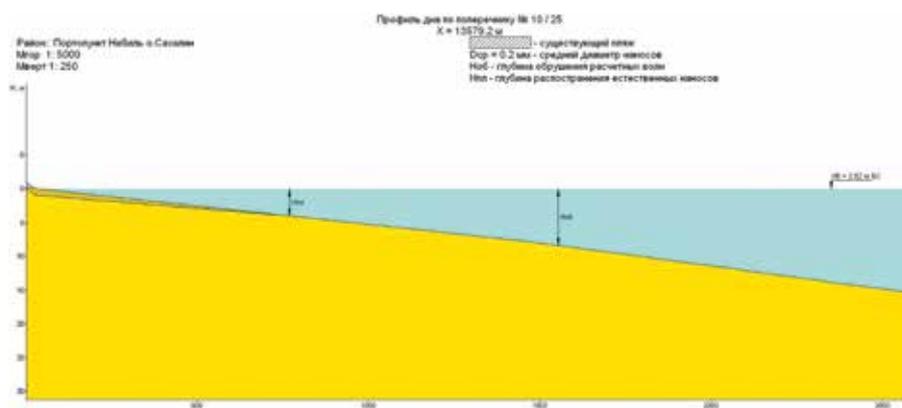


Рис. 9. Поперечный профиль берегового склона в районе пролива Асланбегова

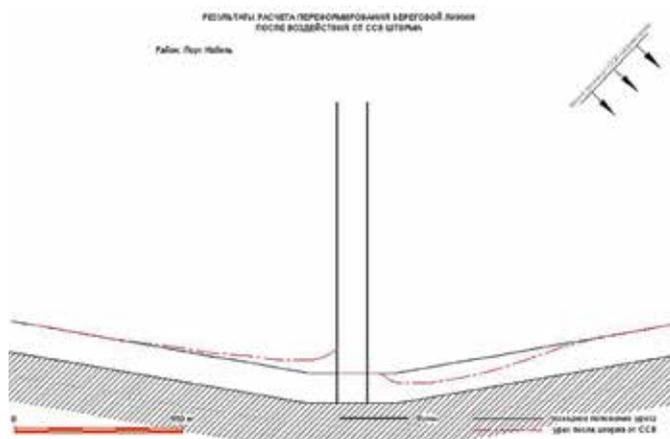


Рис. 10. Динамика берега при прохождении расчетного шторма ежегодной повторяемости от ССВ направления

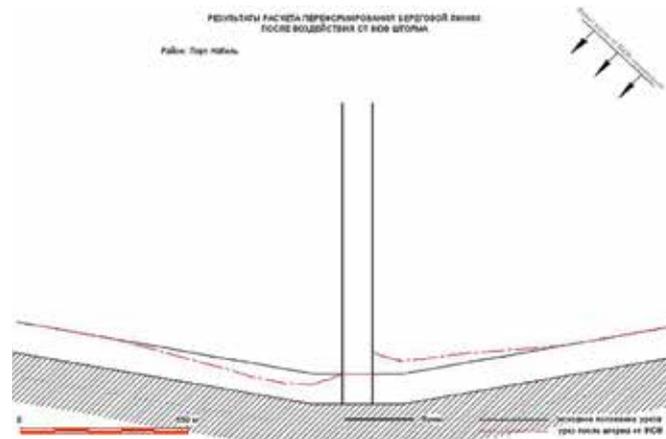


Рис. 11. Динамика берега при прохождении расчетного шторма ежегодной повторяемости от ВЮВ направления

выполняться из камня разнородной крупности); гравитационные непроницаемые буны из сборных бетонных массивов. При этом отмечается, что гравитационные непроницаемые буны из сборных бетонных массивов в условиях песчаных берегов следует применять только после обоснования специальными исследованиями на гидравлических моделях. Рекомендуется строить защитные буны либо набросной конструкции целиком из камня или фигурных блоков, либо с ядром и защитным покрытием.

На берегу профиль буны должен соответствовать профилю поверхности пляжа. В связи с этим по длине буны различают три части: береговую (корневую), переходную и головную (морскую). Длина береговой горизонтальной части буны складывается из длины заделки в коренной берег (если она есть) и размера надводного пляжа. Отметка гребня корневой части буны определяется высотой надводной части пляжа. Переходная часть буны сооружается с наклоном гребня параллельно поверхности пляжа. Перелом в продольном профиле буны

совмещается с бровкой бермы пляжа. Морская часть буны сооружается с горизонтальным гребнем, расположенным на 0,5 м выше отметки среднего многолетнего уровня моря с учетом ветро-волнового нагона.

В соответствии с указанными рекомендациями, принимая отметку уровня моря, равной высоте нагона, т. е. +1,10 м БС, предлагается отметки верха морской части ограждающих дамб принять равными Нмд = +1,60 м БС.

Дамбы следует рассматривать как деформируемые сооружения, требующие периодического эксплуатационного ремонта. Для защитных покрытий ядра дамб используется штучный камень, бетонные блоки фасонной или кубической формы и другие элементы. Защитное покрытие должно иметь толщину не менее чем в 1,5–3 элемента (камня, блока и т. д.). Вес защитных элементов определяется в соответствии с [4, 10]. Откосы дамб из каменной наброски устраиваются с уклоном не круче 1:3. Ширину гребня каменно-набросной дамбы следует принимать не менее 3 м. Были рассчитаны массы камня или фигурных блоков для ча-

стей дамб, расположенных на различных глубинах. При этом учитывалась рекомендация [10, 11] об увеличении расчетной массы элементов набросных сооружений в прибойной зоне на 15% относительно расчетной по формуле из [4]. Результаты сведены в табл. 5.

Здесь следует отметить, что в [11] рекомендуется в прибойной зоне применять камень или фигурные блоки массой не менее 3 т.

Выводы

По результатам выполненных исследований сделаны следующие выводы и разработаны рекомендации для проектирования:

- В подходном канале к порту Набилль будет аккумулироваться около 175 тыс. м³ песка в год. Прогнозируемая заносимость канала без устройства ограждающих дамб составляет $N_z \approx 1,3$ м в год.
- Для того чтобы перекрывать во время шторма фронт переноса наносов, ограждающие дамбы должны в штилевых условиях доходить до глубины 5,0 м. Длина их морской части должна составлять не менее $L_{м.д.} \approx 1400$ м.

Табл. 5. Расчетная масса (т) камня или фигурных блоков (тетраподов или гексабитов) в различных частях проектируемых ограждающих дамб

Расположение элемента дамбы	Глубина, м	Уклон откоса	Камень	Фигурные блоки
Головной	7,6	1:3	14	7
		1:2	25	11
Головной	5,5	1:3	6	2,5
		1:2	10	4,6
Внутренний	3,6	1:3	1,6	0,7
		1:2	3,0	1,3
Внутренний (на урезе спокойного уровня)	2,5	1:3	0,6	–
		1:2	1,0	–

- При проходе расчетных штормов в корневых частях дамб с наветренной стороны будут формироваться «входящие углы» в результате аккумуляции наносов перед дамбами. С подветренной стороны будут наблюдаться размывы береговой линии. Максимальное выдвигание линии берега составляет порядка 60 м, максимальный размыв — 55 м.

- Поскольку объемы переноса песчаного материала в штормах ежегодной повторяемости от противоположных направлений примерно одинаковы, можно утверждать, что односторонних значительных процессов аккумуляции или размыва берега в корневых частях дамб не произойдет.

- К северу и к югу от головных частей дамб в результате расширения фронта вдольберегового потока наносов возможно образование подводных аккумулятивных форм (банок).

- Рекомендуется строить дамбы либо набросной конструкции целиком из камня или фигурных блоков, либо с ядром и защитным покрытием.

- Морскую часть дамб рекомендуется сооружать с горизонтальным гребнем, расположенным отметке Нмд = +1,60 м БС.

- В головных частях дамб рекомендуется предусматривать уклон откосов 1:3 и прикрывать тело дамб камнем массой не менее 14 т или тетраподами массой 7 т.

- В средней части дамб следует устраивать наброску с уклоном 1:3 с креплением камнем массой 6 т или тетраподами массой 3 т. В корневой части рекомендуется устраивать наброску с заложением 1:2 из камня массой 3 т.

Литература

1. Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей / Под ред. Л. И. Лопатухина. Санкт-Петербург: Рос­сийский морской регистр судоходства, 2006.
2. Макаров К. Н., Николенко А. А. Программный комплекс по расчету гидро- и литодинамики бесприливных морей, озер и водохранилищ // Гидротехническое строительство. 1992. № 1. С. 11–12.
3. Макаров К. Н., Николенко А. А. Программный комплекс гидродинамических и литодинамических расчетов «Берег». Версия 3.0. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 950056 в РосАПО от 17.02.95.
4. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Минрегионразвития РФ, 2012.
5. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1994.
6. Макаров К. Н., Макаров Н. К., Николенко А. А., Погорельцев Ю. Р. Программа расчета динамики свободных пляжей и пляжей под защитой пляжеудерживающих сооружений, в том числе на искусственных островах. Свидетельство о государственной регистрации № 2014617856 от 5 августа 2014 г.
7. СП 277.1325800.2016. Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования. М.: Минстрой РФ, 2016.
8. Макаров К. Н., Горлова А. А. Заносимость портовых акваторий и под­ходных каналов // Гидротехническое строительство. 2016. № 7. С. 33–40.
9. Makarov K. N., Gorlova A. A. Sediment Deposition in Artificial Harbors and Approach Channels. Power Technology and Engineering. 2017. Volume 50. Issue 5. Pp. 473–479.
10. Макаров К. Н., Чеботарев А. Г. Волнозащитные наброски в корневых частях портовых молов // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 3. С. 67–78.
11. Лаппо Д. Д., Стрекалов С. С., Завьялов В. К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. М., 1990.

Гидротехника наука и технологии

ОФОРМИТЕ ПОДПИСКУ

НА ЖУРНАЛ «ГИДРОТЕХНИКА» В 2019 ГОДУ,

отправив заявку в свободной форме — интересующие вас номера и количество — на адрес snitko@portnews.ru и реквизиты вашей организации.

Вариант подписки	Стоимость в рублях, НДС не облагается
Годовая подписка на печатную версию журнала (4 номера), отправка по России	4200
Годовая подписка на печатную версию журнала (4 номера), отправка за рубеж	4600
Подписка на 1-2 номера издания, отправка по России	1150
Подписка на 1-2 номера издания, отправка за рубеж	1250
Годовая подписка на электронную версию журнала (4 номера)	3000
Годовая подписка на печатную и электронную версию журнала (4 номера)	6000

Журнал и бухгалтерские документы направляются подписчику Почтой России. Электронная версия направляется на электронный адрес, указанный в бланке подписки; бухгалтерские документы направляются по адресу подписчика Почтой России.

Независимо от даты заполнения бланка подписку можно оформить на полный комплект журналов (4 номера), уже вышедшие на момент оформления подписки номера есть в редакции и будут высланы подписчику комплектом.

СУДОХОДНЫМ КАНАЛАМ — ГАРАНТИЙНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ



Соколов В. Т.,
профессор, член совета Института
морехозяйства и предпринимательства
(г. Одесса), почетный работник
морсречфлота Украины

Аннотация. В статье обосновывается необходимость перехода на гарантийное обслуживание судоходных каналов и фарватеров. На основании проведенного анализа предлагается перейти от оценки стоимости дноуглубительных работ по объемам извлеченного донного грунта к оценке стоимости этих работ, основанной на точности измеренных глубин с применением вероятностных расчетов, соответствующих международным требованиям.

Ключевые слова: судоходный канал, дноуглубительные работы, объем извлекаемого грунта, измерение глубин, расчет затрат на дноуглубление.

Под гарантийным обслуживанием в данном контексте понимаются действия исполнителя дноуглубительных работ, направленные на поддержание габаритов судоходной прорези морского канала или речного фарватера в состоянии, соответствующем паспортным данным, в течение срока, указанного в договорных обязательствах.

Дноуглубительные работы — одно из направлений гидротехники, связанное непосредственно с судоходством. Финансовые затраты на создание и поддержание глубин, соответствующих безопасному проходу судов по подходным каналам, весьма значительны, а потому привлекают повышенное внимание предпринимателей и руководителей государственных учреждений.

Формула этих затрат включает в себя следующие составляющие:

Q — объемы извлекаемого грунта, м³;
P — стоимость работ по извлечению 1 м³ грунта;

Э — экологические издержки, без которых извлечение донных грунтов невозможно:

$$C_q = (Q \times P) + Э. (1)$$

Основным оценочным фактором проводимых гидротехнических работ сегодня является объем извлекаемого грунта, определяемый разностью

глубин на соответствующих площадях, измеренных до и после проведения работ. Логика подсказывает, что если работа оценивается по объемам извлекаемого грунта, а они, в свою очередь, являются функцией измеряемой глубины, то, следовательно, в оценке стоимости производимых дноуглубительных работ лежит точность промеров. Прагматизм сегодняшней действительности заставляет нас пересмотреть основы расчетов при оценке финансовых затрат на производство дноуглубительных работ.

Начнем с того, что если измеряемая глубина является величиной переменной, подчиненной общепризнанному закону нормального распределения, и ее мы оцениваем вероятностным показателем, то и объем извлекаемого донного грунта мы должны рассматривать с позиций вероятности.

Формула определения ср. кв. погрешности измеренной глубины имеет вид

$$M = 1,48 \times 10^{-2} \times X \times d \times p [1], (2)$$

где 1,48 — коэффициент пересчета срединной ошибки показаний прибора, записанной в формуляре, в среднеквадратическую погрешность; X — табулированная (обратная) функция Лапласа; d — глубина места измерения, м; p — величина срединной ошибки в %.

MAINTENANCE DREDGING SERVICES FOR NAVIGABLE WATERWAYS

V. Sokolov, Professor, Member of the Board of the Odessa Institute of Maritime Economy and Entrepreneurship, Honorary Worker of the Sea & River Fleet of Ukraine

Abstract. In this article the author substantiates the need to switch to warranty maintenance servicing of navigable channels and fairways. Based on his own research the author proposes to replace the current cost estimate method based on total dredged materials volume by the estimate based on the accuracy of the measured depths, using probability calculation method that meet international requirements.

Keywords: navigable channel, dredging, volume of dredged material, depth measurement, calculation of dredging project costs.

Например, в соответствии с формулой (1), при $d = 10$ м, $p = 1\%$ и $X = 1,96$ (величина соответствует вероятности 95%, обозначенной международным географическим обществом в документе «S — 44» 2008 г. как стандарт для глубин от 5 до 20 м),

$$M = 1,48 \times 10^{-2} \times 1,96 \times 10 \times 1,0 = \pm 0,29 \text{ м.}$$

Следовательно, при ширине промерной полосы $b = 100$ м на каждом километре канала мы будем иметь погрешность в определении объема извлекаемого грунта

$$\Delta Q = \pm 29 \text{ тыс. м}^3.$$

Для справки: емкость трюма землеса водоизмещением 17,3 тыс. т типа «Гогланд» имеет объем 7,8 тыс. м³.

Следует отметить, что результаты, полученные по нашей формуле, полностью совпадают с величинами погрешностей нормативных требований, изложенных в международных стандартах обозначенного выше документа «S — 44».

Полученные величины погрешностей в определении объемов выбранных донных грунтов, а, следовательно, и финансовая неразбериха в их оценке наводят на мысль об изменении существующей практики в оценке дноуглубительных работ. Становится понятно, почему дноуглубители с такой скрупулезной тщательностью относятся к подсчетам объемов грунтов, вывозимых на свалку; специально создаются промерно-измерительные партии, в функции которых входит манипулирование сантиметрами и объемами, что дает определенный простор для коррупции. При анализе подсчетов объемов выбранного грунта и стоимости этих работ, когда имеет место взаимное недоверие заказчиков и исполнителей, сама собой напрашивается идея внедрения гарантийного обслуживания, устраняющая этот вопрос неопределенности и недомыслия. Такое решение кладет в основу оценки выполняемых работ не подсчеты объемов донного грунта, а ответственность в обеспечении навигационной безопасности судов, следующих по судоходному каналу или фарватеру, что особенно важно при существующей тенденции увеличения тоннажа судов-газовозов и нефтетанкеров, повышенного внимания к вопросам эко-

логии; повышенной требовательности руководителей к непосредственным исполнителям работ. Появляется необходимость в более глубоком изучении процессов заносимости судоходных прорезей и поиска оптимальных решений при дноуглубительных работах, гарантирующих минимальный расход дорогостоящего топлива.

При переходе на гарантированное обслуживание судоходных каналов и фарватеров заказчик должен непременно оставить за собой контрольные функции, касающиеся состояния сданного на гарантийное обслуживание объекта и проводимых там работ. В случаях невыполнения исполнителем договорных обязательств и необходимости введения штрафных санкций следует привлекать к проверке Госгидрографию, имеющую в своем подчинении высококвалифицированных специалистов и необходимое современное оборудование, соответствующее международным стандартам навигационной безопасности: эхолоты, гидролокаторы бокового обзора, донные профилографы и т. п.

Внедрение в практику водного транспорта гарантийного обслуживания судоходных путей и новый подход к оценке стоимости дноуглубительных работ преследует цель направить прагматизм предпринимателя, основой деятельности которого выступает финансовая прибыль, в русло прагматизма государственного, решающего задачи обеспечения навигационной безопасности судов, следующих морскими каналами и речными фарватерами.

Очередной задачей теперь должна стать необходимость коренным образом переосмыслить и пересмотреть руководящие документы (РД), касающиеся технологии промерных и дноуглубительных работ.

Очевидна несуразица, изложенная в этих документах, обязывающая исполнителя неукоснительно соблюдать означенные там действия. Например:

- Объявляя периодичность ремонтных дноуглубительных работ (1–2 раза в год), мы пытаемся предсказать периодичность заносимости судоходной прорези, которая является производной стихии, нам не подвластной.

- Устанавливая предел толщины наносов (0,3 м), являющийся, по мнению исполнителей РД, критерием безопасности движения плавобъектов, и потому определяющий периодичность промерных и дноуглубительных работ, мы демонстрируем свое непонимание самого процесса заносимости судоходной прорези. Практика показывает, а теория подтверждает, что дно канала заносится не ровным слоем, а методом уменьшения ширины между его бровками.

- Процесс интенсивности заносимости канала зависит от величины забровочных глубин и крупности фракций донного грунта, потому и заносимость отдельных его участков различна.

Таким образом, заносимость — это производная стихии, которую человеку предсказать далеко не всегда удается, потому и периодичность потери судоходным каналом своих функций обеспечения безопасного прохода судов определяется сегодня фактически по наитию. Многолетние исследования показывают, что в течение почти всего навигационного периода большинство судоходных каналов по габаритам своих прорезей не соответствуют паспортным данным. Потому, по нашему мнению, и необходимо введение гарантийного обслуживания судоходных путей. Судоходный канал, поступая на гарантийное обслуживание, приобретает своего хозяина. Конкретный хозяин конкретного канала по ходу эксплуатации приобретает конкретные навыки в обслуживании своего детища, от которого зависит его прибыль. Хозяин — это не наемный временщик, отвечающий за гарантийное обслуживание сродни дворнику, который, имея свой участок, знает, где и как ему мести, экономя время и свои силы.

Литература

1. Соколов В. Т. Акватории порта и навигационная безопасность плавания судов. Одесса: Астропринт, 2006. 160 с.
2. Пашкин В. П., Яковлев П. И., Соколов В. Т. Дноуглубительные, рефулерные и гидромеханизированные работы. Одесса: Астропринт. 1999. 428 с.

ОЦЕНКА МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ В МЕРОПРИЯТИЯХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НАВАЛОВ АЙСБЕРГОВ И ЛЕДЯНЫХ ПОЛЕЙ НА МОРСКИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ



Комаровский Ю. А.,
к. т. н., ведущий научный сотрудник,
Морской государственный университет
им. адм. Г. И. Невельского, Владивосток

Аннотация. В работе рассматривается проблема определения скорости менее 0,05 м/с с помощью судового GPS-приемника. Особо остро этот вопрос стоит в задачах предотвращения опасного сближения льда с морскими гидротехническими сооружениями. На основе анализа результатов обработки экспериментальных наблюдений за работой GP-37 и SPR-1400 предложены подходы к решению проблемы определения малых скоростей.

Ключевые слова: GPS-приемник, направление вектора абсолютной скорости, модуль вектора абсолютной скорости, бимодальная плотность распределения, последовательные разности.

Эксплуатация стационарных гидротехнических сооружений (ГТС) в арктических морях в обязательном порядке сопровождается непрерывным контролем окружающей ледовой обстановки. Сюда, прежде всего, входят мероприятия по поиску и обнаружению айсбергов и протяженных ледяных полей, представляющих опасность для нормального проведения технологических процессов на ГТС, а также опасность повреждения ГТС, что может повлечь загрязнение окружающей морской среды и создать угрозу потери человеческой жизни. После обнаружения потенциально опасных объектов начинается мониторинг их перемещений с целью прогнозирования траекторий с тем, чтобы оценить риск навала. Если риск касания велик, то надежный мониторинг позволит своевременно принять решение об эффек-

тивном способе предотвращения касания и вовремя выполнить необходимые мероприятия.

