

# ГИДРОТЕХНИКА

Волга – исторический путь России. Красноярская ГЭС.  
Континентальный шельф. Морские, речные ГТС.  
Строительные технологии и материалы.

№ 3 (32)  
2013

Июль – сентябрь

**ПРОФЕССИОНАЛИЗМ \* НАДЕЖНОСТЬ \* ИННОВАЦИИ**



**ГидроПромСтрой**

## **ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ РАБОТЫ ШПУНТОВЫЕ РАБОТЫ**

**КОМПЛЕКСНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ ВСЕГО СПЕКТРА  
ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ**

**РАБОТЫ ПО ПОГРУЖЕНИЮ, ИЗВЛЕЧЕНИЮ ШПУНТА  
РАЗЛИЧНЫХ МАРОК (ЛАРСЕН, ARCELOR, ТРУБОШПУНТ)**

**КОМПЛЕКС РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА**

119134, г. Москва, ул. Б.Якиманка, д.24, офис 405

Тел.: +7(499) 238-63-96, тел./факс: +7(499) 238-66-57, e-mail: info@gps-atom.ru, gps-atom@mail.ru

На правах рекламы.

Читайте на стр. 119.

## Шпунтовые сваи ЕВРАЗа

- ЕВРАЗ - компания мирового уровня в области производства стали и угледобычи, лидер на рынке строительного и транспортного проката России и СНГ;
- Крупнейший производитель шпунтовых свай в РФ;

ЕВРАЗ является лидером на российском рынке шпунтовых свай; продуктовая линейка представлена более чем 20 профилями корытного типа с замками типа LARSEN, производимыми на двух площадках. ЕВРАЗ НТМК в г. Нижний Тагил производит профиль Л5-УМ из стали, природно-обогащенной ванадием, что обеспечивает повышенную коррозионную стойкость. Легкие шпунты VL производятся на EVRAZ Vitkovice Steel в Чехии и прекрасно зарекомендовали себя на конкурентном европейском рынке.

ЕВРАЗ обеспечивает:

- высокое качество продукции благодаря накопленному опыту производства, постоянному совершенствованию технологии;
- кратчайшие сроки поставки за счет постоянного наличия продукции в целевых регионах, а также на буферном складе в Нижнем Тагиле;
- выполнение нестандартных заказов (из легированной стали, длины от 5 до 24 метров) за счет регулярного проката;
- оперативное рассмотрение запросов, информирование о статусах заказов;
- подбор оптимального решения под конкретный проект.

Предоставляемый сервис и высокое качество продукции позволяет нам оставаться поставщиком крупнейших строительных и проектных организаций, таких как ООО "НПО "Мостовик", ОАО «Мостотрест», ГК "СК Мост", ООО «КОРПОРАЦИЯ ИНЖТРАНССТРОЙ», ОАО "Волгомост", ОАО Корпорация «Трансстрой» и др.

Крупные проекты с участием шпунтовых свай ЕВРАЗа:

- Строительство Нововоронежской АЭС-2 – крупнейшего инвестиционного проекта на территории Центрального Черноземья. На объекте используются шпунтовые сваи Л5-УМ длиной до 20 м и VL606А длиной 12 м.
- Берегоукрепление и реконструкция набережной р. Амур, г. Благовещенск, в рамках проекта по строительству Бурейской ГЭС - самой крупной ГЭС на Дальнем Востоке. На объекте использован шпунт VL605 длиной до 12 м.
- Строительство инфраструктуры Системы магистральных газопроводов "Бованенково – Ухта", примыкающих к магистрали «Ямал – Европа». На объекте использован шпунт Л5-УМ с эмалированным покрытием, разработанным совместно с партнерами ЕВРАЗа специально для использования металлопроката в суровых условиях Крайнего Севера.



Более подробную информацию можно получить, обратившись в Дирекцию по продажам строительного сортамента ООО "ТК "ЕвразХолдинг".

РФ, 121353, г. Москва, ул. Беловежская, д. 4  
Тел.: +7 (495) 363-19-62  
dmitry.momot@evraz.com  
Дмитрий Момот

 **ЕВРАЗ**

## Болотоход + землесос = земснаряд!

Преимущества амфибии очевидны.



**GRAFFT**  
COMPANY

Экскаваторы-амфибии, землесосы  
Спецтехника, запасные части  
Официальный дистрибьютор

Дистрибьютор по России и СНГ: ООО «ГраффТ»

Телефон +7 (499) 130-31-83, (495) 777-35-42 e-mail: [info@grafft.ru](mailto:info@grafft.ru), сайт: [www.grafft.ru](http://www.grafft.ru)

# concrete and metal testing



## SilverSchmidt

Молоток для испытания бетона

Молоток SilverSchmidt представляет новейшие разработки компании и позволяет измерять прочность по ГОСТ 22690 в диапазоне от 5 до 170 Н/мм<sup>2</sup>. Встроенный электронный блок; увеличенный более чем в 3 раза срок службы пружины; отсутствие влияния пространственного положения молотка на результаты измерений. Прошел тесты НИИЖБ на объектах «Москва-Сити» и «Миракс Плаза».



## Original Schmidt

Молоток для испытания бетона

Более 50 лет во всем мире для оценки прочности бетонов применяют молотки Шмидта. Существующие типы N, L, NR и LR позволяют измерять прочность по ГОСТ 22690 в диапазоне от 10 до 70 Н/мм<sup>2</sup>. Типы NR и LR осуществляют регистрацию результатов на бумажную ленту в виде гистограммы.



## Pundit Lab

Ультразвуковой прибор

Pundit Lab — НОВИНКА 2010 года — ультразвуковой прибор для определения прочности на сжатие бетона по ГОСТ 17624-87, а также для определения глубины поверхностных трещин в бетоне. Имеет возможность отображать форму сигнала на ПК либо осциллографе.



## Profoscope

Определение местоположения стержней арматуры и толщины защитного слоя бетона

Универсальный прибор с встроенным датчиком. Удобное управление и визуализация результатов в режиме реального времени. Диапазон измерений толщины защитного слоя — до 180 мм. Определение диаметра стержня, средней точки между стержнями. Внесен в Реестр средств измерений РФ.

Официальный представитель Proceq SA в России  
**ООО «Просек Рус»**  
Санкт-Петербург, ул. Оптиков, д. 4, к. 2, лит. А, оф. 412  
Тел./факс: +7 812 448 35 00  
info-russia@proceq.com www.proceq-russia.ru



## Equotip3

Динамический твердомер для металла с выносным датчиком

Equotip3 — самый передовой универсальный портативный твердомер, разработанный компанией Proceq. Имеет возможность подключения различных датчиков. Внесен в Реестр средств измерений РФ.