В арктических водах России обнаруживались айсберги размерами в поперечнике надводной части до 250 м [1, 2]. Часто крупные айсберги обнаруживаются в Карском море восточнее архипелага Новая Земля. Угроза опасного сближения с крупными ледовыми образованиями серьезно рассматривается организаторами высокоширотной трассы Северного морского пути (СМП). До недавнего времени преимущество высокоширотной Арктики для прохода крупнотоннажных судов оставалось бесспорным. С 6 августа 2015 г. в эксплуатацию введено дополнительное русло Суэцкого канала шириной 317 м и глубиной 24 м. Это в корне изменило отношение грузооборотчиков к высокоширотной трассе СМП. С этого момента привлека-

ESTIMATION OF SMALL SPEEDS IN MEASURES OF WARNING OF ICEBERG AND ICE FIELDS ADVANCING ON MARINE HYDROTECHNICAL STRUCTURES
Y. Komarovskiy, leading research associate, The Admiral G. Nevelskoy Maritime State University, Vladivostok

Abstract. The problem of determining the speed of less than 0.05 m/s with the help of a GPS receiver is discussed in this article. This problem is especially acute for the tasks of preventing the dangerous convergence of ice on marine hydrotechnical structures. Based on the analysis of the results of processing experimental observations of GP-37 and SPR-1400 operations, approaches to solving the problem of low velocities are proposed.

Keywords: GPS-receiver, COG, Course Over Ground, SOG, Speed Over Ground, bimodal probability distribution, sequential differences.

тельность этой трассы снижается, но не настолько, чтобы отрицать ее безусловно малую протяженность и, как следствие, ожидаемую быструю доставку грузов. Но это требует мероприятий по поиску, обнаружению, оповещению и сопровождению айсбергов и ледяных полей на судоходных путях. Таким образом, проблема предотвращения контактов с айсбергами актуальна не только для ГТС, но и для транспортных судов на трассах СМП.

Поиск опасных образований льда в высоких широтах представляет собой сложную задачу, которую до недавнего времени выполняли с помощью самолетов ледовой разведки, осуществлявшейся, главным образом, вдоль традиционной трассы СМП. Она была довольно затратной и не всегда регулярной из-за погодных условий. Высокоширотные акватории обследовались с воздуха довольно редко. Ситуация изменилась с выводом в космос искусственных спутников Земли (ИСЗ), часть из которых выполняли задачи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). С помощью спутников ДЗЗ регулярно обследовались обширные водные поверхности Арктики при использовании бортовой оптики и радиолокаторов. Вклад спутников ДЗЗ в изучение динамики ледяного покрова арктических морей трудно переоценить. Тем не менее мониторинг айсбергов и протяженных ледяных полей с помощью спутников ДЗЗ не всегда эффективен с позиции своевременного обнаружения развития ситуаций, опасных для ГТС. Дело в том, что судно всегда может уклониться от столкновения с айсбергом или с ледяным полем, о присутствии которых штурманы оповещены. Для обеспечения безопасности ГТС необходимо на расстоянии не менее 30 миль начинать сопровождение потенциально опасных объектов. При этом требуется с высокой точностью определять их координаты и параметры вектора абсолютного перемещения. Выполнить эти задачи с помощью спутников ДЗЗ зачастую нельзя, поскольку они не обеспечивают непрерывность

наблюдения и высокую точность определения параметров динамики наблюдаемых объектов.

Задачу мониторинга перемещения айсбергов вблизи стационарного ГТС на таких расстояниях могут выполнять суда обеспечения, вертолеты и дроны, базирующиеся непосредственно на морских платформах. Но в условиях снежных бурь, темноты, тумана и сильного ветра летательные аппараты не смогут подниматься в воздух, а на вспомогательном судне и в тихую погоду точно определить текущие координаты одной и той же точки айсберга или ледяного поля практически невозможно. Поэтому для мониторинга становится привлекательной технология GPS-буев, нашедшая применение в операциях по ликвидации аварийных разливов нефти [3–5].

GPS-буй представляет собой яркоокрашенный герметичный радиопрозрачный корпус с положительной плавучестью. Внутри него находится малогабаритный приемник сигналов спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS, радиостанция, источник питания и проблесковый огонь. В последние годы используются двухсистемные Глонасс/GPS-приемники. СРНС-приемник определяет геодезические координаты точки, в которой он находится в данный момент времени по шкале UTC, а также направление вектора абсолютной скорости (COG — Course Over Ground) и модуль абсолютной скорости (SOG — Speed Over Ground) перемещения буя. Радиопередатчик буя транслирует эту информацию в эфир. Она принимается на ГТС или на обеспечивающем судне, где обрабатывается, агрегируется и предоставляется в удобном для анализа виде. Радиоприемник буя необходим для получения управляющих команд по изменению режима работы GPS-приемника буя, его радиопередатчика и проблескового огня. Такой буй легко устанавливается на айсберге или на льдине с вертолета или с обеспечивающего судна. Буй может быть установлен управляемым дроном. У технологии GPS-буев есть один недостаток,

который кроется в физических основах получения координат и скорости в судовых СРНС-приемниках. В них координаты вычисляются в ходе кодовых (импульсных) измерений псевдодальностей до спутников. Параметры вектора абсолютной скорости (COG и SOG) определяются в результате измерений доплеровских сдвигов несущих частот спутников [6]. Из-за этого скорости менее 0,1 уз (0,05 м/с) в СРНС-приемниках измеряются с большими погрешностями, а в ряде типов приемников такие SOG не отображаются на дисплеях и не транслируются внешним потребителям. Нередко скорости перемещения айсбергов становятся близкими к нулю. Тогда о скорости и о направлении перемещения айсберга, на котором установлен GPS-буй, приходится судить по приращениям координат. Например, примем, что современные GPS-приемники, работающие без приема дифференциальных поправок, определяют координаты с удвоенной радиальной средней квадратической погрешностью ± 5 м (с вероятностью 0,95). Если айсберг движется со скоростью 0,1 уз, то понадобится как минимум 200 с, чтобы получить координаты, отличающиеся от предыдущих надежностью. При меньших скоростях требуется еще больший интервал времени. В ситуациях, когда айсберг находится в непосредственной близости к ГТС или когда выполняется буксировка айсберга с целью предотвратить касание с ГТС, такие задержки становятся неприемлемыми.

В работах [7, 8] описано обнаруженное автором явление зависимости среднего квадратического отклонения COG и средней разности последующих измерений COG от величины SOG. Показано что эти величины растут при уменьшении абсолютной скорости GPS-приемника в диапазоне от 0,1 уз до 0. Предложено использовать обнаруженные явления для измерения малых скоростей айсбергов и установления факта их полной остановки. Основой предлагаемого метода служит признак полной остановки. Иными словами, необходимо сформировать критерии

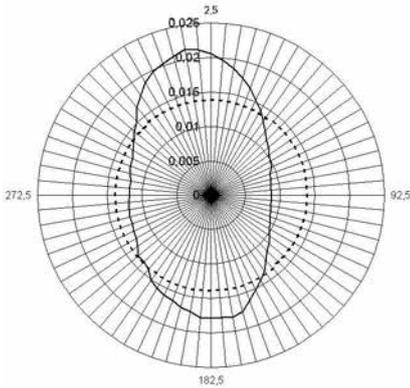


Рис. 1. Полярная гистограмма эмпирической плотности распределения COG GPS-приемника SPR-1400

явления, когда SOG = 0. Для этого потребовалось провести экспериментальные наблюдения за плотностями распределения COG нескольких типов судовых GPS-приемников.

Будем считать генерируемую неподвижным GPS-приемником величину COG как непрерывную случайную величину. Обозначим ее через k . Тогда ее функция распределения $F(k)$ непрерывна при всех значениях k . Обозначим плотность распределения случайной величины k через $f(k)$. Поскольку рассматривается вариант неподвижного GPS-приемника, то появление того или иного значения COG может происходить в результате флуктуаций радионавигационного поля, создаваемого созвездием спутников системы Навстар GPS. Тогда можно предположить равномерную плотность распределения k на отрезке $[a, b]$, где в нашем случае $a = 0, b = 360^\circ$.

Плотность равномерного закона распределения случайной величины k на отрезке $[a, b]$ будет иметь следующую запись:

$$f(k) = \begin{cases} c & \text{для } a \leq k \leq b, \\ 0 & \text{для } k < a \text{ или } k > b. \end{cases}$$

Величина константы c определяется из условия

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(k) dk = 1.$$

В обсуждаемом случае это условие принимает следующий вид: $c(b - a) = 1, c = 1/(b - a), c = 1/360 = 0,00277$.

Если некоторый отрезок $[\alpha, \beta]$ с длиной l входит в отрезок $[a, b]$, то

вероятность того, что очередной отсчет COG будет принадлежать сектору $\alpha - \beta$, равна

$$\int_{\alpha}^{\beta} f(k) dk = \int_{\alpha}^{\beta} c dk = cl = \frac{l}{b - a} = \frac{l}{360}.$$

Следовательно, вероятность того, что очередной отсчет COG будет принадлежать любой части l отрезка $[a, b]$, пропорциональна длине этой части. В полярной системе координат график плотности равномерного распределения COG будет выглядеть кругом единичной площади с радиусом, равным c .

Для проверки сформулированного предположения были использованы экспериментальные данные, полученные в 2006 г. в ходе наблюдений за работой судового GPS-приемника SPR-1400, изготовленного компанией Samsung (Республика Корея). Два таких приемника были установлены в лаборатории радионавигационных приборов и систем кафедры технических средств судовождения Морского государственного университета им. адмирала Г. И. Невельского во Владивостоке. Данные от одного из них автором записывались на жесткий диск ноутбука зимой 2006 г. Наблюдения проводились с 7 ноября по 28 декабря с перерывами, вызванными необходимостью проведения лабораторных работ. Кроме того, лаборатория отключалась от электропитания с вечера пятницы до утра понедельника. Зимой было зарегистрировано 1901044 значений COG.

Для обработки область существования COG $0 - 360^\circ$ была разбита на j равных сектора ($j = 72, l = 5^\circ$). Из полученного массива данных были

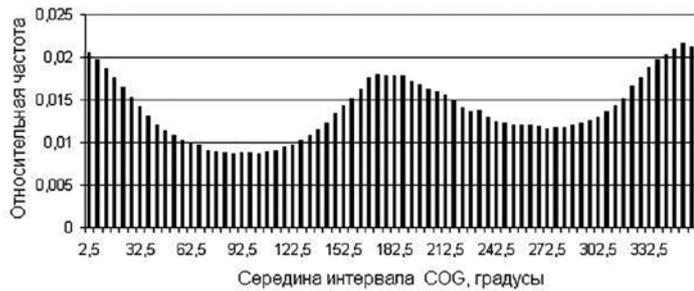


Рис. 2. Линейная гистограмма эмпирической плотности распределения COG GPS-приемника SPR-1400

выбраны значения COG, принадлежащие каждому j -му сектору. При этом значения COG, равные правым границам секторов, переносились в следующий сектор. Обозначим через N объем массива данных экспериментальных наблюдений, а через n_j — количество значений COG, принадлежащих j -му сектору. Тогда относительные частоты $p_j = n_j/N$ при $N \rightarrow \infty$ становятся одинаковыми и приближаются к $5/360 \approx 0,01388$. Относительная частота будет точечной оценкой вероятности попадания COG в данный j -й сектор. С помощью рассчитанных относительных частот p_j наблюдений была построена гистограмма эмпирической плотности распределения COG в полярной системе координат, представленная на **рис. 1**, где сплошная линия соединяет значения вычисленных относительных частот всех 5-градусных секторов. Пунктирная окружность радиуса $0,01388$ отражает гистограмму в предположении равномерного закона распределения COG.

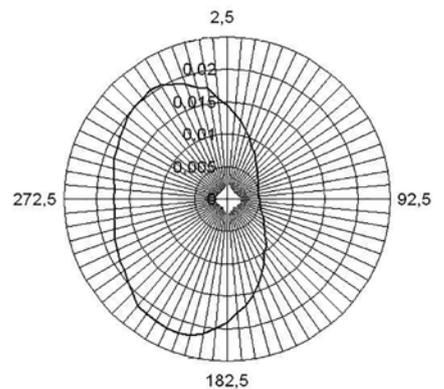


Рис. 3. Полярная гистограмма эмпирической плотности распределения COG GPS-приемника GP-37



Рис. 4. Линейная гистограмма эмпирической плотности распределения COG GPS-приемника GP-37

Анализ рис. 1 позволяет сделать вывод о том, что распределение случайной величины COG нельзя признать близким к равномерному. Видно, что форма плотности распределения близка к форме неправильного эллипса, ориентированного большей осью вдоль меридиана. Чаще всего регистрировались направления на север. Анализ свойств эмпирической плотности распределения COG удобнее проводить по традиционной линейной гистограмме, представленной на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что случайная величина COG имеет бимодальную несимметричную плотность распределения.

На рис. 3 представлена полярная гистограмма эмпирического распределения COG неподвижного GPS-приемника GP-37. Экспериментальные наблюдения проводились круглосуточно с 9 октября по 20 октября 2012 г. Судовой приемник GP-37 компании Furuno был установлен на берегу бухты Гранитная

(Шепалово) между мысом Поворотный и мысом Гранитный непосредственно на берегу Японского моря на расстоянии 2,48 мили (4607 м) от опорного приемника DGPS станции. Приемник GP-37 во время наблюдений находился в режиме автоматического приема дифференциальных поправок. Гистограмма построена по 931953 наблюдениям при ширине интервала 5°.

Линейную гистограмму эмпирической плотности распределения COG неподвижного приемника GP-37 у мыса Поворотный можно видеть на рис. 4.

Если сравнить полученные гистограммы, то можно сделать следующие выводы. Плотности распределения COG неподвижных приемников далеки от равномерных. Для каждого приемника форма плотности распределения уникальна, что может служить дополнительной статистической характеристикой того или иного типа СРНС-приемника. Форма эмпирического распределения COG может служить признаком



Рис. 5. Распределение модуля последовательных разностей COG GPS-приемника GP-37

полной остановки носителя GPS-приемника. Форма распределения COG будет меняться по мере увеличения скорости носителя GPS-приемника.

Для оперативной оценки малой скорости необходимы простые и чувствительные количественные критерии. В качестве такого критерия можно предложить распределение модуля последовательной разности ($\Delta = |COG_{i+1} - COG_i|$). В судовождении принято правило того, что разность направлений не должна превышать 180°. Поэтому в нашем случае на модуль последовательных разностей накладывается следующее ограничение: $0 \leq \Delta \leq 180^\circ$. График эмпирической плотности распределения Δ массива данных неподвижного приемника GP-37 при 1-градусном интервале представлен на рис. 5.

Анализ распределения модуля последовательных разностей рис. 5 позволяет заметить, что максимум относительной частоты приходится на 3°, но не на 0. На интервал значений Δ от 0 до 30° приходится 44,29%. Если носитель GPS-приемника начнет двигаться, то максимум относительной частоты будет значительно увеличиваться, а соответствующее ему значение Δ станет сближаться с 0 при уменьшении дисперсии Δ .

Не менее чувствительными показателями присутствия близкой к 0 скорости будут параметры плотности распределения алгебраической последовательной разности COG ($\Delta_a = COG_{i+1} - COG_i$; $-180^\circ \leq \Delta_a \leq 180^\circ$). График эмпирической плотности распределения Δ_a массива данных неподвижного приемника GP-37 при 3-градусном интервале представлен на рис. 6 прямоугольными маркерами.

Анализ рис. 6 позволяет сделать предположение о симметричном характере эмпирической плотности распределения Δ_a , близким к закону распределения Гаусса. Проверим это предположение, для чего сначала рассчитаем точечные оценки среднего (μ) и среднего квадратического отклонения (σ) по следующим формулам:

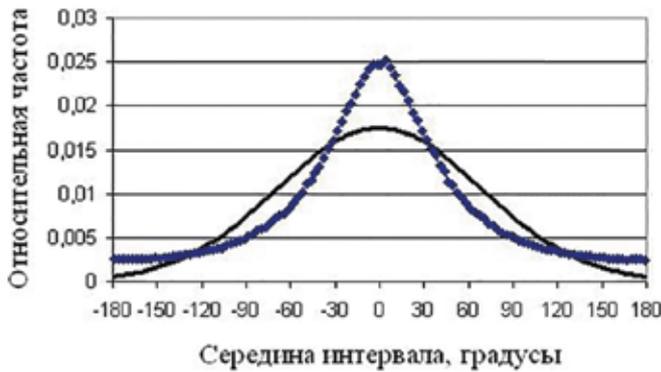


Рис. 6. Распределение алгебраической последовательной разности COG GPS-приемника GP-37

$$a = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \Delta_{ai}, \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (\Delta_{ai} - a)^2}{N-1}},$$

где Δ_{ai} — алгебраическая разность последовательных COG, N — объем экспериментальной выборки.

Результаты вычислений позволили получить $a = 0,04794^\circ$; $\sigma = 68,4098^\circ$.

Симметричность эмпирической плотности распределения принято оценивать коэффициентом асимметрии A с помощью известной формулы,

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (\Delta_{ai} - a)^3}{\sigma^3}.$$

Коэффициент асимметрии A эмпирической плотности после вычислений составил величину $-0,002$, что следует рассматривать как признак практической симметрии плотности распределения случайной величины Δ_{ai} .

Другим показателем, с помощью которого можно предварительно оценить близость эмпирического распределения теоретическому Гауссовскому, принято считать эксцесс E , отражающий острровершинность эмпирической плотности распределения,

$$E = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (\Delta_{ai} - a)^4}{\sigma^4} - 3.$$

Эксцесс случайной величины Δ_{ai} составил $0,364$. Этот факт позволяет сделать заключение о более острой вершине эмпирического распределе-

ния Δ_{ai} , по сравнению с плотностью распределения по закону Гаусса.

Чтобы сравнить формы плотностей эмпирического и теоретического Гауссовского распределений, рассчитаем теоретические частоты n_j для каждого j -го трехградусного интервала ($j = 1, 2, \dots, 180$) по следующей формуле:

$$n_j = \frac{Nh}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\Delta_j - a)^2}{2\sigma^2}\right),$$

где h — ширина интервала, Δ_j — середина j -го интервала.

Полученные относительные теоретические частоты нанесены на рис. 6 в виде сплошной линии. На этом рисунке видно, как в близкой к нулю области разности Δ_{ai} имеют меньшее рассеивание, нежели у закона Гаусса. Также видно, что крылья эмпирической плотности распределения заметно не совпадают с Гауссовским распределением. По этим признакам эмпирическое распределение разности Δ_{ai} нельзя даже в первом приближении аппроксимировать законом Гаусса. При построении алгоритма оценки с помощью судовых GPS-приемников близких к нулю скоростей необходимо сначала получить математическую модель плотности распределения разности Δ_{ai} . Для этого необходимы дополнительные экспериментальные наблюдения.

Подводя итог, надо признать алгебраические последовательные разности COG более приемлемыми для оценки малых скоростей судов и льда вблизи морских гидротехнических сооружений.

Литература

1. Гудошников Ю. П., Зубакин Г. К., Чернов А. В. Вопросы обеспечения безопасности морских инженерных сооружений от айсбергов // Морская биржа. 2008. № 3 (25). С. 70–73.
2. Бузин И. В., Глазовский А. Ф., Гудошников Ю. П. и др. Айсберги и ледники Баренцева моря: Исследования последних лет. Часть 2. Дрейф айсбергов по натурным данным и результаты моделирования и вероятностные оценки рисков столкновения айсберга с гидротехническим сооружением // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 1 (78). С. 81–89.
3. Комаровский Ю. А. Анализ перспектив применения буев для мониторинга загрязнения моря / Региональная научно-практическая конференция «Совершенствование системы защиты морских акваторий и прибрежных зон от загрязнения нефтью»: материалы. Владивосток: Дальневосточная государственная морская академия им. адм. Г. И. Невельского, 2001. С. 69–72.
4. Комаровский Ю. А. Исследование динамики дрейфующего GPS-буйа / Международная научно-практическая конференция «Морская экология» (MAREC-2005): материалы. 5–7 окт. 2005 г. Том II. Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2006. С. 47–56.
5. Комаровский Ю. А. Сравнение способов определения абсолютной скорости дрейфующего GPS-буйа / Международная научно-практическая конференция «Морская экология 2007»: материалы. 3–5 окт. 2007 г. Том I. Владивосток: МГУ им. адм. Невельского, 2007. С. 145–152.
6. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1. Монография. ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». М.: ФГУП «Картгеоцентр». 334 с.
7. Комаровский Ю. А. Оценка точности направлений абсолютных перемещений GPS-буйев при малых скоростях дрейфа // Вестник Морского государственного университета. Вып. 41/2010. Серия: Теория и практика защиты моря. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2010. С. 36–42.
8. Комаровский Ю. А. Использование системы Навстар GPS для мониторинга дрейфа айсбергов вблизи морских платформ // Гидротехника. 2016. № 4. С. 92–95.
9. Комаровский Ю. А. Распределение направления вектора абсолютной скорости неподвижного судна вблизи станции DGPS // XXI Международная научно-практическая конференция «Проблемы транспорта Дальнего Востока» (FEBRAT-15): материалы. 2–4 окт. 2015 г. Владивосток: ДВО Российской академии транспорта, 2015. С. 47–50.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ВЕТРОВЫМИ ВОЛНАМИ



Гаппаров Ф. А.,
к. т. н., доцент, зав. лабораторией
«Водохранилища и их безопасность»,
Ташкентский институт инженеров
ирригации и механизации сельского
хозяйства (Узбекистан)



Кодиров С. М.,
ст. преподаватель кафедры гидрологии,
Ташкентский институт инженеров
ирригации и механизации сельского
хозяйства

Аннотация. Рассматриваются волновые движения, происходящие в водохранилищах по произвольному направлению воздействия ветра, угол направления ветровых волн, а также расчеты присоединенной массы и кинетической энергии ветровых волн. Представлен анализ зависимостей поверхностного движения ветровых волн в водохранилищах, отражены результаты натурных исследований, уточнены факторы, влияющие на формирование береговых линий водохранилищ.

Ключевые слова: ветро-волновое воздействие, суммарная энергия волн, волна цилиндрической формы, кинетическая энергия жидкости.

В результате исследования ветро-волнового режима Каттакурганского, Кайракумского, Ташкентского, Чардаринского, Южно-Сурханского водохранилищ, а также больших нагульных рыбоводных прудов Сырдарьинского рыбхоза Узбекистана, нагульно-выростных рыбных хозяйств при Капчагайском водохранилище в Казахстане были составлены зависимости, которые позволяют определить высоту ветровых волн на водохранилищах. Кроме того, получена формула для вычисления суммарной энергии волн с учетом кривых распределения высот волн и скоростей ветра. Подобные исследо-

вания и расчеты особо актуальны при анализе и прогнозе формирования береговой линии водохранилища.

В данной статье мы рассмотрим волновые движения, происходящие в водохранилищах по произвольному направлению воздействия ветра.

При воздействии ветра активный слой жидкости приобретает цилиндрический вид, и волна цилиндрической формы движется со скоростью ветра по плоскости зеркала водохранилища (рис. 1). При этом, когда воздействие ветра на зеркало водохранилища прекращается, частицы жидкости по инерции продолжают движение.

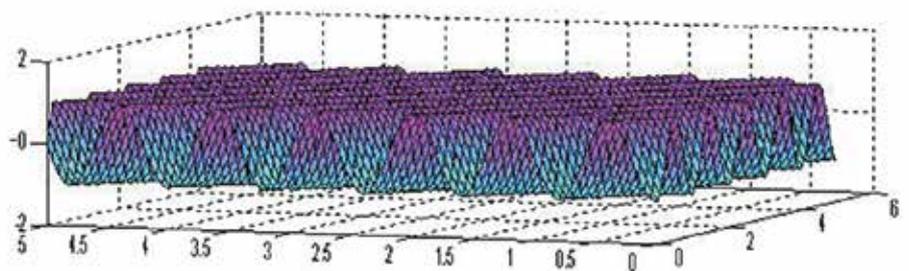


Рис. 1. Движение активного слоя жидкости в форме цилиндра со скоростью ветра по плоскости зеркала водохранилища

SIMULATION MODEL OF WIND WAVES CONTROL

F. Gapparov, PhD in Engineering, Associate Professor, Head of Reservoirs and Safety Lab, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Uzbekistan

S. Kodirov, Senior Lecturer, the Hydrology Department, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers

Abstract. The article deals with the actions of wave motions occurring above reservoirs in an arbitrary direction of the action of the wind, the angle of wind waves, the production of an added mass and the kinetic energy of wind waves. It provides an analysis of the dependencies of the surface movement of wind waves in water reservoirs gives the results of field studies, clarifies the factors affecting the formation of the shore lines of reservoirs.

Keywords: wind and wave effect, total energy of waves, a cylindrical form wave, kinetic energy of a fluid.

Для моделирования этих процессов рассмотрим фиксированные оси Ox и Oy в тот момент времени, когда центр волны цилиндрической формы совпадает с точкой O (рис. 1). Частица, находящаяся в точке $P(x, y)$, движется со скоростью $\frac{Va^2}{r^2}$, где V — скорость ветра, a — скорость волны, направленной под углом θ к радиус-вектору r . Следовательно, касательная к траектории движения в точке P составляет с осью Ox угол $\alpha = 2\theta$. Отсюда, если R — радиус кривизны траектории в точке P , то имеем равенство [2]:

$$\frac{1}{R} = \frac{d\alpha}{ds} = \frac{d(2\theta)}{dy} \frac{dy}{ds} = 2 \frac{d\theta}{dy} \sin 2\theta. \quad (1)$$

Когда жидкость обтекает центр неподвижной волны цилиндрической формы, то частица P движется вдоль линии тока, уравнение которой имеет вид:

$$\eta = y \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) = y \left(1 - \frac{a^2 \sin^2 \theta}{y^2} \right). \quad (2)$$

Это соотношение между y и θ имеет место для наблюдателя, движущегося вместе с волной. Когда волна неподвижна, данное соотношение является уравнением линии тока.

Продифференцируем последнее равенство по y ; после несложных преобразований получим:

$$2 \frac{d\theta}{dy} \sin 2\theta = \frac{4}{a^2} \left(y - \frac{1}{2} \eta \right).$$

Следовательно, для кривизны волн получим равенство:

$$\frac{1}{R} = \frac{4}{a^2} \left(y - \frac{1}{2} \eta \right).$$

Мы получили уравнение кривой, форму которой принимает абсолютно гибкий прут, подверженный продольному сжатию. Когда волна цилиндрической формы движется из $-\infty$ в $+\infty$, то точка P движется из точки P_0 в точку P_1 , которые являются точками кривой и в которых касательная параллельна оси Ox .

Теперь вычислим дрейф точки P , т. е. длину отрезка $\xi = P_0P_1$ (рис. 2).

Далее рассмотрим движение жидкости по отношению к волне цилиндрической формы, которую условно будем считать неподвижной, т. е. жидкость будет двигаться справа налево со скоростью V . Используя выражение для радиальной и трансверсальной компонент скорости [2]:

$$\left. \begin{aligned} V_r &= \frac{Va^2 \cos \theta}{r^2} \\ V_\theta &= \frac{Va \sin \theta}{r^2} \end{aligned} \right\},$$

получаем следующие уравнения для относительного движения:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{V} \frac{dr}{dt} &= \cos \theta \left(\frac{a^2}{r^2} - 1 \right) \\ \frac{1}{V} r \frac{d\theta}{dt} &= \sin \theta \left(\frac{a^2}{r^2} - 1 \right) \end{aligned} \right\}.$$

Один из интегралов этих уравнений есть функция тока (2), где постоянная η задает начальное и конечное расстояние частицы от линии движения центра волнового цилиндра. Тогда

из формул (1) и (2) находим величину дрейфа в виде

$$\xi = \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{dx}{dt} + V \right) dt = \int_0^\pi \frac{a^2 \cos 2\theta d\theta}{(\eta^2 + 4a^2 \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}}. \quad (3)$$

Это движение волны может быть описано эллиптическими функциями, если положить:

$$m = k^2 = \frac{4a^2}{\eta^2 + 4a^2}. \quad (4)$$

И $\cos \theta = -sh \vartheta$, откуда следует, что ϑ — скорость жидкой частицы изменяется от $-K$ до K , где K — полный эллиптический интеграл первого рода [3]. Тогда все движение выразится через параметр ϑ — скорость жидкой частицы, с помощью формул:

$$\left. \begin{aligned} y(\vartheta) &= \frac{a}{k} (k' + dn \vartheta); \\ \xi(\vartheta) &= \frac{a}{k} \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} k^2 \right) \vartheta - E(\vartheta) \right\}; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$Vt(\vartheta) = \frac{a}{k} sc \vartheta (k' + dn \vartheta) + \xi(\vartheta),$$

где $\xi(\vartheta)$, $y(\vartheta)$ — декартовы координаты частицы в момент времени $t(\vartheta)$ относительно первоначального, невозмущенного, положения частиц.

Эти уравнения дают нам возможность построить траектории и вычислить величину дрейфа:

$$\xi = \frac{2a}{k} \left\{ \left(1 - \frac{1}{2} k^2 \right) \vartheta - E \right\}. \quad (6)$$

Точка на кривой (рис. 3), отмеченная цифрой 2, дает положение жидкой частицы, когда цилиндр продвинулся вперед на 2 радиуса от начального положения. Для рассматриваемых частиц жидкости штриховая кривая в левой части рисунка показывает начальные положения частиц, когда волна цилиндра находился в $-\infty$, а штриховая кривая в правой части — конечные положения частиц, когда волна цилиндра ушла в $+\infty$.

Таким образом, на самом деле существует дрейф жидкости слева направо. Для определения массы жидкости между начальным и конечным положением частиц берется слой жидкости единичной толщины, кото-

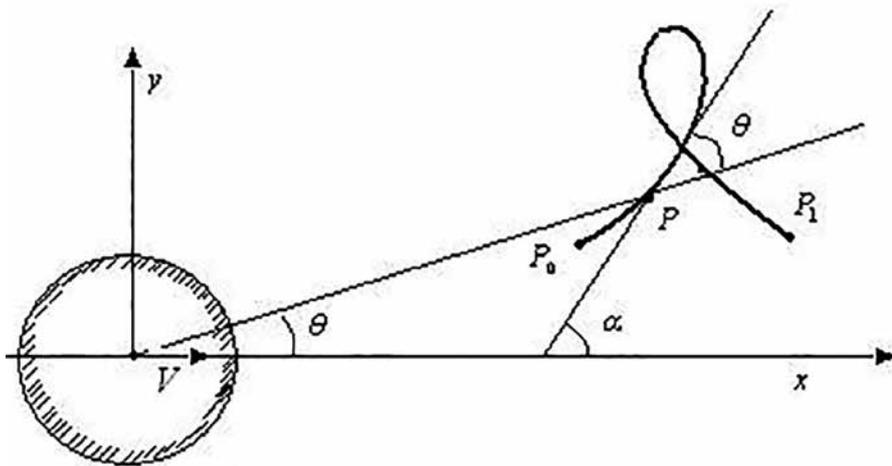


Рис. 2. Движение волны по плоскости зеркала водохранилища после воздействия ветра

рая называется дрейф-массой ρD и вычисляется по формуле:

$$\rho D = \rho \int_{-\infty}^{+\infty} \xi d\eta .$$

Непосредственным интегрированием можно показать, что

$$\rho D = \pi a^2 \rho = M' . \quad (7)$$

т. е. массе жидкости, вытесненной волновым цилиндром.

Кинетическая энергия

Если круговой волновой цилиндр радиуса a движется в жидкости поступательно со скоростью V , то кинетическая энергия жидкости определяется по формуле:

$$T_f = -\frac{1}{4} i \rho \int w d\bar{w} .$$

Кроме того,

$$w = \frac{Va^2}{z} , \quad \bar{w} = \frac{Va^2}{\bar{z}} \quad d\bar{w} = -\frac{Va^2}{\bar{z}^2} d\bar{z} .$$

Далее, на поверхности цилиндра движение волн может происходить по форме [2]:

$$z = ae^{i\theta} , \quad \bar{z} = ae^{-i\theta} , \quad d\bar{z} = -iae^{-i\theta} d\theta .$$

Тогда

$$T_f = -\frac{1}{4} i \rho \int_0^{2\pi} \frac{V^2 a^4}{a^3 e^{-i\theta}} i e^{-i\theta} d\theta = \frac{1}{2} \pi \rho a^2 V^2 \quad (8)$$

Допустим $M' = \pi \rho a^2$, M' — масса жидкости, приходящаяся на единицу толщины, вытесненная волновым цилиндром. Тогда, если M — масса волнового цилиндра, приходящаяся на единицу толщины, то общая кинетическая энергия жидкости и волнового цилиндра равна:

$$T = \frac{1}{2} (M + M') V^2 . \quad (9)$$

Обозначим через F внешнюю силу ветра, действующую в направлении волнового цилиндра. Для любого направления получим $F \sin \alpha$, необходимую для поддержания его движения. Тогда мощность силы F должна быть равна скорости увеличения общей кинетической энергии и, следовательно:

$$FV = \frac{dT}{dt} = (M + M') V \frac{dV}{dt}$$

$$F - M' \frac{dV}{dt} = M \frac{dV}{dt} .$$

Если бы жидкость отсутствовала, второй член в левой части уравне-

ния обратился бы в ноль. Вследствие присутствия жидкости волновой цилиндр при движении испытывает сопротивление, величина, приходящаяся на единицу толщины жидкости, равна:

$$M' \frac{dV}{dt} .$$

Из последнего уравнения следует, что присутствие жидкости увеличивает массу движущегося цилиндра от M до $M + M'$, где M' — масса вытесненной жидкости. Массу $M + M'$ называем виртуальной массой волнового цилиндра, которая получается увеличением массы волнового цилиндра M на присоединенную массу, или гидродинамическую массу, которая в случае кругового волнового цилиндра равна M' . Отметим, что эта гидродинамическая масса M' равна дрейф-массе ρD .

Все движущиеся тела, если движение происходит в некоторой плоской среде, как бы приобретают добавочную массу, поэтому во всех динамических экспериментах массы проявляются как виртуальные массы типа $M + kM'$, где коэффициент k ависит от формы тела и типа движения. Еще Дарвин в [1] доказал, что для тела, движущегося прямолинейно в неограниченной жидкости, гидродинамическая масса равна дрейф-массе, т. е.

$$kM' = \rho D ,$$

а в случае кругового цилиндра $k=1$.

Дальнейшие наши исследования показали, что присоединенная масса действительно представляет собой массу жидкости, заключенную в цилиндр.

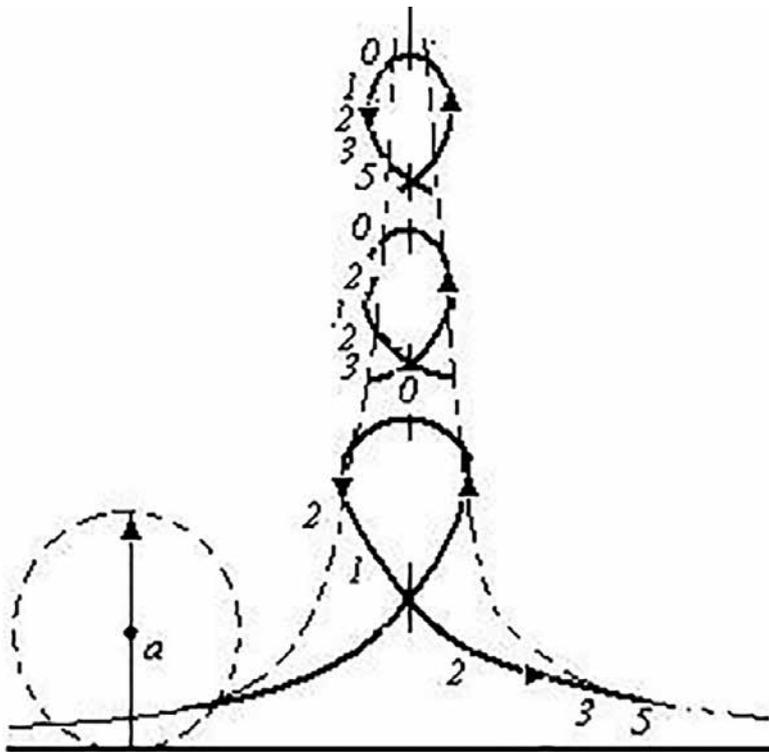


Рис. 3. Траектория для вычисления величины дрейфа

Литература

1. Darwin C., Proc. Cambr. Phil. Soc., 49 (1953), 342-354.
2. Милн-Томсон Л. М. Теоретическая гидродинамика. М.: МИР, 1964.
3. Янке Е., Эмде Ф., Леш Ф. Специальные функции. М., 1968.



ОБ ЭКОЛОГИИ И ГИДРОТЕХНИКЕ

ИНТЕРВЬЮ В. И. ДАНИЛОВА-ДАНИЛЬЯНА

ОТ РЕДАКЦИИ

На страницах предыдущего номера была опубликована дискуссия специалистов, посвященная экологическому состоянию водных объектов, проблемам стихийных природных явлений, способам их прогноза и возможного предотвращения. Редакция получила множество откликов, некоторые из которых опубликованы в этом номере. За прошедший между выпусками период наши регионы вновь потрясли наводнения катастрофического масштаба, природные катаклизмы в горах, в связи с сезоном массовых отпусков в очередной раз обострилась ситуация на крупнейших водных объектах, в частности на Байкале.

Мы обратились за комментариями в Институт водных проблем РАН и попросили ответить на некоторые вопросы Виктора Ивановича Данилова-Данильяна — видного ученого, который и научными исследованиями, и разработками прикладного характера внес огромный вклад в природоохранную деятельность в России.

По просьбе редакции провела и записала интервью Евгения Новикова, к. г. н., контент-менеджер ИВП РАН.

Виктор Иванович Данилов-Данильян — научный руководитель ИВП РАН, член-корреспондент РАН, экономист, эколог, гидролог. Доктор экономических наук, специалист в области экономики природопользования, экономико-математического моделирования, теории устойчивого развития. Одна из его наиболее важных прикладных работ — система платности за негативное воздействие на окружающую среду, которая с 1991 г. повсеместно внедрена в России.

С 1991 г. работал на государственных должностях. Был министром охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ (1991–1996); председателем государственного комитета РФ по охране окружающей среды (1996–2000); депутатом Государственной Думы (1994–1995). В 1992–1994 гг. был председателем правительственной противопожарной комиссии; в 1993–2000 гг. — председателем правительственной комиссии по Байкалу; в 1994–2000 гг. — председателем правительственной комиссии по Каспийскому морю.

Лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники «За разработку и создание природоохранного комплекса, включающего специализированные комплексы контроля экологического состояния водной среды и судно-носитель» (1995).

С 2009 г. — главный редактор журнала РАН «Водные ресурсы».

ON ECOLOGY AND HYDRAULIC ENGINEERING. AN INTERVIEW WITH V. I. DANILOV-DANILYAN

Editorial note. A discussion of specialists published in the previous issue addressed the ecological state of water bodies, of problems of natural phenomena, and how to forecast and prevent them. The editorial board has received many feedbacks with some of them published in this issue. And in between the releases, our regions again were hit by devastating floods, natural disasters in the mountains. The situation on the largest water basins has once again worsened amid seasonal vacations, in particular, on Lake Baikal. We applied for comments to the Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences and asked to answer some questions Mr. Viktor Danilov-Danilyan, a prominent scientist who has made scientific contributions to the environmental activity in Russia. At the request of our editorial board, Mr. Danilov-Danilyan was interviewed by Evgenia Novikova, PhD, Content Manager, the WPI RAS.

— Виктор Иванович, на ваш взгляд, причины катастрофических природных явлений в большей степени связаны с природными факторами или воздействием человека на природу? И возможно ли их прогнозировать, чтобы принять превентивные меры?

— Все экстраординарные явления, которые мы наблюдаем, имеют, конечно, природное происхождение. Это и наводнение в Крымске, и засухи 2010 г. на европейской части России, и наводнения на Амуре как в 2013 г., так и в текущем, которые сопровождаются большим ущербом. То, что сила и частота таких явлений нарастают, общеизвестный факт. Одни ученые считают, что повторяемость природных стихий катастрофического характера удваивается за 10 лет, кто-то считает, что это происходит в течение 15 лет. Но никто из специалистов, отслеживающих статистику, не сомневается в том, что сила и количество таких явлений растут. А ущерб, который они наносят, растет сверхпропорционально их силе и частоте, поскольку люди сами подставляются под действие этих стихийных сил. Например, застраивают поймы рек, подверженных наводнениям, размещают хозяйственные объекты там, где это заведомо делать нельзя. До сих пор у нас не налажена в зонах риска система оповещения населения, например, о ветрах, превышающих скорость 17 м/с. Где-то, как в Москве, предупреждения отправляются жителям чуть ли не каждый день, а где-то — никогда, даже если ветер достигает 30 м/с. Надо отметить, что любой недоучет или отсутствие учета природных рисков означает усиление риска высокого ущерба.