## Equotip Bambino 2

Динамический твердомер для металла с встроенным датчиком

Equotip Bambino 2 — наиболее эффективный и простой в использовании твердомер. В нем сочетаются легкость, компактный дизайн и возможность замены датчиков Di/DL. Результаты измерений отображаются во всех общепринятых шкалах твердости: HV, HB, HRC, HRB, HS. Высокая точность с автоматической коррекцией пространственного положения датчика. Внесен в Реестр средств измерений РФ.



**proceq**

ISSN 2227-8400

# Журнал

# ГИДРОТЕХНИКА

Член Ассоциации «МОРПОРТЭКСПЕРТИЗА»

Журнал размещен в Национальной электронной библиотеке и включен в Российский индекс цитирования

Архив журнала размещен в Электронной библиотеке нормативов NormCS [www.normaCS.ru](http://www.normaCS.ru)

[www.hydrotech.ru](http://www.hydrotech.ru)

Оформите подписку на журнал «ГИДРОТЕХНИКА»

Учредитель: издательство «ТАНДЕМ» (ООО)

Издатель: ООО «Издательский дом «ГИДРОТЕХНИКА»

Адрес редакции: 192007, Санкт-Петербург, Тамбовская ул., д. 8, лит. Б  
Т./ф.: (812) 712-90-48, 712-90-66, 640-03-34, 640-19-84  
Для макетов: [gts2005@yandex.ru](mailto:gts2005@yandex.ru)

Главный редактор:

**Ильина Татьяна Владимировна**  
(812) 712-90-48, 8 921 961 79 62, [info@hydrotech.ru](mailto:info@hydrotech.ru)

Зам. главного редактора:

**Павлова Виктория Михайловна**  
(812) 640-03-34, [vp@hydrotech.ru](mailto:vp@hydrotech.ru)

Отдел рекламы:

**Ковалевич Елена Валентиновна**  
(812) 712-90-66, [evk@hydrotech.ru](mailto:evk@hydrotech.ru)

**Афанасьева Нина Евгеньевна**  
(812) 640-19-84, [gidroteh2008@yandex.ru](mailto:gidroteh2008@yandex.ru)

Руководитель отдела подписки и доставки:  
**Кудрявцева Ольга Вадимовна**  
(812) 640-03-34, [dostavka@hydrotech.ru](mailto:dostavka@hydrotech.ru)

Дизайн и верстка: **Евгения Морозова**

Корректор: **Мария Доброва**

Перевод: **Нина Ломако**

Фотокорреспондент: **Евгений Елинер**

Отпечатано в ООО «Скай ЛТД», Санкт-Петербург

Распространяется по подписке, целевой адресной рассылкой, на конференциях, выставках, семинарах отраслевой тематики

Уст. тираж 8 000 экз.

Подписано в печать 15.07.2013 г.

Свидетельство о регистрации федерального, международного СМИ выдано 2 декабря 2008 г., ПИ № ФС 77-34599. Использование любых информационных и иллюстративных материалов возможно только с письменного разрешения редакции.

Все рекламируемые товары и услуги имеют соответствующие сертификаты и лицензии. За содержание рекламных объявлений редакция ответственности не несет. Мнение редакции не всегда совпадает с мнением автора.

Колонка редактора

## «С чего начинается Родина...»

Чаще всего при подготовке очередного номера не возникает необходимости объяснять его замысел — вам, дорогие читатели, как специалистам, наверняка все даже в большей степени понятно, чем выпускающей редакции. Но здесь захотелось поделиться размышлениями, потому что этот выпуск получился, если можно так сказать, по-особому патристическим: Волга, Красноярская ГЭС, российский шельф — слова, вызывающие гордость не только у профессионалов разных поколений, а и у любого человека, ощущающего себя гражданином России. Волга для меня еще и «личная» тема: родившись на Волге и половину жизни проведя на ее берегах, не понаслышке знаю все проблемы нашей великой реки, — поэтому особо были дороги отклики всех, к кому мы обратились с просьбой принять участие в разделе. Никто из ученых, практиков, руководителей федеральных ведомств не отказался, каждый нашел время, — и была в этом согласии удивительная сопричастность людей, живущих на российской земле.

Подумалось, что именно работа над журналом «ГИДРОТЕХНИКА», которому в декабре этого года исполняется 5 лет, вернула мне потерянное на рубеже веков ощущение гордости за свою страну. Потому, что как бы ни были серьезны проблемы и «болезни» сегодняшней действительности — природы, общества, государства; как бы ни отбрасывали нас назад в развитии 90-е годы, какие бы грандиозные планы ни строились по реформированию науки, время показало, что не утратили российская инженерия и наука способности совершать открытия, строить объекты, аналогов которым нет в мире. Может быть, это потому, что для каждого из нас Родина с чего-то начинается, и начинается каждый раз заново, когда мы оставляем свой рукотворный след на новом для себя кусочке огромной России. Хочется верить, что в жизни и профессиональной деятельности мы никогда не сойдемся с историческим пути, имя которому — Родина.

Главный редактор Татьяна Ильина

## ГИДРОТЕХНИКА



### Раздел 1

<b>ВОЛГА — ИСТОРИЧЕСКИЙ ПУТЬ РОССИИ</b> .....	6-39
Лобченко Е. Е., Лямперт Н. А., Ничипорова И. П. Качество поверхностных вод бассейна Волги.....	8
Белоусова А. П. Мелкомасштабная оценка защищенности подземных вод от загрязненности в бассейне Волги .....	11
Баренбойм Г. М., Авандеева О. П. «Редкие земли» в волжских водах.....	15
Крючина Е. С. «Водмашоборудование»: современные технологические решения для очистных сооружений .....	19
Развитие водохозяйственного комплекса России: приоритеты в бассейне Волги .....	20
Даревский В. Э., Романов А. М., Шестов Г. Е., Мельник Г. В. Использование современных методов расчета при проектировании защиты берега Куйбышевского водохранилища.....	21
Пшеничникова Е. С. Геотекстильные конструкции в строительстве земляных сооружений .....	29
Левачев С. Н., Малаханов В. В., Шурухин Л. А. Реконструкция шлюза Рыбинского гидроузла на Волге.....	33

### Раздел 2

<b>ГИДРОЭНЕРГЕТИКА. КРАСНОЯРСКАЯ ГЭС</b> .....	40-61
Иванченко И. П., Прокопенко А. Н. Анализ технического состояния действующего гидроэнергетического оборудования Красноярской ГЭС .....	41
Золотухин Е. П., Кузьменко А. П., Воробьева Д. Б. Системы мониторинга технического состояния и регистрации земплятресений плотины Красноярской ГЭС .....	51
Красноярская ГЭС — в основе энергетики Сибири .....	54
РусГидро: реконструкция ГЭС Волжского каскада .....	57
ЗАО СУОС: На пути покорения Сибири.....	58
V Всероссийское совещание гидроэнергетиков.....	61

### Раздел 3

<b>МОРСКИЕ ГТС. КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ШЕЛЬФ</b> .....	62-
Макаров К. Н. О берегозащитных мероприятиях на побережье Имеретинской низменности в Адлерском районе г. Сочи .....	63
Соколов В. Т. О величине разворотного круга для судов с подруливающими устройствами.....	70
Ковалевская О. Ю., Блиновская Я. Ю. Анализ аварийности морских объектов нефтегазового комплекса.....	75
Мионов М. Е. Актуальные вопросы проектирования платформ на российском шельфе.....	78
Шибакин С. И. Развитие концепции морской технологической платформы для освоения Штокмановского газоконденсатного месторождения — от TLP до FPSO.....	82
Иушин П. С., Петрашев С. В. Способы и устройства защиты морских нефтегазовых сооружений от ледовых нагрузок .....	86
Басс О. В., Современная концепция берегозащиты и проблемы гидротехнического строительства на морских берегах Калининградской области.....	90

### Раздел 4

<b>СТРОИТЕЛЬСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГТС</b> .....	93-123
Беллендир Е. Н., Глаговский В. Б., Пак А. П. Гидротехнические сооружения: техническое нормирование, требования, обязательные к применению .....	94
Запороженко Э. В., Бутенко А. А. Управляемое снижение уровня воды для предотвращения прорыва моренной дамбы озера Петрова (Кыргызстан, Внутренний Тянь-Шань).....	101
Гончаров В. В. Трубы б/у в строительстве: не НОУ-ХАУ и тем более не «авось»! .....	109
«Шпунтовая Компания»: современные технологии устройства шпунтовых ограждений.....	114
Сердюк А. И., Чернявский В. Л. Опыт усиления строительных конструкций композиционными материалами при реконструкции Баксанской ГЭС.....	115
ООО «ГидроПромСтрой» — современные технологии в строительстве.....	119
Васильева Т. Н. Технологии и комплексные системы Sika® для защиты бетона оболочек градирен.....	120
Высокоэффективные антикоррозионные покрытия фирмы STEELPAINT GmbH .....	122
<b>ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ 2014</b> .....	124

## ВОЛГА — ИСТОРИЧЕСКИЙ ПУТЬ РОССИИ

Продолжение темы в № 4  
(октябрь 2013 г.)

### ОТ РЕДАКЦИИ

Редакция благодарит авторов и организации, которые не остались равнодушными к проблемам великой реки и приняли участие в содержании раздела, посвященного Волге. Выражаем особую признательность за помощь и консультации специалистам института «ГИПРОРЕЧТРАНС» и лично Г. В. Мельнику; ведущим специалистам Института водных проблем РАН, Гидрохимическому институту Росгидромета и лично Е. Е. Лобченко; Управлению внутреннего водного транспорта Росморречфлота и лично И. Н. Злобину; Управлению ресурсами вод и регулирования водохозяйственной деятельности Росводресурсов и руководителю отдела водного хозяйства М. В. Злобиной; проректору Нижегородского архитектурно-строительного университета С. В. Соболю, генеральному директору компании «Нижегородстройдиагностика» А. Н. Красавину; ученым Московского государственного строительного университета.

В различных выпусках журнала «ГИДРОТЕХНИКА» мы отражали отдельные проблемы гидротехнического строительства и объекты Волжского бассейна — Чебоксарское водохранилище, Рыбинский гидроузел, Городецкий шлюз, Камское водохранилище, а также самые разные гидротехнические работы, но было понятно, что проблемы Волги — межотраслевые, их невозможно решать в рамках отдельно гидроэнергетики или судоходства, экологии или промышленной гидротехники, водоснабжения или рыбного хозяйства. Вполне вероятно, что специальный раздел журнала, который мы планируем поддерживать постоянно, на информационном уровне станет одним из объединяющих звеньев в развитии Волжского бассейна. Мы выражаем надежду, что проблемы Волги, обозначенные лишь крупными и штрихами в силу ограниченности формата, вызовут у самых разных ведомств, организаций и специалистов желание приложить усилия для их решения. Человек, научившись вторгаться в природу, учится ее оберегать и изобретает компенсирующие технологии, помогающие природе сохранять свое естество. Уверены, что разработки и опыт российских компаний, представленные в этом номере, найдут широкое применение в решении проблемных ситуаций на Волге. Редакция будет признательна за отклики и продолжение обсуждения на страницах журнала путей сохранения и развития Волги.



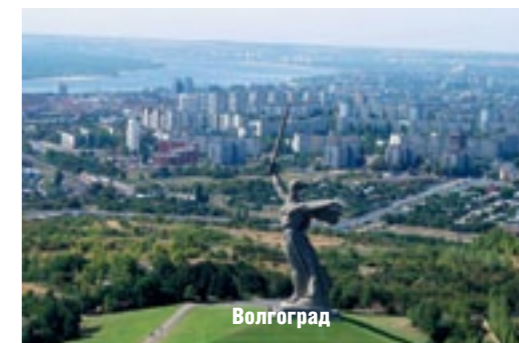
Любому россиянину не надо объяснять, что такое река Волга. С малых лет каждый имеет о ней представление как о главной реке страны — даже если никогда не бывал на ее берегах. Воспетая в стихах и песнях, запечатленная художниками разных исторических эпох, Волга однозначно является значимой частью национального достояния России, важнейшей водной артерией Европы. На всей протяженности Волги от устья до истока (3531 км) в нее впадает 151000 рек и ручьев. Площадь бассейна Волги составляет 358 тыс. кв. км, на его территории живут около 60 млн человек. Впадая в Каспийское море — крупнейший замкнутый водоем планеты, Волга является основным источником его водных ресурсов и составляет 47% площади бассейна Каспия.