Что касается возможного прогнозирования природных стихий, то для каждого явления есть свой приемлемый горизонт правдоподобного прогноза. К примеру, такое наводнение, которое было в Крымске, спрогнозировать за три дня абсолютно невозможно. Но за несколько часов реально. Дело не только в прогнозировании, но и в

зонировании территорий: для зон особого риска нужно применять жесткие меры по предотвращению возможного ущерба, вплоть до выселения, к примеру, с территории поймы. Это быстро не сделать, это дорогие мероприятия, поэтому необходимо развивать экономические механизмы, страхование в первую очередь. У нас сегодня на страхование смотрят как на способ вытащить деньги из населения, а не способ регулирования вопросов, связанных с ущербом от природных стихий.

— Если на природные стихии человек повлиять практически не может, то на экологическое состояние страны в целом и конкретных водных объектов не только может, но и должен. Как вы видите упорядочение и реализацию государственной экологической политики? Насколько вообще реально ее воплощение в рамках такого большого по территории государства?

ДЛЯ ТОГО ЧТОБЫ СОСТОЯЛАСЬ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА, НЕОБХОДИМО ВЫРАБОТАТЬ СНАЧАЛА ОБЩУЮ ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СТРАТЕГИЮ.

— Большая территория не только у нас, в Штатах и Канаде, к примеру, тоже достаточно большая территория. Но здесь с охраной окружающей среды, по нашим меркам, все в порядке. Говорить, что у нас есть государственная экологическая политика, нельзя. Объявить год экологии — это еще не политика, это пиар, хотя и в определенной мере полезный: если хотя бы что-то было сделано, то уже хорошо. Но дело в том, что в последний, к примеру, объявленный в России год экологии не было сделано практически ничего. Можно продолжать ничего не делать с изношенными очистными сооружениями, застраивать береговую зону, при этом заявляя, что мы в год экологии перенесли, образно говоря, два санузла на 30 м от береговой зоны.

Для того чтобы состоялась экологическая политика, необходимо выработать сначала общую экологию

гическую стратегию. При этом не следует особо увлекаться установлением контрольных показателей, а определить направления работы, расставить приоритеты. Контрольные значения показателей имеют скорее не контрольные функции, а показывают текущее положение дел. Сами показатели зависят и от природных явлений, поэтому всегда есть риск недостижения контрольных показателей, которые как жестко регламентированные величины чаще наносят вред, чем пользу. Следует разобраться, как работать с нормативами. У нас устаревшее отношение к нормативам, когда они трактуются как детерминированные, жестко установленные значения. На нормативы необходимо смотреть как на характеристики статистической величины в духе современной теории управления риском, которая запрещает жесткий регламент показателей, поскольку в спорных ситуациях это только навредит. А в российской

экологии очень много спорных вопросов. Безусловно, нужен государственный документ, регулирующий вопросы экологии, и нужен постоянный государственный контроль за его выполнением — и на уровне отраслей, и на уровне регионов. В нашей полииерархической системе управления необходимо взаимодействие не только всех уровней, но и частных иерархий. Это сложно реализовать, однако практика нацуживает определенные решения, но для этого необходим постоянный общественный контроль. И твердая политическая воля, которая опирается на общественный контроль. У нас этого нет, у нас экология становится темой от случая к случаю. Если бы общественность ощущала постоянное внимание государства к вопросам экологии, то именно эта общественность стала бы на государственном уровне мощным инструментом решения экологических

проблем. На сегодня у нас действует множество разрозненных экологических групп, но единого экологического движения в стране нет. Необходимо содействовать, помогать на государственном уровне его формированию. И это тоже неотъемлемая часть политики государства в вопросах экологии.

— Не можем не коснуться темы Байкала, ситуацию вокруг которого многие ученые оценивают как экологическую катастрофу. До сих пор ведутся споры о том, в какой степени действующие гидротехнические сооружения России (каскады ГЭС с водохранилищами и гидроузлами) повлияли и сегодня влияют на состояние Байкала?

— На мой взгляд, состояние Ангарско-Енисейского каскада ГЭС на состояние Байкала практически не влияет. Колебание уровня Байкала происходит в естественных границах, которые, как выяснилось, и для некоторых специалистов это оказалось неожиданностью, шире, чем те, которые были предписаны нелепыми, с моей точки зрения, постановлениями Правительства РФ. В них очень беспокоились, что станции сработают Байкал ниже казавшегося недопустимого уровня. Однако природа распорядилась иначе: после двух очень мало-

вень Байкала не могло серьезно повлиять.

— Насколько действительно мощным может быть негативное влияние на Байкал монгольских ГЭС?

— Это совсем другое дело. Если ангарские ГЭС находятся на выходе из Байкала, спустить уровень Байкала ниже его естественного минимума они не могут, то Селенга — это основная река, впадающая в Байкал, которая несет значительную часть воды, поступающей в озеро, и большой забор воды на территории Монголии приведет к значительному сокращению поступления воды в Байкал. Здесь многое будет зависеть от режима водопользования, но любой из обсуждаемых монгольских проектов приведет к негативным последствиям для Байкала. Насколько известно, монгольской стороной обсуждаются шесть проектов, они находятся на совершенно разных стадиях подготовки, но каждый из них наверняка приведет к сокращению стоков в Байкал, и это, безусловно, крайне нежелательно.

— Позиция России в этом вопросе влияет как-то на решения монгольской стороны?

— Конечно, влияет, особенно в отношении проекта строительства

потребности Монголии в электроэнергии даже за счет ГЭС, которые уже есть, а также можно построить новые ГЭС без ущерба для Байкала, без экологического ущерба вообще — например, в верховьях Енисея. Это перспективное направление. Естественно, будут споры из-за стоимости электроэнергии, но цена должна быть такой, чтобы Монголии был более выгоден импорт электроэнергии из России, чем строительство своих станций. И для нас эта цена не будет убыточной. Именно к такому решению надо стремиться. А что касается остальных монгольских проектов, то пока они находятся в зачаточном состоянии, создается впечатление, что разговоры о них ведутся с монгольской стороны лишь для того, чтобы склонить Россию к наиболее выгодной для Монголии стоимости электроэнергии.

— По оценкам специалистов, состояние воды в Байкале близко к катастрофическому. По вашему мнению, что является главным фактором, влияющим на ухудшение состояния воды в Байкале?

— Здесь сочетаются два фактора, и их одновременное действие определяет сегодня состояние Байкала. Во-первых, это уже упомянутое маловодье 2016–2017 гг., и, во-вторых, на фоне этого маловодья достиг пика, а, возможно, это еще и не пик, а наивысшая точка на данный момент, показатель количества туристов, наезжающих на Байкал, — он уже составляет миллион человек. Надо понимать, что Байкал и инфраструктура Прибайкалья абсолютно не приспособлены к приему такого количества людей. Туристы выступают как разрушители байкальской экосистемы, поскольку жизнь человека сопровождается сбросом в воды Байкала фосфора, который находится в моющих средствах. Может быть, мелководья Байкала, которых довольно много, и не зацвели в период маловодья, но маловодье в сочетании в огромным сбросом фосфорсодержащих отходов — без всякой очистки и преимущественно

САМОЕ НЕОБХОДИМОЕ СЕЙЧАС НА БАЙКАЛЕ — ЗАНИМАТЬСЯ ТУРИСТСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРОЙ. НО МОЖНО И БЕЗ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ СОКРАТИТЬ КОЛИЧЕСТВО СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ БОЛЬШОЕ КОЛИЧЕСТВО ФОСФОРА, В БАЙКАЛ.

дних лет (2016–2017 гг.) уровень Байкала упал ниже этой границы, но ГЭС здесь абсолютно ни при чем. Это обусловлено природными условиями и примерно соответствует 60-летнему Байкальскому циклу. Конечно, это несколько условный период, но нет сомнения в том, что реальные колебания Байкала после строительства каскада лежат в границах его естественных колебаний. Строительство каскада ГЭС на уро-

ГЭС. Лишь один из шести монгольских проектов направлен на выработку электроэнергии, но для ГЭС необходимо построить водохранилище, местность там хотя и пересеченная, но никаких ущелий нет, водохранилище будет, скорее всего, равнинного типа, испарение из него будет очень значительное. Все, что испарится с водохранилища, — это то, чего недополучит Байкал. А Россия вполне могла бы удовлетворить

в районах этих самых мелководий — привели к цветению мелководий. Раньше этого не было никогда, даже в периоды спада уровня воды в Байкале в рамках его 60-летнего цикла. Именно сочетание обозначенных факторов и дало негативный эффект. К сожалению, туристы едут на Байкал, совершенно не считаясь, готов ли Байкал их принять, и этот процесс будет продолжаться.

— Что необходимо предпринять для остановки или хотя бы минимизации губительных для Байкала процессов?

— Самое необходимое сейчас на Байкале — заниматься туристской инфраструктурой. Но можно и без капитальных вложений сократить количество сточных вод, содержащих большое количество фосфора, в Байкал. Именно содержание в воде фосфора определяет размножение спиригиры, дающей цветение Байкала. В маловодные годы мелководья прогрелись выше обычного — все это способствовало размножению спиригиры, на этот природный процесс мы повлиять не можем. Но устранить поступление фосфора — в наших силах. Я убежден, что первым шагом должен быть запрет на продажу фосфоросодержащих моющих средств в байкальском регионе. Это можно сделать без каких-либо производственных усилий. Сегодня у нас применяются моющие средства с высоким содержанием фосфора, не менее 17%, в то время как в Европе есть широкий ассортимент моющих средств, где содержание фосфора ноль. Эти же самые предприятия производят моющие средства с 17-процентным содержанием фосфора именно для России, к примеру, компания BASF, но у нее же можно закупать совершенно безвредные для Байкала моющие средства. Средства с фосфором дешевле, поэтому их покупаем не только мы, но и другие страны Таможенного союза, но, надо отметить, что не только для Байкала, а и для водных объектов других регионов России попадание в воду фосфора крайне нежелательно. Если в рамках Таможенного союза

принять такое решение практически нереально, то на региональном уровне — конкретно для Байкала — принять такое решение возможно. Поскольку фосфорсвободные моющие средства дороже, то нужно принять решение, чтобы в этом регионе они продавались по той же цене, что и содержащие 17% фосфора. Для бюджета такая компенсация — совершенно пренебрежимые средства в сравнении с тем, например, что тратится на том же Байкале. Больше года я стараюсь продвинуть это решение, соответствующие письма были направлены в самые разные ведомства, но, увы, видимо, людей, кровно заинтересованных в

целью высчитать оптимальную для Байкала пропускную способность. Этим надо заниматься. Я не исключая ситуации, когда забота о Байкале потребует исключить туристский поток, независимо от задач получать прибыль от туризма на Байкал. Стоимость отдыха на Байкале также может служить ограничителем потока туристов, при этом она должна быть адекватна.

— Можно ли на законодательном уровне ограничить поток туристов на Байкал? В мире немало мест, куда очень ограничен массовый доступ. Почему не включить в этот список Байкал?

ЧИНОВНИКУ ВЫГОДНЕЕ ЗАНИМАТЬСЯ ВОЛОКИТОЙ, ЧЕМ БОЛЬШЕ ВОЛОКИТЫ, ТЕМ БОЛЬШЕ ОН СНИМАЕТ С СЕБЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ.

сохранении Байкала, в этих ведомствах нет. На региональном уровне тоже проблему не решить, в регионе цель — получить бюджетные деньги, которые не факт что пойдут по назначению. Но решение есть, и теперь этим вопросом будет заниматься Общественная палата.

— Очевидно, что государственная программа защиты Байкала не работает, при том, что выделяются бюджетные средства на строительство, к примеру, очистных сооружений, но дело не сдвигается, на местах говорят, что тендерная система — это сложно, медленно...

— Да, чиновнику выгоднее заниматься волокитой, чем больше волокиты, тем больше он снимает с себя ответственность за решение проблем. Потому что нет наказания, потому что привыкли делать отписки. Программу защиты Байкала, прописанную до 2020 г., в эти дни в очередной раз модернизируют, вносят какие-то поправки, которые просто смешны. В этой программе ни слова не сказано о миллионе туристов, а это сегодня один из главных факторов уничтожения Байкала. При этом никто не задавался

— Такое решение было бы оправдано, тем более что Байкал включен в список объектов природного и культурного наследия ЮНЕСКО. Поток туристов нужно ограничить не вообще, а пропускной способностью имеющихся там сооружений инфраструктуры. Если позволяют экологические обстоятельства, то поток туристов можно увеличивать, но не до бесконечности. Но этим пока никто не занимается. Это проблема опять же межотраслевая и межрегиональная. Байкал — это совершенно особый, уникальный объект. Надеяться на то, что на этом объекте все будет хорошо, а вне его все так же, как сейчас, не получится. Так не бывает. Для того чтобы на Байкале стало гораздо лучше, нужно, чтобы в стране стало хотя бы немножко лучше в экологических вопросах, а пока этого нет.

— Виктор Иванович, благодарим вас за содержательное интервью и все те усилия, которые вы предпринимаете для решения природоохранных задач в нашей стране. Надеемся, что совместными усилиями мы сможем достучаться до ведомств, отвечающих за эти вопросы.

ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Тлявлиная Г. В.,
зав. лабораторией защиты
берегов филиала АО ЦНИИС
«НИЦ «Морские берега», г. Сочи



Тлявлин Р. М.,
к. т. н., директор филиала
АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега»

Аннотация. Представлен обзор нормативных документов, регулирующих изыскания, проектирование и строительство берегозащитных сооружений в странах Европы и мира. Обозначены направления, по которым осуществлена актуализация российских нормативных документов по проектированию берегозащиты.

Ключевые слова: берегозащитные сооружения, инженерная защита, нормы проектирования берегозащитных сооружений.

Строительство в береговой зоне требует больших экономических затрат и оказывает колоссальное влияние на природные процессы (литодинамику береговой зоны, экологию прибрежных вод и т. д.). Недостаточная степень проработки проектных решений может привести к экологическим катастрофам и большим финансовым потерям. Поэтому процесс проектирования морских бе-

регозащитных сооружений не всегда регулируется нормативными документами [6]. В странах Азии (например, в Японии, Китае) проектирование гидротехнических и берегоукрепительных сооружений основывается на Национальных стандартах (National Code of Practice). В США и странах Европы обычно оно основано на Руководствах по проектированию (Design Manual или Standardised Design Guidelines).

НЕДОСТАТОЧНАЯ СТЕПЕНЬ ПРОРАБОТКИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ЭКОЛОГИЧЕСКИМ КАТАСТРОФАМ И БОЛЬШИМ ФИНАНСОВЫМ ПОТЕРЯМ.

регозащитных сооружений должен быть четко регламентирован. При этом в регламентах (сводах правил, руководствах и т. п.) должны быть всесторонне рассмотрены все этапы (изыскательские работы, проектирование, строительство, последующая эксплуатация).

В отличие от большинства инженерных конструкций, в мировой практике проектирование берегоза-

В большинстве стран Европы строго формализованные нормативные документы по берегозащите (Codes или Design Manuals), как правило, не разрабатываются ввиду того, что подходы к проектированию берегоукрепительных сооружений носят несколько эмпирический характер: в числе факторов, влияющих на конструктивное решение, важную роль играют инженерная оценка и

TECHNICAL REGULATIONS IN THE FIELD OF COASTAL PROTECTION WORKS DESIGN

G. Tlyavlina, Head of Coastal Protection Laboratory of the Morskiye Berega R & D Centre, Sochi

R. Tlyavlin, PhD in Engineering, Director of the Morskiye Berega R & D Centre Branch

Abstract. The article reviews regulations concerning survey, design and construction of coastal protection works in Europe and worldwide. The authors presented the Russian regulations and guidelines on coastal protection works design which have been updated.

Keywords: coastal protection works, engineering protection, design standards for coastal protection works.



опыт. При проектировании берегозащитных сооружений используют Руководства по проектированию (Design Guidelines), разработанные с привлечением специализированных научно-исследовательских организаций, где официально закреплены лишь руководящие принципы. Допускается определенная свобода их использования: разработчик проекта может отойти от этих принципов, когда есть разумные аргументы.

Так, например, в Нидерландах Руководства по проектированию инженерной защиты территорий от воды разрабатываются соответствующими департаментами голландского правительства под наблюдением Технического консультативного комитета (TAW). Эти нормы распространяются не только на общие принципы проектирования и методологию, но также на технические вопросы и методы расчета (в большинстве случаев разработанные на основе собственных научно-исследовательских программ). Руководства часто используются в других странах (особенно в странах вокруг Северного моря) для создания на их основе своих собственных документов.

В Германии Рекомендации для проектирования выпускает комитет Committee for Waterfront Structures (EAU 1996, 2000). Данные рекомендации также не являются обязательными правилами. Германия известна как страна с развитыми традициями в области стандартизации (немецкие DIN). Стандарты DIN, так же как и EuroCodes, регулируют методы проектирования в общем и подразделяются в зависимости от типа

материалов (бетон, сталь, древесина, геосинтетические материалы и т. д.).

В Испании проектирование берегозащитных сооружений регулируется Рекомендациями ROM 0.2-99. В этом документе собраны и обобщены ведущие современные достижения и опыт по проектированию морских гидротехнических сооружений в Испании. Цель ROM состоит в определении набора правил и технических условий, которые должны соблюдаться при разработке проектов, эксплуатации, техническом обслуживании и реконструкции объектов морской гидротехники.

Япония известна как страна с довольно высоким уровнем стандартов по проектированию. Многие годы разработка стандартов в области проектирования гидротехнических сооружений находилась в ведении четырех государственных органов (строительство, транспорт, рыболовство и сельское хозяйство, в зависимости от назначения и использования того или иного участка берега). Каждый из органов разрабатывал свои собственные стандарты и правила с различными подходами и критериями проектирования, из-за чего возникало множество противоречий. С 1999 г. происходит пересмотр технических стандартов в этой области. Разработано Руководство по проектированию гидротехнических сооружений (Design Manual on Coastal Facilities), в котором рассмотрены различные аспекты проектирования.

В Великобритании с 1984 г. Британским институтом стандартов (BSI) выпускается Свод правил по морским сооружениям (Code of

Practice for Maritime Structures) [7]. Этот документ нечасто применяется непосредственно при проектировании берегоукрепительных сооружений, т. к. данному вопросу в нем уделяется мало внимания (он используется при проектировании водных путей и портов). Кроме того, ассоциацией CIRIA (Лондон) издается Руководство по использованию природного камня в гидротехническом строительстве (The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering) (CUR / RWS) [9].

В Соединенных Штатах, где вопросами берегозащиты занимается Инженерный корпус армии США, до 2002 г. применялось Руководство по защите берегов (Shore Protection Manual) от 1984 г. [8]. Это руководство широко использовалось и во всем мире. В 2002 г. документ переиздан с учетом современных европейских достижений в области берегозащиты под названием «Руководство по гидротехнике» (Coastal Engineering Manual) [5].

Из рассмотренных выше два документа — The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering и Coastal Engineering Manual — рекомендуются специалистами для использования во всем мире в качестве справочных.

В целом, стандарты проектирования морских берегоукрепительных сооружений разных стран (Дания, Франция, Германия, Голландия, Италия, Япония, США, Великобритания и Испания и др.) имеют много общего [1, 2]:

- свободный рекомендуемый характер применения (рекомендации излагаются в форме советов, без

категоричных установок и требований);

- состав рассматриваемых вопросов (область применения, терминология, материалы, строительные работы, контроль качества и т. д.);

- общепризнанный принцип защиты морских берегов состоит в гашении энергии волн с помощью пляжей, которые могут, в зависимости от геоморфологических условий, рассматриваться как самостоятельное сооружение либо работать в сочетании с другими сооружениями;

- применяемые берегоукрепительные и пляжеудерживающие сооружения в сочетании с пляжами: буны, волноломы, волноотбойные стенки, волногасящие прикрития из камня или фасонных массивов и т. п.;

- защита морских берегов рассматривается как одна из составных

защитных сооружений»), которыми регламентировалось берегозащитное строительство на берегах морей СССР и оз. Байкал [3].

Однако некоторые положения СП 32-103-97 морально устарели, отдельные указания являлись неточными или некорректными, а отрицательный эффект от применения ряда конструкций, рекомендованных стандартом, среди специалистов давно доказан. По этим причинам в 2015–2016 г. была проведена актуализация данного документа. Целесообразность актуализации СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений» установлена специалистами филиала АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега» в процессе выполнения большого объема проектно-изыскательских работ, а также по отзывам представителей основных

проектирования» [10]. Этот Свод правил является преемником СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений» [4].

За последние годы известно небольшое количество объектов в береговой зоне, разрушенных или причинивших трудноустраняемый вред смежным участкам берега. Частично причиной этого является недобросовестное проведение строительных работ. Но грамотная и жесткая регламентация процесса проектно-изыскательских работ позволила бы во многих случаях избежать крупных финансовых потерь.

Морские берега являются национальным достоянием страны, нуждающимся в защите на уровне государственной политики, неотъемлемой частью которой являются нормативные документы.