Как от живой артерии, питающей хозяйственную и социальную деятельность человека, от Волги и от ее состояния зависит и качество жизни людей сегодня, и в целом развитие цивилизации. Волго-Каспийский бассейн имеет планетарное значение, поскольку оказывает существенное влияние на состояние биоресурсов и биосферы Земли, именно поэтому в начале 2000-х гг. ЮНЕСКО разработала и вместе с российскими учеными реализовала международный проект по обеспечению устойчивого развития Волжско-Каспийского бассейна. От российской стороны эту работу возглавил доктор технических наук, академик РААСН, заслуженный деятель науки, тогда ректор Нижегородского архитектурно-строительного университета Валентин Васильевич Найденко. Будучи инициатором и разработчиком программы «Возрождение Волги», главной целью проекта Валентин Васильевич считал преодоление экологического кризиса Волжского бассейна и обеспечение его дальнейшего развития. Именно в отсутствие межотраслевого подхода к развитию Волги он видел источник ее ключевых проблем. Результатом огромной работы по реализации программы возрождения Волги стал двухтомник «Великая Волга на рубеже тысячелетий. От экологического кризиса к устойчивому развитию» (изд. «Промграфика», 2003 г.). Общим объемом 800 страниц в формате А4 — этот труд и сегодня остается самым полным исследованием всего Волжского бассейна. Предложенные В. В. Найденко и его коллегами, участниками программы «Возрождение Волги», меры преодоления экологического кризиса Волги и обеспечения перехода Волжского бассейна к устойчивому развитию не потеряли своей актуальности спустя 10 лет, многие из них нашли отражение в федеральных программах развития водного транспорта и водного хозяйства России. В фундаментальном труде В. В. Найденко, помимо результатов всесторонних исследований, широко представлен опыт волжских регионов, предприятий химической, нефтяной, автомобильной, металлургической промышленности по обеспечению экологической безопасности, а также российские и зарубежные технологии обезвреживания, утилизации вредных отходов, очистки бытовых и промышленных сточных вод.

Завершился проект ЮНЕСКО, безвременно ушел из жизни Валентин Васильевич Найденко, и местами не так «широка, глубока, сильна Волга», как охарактеризовал ее в знаменитой песне поэт В. И. Лебедев-Кумач. Не утихают протесты экологов против ГЭС и искусственных водохранилищ на Волге, на дне которых похоронены уникальные русские просторы и поселения. Человек продолжает эксплуатировать Волгу в своих целях, извлекая прибыль, не всегда думая о последствиях своей деятельности. Но не так мало в России людей, которые понимают планетарное значение Волги и вкладывают свой труд в ее сохранение. И потому, что настоящие профессионалы, принимающие ответственность за свое дело, и потому, что истинные патриоты, которым небезразлично будущее своей Родины, — в их числе ученые различных научных областей, гидротехники, строители, метеорологи, работники водного транспорта и люди самых разных профессий, объединенные вечной национальной ценностью по имени Волга.



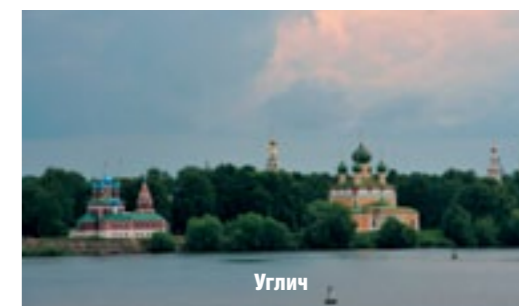
Астрахань



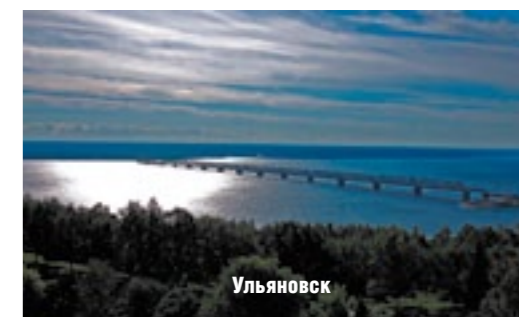
Волгоград



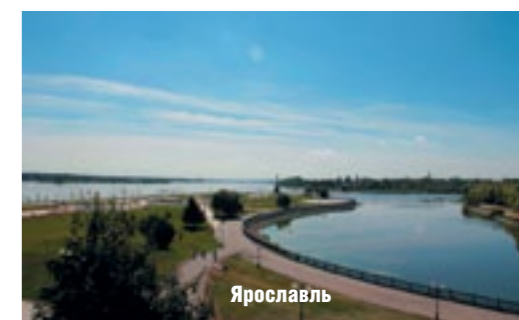
Казань



Углич



Ульяновск



Ярославль

# КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАСЕЙНА ВОЛГИ

**Лобченко Е. Е.,**  
канд. хим. наук, ведущий  
научный сотрудник ФГБУ  
Гидрохимический институт  
Росгидромета

**Лямперт Н. А.,**  
ст. науч. сотр. ФГБУ  
Гидрохимический институт  
Росгидромета

**Ничипорова И. П.,**  
ст. науч. сотр. ФГБУ  
Гидрохимический институт  
Росгидромета

**Аннотация.** Рассмотрены результаты анализа многолетней гидрохимической информации, характеризующие изменение качества и компонентного состава поверхностных вод бассейна Волги. Отмечены участки реки Волги, а также отдельные водные объекты ее бассейна, находящиеся в напряженном экологическом состоянии. Показано влияние увеличивающейся антропогенной нагрузки в Волжском бассейне, гидроузлов Волжско-Камского каскада водохранилищ и негативное воздействие сточных вод многочисленных промышленных предприятий, создавших серьезную угрозу устойчивому функционированию ряда отраслей экономики на Нижней Волге.

**Ключевые слова:** качество воды, экологическая обстановка, уровень загрязненности, высокое загрязнение, антропогенная нагрузка.

**Abstract. D.**  
**Keywords:** o.

Бассейн р. Волги, крупнейшей реки Европы, расположен на европейской территории России, водные объекты бассейна расположены на территории Северо-Западного, Центрального, Приволжского, Южного, Уральского округов.

Анализ многолетней режимной гидрохимической информации по изменению качества и компонентного состава поверхностных вод бассейна Волги показал, что наиболее значительным изменениям подверглись водные объекты в экономически развитых районах. Естественное качество поверхностных вод подвержено значительным загрязнениям, происходит качественное ухудшение поверхностных вод в результате организованного (путем сброса сточных вод) и рассеянного (путем смыва загрязняющих веществ поверхностным стоком с промышленно-урбанизированных площадей и территорий с преобразованными ландшафтами) сброса. Общий объем антропогенных нагрузок на некоторые водные объекты бассейна Волги превышает потенциал самоочищения речных вод. Основными причинами являются: отсутствие на многих предприятиях необходимых очистных сооружений; сброс неочищенных ливневых стоков с территорий больших городов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий; большие объемы накопившихся загрязненных донных отложений, являющихся источниками вторичного загрязнения природных вод. Развитие водоемких отраслей промышленности обуславливает высокую степень использования поверхностных водных объектов — как для забора воды, так и для сброса сточных вод; следствием этого является увеличивающаяся антропогенная нагрузка и существенное изменение качества поверхностных вод.

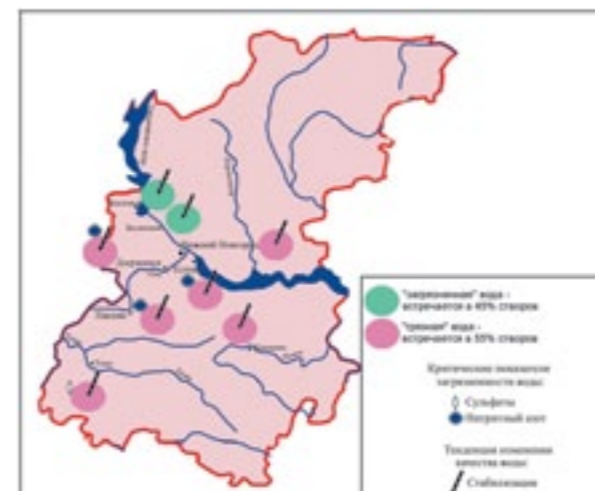
Наибольшее количество загрязняющих веществ поступает в водные объекты со сточными водами нефтеперерабатывающей, химической, металлургической, текстильной отраслей промышленности. Формирование химического состава поверхностных вод в условиях антропогенного воздействия характеризуется: 1) повышением (или понижени-

ем) концентрации тех компонентов природных вод, которые обычно присутствуют в незагрязненной воде; 2) изменением направленности естественных гидрохимических процессов; 3) обогащением вод веществами, чуждыми природной воде. Например, если поверхность воды покрыта пленкой нефти, жирных кислот или других плавающих загрязнителей, поступающих со сточными водами, то многие химические и биохимические процессы существенно изменяются, т. к. ограничивается поступление в воду кислорода, света, уменьшается испарение воды, меняется состояние карбонатной системы.

Факторы, воздействующие на водные объекты, особенно ощутимо сказываются на экологическом состоянии малых рек, которые играют решающую роль в формировании водных ресурсов, на их долю в многолетнем стоке. В отдельных районах ресурсоформирующая роль малых рек еще более существенна. Без разумного регулирования возрастающей водохозяйственной нагрузки на малые реки становится все труднее управлять их использованием и охраной.

Волжский бассейн — важнейший в экономическом отношении регион России. Здесь производится 48% валового регионального продукта, 45% промышленной и 36% сельскохозяйственной продукции России, что определяет высокую степень антропогенной нагрузки.

Наиболее распространенными загрязняющими веществами в бассейне Волги являются трудноокисляемые органические вещества (по ХПК), легкоокисляемые органические вещества (по БПК<sub>5</sub>), соединения меди, железа, в меньшей степени — фенолы, нефтепродукты, аммонийный и нитритный азот, соединения цинка, превышения ПДК которых составляют 30–90%. В многолетнем плане существенных изменений в уровне загрязненности поверхностных вод бассейна Волги не происходит. Качественно поверхностные воды бассейна в большинстве створов оцениваются как «загрязненные» и «грязные».



**Рис. 1.** Качество поверхностных вод на территории Нижегородской области

В собственно р. Волге и ее водохранилищах преобладают воды «загрязненные» и «очень загрязненные», отмеченные в 67% створов, причем наибольшее распространение (40% створов) имеют воды разряда «очень загрязненные». В 2012 г. к наиболее загрязненным, оцениваемым как «грязные», относились отдельные створы на водохранилищах: Ивановском (г. Дубна), Рыбинском (в черте с. Брейтово, п. Переборы, ниже г. Череповца), Горьковском (ниже г. Рыбинска, в черте и ниже г. Тутаева), Чебоксарском (в черте г. Нижнего Новгорода, выше и ниже г. Кстово), Куйбышевском (выше г. Зеленодольска, выше и ниже г. Казани), а также на участке р. Волги, протекающей по территории Астраханской области.

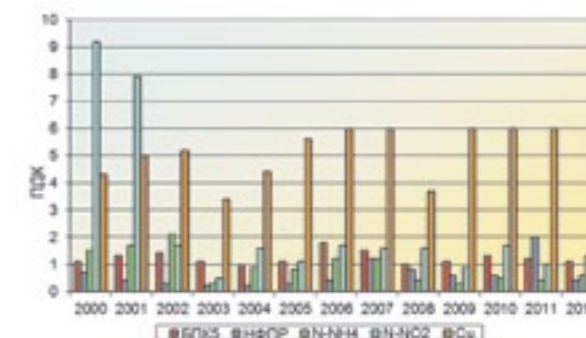
Низким качеством воды характеризуются водные объекты Нижегородской области. В подавляющем большинстве вода рек оценивается как «грязная» (рис. 1).

В 2012 г., по сравнению с предыдущим десятилетием, увеличилось содержание соединений меди в воде Чебоксарского водохранилища ниже г. Нижнего Новгорода, максимальные концентрации достигали 39–44 ПДК (рис. 2). Среднегодовые концентрации остальных загрязняющих веществ изменились незначительно.

Вода Чебоксарского водохранилища в многолетнем плане варьирует в диапазоне от «загрязненной» в большинстве створов контроля до «грязной» в створах в черте г. Нижнего Новгорода, выше и ниже г. Кстово преобладающими были «очень загрязненные» воды (58% створов).

Большинство створов наблюдений Куйбышевского и Саратовского водохранилищ характеризуются как «загрязненные». В 2012 г. среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ в воде Куйбышевского водохранилища были незначительно выше ПДК (соединения меди превышали в 2–5 раз), Саратовского водохранилища — ниже ПДК, за исключением соединений меди и легко- и трудноокисляемых органических веществ, в отдельных пунктах превышающих норматив.

Создание гидроузлов Волжско-Камского каскада водохранилищ изменило коренным образом гидрологические условия Нижней Волги. Нарушение характера внутригодового распределения стока, перекрытие путей миграции на нерест ценнейших и уникальных видов проходных и полупроходных



**Рис. 2.** Динамика среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в воде Чебоксарского водохранилища, 4,2 км ниже г. Нижнего Новгорода

рыб, антропогенные воздействия сточных вод многочисленных промышленных предприятий создали угрозу устойчивому функционированию ряда отраслей экономики на Нижней Волге.