В 2015–2016 гг. филиалом АО ЦНИИС «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МОРСКИЕ БЕРЕГА» БЫЛ РАЗРАБОТАН И С 17.06.2017 ПРИКАЗОМ МИНСТРОЯ РФ ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ СП 277.1325800.2016 «СООРУЖЕНИЯ МОРСКИЕ БЕРЕГОЗАЩИТНЫЕ. ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ» [10]. ЭТОТ СВОД ПРАВИЛ ЯВЛЯЕТСЯ ПРЕЕМНИКОМ СП 32-103-97 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОРСКИХ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ».

частей охраны природы, ей придается важное социальное значение, поэтому берегоукрепительные сооружения должны удовлетворять требованиям экологичности и гармонично вписываться в ландшафты побережий.

В нашей стране до середины 2016 г. основным документом, регламентирующим процесс проектирования морских берегозащитных сооружений, являлся СП 32-103-97 «Проектирование морских берегозащитных сооружений» [4], разработанный филиалом АО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», г. Сочи.

С 1950-х гг. до разработки СП 32-103-97 в НИЦ «Морские берега» (ранее — Черноморское отделение ЦНИИС им. Жданова) было подготовлено семь изданий данного документа (последнее наименование — ВСН 183-74 «Технические указания по проектированию морских берего-

крупных фирм-проектировщиков морских берегозащитных сооружений).

Приоритетными направлениями актуализации стали следующие:

- приведение положений СП в соответствие с действующей нормативной документацией;

- устранение технических ошибок и морально устаревших положений и требований;

- учет современных достижений и тенденций в области морской берегозащиты;

- учет мирового опыта при проектировании и строительстве морских берегоукрепительных сооружений.

В 2015–2016 гг. филиалом АО ЦНИИС «Научно-исследовательский центр «Морские берега» был разработан и с 17.06.2017 приказом Минстроя РФ введен в действие СП 277.1325800.2016 «Сооружения морские берегозащитные. Правила

Литература

1. Анализ мировой практики берегозащитного строительства и разработка рекомендаций по морской берегозащите. Отчет о НИР: Черноморское отделение ЦНИИС, 1990.
2. Изучение мирового опыта проектирования и строительства морских берегоукрепительных сооружений. Отчет о НИР: филиал ОАО ЦНИИС «НИЦ «Морские берега», 2010.
3. Нормы проектирования морских берегозащитных сооружений. Принципы разработки. Отчет о НИР: Черноморское отделение ЦНИИС, 1990.
4. СП 32-103-97 Проектирование морских берегоукрепительных сооружений.
5. CEM/Coastal Engineering Manual. Department Of The Army U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC 20314-1000, 2002.
6. Krystian W. Pilarczyk. Hydraulic and Coastal Structures in International Perspective, 2003.
7. Maritime structures. Code of practice for general criteria. BS 6349-1:2002.
8. SPM/Shore Protection Manual. Coastal Engineering Research Centre, US Corps of Engineers, 4th edition, Washington, 1984
9. The Rock Manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition). CIRIA, CUR, CETMEF, 2007.
10. СП 277.1325800.2016 Сооружения морские берегозащитные. Правила проектирования.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ДЕФОРМАЦИЙ МОРСКИХ БЕРЕГОВ



Дзагания Е. В.,

член Сочинского отделения Русского географического общества, главный специалист по гидрометеорологическим изысканиям ООО «Инжзащита», г. Сочи

Аннотация. Рассматриваются основные методы прогноза деформаций берегов при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений, глубоководных выпусков и подводных трубопроводов для определения целесообразности строительства, правильного выбора конструкции сооружений и обеспечения надежного безаварийного нормативного срока службы сооружения.

Ключевые слова: деформации берегов, гидротехнические сооружения, натурные исследования, морфо-литодинамические исследования, повторные съемки пляжной зоны и прибрежного мелководья, эмпирико-теоретические расчеты, гидрометеорологические методы.

Прогноз деформаций является необходимым при проектировании и строительстве морских гидротехнических сооружений, глубоководных выпусков и подводных трубопроводов для определения целесообразности строительства, правильного выбора конструкции сооружений и обеспечения надежного безаварийного нормативного срока службы сооружения.

Верхний слой грунта в береговой зоне находится под непрерывным воздействием движения воды. В результате происходят деформации дна и пляжной полосы, а также размыв и разрушение берегов. Различают два вида деформаций: размыв (абразия) и намыв (аккумуляция), которые происходят в результате транзита наносов под воздействием волн и течений.

Об актуальности проблемы выполнения и повышения достоверности прогноза деформаций берегов, учета результатов прогноза деформаций при проектировании свидетельствуют факты разрушений гидротехнических и иных сооружений. Только в городке-курорте Сочи на восточном побережье Черного моря за последние несколько лет неоднократно разрушались набе-

режные в Адлерском и Лазаревском районах, был разрушен подводный глубоководный выпуск в Адлерском районе города Сочи (рис. 1).

Для предотвращения разрушения гидротехнических и иных объектов, расположенных на морском побережье, главной задачей исследователя динамики морских берегов является выявление всех основных факторов воздействия на береговую зону, чтобы заранее предсказать те изменения в береговых процессах, которые произойдут при намечаемом строительстве.

В комплекс исследований динамики берегов для гидротехнического строительства входят:

Натурные исследования (маршрутные, повторные и стационарные):

а) геолого-геоморфологическое исследование (проводится в начале работ и включает характеристику рельефа и состава пляжей, береговых обрывов, подводного склона, зон питания, транзита и отложения наносов);

б) гидрологические изыскания:

- наблюдения за элементами метеорологического режима (направление и скорость ветра);

- наблюдения за элементами гидрологического режима (уровень воды,

METHODS OF SEASHORE DEFORMATIONS FORECAST

Dzaganiiya E. V., member of the Sochi Russian Geographical society; chief specialist on hydrometeorological researches of LLC «Engprotection» of Sochi

Abstract. The main methods of the forecast of deformations of coast at design and construction of hydraulic engineering constructions, deep-water releases and underwater pipelines for determination of expediency of construction, a right choice of a design of constructions and providing reliable accident-free standard service life of a construction are considered.

Keywords: deformations of coast, hydraulic engineering constructions, natural researches, morfo-litodinamicheskyy researches, retakes of a beach zone and coastal shallow water, empiriko-theoretical calculations, hydrometeorological methods.



Рис. 1. Разрушение Имеретинской набережной в Адлерском районе Сочи штормом в марте 2013 г. Фото Котенко Г. Э.

параметры волн, скорость и направление течения, мутность; расходы взвешенных и влекомых наносов);

в) морфо-литодинамические исследования:

- наблюдения за движением наносов (определение подвижного слоя наносов, определение скорости и направления перемещения влекомых наносов, метод радиоизотопов, метод меченых песков, метод меченой гальки);
- гранулометрический анализ образцов донных и пляжных наносов;
- общее описание и геоморфологическая съемка побережья с составлением соответствующих карт на базе топографических материалов;
- повторные нивелировки пляжа и промеры глубин на подводном склоне;
- водолазное обследование дна;
- повторные аэрофотосъемки или спутниковые съемки пляжной зоны и прибрежного мелководья;
- анализ и интерпретация планов промеров глубин, топографических съемок и аэро- и спутниковых фотоматериалов и увязка их с данными о движении наносов.

На основе промерных планов объективно и в количественном выражении определяется объем перемещенных наносов, а также зоны аккумуляции и раз-

мыва. Для сравнения рекомендуется использовать карты крупных масштабов. Границы размыва и нарастания берега, а также участки транзита наносов определяются путем сопоставления гидрографических, а иногда и топографических карт, выполненных с интервалами в несколько лет, в десятки, а иногда и сотни лет. В последние годы широко используются спутниковые снимки Земли. Картографический метод прогноза хорошо подходит для долгосрочных прогнозов, но не учитывает возможное вмешательство человека. Например, при изысканиях на севере Керченского пролива (рис. 2) было выполнено сопоставление карты Кубанской области 1902 г.; карты к статье К. И. Подозерского «Современный Таманский п-ов» (т. XXI, № 1. Изд-е Кавказского отд-я Императорского Русского Географического общества, 1911 г.); аэронавигационной карты (М1:1000000, Управление военных топографов, цН.И.И. В.В.С. Р.К.К.А., 1932 г.); американской военной карты 1950 г., и получен прогноз по отступанию берега через 30 лет (табл. 1).

Эмпирико-теоретические расчеты

Все существующие методы расчета движения наносов и деформаций бе-

регов являются приближенными и небесспорными. К ним следует прибегать, если нет возможности получить режимные характеристики движения наносов путем натурных исследований из-за недостатка времени. Результаты расчетов необходимо сопоставлять с натурными и гидравлическими исследованиями.

Для расчета интенсивности движения наносов используются следующие методы:

1) гидрометеорологический:

а) ветроэнергетический: заключается в суммировании энергии ветра, по которой определяется вдольбереговая составляющая потока энергии волн. Недостаток метода — неучет волн зыби. Впервые предложен И. Мунх-Петерсоном и В. Глушковым, усовершенствовался Р. Я. Кнапсом, И. А. Правоторовым, Н. Д. Шишовым и др.;

б) волноэнергетический: определяется как волноэнергетическая равнодействующая по данным натуральных наблюдений. Метод разработан А. М. Ждановым и Б. А. Поповым;

в) ветро-волноэнергетический: энергия определяется по параметрам волн, рассчитанным по ветру. Метод разработан В. В. Лонгиновым. Здесь преимуществом является учет неустановившегося волнения, использование спектра направления волн;

2) гидравлический: расход наносов по вертикали определяется по их концентрации в потоке воды и по распределению скоростей потока;

3) эмпирический: связь расхода и отложения наносов с направлениями и параметрами волнения, морфометрическими характеристиками береговой зоны и составом наносов.

Гидравлическое моделирование гидротехнических сооружений рекомендуется при проектировании сложных, ответственных и дорогостоящих гидротехнических сооружений (морские порты, сложные конфигурация берега и рельеф дна).

Требования по необходимости выполнения прогноза деформаций берегов изложены в нормативных документах для строительства: СП 47.13330.2016 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная /



Рис. 2. Мыс Ахиллеон — северо-восточная оконечность Керченского пролива

Табл. 1. Темпы отступления береговой линии северо-восточного побережья Керченского пролива, к югу от мыса Ахиллеон

№ п.п.	Год издания карты	Расстояние до современного уреза, м	Количество лет	Размыв за год, м	Прогноз размыва на 30 лет, м
1	1902	-174	112	1,6	48
2	1911	-159	103	1,5	45
3	1932	-126	82	1,5	45
4	1950	-51	64	0,8	24
	Среднее			1,35	40,5

редакция СНиП 11-02-96». Рекомендации по расчету деформаций и определению прогнозируемого профиля пляжа даны в Приложении В к СП 38.13330.2012 «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82*», а также во временных нормах ВСН 163-83 «Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов)». Отметку нижней границы крепления и размеры элементов конструкции гидротехнического сооружения следует определять при максимальном, среднем и минималь-

ном уровне воды, вводя в расчет элементы волн, соответствующие указанным уровням воды. Из полученных значений следует принимать самые неблагоприятные.

Из-за многочисленных условностей и погрешностей расчетных методов для получения достоверных прогнозов деформаций берега необходимо выполнение литодинамического анализа на основе полевых исследований.

Рекомендуется регулярное выполнение натуральных наблюдений за деформациями берегов (мониторинг) в пределах берегов тех населенных пунктов, где существует опасность разрушений берегов для населения и объектов народного хозяйства.

Литература

1. Руководство по методам исследований и расчетов перемещения наносов и динамики берегов при инженерных изысканиях. М.: Гидрометиздат, 1975. 240 с.
2. Руководство по гидрологическим исследованиям в прибрежной зоне морей и устьях рек при инженерных изысканиях. М.: Гидрометиздат, 1972. 396 с.
3. Дворкин Е. Н., Мустафин Е. Н. Руководство по морским гидрологическим прогнозам. Методы расчетов и прогнозов уровня моря. СПб., 1994.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕРЕГОЗАЩИТЫ ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА



Иваненко Т. А.,
к. т. н., старший преподаватель,
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет им. В. И. Вернадского»,
г. Симферополь



Садыкова Г. Э.,
к. г. н., доцент, ФГАОУ ВО «Крымский
федеральный университет
им. В. И. Вернадского»

Аннотация. Рассматриваются процессы изменения береговой зоны западного побережья Крыма, их причины и возможные технологии защиты морских берегов. В качестве альтернативы традиционным способам морской берегозащиты обосновывается применение геотуб, которые обеспечивают стабилизацию и защиту береговой линии от размывания и эрозии.

Ключевые слова: морская берегозащита, строительство берегозащитных сооружений, геосинтетические материалы, геотубы.

Длина береговой линии западного побережья Крыма, которое протянулось от г. Севастополя до г. Евпатории, составляет примерно 75 км. По морфологической классификации берег представлен абразионной составляющей абразионно-аккумулятивной пары Каламитского залива, имеющей вид берегового откоса с песчано-гравийно-галечниковыми пляжами. Берег активен на всем протяжении, разрушения активизируются во время штормовой деятельности. Колебания среднегодовой ширины пляжей, по многолетним данным, достигают 1,5–15 м. Высота береговых обрывов колеблется в пределах 5–10 м в северной части и 35–40 м в южной.

Комплексные инженерно-экологические изыскания показали, что с 2000 г. ширина пляжей изменялась в незначительной степени, но имеется тенденция к сокращению их параметров. Интенсивность абразионных процессов на побережье между г. Севастополем и оз. Кизил-Яр была максимальной в 2015 г. — 0,49 м и 2,37 м. Суммарное количество грунта, которое поступило на пляж в результате абразионно-оползневых процессов, составило ~196 тыс. м³. Это значитель-

но меньше, чем в предыдущие 5 лет — 430 тыс. м³.

Проблема инженерно-экологических исследований побережья возникла, когда усилилось вмешательство в береговые процессы. В последние годы хаотичное техногенное воздействие на прибрежную зону и режим вдольбереговых потоков наносов возросло. Морфология берега в пределах исследуемой территории такова, что ширина и мощность пляжей и ранее не обеспечивали защиту коренного берега от абразии. Западное побережье находилось в стадии стабильного динамического равновесия, когда количество поступающего и истираемого пляжеобразующего материала было приблизительно равно.

Берегоукрепительные мероприятия проводились лишь на отдельных участках. Согласно современным данным по результатам обследования берегозащитных сооружений Западного побережья Крыма, только 38,6% находятся в нормальном и удовлетворительном состоянии, 25% — в неудовлетворительном, 36,4% — в аварийном состоянии (рис. 1).

В «Региональной схеме инженерной защиты Черноморского побережья», разработанной Крымским филиалом

UTILIZATION OF GEO-TEXTILES FOR SHORE PROTECTION OF THE WEST COAST OF THE CRIMEA
T. Ivanenko, PhD in Engineering, Senior Lecturer, V. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol
G. Sadykova, PhD in Geography, Associate Professor, V. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Abstract. The article reviews the process of undergoing erosion of the west coastline area of the Crimea, its causes and possible marine engineering solutions for shore protection. The authors substantiate the utilization of Geotubes as an alternative to the traditional methods of shore protection, which ensure stabilization and protection of the coastline from erosion and caving.

Keywords: marine shore protection, construction of coast protection works, geosynthetics, Geotubes.



Рис. 1. Состояние берегоукрепительных сооружений в с. Песчаное

«Укрюжгипрокоммунстроя», впоследствии ЦНТУ «Инжзащита» (Рыжий М.Н. и др., 1989), для западного берега был предложен комплекс берегоукрепительных сооружений, который включает искусственные пляжи, удерживаемые в условиях вдольбереговых течений системой бун и волноломов для борьбы с морской абразией, срезку и выполаживание склонов, закрепление поверхности склонов насаждением кустарников и др.

В его составе размещено 30 волноломов и буны, площадки между бунами, оградительные сооружения. Наибольшее значение имеют галечные искусственные пляжи в границах пляжудерживающих бассейнов. К каждому пляжу сделаны подходы. С сооружением этого комплекса система берегоукрепления приморских поселков окончательно оформилась и по площади, и по структуре.

Восстановление и поддержание пляжей намечалось осуществлять с помощью системы бун с подпорными стенами из монолитного бетона, бетонных блоков и откосно-ступенчатого крепления. Нарращивание пляжей предполагалось производить за счет отсыпки привозной пляжеобразующей смесью в межбунном пространстве. На западном берегу Крыма только 1% побережья защищен системой берегоукрепления. Создание берегозащитных сооружений со-

проводилось как положительными, так и отрицательными побочными эффектами. Целью строительства комплекса было остановить оползни и абразионное отступление береговой линии, потери береговой территории, разрушение объектов курортно-рекреационного комплекса. К положительным относится увеличившийся приток рекреантов в пос. Песчаное, Береговое, Николаевка. Отрицательными стали гидрохимические и санитарные последствия.

Инженерно-экологические исследования состояния берегоукрепительных сооружений в пос. Фрунзе, Береговое, Песчаное, Андреевка за 2009–2015 гг. показали, что все они практически разрушены. Отсутствие перспективного плана и несанкционированная застройка береговой зоны привели к загрязнению и деградации прибрежных экосистем, уменьшению ширины пляжей, снижению качества рекреационных ресурсов. Системы берегоукрепления пгт. Николаевка, с. Береговое и Песчаное были построены в конце 1980-х гг. и были рассчитаны на 25 лет. Первые разрушения начались в с. Песчаное в 1997 г. и в настоящее время приобрели лавинообразный характер на всем побережье. Западное побережье Крыма под воздействием комплекса природных и техногенных факторов продолжает разрушаться. Пляжи размыты (ширина составляет не более 2–6 м), ежегодно исчезает до 8 га территорий. В системе берегозащиты отмечается просадка маршевых плит с отрывом от верхнего строения набережной, размываются или полностью разрушены бетонные основания набережной, гашение волн происходит на нижних ступенях. Попытки самостоятельной берегозащиты только усугубляют ситуацию.

Западный берег — один из старейших курортных районов. Здесь уже существуют лечебно-оздоровительные учреждения в г. Саки, в пос. Николаевка, Береговое и Песчаное, которые используются как пригородная зона отдыха жителей г. Симферополя. Активно осуществляется освоение и застройка объектами инфраструктуры для отдыха и оздоровления

в пос. Новофедоровка, Фрунзе, Угловое, Андреевка, Кача, Любимовка. Побережье обладает развитой транспортной инфраструктурой, обеспечено инженерными коммуникациями. Береговая зона практически на всем протяжении представлена пляжами различной степени доступности. По оценкам специалистов, из 65 км пляжей к освоению возможны 50–55 км. В настоящее время в курортно-рекреационных зонах поселков освоено лишь 10–15 км (27%). Однако полному вовлечению пляжных ресурсов препятствует не только низкий уровень экономической освоенности, но и постоянная деградация побережья.

Особый интерес представляют исследования рельефа, литологического состава и строения подводного берегового склона. Между мысами Лукулл и Керменчик в районе с. Угловое при проведении натурных исследований дна бухты на расстоянии до 100–200 м от берега были обнаружены подводные гряды, по-разному ориентированные к береговой линии. Проведение промерных работ, отбор проб грунта и обследование дна показали, что подводные гряды сложены глыбами песчаников и гравелитов, проследивающихся и в береговом обрыве. Несколько гряд вытянуты перпендикулярно к берегу, шириной 1,5–3 м и находятся на глубине 0,5–5 м. Высота гряд составляет 1–1,5 м при глубине над вершиной до 4–5 м, нагромождения глыб частично занесены песком. Гряды такого же типа встречаются на подводном склоне в пос. Любимовка (изучены В. Ф. Удовиком и В. В. Долотовым, 2009).

По результатам выполненного комплекса инженерно-экологических исследований было показано, что деградация пляжей на западном побережье Крыма связана как с естественными, так и с антропогенными причинами, но с преобладанием последних. К первым можно отнести устойчивую тенденцию повышения уровня Черного моря (15 см за 50 лет) и увеличение повторяемости (в 2 раза) сильных штормов южного и юго-западного направлений за последние 15 лет. Антропогенное воздействие выражается в уменьшении вдольберегового потока



Рис. 2. Geotube в качестве основания волноломов

наносов в связи с зарегулированием стока рек Западного Крыма и отбором песка и гальки с пляжей для строительных целей.

В результате анализа существующего состояния системы берегозащиты исследуемого района, с ее катастрофически недостаточной протяженностью и недостаточной эффективностью ранее эксплуатируемых конструктивных решений, есть предложение о возможном использовании технологий на базе геотекстильных материалов для берегозащиты западного побережья Крыма.

Одной из современных разработанных технологий, используемых для системы берегозащиты, является технология Geotube (рукавные дамбы). Спектр направлений с использованием данной технологии для решения задач по берегозащите достаточно широк в мире. Примеры использования

данной технологии на непосредственных объектах в мире доказывают не только экономическую эффективность, устойчивость и долговечность, но и экологичность (рис. 2).