Водохозяйственные проблемы Нижней Волги обусловлены как природными условиями региона, так и несоответствием качества очистки сточных вод ряда отраслей экономики экологическим требованиям при многоцелевом использовании водных ресурсов. При этом особенностью Нижней Волги является тот факт, что улучшение и поддержание на соответствующем уровне экологического состояния системы возможно в основном за счет регулирования стока Волжско-Камским каскадом и пусков воды через Волгоградский гидроузел.

Основной особенностью Волгоградского водохранилища является большая однородность химического состава воды по глубине и акватории водохранилища, которая объясняется многократным обменом воды, около восьми раз в год. Второй причиной малой изменчивости химического состава воды водохранилища является динамичность водных масс: помимо сезонных вертикальных циркуляций, охватывающих всю толщу воды, перемешивание осуществляется под воздействием ветровых течений.

Гидрохимический режим Волгоградского водохранилища формируется под воздействием сточных вод предприятий жилищно-коммунального хозяйства, нефтеперерабатывающей, химической и нефтехимической промышленности. Негативное влияние на качество воды оказывают судоходство и неорганизованные сбросы с сельскохозяйственных угодий.

Качество воды р. Волги, ее многочисленных рукавов и проток в пределах Астраханской области формируется под воздействием вышележащих водохранилищ, коммунально-бытовых и промышленных стоков городов, дренажно-сбросных вод с орошаемых земель, сточных вод рыбного хозяйства и речного флота. Действующие очистные сооружения работают не всегда эффективно. Очистке подвергается лишь 50% забираемой воды для хозяйственно-питьевых нужд, в результате в р. Волгу сбрасываются недостаточно очищенные стоки, содержащие нефтепродукты, фенолы, тяжелые металлы и ряд других загрязняющих веществ.

Воды Волгоградского водохранилища и участок р. Волги в районе г. Волгограда соответствует классу «загрязненных» и «очень загрязненных» вод.

Наиболее напряжена экологическая обстановка на участке р. Волги на территории Астраханской области от с. Верхнее Лебяжье до г. Астрахани, где вода характеризуется как «гряз-

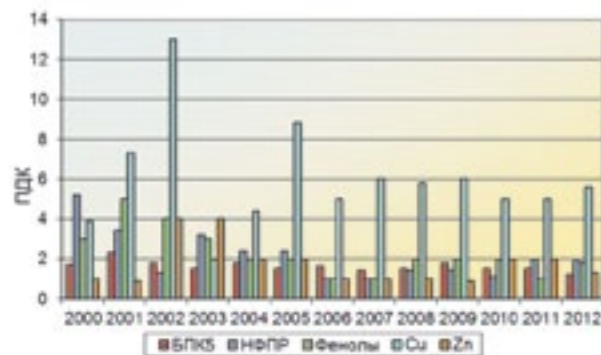


Рис. 3. Динамика загрязняющих веществ в воде р. Волге, г. Астрахань

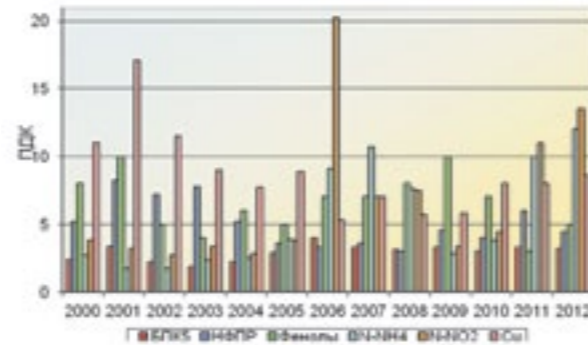


Рис. 4. Динамика загрязняющих веществ в воде р. Москвы, г. Москва

ная». Ниже г. Астрахани, по сравнению с выше расположенным пунктом наблюдения г. Волгограда, возрастает средний уровень загрязненности воды трудноокисляемыми органическими веществами, нефтепродуктами, соединениями меди и железа (рис. 3).

В низовье Волги в пределах Волго-Ахтубинской поймы и дельты (рукава Ахтуба, Бузан; Кривая Болда, Камызяк и протока Кигач) характеристика качества и средний уровень загрязненности воды практически не меняются, вода в большинстве створов оценивается как «грязная».

Загрязненность воды р. Оки — правостороннего притока р. Волги — возрастает по течению реки от «загрязненной» и «очень загрязненной» на территории Орловской, Тульской и Калужской областей до «грязной» в Московской области, и практически не изменяется ниже по течению реки вплоть до устья. Снижение качества воды по течению реки обусловлено увеличением среднегодового содержания в воде аммонийного и нитритного азота, фенолов. Случаи высокого загрязнения воды нитритным азотом в отдельные годы наблюдений наиболее часто отмечаются ниже городов Коломны, Рязани и Павлово.

В бассейне Волги наиболее высокий уровень загрязненности воды характерен для р. Москвы. Под влиянием Люберецкой и Курьяновской станций аэрации, а также загрязненных притоков качество воды р. Москвы по течению реки снижается от «очень загрязненной» до «очень грязной». В 2012 г. критическими загрязняющими веществами воды реки были аммонийный и нитритный азот, соединения меди и легкоокисляемые органические вещества (по BPK<sub>5</sub>), максимальные концентрации которых соответственно составляли: 26, 49, 17 и 6 ПДК.

В 2011–2012 гг., по сравнению с 2008–2010 гг., наметилось возрастание среднего уровня загрязненности воды аммонийным и нитритным азотом (до 10–12 и 11–13 ПДК соответственно) (рис. 4). В течение 2012 г. на этом участке реки было зафиксировано 54 случая высокого загрязнения воды, из них 28 нитритным, 25 аммонийным азотом и 1 легкоокисляемыми органическими веществами (по BPK<sub>5</sub>).

Вода большинства притоков р. Москвы по качеству изменяется от «очень загрязненной» и «грязной» до «очень грязной» в р. Яузе и «экстремально грязной» в р. Пахре (рис. 5). В реках Медвенке, Закзе, Пахре и Рожей максимальные концентрации легко- и трудноокисляемых органических веществ (по BPK<sub>5</sub> и ХПК соответственно), аммонийного и нитритного азота превышают уровень высокого загрязнения.

Низким качеством («очень загрязненная») характеризуется вода р. Клязьмы ниже сбросов сточных вод предприятий жилищно-коммунального хозяйства городов Щелково, Павловского Посада и Орехово-Зуево, где загрязненность воды достигает критического уровня аммонийным азотом 14–27 ПДК, нитритным 20–21 ПДК и легкоокисляемыми органическими веществами (по BPK<sub>5</sub>) 4–7 ПДК.

Поверхностные воды бассейна Волги характеризуются широким диапазоном качества от «слабо загрязненных» до «очень грязных». Наибольшее число пунктов, вода которых характеризуется как «грязная», отмечены на р. Белой — 81%; р. Оке — 61%; р. Каме — 42%; р. Волге — 27%. В бассейнах рек Оки, Белой, Камы, Волги отмечены водные объекты, вода которых характеризуется как «очень грязная», при этом число пунктов, вода которых характеризуется как «очень грязная», в многолетнем плане возрастает в бассейне р. Оки от 1,4 до 8,7%; в бассейне р. Белой от отсутствия в 2009 г. таких пунктов до 1,6%; в бассейне р. Камы от 0,8 до 2,2%; в бассейне р. Волги от 0,6 до 2,2%.

В большинстве рек бассейна Волги, особенно крупных и средних, повышена загрязненность воды теми или иными загрязняющими веществами. Отдельные участки водных объектов имеют локальный высокий уровень загрязненности воды. Участки рек с хронической повышенной, иногда очень высокой загрязненностью характеризуются изменчивостью ее из года в год, как по уровню загрязненности, так и по составу загрязняющих веществ. По степени загрязненности химическими веществами отдельные водные объекты, в подавляющем большинстве малой категории, многие годы характеризуются как «очень грязные» или «экстремально грязные».

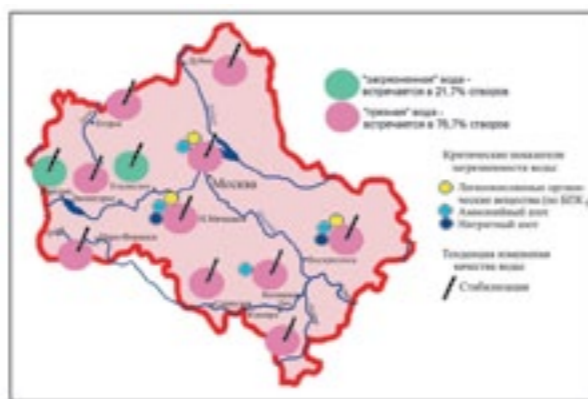
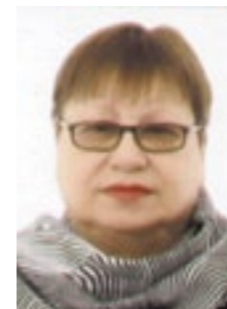


Рис. 5. Качество поверхностных вод на территории Московской области

## МЕЛКОМАСШТАБНАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ



Белоусова А. П., доктор географ. наук, профессор, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты мелкомасштабной оценки защищенности подземных вод от загрязнения в бассейне Волги. Мелкомасштабная оценка в основном базируется на качественных подходах, но в ряде конкретных случаев применяются простые расчеты интенсивности миграции нейтральных загрязняющих веществ через защитную зону. Кроме этого, рассмотрена способность подземных вод к самоочищению, приведены результаты оценки защищенности подземных вод для различных субъектов РФ, входящих частично или полностью в бассейн Волги.

**Ключевые слова:** защищенность, защитная зона, подземные воды, загрязнение, самоочищение.

**Abstract.** The article reviews the results of small-scale assessment of ground waters protection from pollution in the Volga river basin. The small-scale assessment in general is based on qualitative approaches but in some cases they use simple accounts of neutral contaminants migration intensity through the protection area. Besides they consider pollution assimilative of ground waters capacity. There are the results of assessment of ground waters protection for various constituent entities of the Russian Federation comprising in part or in the whole of Volga reservoir.

**Keywords:** protection, protection area, ground waters, pollution, self-purification.

### Основные принципы оценки защищенности подземных вод от загрязнения

Роль подземных вод, включая грунтовые, как одной из главных жизнеобеспечивающих систем регионов будет со временем все больше возрастать по мере увеличения загрязнения окружающей среды (атмосферного воздуха, почв и пород, поверхностных вод — потенциальных источников загрязнения подземных вод). Несмотря на их относительную, по сравнению с поверхностными водами, защищенность, подземные воды будут также иметь тенденцию к загрязнению и истощению, о чем ярко свидетельствуют процессы, происходящие с подземными водами, и особенно грунтовыми, на европейской территории страны. В связи с этим актуальной является региональная мелкомасштабная оценка защищенности подземных вод от загрязнения на изучаемых территориях.

Взаимосвязь подземной части гидросферы с другими компонентами окружающей среды и возможность ее загрязнения через эти компоненты характеризуется степенью защищенности подземных вод от загрязнения.

Рассмотрим основные положения, которые, на наш взгляд, следует учитывать при оценке и картировании защищенности грунтовых вод от загрязнения различного масштаба [1–3].

1. Необходимо сформулировать, что мы понимаем под защищенностью грунтовых вод от загрязнения, от этого будут зависеть и методы ее оценки. Дадим авторские определения основных оцениваемых показателей.

**Защитная зона** — это зона, отделяющая подземные воды от поверхностного загрязнения и имеющая двухуровневое строение: почвы и породы зоны аэрации.

**Защищенность** — способность защитной зоны препятствовать проникновению загрязнения в подземные воды в течение определенного времени.

**Природный защитный потенциал** — способность геологической среды (почв и пород зоны аэрации) удерживать загрязнение в защитной зоне, зависящая от литологических, фильтрационных и сорбционных свойств почв и пород.

Под **способностью подземных вод к самоочищению** понимаются природные особенности водоносных горизонтов, способствующие выносу загрязняющих веществ из них.

2. В защитной (ненасыщенной) зоне движение влаги, а с ней и загрязняющих веществ, как правило, носит вертикальный одномерный характер, что упрощает и математический аппарат для количественной оценки защищенности, и способы ее картирования.

3. В связи с тем, что оценка защищенности, как правило, имеет картографическое выражение, необходимо установить масштаб этой оценки.

Карты защищенности грунтовых вод от загрязнения целесообразно строить в среднемасштабном исполнении (1:200000 и 1:100000), как наиболее отвечающем возможностям осуществления оценки защищенности на качественном и количественном уровнях (методика построения карт указанного масштаба разработана автором и использована для ряда регионов страны [1–3]). Для **мелкомасштабных построений для крупных регионов** следует использовать только качественные оценки природного защитного потенциала защитной зоны без учета физико-химических процессов, протекающих в ней.

4. Для построения карты защищенности от загрязнения любого масштаба необходимо располагать следующими сведениями о защитной зоне и грунтовых водах: рельеф местности, его уклоны, характер гидрографической сети; метеорологические данные — величина атмосферных осадков; литологическое строение защитной зоны; фильтрационные свойства пород, слагающих защитную зону; мощность защитной зоны или глубина залегания грунтовых вод; величина по-

верхностного и подземного стоков и их соотношения; величина инфильтрационного питания грунтовых вод и их режим.