Данную технологию рукавных дамб береговых (РДБ) применяют при сооружении ядер молов и волноломов. Они предназначены для стабилизации и защиты береговой линии от волновой нагрузки (размывания и эрозии).

Дамбы РДБ представляют собой замкнутый рукав диаметром 2–5 м, выполненный из высокопрочной синтетической ткани с диаметром пор от 0,3 до 1 мм, в зависимости от типа насыпного грунта. Дамбы РДБ снабжены манжетами диаметром 150–300 мм для присоединения к напорному рукаву пульпопровода земснаряда (драги).

Подводный волнолом играет пассивную и активную роль. Он состоит из длинного ряда плотно уложенных

и скрепленных между собой дамб, расположенных в 30–200 м от берега. Проходя над таким волноломом, волна теряет более 75% своей энергии. Волны способны перебрасывать через волнолом песок и гальку, и это приводит к накоплению пляжеобразующих материалов за волноломом и постепенному формированию пляжа, который защищает берег от ослабленных остаточных волн. Таким образом, подводный волнолом (рис. 3) является частично активным способом защиты.

Учитывая сложившуюся ситуацию с состоянием прежних берегозащитных конструкций на исследуемом участке и активным хозяйственным освоением ранее свободных и застроенных территорий на данном участке прибрежной зоны, существует необходимость решения вопросов по берегозащите, для которых рассмотрены предложения по использованию современных геотекстильных технологий.

Предложение по использованию данной технологии заключается в применении ее для защиты участка береговой линии в пос. Песчаное. Для разработки рекомендованного варианта берегозащиты необходимо провести исследования на физической модели в волновом бассейне данного участка за определенный период. Это позволит точнее определиться с физическими параметрами геотекстильных рукавных дамб, размерами и схемой расположения относительно берега, а также сделать вывод о возможности образования пляжевых наносов вдоль берега.

Научно-исследовательские и проектные работы по предложенным вариантам берегозащиты с внедрением прогрессивных методов на основе геотекстильных материалов, имеющих высокие экологические показатели, позволят увеличить рекреационный потенциал побережья.

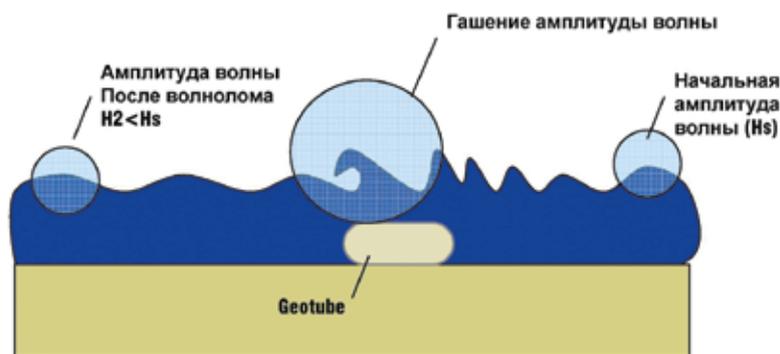


Рис. 3. Схема работы подводного волнолома

Литература

1. Иваненко Т. А., Садыкова Г. Э. Экологическая безопасность освоения прибрежных территорий на современном этапе рекреационно-градостроительного развития Крыма // Гидротехника. 2014. № 3 (36). С. 20–23.



2–5 ОКТЯБРЯ 2018

Санкт-Петербург
КВЦ «Экспофорум»

ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ

OFFSHORE MARINTEC RUSSIA

СУДОСТРОЕНИЕ
ОСВОЕНИЕ АРКТИКИ
ШЕЛЬФ



Offshore Marintec Russia занимает уникальную нишу на стыке энергетики и судостроения, даёт полное представление о современных технических решениях на всех этапах освоения морских энергетических ресурсов

www.offshoremarintec-russia.ru

Организатор:



Генеральный спонсор:



Официальный спонсор:



Партнер:



ИНЪЕКТИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛАМИ «АКВАВИС» — ЭФФЕКТИВНАЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ ОТ КОМПАНИИ «ГЕЛИОС»



Аннотация. Рассматривается метод инъектирования и его преимущества в обеспечении надежной гидроизоляции на промышленных и гидротехнических объектах. Представлены гидроизоляционные составы марки «АкваВИС» российского производства.

Ключевые слова: инъектирование бетона, гидроизоляция, полиуретановые гидроизоляционные материалы.



Компания «ГЕЛИОС», созданная в 2010 г., осуществляет производство и поставки высококачественных гидроизоляционных материалов, а также предлагает услуги генерального подрядчика по гидроизоляции зданий и сооружений различного назначения. Специалисты компании выполняют герметизацию «холодных» и деформационных швов при строительстве и эксплуатации железобетонных конструкций любого объема и степени сложности.

Приоритетное направление деятельности ООО «ГЕЛИОС» — гидроизоляция стен, швов, фундаментов, трещин в бетоне методом инъектирования. Принцип его действия основан на принудительном нагнетании специализированными насосами жидких составов в швы и трещины бетона, с созданием внутреннего замкнуто-герметичного контура по

периметру или длине конструкции. При этом образующиеся нерастворимые химические соединения с закрытой системой пор увеличиваются в объеме до 30–40 раз, фактически вытесняя воду из самого тела конструкции вплоть до внешнего грунта, тем самым увеличивая гарантийный срок эксплуатации строения, решая проблемы с активными протечками влаги внутрь конструкций. Инъекционная гидроизоляция применима как по бетону, так и по кирпичной кладке. По сравнению с другими методами, инъектирование имеет ряд преимуществ:

- высокая эффективность;
- экономия средств и времени при проведении ремонтных и строительных работ;
- возможность ремонта на локальных проблемных участках без вывода объекта из эксплуатации;

INJECTION OF AQUAVIS MATERIALS IS AN EFFECTIVE WATERPROOFING SOLUTION FROM HELIOS

Abstract. A review of spot injection technology and advantages of its application for reliable waterproofing at industrial and hydraulic facilities. Waterproofing compounds of Russian product AquaVIS.

Keywords: concrete injection, waterproofing, polyurethane waterproofing compounds.

- при подземной гидроизоляции фундаментов и оснований нет необходимости в земляных работах (откопке фундаментов).

Компания «ГЕЛИОС» представляет на рынке собственную торговую марку «АкваВИС» — один из самых эффективных инновационных материалов для гидроизоляции, которые были разработаны специалистами компании совместно с ОАО «НИИМосстрой» в 2011 г. и за эти годы зарекомендовали себя как высоконадежные.

Составы «АкваВИС» представлены тремя группами:

1. «АкваВИС Г» — полиуретановый гель, предназначенный для остановки активных протечек, устройства противофильтрационных завес за конструкциями.

2. «АкваВИС П», «АкваВИС П К» — полиуретановые пены, которые используются для аварийной остановки активных протечек воды в швах и стыках железобетонных конструкций.

3. «АкваВИС С 400–404» — полиуретановые смолы, работают как эластичные пломбы после устранения активных протечек гидроактивной пеной, а также предназначены для герметизации сухих трещин и швов, закрепления рыхлых и неустойчивых грунтов, монтажа железобетонных конструкций в условиях вечной мерзлоты.

По своим характеристикам составы «АкваВИС» аналогичны составам импортных производителей, но при этом имеют значительное ценовое преимущество.

Все перечисленные полиуретановые средства имеют соответствующие сертификаты экологической безопасности. С помощью полиуретановых пен, смол и гелей, предлагаемых компанией, можно навсегда забыть о проблемах протечек.

— Наше главное преимущество заключается в том, что мы как производители напрямую поставляем продукцию «АкваВИС» заказчикам, а также выполняем подрядные работы с использованием полиуретановых пен, смол и гелей с гарантией. Благодаря этому политика компании в вопросах ценообразования лояльная, мы учитываем все потребности заказчиков и степень сложности работ. Все работы



по остановке активных протечек выполняются нами в договорные реальные сроки, — рассказывает генеральный директор Алексей Слабодчиков.

В компании «ГЕЛИОС» работают квалифицированные профессионалы, имеющие значительный опыт. Специалисты выполняли работы по гидроизоляции любого объема и степени сложности, включая метро, тоннели, коллекторы, подземные парковки, военные и гидротехнические объекты. На все выполненные работы предоставляется гарантия от 2 до 5 лет.

Метод инъектирования с помощью материалов «АкваВИС» проверен временем и показывает в течение многих лет свою эффективность на объектах московского «Метростроя» — на заглубленных автопарковках, переходах, коллекторах, резервуарах и др. Среди заказчиков компании «ГЕЛИОС» — МГУП «Мосводоканал», ГУП «Гормост», МОЭСК и др. Продукция компании также востребована в аэропортах, портах, на нефте- и газоперерабатывающих заводах, на мостовых переходах.

Помимо собственного производства инъекционных составов и полиуретановых смол, в системе работ компания ООО «ГЕЛИОС-СТРОЙ» применяет различные надежные гидроизоляционные материалы, сотрудничая с такими ве-

дущими крупными поставщиками, как ООО «Гидрозо» г. Москва, ООО «НИЖЕГОРОДСПЕЦСТРОЙ М» г. Нижний Новгород.

Составы «АкваВИС» с 2012 г. входят в Московский территориальный строительный каталог (МТСК) Комплекса градостроительной политики г. Москвы.

С 2017 г. материалы «АкваВИС» и расценки на работы с их применением внесены в Московские территориальные сметные нормативы, ТСН 2001 по Москве и Московской области (дополнение № 46).

С 2018 г. цены на составы «АкваВИС» согласованы Минстроем РФ и ежеквартально обновляются в Федеральной государственной информационной системе ценообразования в строительстве (ФГИС ЦС).

ООО «ГЕЛИОС» приглашает к взаимовыгодному сотрудничеству проектные, строительные, эксплуатирующие компании и организации России.



ООО «ГЕЛИОС»

115054 г. Москва, пер. Монетчиковский 5-й, д. 16,
этаж 0, пом. II, ком. 2, оф. 34
Тел.: 8 (800) 250-67-05, +7 (495) 943-66-88
E-mail: mail@aquavis.ru, www.aquavis.ru



ЛИДЕРСТВО БЛАГОДАРЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

Аннотация. Представлены антикоррозионные покрытия производства компании PPG, предназначенные для защиты гидротехнических сооружений и конструкций, различных промышленных объектов, эксплуатирующихся в суровых климатических условиях и агрессивной среде. Обозначены технические характеристики антикоррозионных материалов, условия и технологии нанесения, сроки службы.

Ключевые слова: антикоррозионные материалы, защита от коррозии, защита в агрессивной среде, PPG.

Торговые марки AMERON и SIGMA COATINGS компании ООО «ППГ Индастриз» узнаваемы благодаря качеству защитных и морских покрытий, известных на рынке России с 1970-х гг. На глобальном уровне компания PPG с 2015 г. занимает первую строчку в рейтинге главных игроков мирового рынка лакокрасочных материалов, адгезивов и герметиков. Такой список составляется изданием Coatings World на основе достоверных данных о годовых объемах продаж компаний. Благодаря постоянным инновациям уже более 130 лет продукты PPG помогают клиентам самых различных отраслей промышленности создавать красивые, функциональные и надежные товары и сооружения, а процесс окраски делать более эффективным и экологичным.

Команда PPG в России на сегодняшний день — это шесть бизнес-подразделений, пять основных локаций, два современных завода и более 250 сотрудников. На территории РФ в 2017 г. был запущен новый завод PPG в Липецке, где производятся материалы четырех бизнес-подразделений: автомобильные, индустриальные, упаковочные, защитные и морские покрытия. Общая производственная мощность нового завода составляет 25 тыс. т в год. Это современное и экологичное производство, где строго соблюдаются все глобальные стандарты качества и технологии PPG.

Защитные покрытия PPG сегодня — это сочетание глубокого понимания локальной специфики и глобального опыта в области обеспечения высококачественной защиты металлических и бетонных конструкций любого типа более чем в 60 странах. Антикоррозионные и огнезащитные покрытия PPG пользуются доверием

самых взыскательных клиентов и применяются для защиты значимых объектов, эксплуатирующихся в наиболее суровых условиях. Области применения защитных покрытий PPG наилучшим образом можно представить согласно следующей классификации сегментов промышленности:

- **нефтехимическое производство**, где покрытия PPG выдерживают агрессивные условия эксплуатации и защищают металлоконструкции нефтеперерабатывающих заводов, нефтехимических и химических производственных предприятий;

- **горнодобывающая промышленность**, где условия эксплуатации объектов одни из самых экстремальных, поэтому PPG предлагает окрасочные системы, которые отвечают самым высоким требованиям и являются чрезвычайно долговечными, ударопрочными, износоустойчивыми, а также устойчивыми к воздействию химикатов;

- **энергетика**, где компетентность специалистов PPG в области технологии покрытий позволяет обеспечивать предложения надежных продуктов для широкого диапазона секторов энергетики;

- **оффшорное строительство**, где защитные и морские покрытия PPG выдерживают агрессивные условия эксплуатации и защищают металлоконструкции морских платформ, буровых установок и плавучих установок для добычи, хранения и отгрузки нефти;

- **инфраструктура**, где покрытия PPG успешно используются для защиты объектов как гражданского, так и промышленного назначения — аэропортов, мостов, стадионов, портов, трубопроводов, очистных сооружений;

- **судостроение**, где PPG поставляет покрытия для нового строительства и

проведения ремонтов судов — как в сухих доках, так и во время проведения работ на воде;

- **портовые и гидротехнические сооружения**, где для антикоррозионной защиты свай, шпунта, затворов, механического оборудования и т. п. применяются уникальные материалы серии SIGMASHIELD и серии SIGMA-COVER, о которых ниже предоставлена более детальная информация.

SIGMASHIELD 880

Это эпоксидный материал нового поколения, имеющий специальную химическую формулу, разработан для эксплуатации в суровых условиях во всех климатических зонах и рекомендован для антикоррозионной защиты шпунта, свай и др. Данный материал обладает уникальными свойствами:

- отличная коррозионная стойкость;
- устойчивость к механическим воздействиям и воздействию прямого удара;
- устойчивость к ледовым нагрузкам, высокая абразивная стойкость (истирание по Таберу ASTM D 4060 средн. 90 мг на 17 колесе по истечении 1000 циклов с нагрузкой в 1 кг);
- устойчивость к проливам широкого спектра химикатов.

Эластичность материала в сочетании с химической стойкостью и физической твердостью позволяют получить надежное долговечное покрытие со сроком службы более 15 лет.

Покрытие очень технологично: его нанесение осуществляется с применением обычного аппарата безвоздушного распыления за один слой с толщиной сухой пленки от 200 до 1000 мкм, что позволяет значительно увеличить производительность работ, снизить трудовые и материальные затраты по нанесению, снизить потери при распылении.

RESPONSIBILITY-BASED LEADERSHIP

Abstract. The article reviews the protective and marine coatings produced by PPG that prevent corrosion of hydraulic engineering structures and installations, various industrial facilities operating in harsh weather conditions and aggressive environments; provides the products specifications, conditions and techniques of coating, the products service life.

Keywords: anti-corrosive products, corrosion protection, protection in aggressive environments, PPG.



Рис. 1. Реконструкция гидроузла Белоомут

Особое внимание можно уделить и тому, что материал мало критичен к условиям проведения работ и допускает нанесение при температуре до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влажности воздуха более 85%. Свойства материала позволяют наносить его на глубоко корродированную сталь (после абразивоструйной очистки до Sa 2,5). Материал SIGMASHIELD 880 устойчив к воздействию влаги. В частности, после его нанесения возможно погружение в воду, при этом отверждение покрытия будет продолжаться под водой.

SIGMASHIELD 1200

Уникальное эпоксиэфенольное покрытие с превосходной абразивостойкостью (истирание по Таберу ASTM D 4060 средн. 44 мг на 17 колесе по истечении 1000 циклов с нагрузкой в 1 кг). Данное покрытие характеризуется ударопрочностью, обладает отличной коррозионной стойкостью и имеет превосходную устойчивость к различным химикатам и растворителям. Нанесение осуществляется обычными установками безвоздушного распыления (60:1). Материал обладает отличной стойкостью к ледовым нагрузкам и рекомендован для окраски ледоколов и судов ледового класса, а также для зоны переменного смачивания в суровых ледовых условиях.

Покрытие сертифицировано по системе NORSOK M-501, ISO 12944 и 20340, Морским регистром Ллойда как абразивостойкое покрытие для нанесения в условиях низких температур. Сертифицировано «Акер Арктик Текнолоджи» в качестве покрытия с низ-



Рис. 4. Чайковский гидроузел



Рис. 2. Городецкий гидроузел: ремонтные плавучие затворы (батопорты)

ким коэффициентом трения об лед. Применение материалов SIGMASHIELD 880 и SIGMASHIELD 1200 на объекте ФБУ «Администрация Волго-Донского бассейна внутренних водных путей». Разработка и реализация комплексного проекта Волго-Донского судоходного канала, 2-й этап. Г/у № 7, насосная станция 31-32» позволило производителю работ значительно сократить время на выполнение антикоррозионной защиты, а заказчику в срок ввести объект в эксплуатацию.

SIGMACOVER 240

Многофункциональное эпоксидное покрытие, толерантное к подготовке поверхности.

Покрытие с высоким сухим остатком, с превосходной коррозионной стойкостью, материал совместим с электрохимической системой защиты, имеет непревзойденную укрывистость кромок, обладает высокими эксплуатационными характеристиками и продолжительным сроком службы (более 20 лет), высокой технологичностью при нанесении, а именно: широкий диапазон температур нанесения — до $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, подготовка поверхности Sa 2,5 (ISO 12944); допускается механическая подготовка ручным и механизированным инструментом до St3; нанесение стандартным оборудованием.

SIGMACOVER 240 доказал свою эффективность и пригодность для широкого спектра гидротехнических сооружений по всему миру, в том числе и на российском рынке антикоррозионных покрытий. Применение SIGMACOVER 240 позволило в 3 раза сократить расходы на лакокрасочные материалы на следующих объектах:

- ФГБУ «Канал имени Москвы»: «Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции объектов инфраструктуры канала имени Москвы». 2 этап. Реконструкция гидроузла Белоомут (рис. 1).



Рис. 3. Гидроузел № 4 Северо-Двинской шлюзованной системы

- Филиал ОАО «РусГидро» — Волжская ГЭС: замена затворов водосливной плотины.

- Филиал «РусГидро» — Зарамагская ГЭС: замена комплекса гидротехнического оборудования.

- ФБУ «Администрация Волжского бассейна внутренних водных путей». Шлюзы №№ 13–16 Городецкого гидроузла (рис. 2): ремонтные плавучие затворы (батопорты). Шлюзы №№ 25–26 Саратовского гидроузла.

- ФБУ «Администрация Северо-Двинского бассейна внутренних водных путей»: капитальный ремонт гидротехнических сооружений гидроузла № 4 (причала и плотины), капитальный ремонт шлюза № 3 Северо-Двинской шлюзованной системы.

- ФБУ «Администрация Камводпуть»: разработка и реализация комплексного проекта реконструкции гидротехнических сооружений Камского бассейна, 1 этап — антикоррозионная защита металлоконструкций, ворот, сороудерживающих решеток, нижней и верхней шпунтовых причальных стенок Чайковского гидроузла.

Также заказчиками антикоррозионной защиты сооружений и конструкций на внутренних водных путях России выступали в последние годы ФГБУ «Краснодарское водохранилище», ФБУ «Администрация Азово-Донского бассейна внутренних водных путей», ФБУ «Администрация Волго-Балт». Эксплуатация сооружений показывает высокую стойкость антикоррозионных покрытий.

При необходимости профессиональных консультаций по техническим свойствам, применению и закупке материалов просьба обращаться по следующим контактам:

Тел. +8 (921) 676-46-94,
e-mail: Shibalovich@ppg.com —
Шибалович Наталья
Тел: +7 (495) 213-31-07,
e-mail: PPG-ee@ppg.com



СВАРНЫЕ ШПУНТОВЫЕ ПРОФИЛИ ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА



Грушко С. В.,
директор ООО «ТрубМет»

Аннотация. Представлены разработки и продукция челябинского завода «ТрубМет» для гидротехнического строительства. Даны качественные и технические характеристики сварных шпунтовых профилей корытного типа и замковых соединений кулачкового типа, показаны их модификации и преимущества перед аналогами горячекатаного производства.

Ключевые слова: шпунт корытного типа, шпунт трубчатый сварной, замковые соединения шпунтовых стен, антикоррозионная защита шпунта.

Компания ООО «ТрубМет» более 7 лет специализируется на поставках продукции ведущих трубных заводов России и собственного производства. Мы изготавливаем сварные металлоконструкции для строительства, включая шпунтовые профили. На предприятии были разработаны сварные шпунтовые профили корытного типа (СШК), которые производятся на современной базе в Челябинске по ТУ 24.10.74-001-68682152-2017.

Базовая номенклатура насчитывает несколько десятков типоразмеров сварных шпунтовых профилей, которые разрабатывались как эффективная замена наиболее востребованных горячекатаных шпунтов типа «Ларсен»: Л4, Л5, Л7, Л5Д производства ДМКД, иностранных шпунтов марок ThyssenKrupp, ArcelorMittal, Vitkovice

Steel, а также альтернатива шпунту Л5-УМ производства ЕВРАЗ НТМК. Для удобства проектировщиков и строителей профили СШК имеют близкие к аналогам геометрические размеры и при этом обеспечивают необходимые прочностные характеристики возводимых шпунтовых стен. Именно применение современных сварочных технологий дает возможность подобрать замену большинству горячекатаных шпунтов за счет изменения толщины и ширины конструктивных элементов СШК. В свою очередь, металлургические предприятия, обладая большими мощностями, нередко имеют в своей производственной программе лишь единицы типоразмеров горячекатаного шпунта (к примеру, ЕВРАЗ НТМК производит только одну марку шпунтовых свай — Л5-УМ).

WELDED SHEET PILING PROFILES FOR HYDRAULIC ENGINEERING CONSTRUCTION

S. Grushko, Director, TrubMet LLC

Abstract. The article presents designs and products of the Chelyabinsk Plant TrubMet for hydraulic engineering construction, reviews the qualitative and technical characteristics of the Larssen welded sheet piling profiles and clutch couplings, their modifications and advantages compared to hot-rolled counterparts.

Keywords: Larssen sheet piling, welded pipe pile, couplings of sheet piling walls, corrosion-resistant coating of sheet piling.

СШК изготавливаются из низкоуглеродистых низколегированных сталей повышенной прочности (класс прочности не ниже С345) марок 09Г2С, 17Г1С, С345. Будучи чуть более дорогими, эти стали, в свою очередь, обладают существенно более высокими механическими свойствами, что позволяет, наряду с сохранением прочностных характеристик, значительно уменьшить толщины конструктивных элементов СШК, тем самым снизить массу шпунта и уменьшить площадь поперечного сечения профиля. Масса одного квадратного метра шпунтовой стены с использованием СШК, изготовленных из данных сталей, ниже, чем у горячекатаных аналогов из обычной конструкционной стали класса прочности С235, С255 (сталь 3). Помимо снижения удельной стоимости одного квадратного метра шпунтовой стены, снижение массы позволяет сократить затраты на транспортировку шпунта до места производства работ. Кроме того, применяемые нами стали имеют более высокую коррозионную стойкость при отсутствии внешнего защитного покрытия.

Применяемые в конструкции СШК замковые элементы типа КО (кулачок/обойма) прошли сертификационные испытания в ЦНИИС и уже более 15 лет успешно применяются в шпунтовых конструкциях. На сегодняшний день данное замковое соединение признано одним из лучших по соотношению качество/цена. Более того, проведенные специалистами нашей компании работы по совершенствованию технологии сварки замковых элементов позволили увеличить разрывное усилие замка до значения свыше 1700 кН/пог. м, что выше, чем у горячекатаных шпунтов Л4, Л5, Л5-УМ. Тот факт, что данный тип замка является несимметричным, в отличие от большинства горячекатаных шпунтов, не оказывает какого-либо отрицательного влияния на работоспособность конструкции и удобство производства работ с СШК.

Конструкция замкового соединения типа КО позволяет обеспечить многократную оборачиваемость шпунта СШК. Кроме того, сварная конструкция замка также делает возможным исполнение шпунтовых панелей с уменьшенными или увеличенными зазорами в замках по требованию заказчика.

ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА:

В 2014 г. после Крымских событий началось ограничение поставок металлического шпунта Л4, Л5 украинского производства. В 2017 г. производство и вовсе было остановлено.

Параллельно в отношении России были введены санкции.

В целях повышения экономической безопасности страны Правительством РФ был взят курс на импортозамещение.

В 2018 г. приказом Минстроя России № 385/пр от 3 июля 2018 г. российские шпунты СШК были включены в классификатор строительных ресурсов.

Таким образом, сварные шпунтовые профили корытного типа производства ООО «ТрубМет» являются своевременной, экономически эффективной альтернативой горячекатаным шпунтам российского и зарубежного производства.

Наличие в номенклатуре СШК профилей шириной (по осям замков) от 400 до 1000 мм позволяет подобрать качественный шпунт для решения практически любой задачи. В случае, если проектировщику или заказчику для воплощения замысла имеющихся типоразмеров профилей окажется недостаточно, мы готовы разработать, исполнить в металле и поставить нестандартные варианты шпунтовых конструкций: угловые, фасонные, клиновые панели, профили с дополнительными отводами, дренажными отверстиями и т. п.

Также наша компания предлагает:

- трубошпунт собственного производства по ТУ 5264-001-91348306-2013 и в соответствии с ГОСТ Р 52664-2010;



- трубчатые сваи;
 - услуги по нанесению антикоррозийного покрытия на шпунт и металлические конструкции, применяемые в гидротехническом строительстве;
 - организацию доставки продукции автомобильным и железнодорожным транспортом в любую точку России.
- Продукция компании «ТрубМет» активно применяется в гидротехническом строительстве, которое нередко ведется в сложных природно-климатических условиях.

Вот некоторые объекты, где применялась наша продукция:

- берегоукрепление озера Байкал, г. Северобайкальск;
- строительство береговой инфраструктуры в Камчатском крае, филиал «УГС № 432» ФГУП «ГУССТ № 4 при Спецстрое России»;
- реконструкция Восточного мола с созданием искусственной территории в Ейском порту;
- периметральное ограждение объектов деятельности ООО «РН-Юганскнефтегаз», Мамонтовское месторождение;
- обустройство шпунтовых ограждений котлованов в болотах III типа при проведении ремонтных, аварийно-восстановительных и плановых работ на трубопроводной сети АО «Транснефть-Сибирь».

За многие годы строительства и эксплуатации объектов наши профили и замковые соединения доказали свою надежность. Но предприятие не останавливается на достигнутом и продолжает расширять ассортимент шпунта и совершенствовать его качество.



ООО «ТрубМет»

454091 г. Челябинск, пр. Ленина, д. 36, корпус А, оф. 4

Телефоны:

Челябинск: 8 (351) 22-00-314, 8 (351) 22-00-205

Москва: 8 (495) 740-62-63

Санкт-Петербург: 8 (812) 988-53-73

E-mail: info@trubmet.com, www.trubmet.com



ЭКСКАВАТОРЫ-АМФИБИИ — НАДЕЖНАЯ СПЕЦТЕХНИКА ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

СПРАВКА

Компания «ГраффТ» с 2005 г. поставляет в Россию, страны СНГ и Балтии строительную технику, дополнительное навесное оборудование и запасные части. С 2008 г. «ГраффТ» специализируется на плавающих экскаваторах-амфибиях, болотной и водной спецтехнике. Также компания поставляет дноуглубительные системы, гидравлические насосы, погружные шламовые помпы, песковые и грязевые добычные землесосы, земснаряды. Специалисты «ГраффТ» разработали собственную линейку болотной техники для проведения работ на слабонесущих грунтах: экскаваторы, крановые установки и самосвалы Swampking. В 2015 г. компания стала партнером Bell Dredging Pumps — ведущего мирового изготовителя дноуглубительных насосных систем.

Российская производственная компания «ГраффТ» является давним партнером редакции журнала «Гидротехника», публикации специалистов компании всегда вызывают у проектировщиков и строителей большой интерес, а также множество технических вопросов, которые мы адресовали генеральному директору ООО «ГраффТ» Сергею Эдуардовичу Василенко.

— Сергей Эдуардович, производимые и поставляемые компанией «ГраффТ» экскаваторы-амфибии, о которых вы подробно рассказывали год назад (см. «Гидротехника», № 3/2017.— Прим. ред.), вызвали интерес читателей, и за это время в редакции накопилось немало вопросов технического характера. В частности, специалисты просят пояснить, от чего работает гидропривод ходовой части, обеспечивающий движение гусениц, раздвижение понтонов, выдвижение дополнительных понтонов и свай?

— Гидропривод ходовой части работает так же, как и на обычном экскаваторе, — от базового двигателя экскаватора. Гидромоторы гидропривода ставятся, как правило, более мощные, т. к. понтонная ходовая более тяжелая, по сравнению с обычным экскаватором. Например, базовый 20-тонный экскаватор Komatsu

РС200 становится 30-тонным с понтонной ходовой. Дополнительные понтоны не выдвигаются, как вы сказали, они крепятся к основным понтонам, что повышает плавучесть и устойчивость амфибии на воде, но и существенно прибавляет веса технике. Это еще раз подтверждает целесообразность установки более мощных гидромоторов. Закольные сваи, расположенные чаще всего на дополнительных понтонах, также запитываются от основного двигателя экскаватора и также имеют гидравлическую систему закалывания. Для этого основной привод прерывается, и поток отдается системе закалывания. Гидрозаколы могут иметь разную систему опускания и поднятия свай (что и есть закалывание): с помощью гидроцилиндров, зубчатой передачи (шестерня — гребенка), зубчато-роликовой, блочно-тросовой передачи.

AMPHIBIOUS EXCAVATOR IS RELIABLE DEDICATED EQUIPMENT FOR HYDRAULIC ENGINEERING APPLICATION

ООО Grafft, a Russian manufacturer of special-purpose equipment is a long-standing partner of the HYDROTECHNIKA. The articles of the company's specialists published in the magazine are always of interest to designers and builders. We have prepared a list of questions on some technical issues for Grafft General Director Sergey Vasilenko.

Since 2005 Grafft has been a leading supplier of construction equipment, additional components and spare parts to Russia, CIS and Baltic countries. Three years later CraftT began to produce primarily floating amphibious excavators, special equipment for operation in swamp and water environment.

— Как защищены наиболее ответственные узлы и детали экскаватора от воздействия воды, в том числе соленой?

— Ни один экскаватор-амфибия не предназначен для работы исключительно в воде. Все они созданы для работы на болоте, на слабонесущих грунтах. Работа на воде — это одна из крайних возможностей экскаваторов-амфибий, и только на мелководье, где и нужны дополнительные понтоны. Длина гидрозаколов определяется глубиной мелководья — как правило, это 4–5 м от зеркала воды. В качестве головной части используются обычные экскаваторные надстройки известных брендов: Komatsu, Caterpillar, Doosan, Hitachi, Hyundai, Liebherr и т. д., никакой защиты от воды они не имеют. При работе на болоте или на мелководье экскаваторная надстройка находится выше уровня воды, поэтому не подвержена ее влиянию. А вот в случае опрокидывания экскаватора в воде двигатель и другие части могут пострадать. Защищена антикоррозионным покрытием понтонная ходовая, но эта мера в большей степени маркетинговая, чем реально необходимая. Как правило, понтоны изготавливаются из конструкционной стали, к примеру, может декларироваться сталь CorTen, которая используется для строительства мостов и покрывается оксидной пленкой, что препятствует дальнейшему глубокому проникновению коррозии.

— Какой уклон может преодолеть понтоный экскаватор?

— Понтоные экскаваторы чаще всего могут преодолевать уклон 30–35 градусов. Но на практике бывает и больше, это зависит от веса амфибии, мощности и расположения гидромоторов, опыта машиниста, использования рабочего оборудования экскаватора для преодоления уклона.

— Может ли экскаватор выполнять землеройные работы, находясь в плавучем состоянии? Или он работает при условии, что под ним есть дно, в том числе если он установлен на сваи?



Aquaflhex

— Экскаватор-амфибия не может выполнять землеройные работы, находясь в плавучем состоянии. Попытка проделать это может привести к опрокидыванию. В отдельных случаях можно выполнять работы, имея дополнительные понтоны и не используя гидрозаколы, но это возможно в случаях «легких» экскаваторных работ и при отсутствии водяного течения. Экскаватор-амфибия любого бренда осуществляет землеройные и другие работы, опираясь на грунт или слабонесущий грунт — болото. На мелководье, после того как амфибия «всплыла», необходимы дополнительные понтоны с гидрозаколами. Глубина, с которой всплывает амфибия, индивидуальна в зависимости от бренда, от массы и величины понтонов. Глубина мелководья, на которой может работать амфибия, зависит от длины гидрозаколов. В редких случаях, при очень больших дополнительных понтонах, возможно работать на плаву, но для этого необходимо зафиксировать амфибию с помощью дополнительных средств. Как правило, такой метод используется для работ с дополнительным оборудованием — землесосом.

— Вы уже затронули вопрос о возможной глубине для работы амфибии. Разные производители

указывают различную предельную глубину водоема. Как правило, без дополнительного оборудования это 1,5–2 м. Некоторые указывают, что работа с понтонами возможна на глубине до 9 м (получается, что в этом случае экскаватор работает полностью на плаву?), со сваями — до 4 м. Есть какие-то общие рекомендации по предельным глубинам, на которых можно применять понтоные экскаваторы, или все зависит от конкретной марки и модели экскаватора?

— Глубина 1,5–2 м указывается всеми производителями без исключения с поправкой в ту или иную сторону. Это показатель работы амфибии на слабонесущем грунте или на мелководье. Предельная глубина зависит от размера понтона, а значит, и размера самой амфибии. Например, самый маленький экскаватор-амфибия в линейке производителей будет работать до 1,2 м, а самый большой до 1,8–2 м.

Следующий уровень глубин — когда амфибия работает с дополнительными понтонами, это и есть глубины 4–5 м. До 9 м — это уже сложные, эксклюзивные модификации амфибий. Как правило, их декларируют в качестве маркетингового хода. В реальности я не знаю

СПРАВКА

AquaTrax обеспечивает заказчикам решение нескольких задач с приобретением данной спецтехники:

- Получают и амфибию, и обычный экскаватор одновременно. AquaTrax — экскаватор с двумя шасси, понтонно-гусеничным и обычным для работ в стандартном режиме.
- Экономят на крановой установке и на необходимости в работе крановщика.
- Амфибия сама сгрузит себя с трала и сама себя соберет, и наоборот.
- Для монтажа плавающего экскаватора потребуется только помощник, им может быть водитель трала, который привез амфибию. В экстренной ситуации экскаваторщик сам справится с установкой понтонов и разгрузкой техники с трала, для этого требуются опыт и хорошая квалификация.



AQUATRACK

о поставке таких экскаваторов-амфибий в Россию. В целом, 4–5 м — это хороший предел глубин для работы подобной техники. Если необходима большая глубина, то возрастает сила воздействия на сваю, т.к. удлиняется рычаг. Значит, свая будет загигаться, сворачиваться, выворачивать замок на дополнительном понтоне. Следовательно, эти узлы будут нуждаться в серьезной модернизации — увеличении размеров дополнительных понтонов, увеличении толщины, а значит, и массы заколов, увеличении мощности замков свай и, в конечном счете, в увеличении количества этих самых заколов. Например, в обычной конструкции предусмотрены две сваи, а при больших глубинах необходимы уже четыре. К тому же для работы на глубинах в 9 м есть другой вид техники — земснаряд.

— **Может ли заказчик самостоятельно оснастить свой экскаватор понтонами, если он приобретет их отдельно? Возможно ли применение какого-либо рабочего оборудования на понтонном экскаваторе, кроме землеройного ковша?**

— Да, но при условии, что он обладает необходимой квалификацией и осуществляет эту процедуру, консультируясь с нами. Помимо ковша на амфибии можно применять любое навесное оборудование, устойчивое к воздействию воды: землесос, гидро-

молот, вибропогрузатель, гидробои и т. д.

— **Как осуществляется транспортировка экскаватора — в собранном виде или с демонтированными понтонами?**

— У всех производителей существуют два варианта транспортировки экскаваторов-амфибий. Первый — это отсоединение понтонно-гусеничной ходовой, транспортировка отдельно головной части и понтонных частей. Разобранная таким образом техника укладывается в транспортный габарит. Процесс сборки — разборки занимает в среднем от 1 до 3 часов, в зависимости от опыта и квалификации персонала.

Второй вариант — это сдвигание понтонной ходовой и транспортировка в таком состоянии техники целиком. Этот вариант используют для более дорогой техники, которая обладает дополнительной опцией — гидроцилиндрами между понтонами на сдвигание/раздвижение ходовой. Она более капризна и подвержена поломкам. Но здесь есть издержки: вес техники значительный, поверхность не всегда ровная, длина понтонов значительная (в среднем около 9 м), и по пути приходится загребать грунт, коряги и пр. Такое превышающее усилие может приводить к перегрузке гидроцилиндров и излишнему силовому воздействию на платформу и, как след-

ствие, к поломке. Однако это не относится к крупным амфибиям, для которых комплектация механизмом сдвигания избыточна, т.к. техника в любом случае не будет уложена в транспортный габарит. Так что это опция малых и средних модификаций амфибий. Но даже у средних амфибий минимальная ширина при сдвинутых шасси составит 3,5 м при транспортном габарите 2,5 м. То есть мы попадаем только в габарит трала. При этом, как правило, для сохранения внутри понтонов объема воздуха, обеспечивающего плавучесть техники, меняют геометрию конструкции. Понтоны с системой сдвигания делают уже и длиннее. Но при увеличении длины понтона увеличивается рычаг воздействия на центральную часть, что со временем приводит к разбалтыванию, понтоны начинают «вихлять ластами». Наш вывод: чем проще конструкция, тем надежнее.

— **Какие инженерные решения, разработанные специалистами «ГраффТ», можно считать инновационными?**

— К сожалению, все наши ноу-хау со временем становятся известными на рынке и тут же воспроизводятся компаниями-конкурентами. Даже сам факт продажи экскаваторов-амфибий на территории России — это наше новшество — компании «ГраффТ». Мы более 2 лет продвига-



AquaTrack. Инновационная понтонно-гусеничная ходовая

ли их на российский рынок, не сделав ни одной продажи. Всех интересовал опыт поставки такой техники, где в России она себя зарекомендовала, надежна ли, почему такая дорогая по сравнению с обычным экскаватором и т. п. Мы были первыми и в ответ могли лишь сказать — нигде. Очень сложно было найти первых заказчиков. Крупные компании просили дать такую технику на испытания, например, «Сургутнефтегаз». И мы пошли на это совместно с компанией «Комекмашинери». Поставили экскаватор-амфибию с верхней частью Komatsu PC200-8. В итоге, когда наше новшество стало популярным, появились конкуренты. Хотя со временем другие компании начинают использовать внедренные нами улучшения, мы все равно остаемся лидерами этого направления в России. Постоянно модернизируем узлы и агрегаты наших амфибий, например, мы использовали более одного гидромотора на понтон. Это позволило увеличить проходимость техники и увеличить срок службы цепи. Увеличили размеры ролика — для увеличения срока службы ходовой, модернизировали систему натяже-

ния цепи, систему гидрораспределения, внедрили возможность системы управления из кабины всеми процессами и пр.

Год назад мы представили новинку Aquaflhex («Аквафлекс»). Наши инженеры работали над тем, чтобы строители могли обойтись без крана, который обязательно нужен для сборки экскаватора-амфибии, что довольно сложно, трудозатратно в условиях сложной местности, болота. В итоге мы создали амфибию, которая сама себя разбирает и собирает без крана. К тому же уникальность этой амфибии в том, что она может самостоятельно менять наши понтонные шасси на обычные, если, к примеру, не нужно работать на болоте или в зимний период.

В 2017 г. мы вышли на рынок с новейшей разработкой AquaTrack («Акватрак»). Здесь принципиально новая понтонно-гусеничная ходовая. С ней

плавающим экскаваторам не страшны ни зима, ни лето, ни вода, ни суша, ни длительные пробеги. Это действительно прорыв для плавающих экскаваторов-амфибий. Основой ходовой являются стандартные катки и цепи, но в новой конструкции. Благодаря этому болотный экскаватор становится очень выносливым. Он сможет преодолевать большие расстояния без поломки понтонов и частей ходовой. Поскольку в данной конструкции нет элементов, трущихся о поверхность понтона, то плавающий экскаватор становится универсальным средством для круглогодичной работы с длительным сроком службы цепей и катков.

— Благодарим вас, Сергей Эдуардович, за подробные профессиональные ответы. Желаем ООО «ГраффТ» дальнейшего успешного бизнеса в России и странах бывшего СССР.

GRAFFT
COMPANY

ООО «ГраффТ»

125047 Москва, Тверская-Ямская 4-я ул., 2/11, стр. 2

Тел.: +7 (495) 777-35-42, +7 (499) 130-31-83

E-mail: info@graft.ru

www.graft.ru

НОВЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ



Долгих С. Н.,
начальник гидротехнического отдела
института «Якутнипроалмаз»
ПАО АК «Алроса»



Путивский А. Н.,
технический директор
ГК «ТехПолимер»

Аннотация. Показаны современные конструктивные решения с применением геосинтетических материалов, обеспечивающие возведение гидротехнических объектов в условиях криолитозоны и дефицита инертных материалов, а также существенно сокращающие сроки строительства. На примере строительства водозабора новшовой типа обосновывается эффективность применения геосинтетических материалов в качестве противодиффузионного экрана при строительстве на многолетнемерзлых грунтах.

Ключевые слова: строительство в криолитозоне, новшовой водозабор, противодиффузионный материал, геосинтетические материалы, геомембрана, дренажный мат, гидромат.

Природно-климатические особенности месторождений

Поверхностные водотоки — единственный источник водоснабжения при разработке месторождений на Крайнем Севере. Опыт эксплуатации плотин на вечной мерзлоте показал их высокую стоимость и высокие эксплуатационные затраты, но, поскольку забор воды непосредственно из рек затруднен из-за их промерзания, необходимо создание искусственных водоемов. Такие конструктивы использованы в системах водоснабжения пос. Мыс Шмидта, Диксон, Баренцбург и др.

Новое месторождение алмазов ПАО АК «Алроса» на р. В. Муна находится в Оленекском районе Республики Саха (Якутии), в 160 км на северо-восток от г. Удачного и в 180 км на юго-восток от п. Оленек и расположено на западе республики, между 70° и 65° с. ш. и 106° и 122° в. д. (рис. 1). Климатический район разработки месторождения — 1А. Расчетная зим-

няя температура наружного воздуха –57 °С. Территория месторождения относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Расчетная глубина сезонного оттаивания в таких грунтах изменяется от 1,3 до 4,5 м.

Геокриологическая обстановка территории изысканий оказывает неоднозначное влияние на инженерно-геологические условия. С одной стороны, при малом изменении геокриологической обстановки горные выработки характеризуются устойчивостью, с другой стороны — наличие льдистых включений значительно усложняет инженерно-геологическую обстановку. Даже незначительное по времени изменение температурной обстановки вызывает вытаивание льда и сложные деформации пород.

Предпроектные варианты гидротехнических сооружений

В предпроектных проработках специалисты ПАО АК «Алроса» рассматривали вариант строительства

CONSTRUCTION OF NEW HYDRAULIC STRUCTURES USING GEOSYNTHETICS IN THE DEVELOPMENT OF THE FAR NORTH FIELDS

S. Dolgikh, Head of the Hydrotechnical Department, the ALROSA Yakutniiproalmaz R & D Institute

S. Putivskiy, founder of TekhPolimer Group

Abstract. The article covers modern design solutions using geosynthetic materials, which enable the construction of hydrotechnical facilities in the condition of permafrost zone and the deficit of inert materials, and also significantly reduce the construction period. The authors substantiate using the construction of a water intake in permafrost soils as an example, the effectiveness of applying a geosynthetic materials as impervious paving.

Keywords: construction in the permafrost zone, water intake, impervious paving material, geosynthetic materials, geomembrane, drainage mat, hydromat.

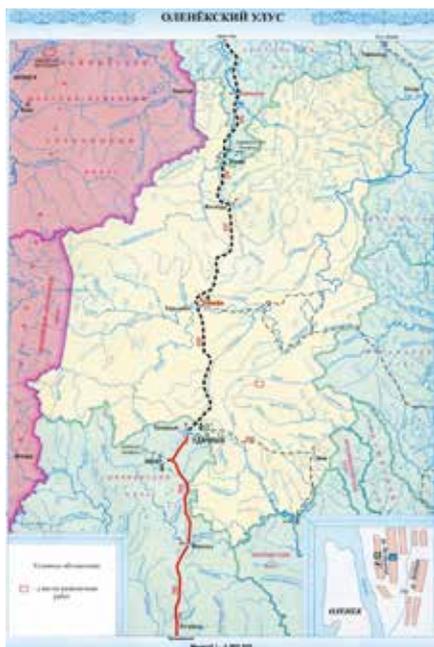


Рис. 1. Местоположение алмазного месторождения

традиционного плотинного гидроузла с береговым трубчатым водосбросом и вариант берегового ковшового водозабора с сезонным заполнением из расчета водообеспечения месторождения в зимний период.

Сравнение сметной стоимости показало, что плотинный вариант дороже ковшового водозабора почти в 3 раза, в связи с этим для строительства первой временной емкости для водоснабжения изыскателей в 2015 г. предпочтение было отдано варианту берегового ковшового водозабора с использованием геосинтетических материалов в качестве противофиль-



Рис. 2. Ковшовый водозабор

трационного экрана, а именно геомембраны (рис. 5, 6).

В соответствии с нормативными документами и рекомендациями производителей геосинтетических материалов, для устройства противофильтрационного экрана из геомембраны требовалось подготовить подстилающий слой грунта толщиной 0,3–0,5 м, очищенный от камней и острых включений, диаметром более 5 мм. Однако на строительной площадке отсутствовали традиционные мелкозернистые несвязанные грунты (песок или ПГС), необходимые для подготовки основания под укладку геомембраны.

Инженерами ГК «ТехПолимер» в качестве альтернативы традиционному подстилающему слою грунта было предложено решение с использованием геокомпозитного мата ГИДРОМАТ 2D (СТО 56910145-005-2011), который состоит из высокопрочной трехмерной полимерной сетки, покрытой нетканым геотекстилем (рис. 3). Под воздействием нагрузки ГИДРОМАТ 2D способен сохранять толщину и сжиматься лишь незначительно, что позволяет применять его в качестве демпфирующего слоя, выравнивающего поверхность и исключаящего повреждение геомембраны. Были проведены опытно-промышленные испытания для подтверждения возможности применения ГИДРОМАТА 2D в качестве замены подстилающего слоя, после чего было принято решение о его использовании.

Конструкция противофильтрационного экрана временной емкости для водоснабжения получилась следующей: по слою геокомпозитного мата ГИДРОМАТ 2D были уложены листы полимерные (геомембрана «ТехПолимер») из полиэтилена высокой плотности (HDPE) толщиной 2 мм (рис. 4). Данное конструктивное решение способствовало сокращению сроков производства земляных работ и строительства объекта в целом, что особенно актуально при коротком строительном сезоне в северном регионе.

С момента запуска первой временной емкости на месторождении прошло два года, конструкция ковшового водозабора с использованием

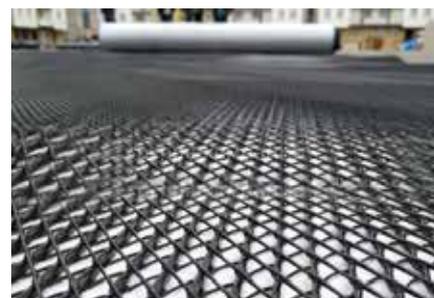


Рис. 3. ГИДРОМАТ 2D

геосинтетических материалов в качестве противофильтрационного экрана доказала свою надежность, и в 2017 г. было принято решение выполнить проект водохранилища с плотиной и водосбросом на ручье Безымянный-1 по такому же принципу (рис. 2).

Общий объем водоема при нормально-подпертом уровне 319,50 м (абс) составляет 129,07 тыс. м³, из которого полезный объем — 115,47 тыс. м³, мертвый объем — 13,6 тыс. м³. Наполнение емкости в период весеннего паводка происходит за счет работы подводящего и отводящего каналов длиной не более 15 м (рис. 2).

Нормативные сроки строительства подобных объектов составляют 29 месяцев, строительство всех сооружений водохранилища выполнено значительно быстрее — за 24 месяца. При этом земляные работы велись буровзрывным способом только в зимний период с октября 2017 г. по апрель 2018 г. включительно и в результате составили:

- объем выемки 257 тыс. м³;
- объем насыпи 88,5 тыс. м³;
- объем планировки 90,7 тыс. м².

Планировка поверхности и укладка геосинтетических материалов «ТехПолимер» производилась с конца марта по конец апреля 2018 г.



Рис. 4. Геомембрана «ТехПолимер»



Рис. 5. Временная емкость в период прохождения весеннего паводка



Рис. 6. Временная емкость в летний период

на слой скального грунта толщиной 1 м и средним диаметром фракции 40 мм. Работа велась круглосуточно в две смены (рис. 7, 8).

Для соединения листов геомембраны между собой при монтаже использовался метод термической сварки с образованием двойного шва с контрольным каналом. Сварка листов выполнялась двумя основными типами аппаратов швейцарской фирмы LEISTER: аппаратом сварки нагретым газом TWINNY T и ручным экструдером WELDMAX. По факту выполнения сварочных работ осуществлялась проверка герметич-

ности сварного шва путем подачи избыточного давления воздуха в проверочный канал.

Для пригрузки геомембраны от всплытия применили вышедшие из эксплуатации железобетонные изделия — подпятники для временных линий электроснабжения. Наполнение емкости произведено в паводковый период в мае-июне 2018 г. (рис. 9).

Заключение

Данный проект получил положительное заключение негосударственной экспертизы и реализован в кратчайшие сроки.

Использование современных геосинтетических материалов позволило существенно сократить стоимость и сроки возведения гидротехнических сооружений, а также максимально снизить влияние на экологию ручья Безымянный-1 и реку В. Муна в районе строительства.

Дальнейший опыт эксплуатации таких сооружений послужит совершенствованию конструктивов и может быть использован как пример для строительства водозаборных сооружений на вечномерзлых грунтах.



Рис. 7. Процесс укладки мембраны



Рис. 8. Закрепление мембраны на берме



Рис. 9. Заполненное водохранилище

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ STELPANT В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. Обозначены технические характеристики и преимущества антикоррозионных материалов STELPANT для применения в различных природно-климатических условиях. Показан опыт применения материалов в России на различных гидротехнических сооружениях, эксплуатирующихся в том числе в агрессивных средах. Представлен инвестиционный проект развития производства материалов STELPANT в России.

Ключевые слова: защита от коррозии, антикоррозионные материалы, STELPANT.



Рис. 1. Металлоконструкции причалов порта Куксхафен

Стальные конструкции уже давно стали частью современной архитектуры. Необходимость защиты металлоконструкций от коррозии не вызывает сомнений. Современные технические достижения в области защитных покрытий формируют новый подход к антикоррозионной защите. Вчерашнее сугубо промышленное покрытие сегодня становится важным эстетическим компонентом, объединяя функциональность и эстетику в одно целое.

В реальных условиях эксплуатации конструкции причалов подвергаются воздействию не только различных

нагрузок (статических, динамических, циклических) и температур, но и различных агрессивных сред. Кроме этого, при длительной эксплуатации конструкций в них проходят процессы старения стали, приводящие к значительному изменению механических свойств. Очень часто вышеперечисленные факторы действуют совместно в самых разных сочетаниях, что приводит к значительному снижению несущей способности и уменьшению долговечности и безопасности причалов. При помощи соответствующей защиты большинство видов коррозии можно предотвратить или, по крайней

мере, свести к минимуму, сохранив жизнеспособность стальных конструкций на длительный срок.

В связи с тем, что гидротехнические объекты сооружаются и эксплуатируются в условиях морского климата и нередко в районах со сложными погодными-климатическими условиями, к антикоррозионным системам в гидротехнике предъявляются особо жесткие требования. Современные лакокрасочные покрытия в состоянии обеспечить эффективную и долговечную антикоррозионную защиту гидротехнических сооружений, но должны обладать высокой атмосферно- и влагостойкостью, стойкостью к агрессивным средам, должны быть беспористыми, иметь высокую адгезию к металлу, достаточную прочность на изгиб и удар, обладать устойчивостью к истиранию, иметь длительный срок эксплуатации.

Компания Steelpaint GmbH поставляет однокомпонентные полиуретановые краски STELPANT на российский рынок с 1992 г. Для производства своих материалов Steelpaint GmbH использует высококачественные связующие, поставляемые концерном BAYER, а также наполнители и пигменты ведущих мировых производителей. Качество и высокий уровень культуры производства являются основополагающими принципами политики компании.

Experience STEELPAINT products application in hydraulic engineering construction

Abstract. The article reviews characteristics and advantages of STEELPAINT corrosion resistance coatings for application in various natural and climatic conditions and provides the examples of these products application on various hydraulic structures in Russia, being operated under the harshest environment. The article presents an investment project for production in Russia of STELPANT coatings.

Keywords: corrosion protection, corrosion resistance products, STELPANT.

Многослойное лакокрасочное покрытие STELPANT выполняет защитные функции, затрудняя доступ агрессивных компонентов эксплуатационной среды к защищаемым поверхностям. Важнейшим свойством покрытия при этом является низкая газо- и водопроницаемость и отсутствие пор, а также высокая пропитывающая и проникающая способность. Каждый слой лакокрасочного покрытия выполняет конкретные функции:

- верхний слой обеспечивает декоративные свойства покрытия (цвет, глянец) и защищает от действия ультрафиолетового излучения;
- промежуточный слой обеспечивает барьерные свойства покрытия;
- нижний — адгезионный — слой обеспечивает сцепление покрытия с подложкой, а также протекторные свойства в системе грунтового по-

крытия с активными наполнителями. Сочетание последовательно нанесенных материалов позволяет составить системы покрытий для надежной и долговечной защиты металлических конструкций в различных условиях эксплуатации: атмосферостойкие, консервационные, водостойкие, химически стойкие и др.

В гидротехническом строительстве наиболее распространенными и широко используемыми являются следующие системы со сроком службы не менее 20 лет:

1. Для защиты гидротехнических объектов и конструкций (шпунтовых стен, свай, свай-оболочек) в зоне переменного уровня:

- STELPANT-PU-Zinc
2×80 мкм
- STELPANT-PU-Combination
2×200 мкм

Общая толщина: 560 мкм.

2. Для защиты гидротехнических объектов, эксплуатирующихся в открытой атмосфере в зоне брызг и в промышленной атмосфере:

- STELPANT-PU-Zinc
1×80 мкм
- STELPANT-PU-Mica HS
1×80 мкм
- STELPANT-PU-Mica UV
1×80 мкм

Общая толщина: 240 мкм.

Высокая адгезия материалов фирмы Steelpaint GmbH, полная совместимость покрытий друг с другом, сочетающиеся с высокими механическими свойствами: стойкостью к истиранию, твердостью и эластичностью, отличная газонепроницаемость и высокие диэлектрические свойства весьма эффективно изолируют металл и бетон от воздействия агрессивной среды и



Рис. 2. Сваи и пролетные строения причала комплекса перевалки СУГ в порту Железный Рог



Рис. 3. Ремонтная окраска судна

предотвращают коррозионно-механические разрушения защищаемого объекта.

Особенностью материалов фирмы Steelpaint GmbH является повышенное содержание сухого остатка, специальных добавок, обеспечивающих высокую противокоррозионную стойкость в различных агрессивных средах, к УФ-излучению. Физико-химические и физико-механические свойства покрытия STELPANT сразу же нашли успешное применение в области гидротехнического строительства не только в самой Германии, но и в других странах мира.

За прошедшие годы было окрашено большое количество объектов, среди которых хочется отметить следующие:

В Европе — металлоконструкции:

- причала и контейнерного терминала III в порту Бремерхафен;
- причалов порта Куксхафен (рис. 1);
- шпунтовой стенки в порту Булонь.

В России:

- металлоконструкции причала гавани вспомогательных судов в пос. Озеревка на Черноморском побережье Краснодарского края;
- сваи, эстакады морской части нефтяного терминала РПКН «ЛУКОЙЛ-П» в порту Высоцк;
- трубные сваи и шпунт терминалов по перевалке нефти и нефтепродуктов АК «Транснефть» и АК «Транснефте-

продукт» в г. Приморске Ленинградской обл.;

- свайные основания и эстакадная часть терминала по перевалке сжиженного газа в порту Железный Рог (рис. 2);
- шпунтовая стена Приморской набережной в Санкт-Петербурге;
- металлоконструкции причала Туапсинского балкерного терминала и оградительного мола в Новороссийске;
- шпунт причалов №№ 49 и 50 терминала ОАО «Петролеспорт» в Санкт-Петербурге;
- шпунтовые стены на набережной р. Ангары в г. Иркутске и в бухте Оля (о. Итуруп, Дальний Восток).

Материалы STELPANT применяются также для ремонтной окраски судов (рис. 3).

В 2015 г. компанией «Стилпейнт ГмБХ» было принято решение о локализации производства материалов STELPANT на территории России. С этой целью был разработан, согласован и утвержден ряд нормативно-технических документов. В 2016 г. был открыт филиал компании — ООО «Стилпейнт-РУ. Лакокрасочная продукция» в Калужской обл. В соответствии с приказом министерства экономического развития Калужской области, проект «Строительство завода по производству лакокрасочных

материалов «ООО «Стилпейнт-РУ. Лакокрасочная продукция» включен в реестр инвестпроектов. Инвестиционный проект находится в процессе реализации, новое предприятие разместится в индустриальном парке «Ворсино», а именно на территории мультимодального логистического центра «Фрейт Вилладж Ворсино». Предприятие начнет свою работу в скором времени.

Создание завода в РФ позволит существенно повысить объемы выпускаемой продукции, оптимально распределить производство различных типов материалов между заводами в соответствии с современными тенденциями рынка антикоррозионных материалов и потребностями клиентов, позволит расширить сферу применения и снизить себестоимость. В результате реализации инвестпроекта будут созданы новые рабочие места. Завод компании «Стилпейнт» в Калужской области создается с соблюдением высокого уровня стандартов и традиций производства материнской компании, таких как технологичность, безопасность труда и окружающей среды, качество готовой продукции.

Благодаря четкой и хорошо продуманной политике компании, а также высокопрофессиональному подходу к делу всех сотрудников, высококачественные и высокотехнологичные материалы компании «Стилпейнт ГмБХ» за более чем 20-летний опыт использования завоевали серьезный авторитет на российском рынке. Мы с уверенностью смотрим в будущее, наши заказчики могут всегда быть уверены в неизменности нашего качества и высоких стандартах обслуживания.

STEELPAINT

ООО «Стилпейнт-РУ.

Лакокрасочная продукция»

Москва, Мерзляковский пер., 15, офис 2

Тел.: +7 (495) 697-15-66, (495) 933-28-46

Факс +7 (495) 935-89-21

E-mail: steelpaint@co.ru

Санкт-Петербург, пр. Космонавтов, 61, корп. 1, пом. 59-Н

Тел. +7 (812) 382-86-23

E-mail: steelpaintspb@bk.ru

www.steelpaint-ru



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

генеральный информационный партнёр:

Гидротехника
НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

26-27 СЕНТЯБРЯ /18

**МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ
И СТРОИТЕЛЬСТВА
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ»**

Место проведения:

Москва, Крокус-Экспо, отель «Аквариум»
в рамках выставки ЭКВАТЭК-2018

www.fc-union.com, info@fc-union.com

тел.: +7 (495) 66-55-014, моб.: +7 916 36-857-36



ЯМАЛ НЕФТЕГАЗ

Организатор:
VOSTOCK CAPITAL

+7 (499) 505 1 505 (Москва)
events@vostockcapital.com

www.yamaloilandgas.com

VI международный форум и выставка

28-29 ноября, 2018, Новый Уренгой, Россия

Среди ежегодных докладчиков и VIP-гостей



**Сергей
Кочуров**

Вице-президент, ЛУКОЙЛ,
генеральный директор,
ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь



**Денис
Сугаипов**

Генеральный директор,
Газпромнефть – Развитие



**Сергей
Меньшиков**

Генеральный директор,
Газпром добыча Надым



**Виль
Фахретдинов**

Генеральный директор,
НОВАТЭК-
Таркосаленефтегаз



**Алексей
Овечкин**

Генеральный директор,
Газпромнефть-Ямал



**Александр
Слепцов**

Генеральный директор,
РОСПАН ИНТЕРНЕШНЛ

ФОКУС-СЕССИЯ:

Реализация проектов СШХ и СМП. Особенности привлечения инвестиций, формирования грузопотоков, развития морских портов и ж/д подходов к ним

НОВОЕ МЕСТО – НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

В 2018 году Форум пойдет в г. Новый Уренгой, промышленном центре региона, что несомненно скажется на значительном увеличении числа участников Форума.

ТОЛЬКО В 2018!

Клуб директоров по управлению крупными проектами региона. Закрытое заседание по эффективному запуску и реализации проектов нефтегазовой индустрии Ямала и России в целом.

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ФОКУС!

Мега-проекты: Ямал СПГ, Арктик СПГ 2, Мессояха Мегапроект «ЯМАЛ».
Задайте вопросы напрямую руководителям проектов!

Среди постоянных участников:



ЕВРАЗ НТМК

- ≡ ЕДИНСТВЕННЫЙ В РОССИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ШПУНТОВЫХ СВАЙ КОРЫТНОГО ТИПА С ЗАМКОВ ЛАРСЕН Л5УМ
- ≡ ПРОИЗВОДСТВО ДО 100 ТЫСЯЧ ТОНН ШПУНТА
- ≡ МАКСИМАЛЬНЫЙ СРОК ОТГРУЗКИ — 30 ДНЕЙ

Реклама.



ЕВРАЗ
мы делаем мир сильнее

ООО «Торговая
компания «ЕвразХолдинг»
121353 Москва, Беловежская ул., д. 4
Тел./факс: (495) 363-19-63, E-mail: Sales@evraz.com
www.tc-evraz.com