Оценка защищенности подземных вод от загрязнения является необходимым этапом прогноза водообеспеченности регионов, т. к. она характеризует опасность загрязнения подземных вод в условиях антропогенных нагрузок на водоносные горизонты.

Карты защищенности носят оценочный, приближенный характер. В связи с этим названные карты могут быть использованы для приближенной оценки развития ситуации и принятия предварительных инженерных решений, а также являются основой для проектирования исследований более крупного масштаба и построения геофильтрационной и геомиграционной моделей защитной зоны для дальнейших прогнозных расчетов изменения загрязнения в ней и грунтовых водах.

В данной статье рассмотрена оценка защищенности подземных вод в бассейне реки Волги в масштабе 1:2500000 с целью рационального использования ресурсов пресных вод.

**Мелкомасштабная оценка защищенности подземных вод** из-за ограниченности исходного материала для этого масштаба изучения состоит из построения карты защитной зоны подземных вод, отделяющей подземные воды от поверхностного загрязнения, и карты способности подземных вод к самоочищению.

Для построения **карты защитной зоны** были построены промежуточные карты: карта первого уровня защитной зоны (почв) и карта второго уровня защитной зоны (зоны аэрации), в качестве исходных карт использовались изданные карты [5–7].

Типы почв на этих картах были генерализованы в группы почв с учетом их литологического строения, сорбционных свойств в зависимости от содержания в них гумуса и по мере убывания их защитного потенциала.

Для построения карты второго уровня защитной зоны (зоны аэрации) осуществлена генерализация основных типов отложений, основу которых составляли литологическое строение пород и их фильтрационные свойства.

На карте защитной зоны бассейна Волги выделены территории с различным защитным потенциалом, характеризующиеся разной природной способностью защищать подземные воды от проникновения поверхностного загрязнения: I — сильный; II — средний; III — слабый; IV — чрезвычайно слабый; V — отсутствует.

**Карта защищенности подземных вод от загрязнения** строилась путем наложения карты защитной зоны и карты интенсивности проникновения нейтрального несорбируемого мигранта через защитную зону.

Защищенность грунтовых вод от любого загрязняющего вещества зависит от времени достижения фронтом загрязненных инфильтрационных вод водоносного горизонта ( $t_3$ ). Время прохождения растворенным в воде несорбируемым веществом толщи почв и пород зоны аэрации мощностью  $M$  вычислялось с использованием модели поршневого вытеснения [3]:

$$t_3 = \frac{M \theta}{v}, \quad (1)$$

где  $v$ , м/сут — скорость просачивания инфильтрационного потока [4]:

$$v = \frac{1}{\theta} \sqrt[3]{W^2 k_\phi}, \quad (2)$$

где  $\theta$  — естественная влажность пород (в долях единицы);  $W$  — инфильтрационное питание (м/сут);  $k_\phi$  — коэффициент фильтрации (м/сут).

По соотношению градаций защитного потенциала (отсутствует, чрезвычайно слабый, слабый, средний и сильный) и интенсивности продвижения (низкая, средняя, сильная и очень сильная) выделены следующие категории: защищенность подземных вод практически отсутствует (чрезвычайно слабая — время продвижения загрязняющих веществ через защитную зону составляет 0–5 лет); слабо защищенные подземные воды (время продвижения 5–10 лет); средне защищенные подземные воды (время продвижения загрязняющего вещества 10–30 лет) и условно защищенные подземные воды (время продвижения более 30 лет). Таким образом, по своему содержанию карта защищенности подземных вод (грунтовых вод) является прогнозной, т. к. оценивает временные изменения защищенности подземных вод от загрязнения.

Для **грунтовых вод оценивалась способность их к самоочищению** на качественном уровне. Для этого использовались данные соответствующего масштаба о литологическом строении, фильтрационных свойствах водовмещающих пород и способности их к задержанию (сорбированию) загрязняющих веществ, с одной стороны, а с другой — о минерализации подземных вод. Оценка способности подземных вод к самоочищению проводилась по соотношению литологического состава водовмещающих пород, определяющего их фильтрационные свойства, способствующие выносу из водоносных горизонтов загрязняющих веществ, сорбционные свойства, наоборот, способствующие задержанию загрязняющих веществ в водоносных горизонтах, а также к природному состоянию подземных вод по минерализации и их химическому составу, контролирующих пригодность по питьевым качествам подземных вод. Выделены следующие типы способности подземных вод к самоочищению: I — очень высокая; II — высокая; III — средняя; IV — низкая; V — очень низкая; VI — отсутствует.

Рассмотрим условия защищенности подземных вод в субъектах РФ, входящих в бассейн Волги:

• **Астраханская область:** на левобережной территории области на ее южной части распространены слабо защищенные подземные воды, на остальной территории преимущественно — средне защищенные, а на севере — незащищенные подземные воды; на правобережной территории в долине и в дельте Волги распространены незащищенные подземные воды, а на водоразделе — слабо защищенные.

• **Брянская область:** на территории, относящейся к бассейну Волги, распространены преимущественно незащищенные подземные воды.

• **Владимирская область:** на территории севернее г. Владимира распространены преимущественно средне защищенные, а южнее г. Владимира — незащищенные подземные воды.

• **Волгоградская область:** на левобережной части территории на северо-востоке и западной границе области распространены незащищенные подземные воды, на остальной территории — слабо защищенные подземные воды; на правобережной территории распространены преимущественно слабо защищенные подземные воды.

• **Вологодская область:** на территории области распространены преимущественно слабо защищенные подземные

воды и только на незначительных территориях подземные воды средне защищенные и незащищенные.

• **Ивановская область:** в долинах рек распространены слабо защищенные подземные воды, на севере области — средне защищенные, на водораздельных территориях — незащищенные подземные воды.

• **Калужская область:** на территории области распространены преимущественно незащищенные подземные воды, только на водоразделах — слабо защищенные.

• **Кировская область:** на всей территории области распространены преимущественно незащищенные подземные воды.

• **Костромская область:** на правобережной территории распространены средне защищенные подземные воды, в долине Волги на левом берегу также распространены средне защищенные подземные воды, на левобережной территории распространены преимущественно незащищенные подземные воды.

• **Ленинградская область:** подземные воды на территории, входящей в бассейн Волги, слабо защищенные и незащищенные.

• **Липецкая область:** подземные воды на территории, входящей в бассейн Волги, слабо защищенные.

• **Московская область:** в долинах рек подземные воды незащищенные, реже слабо защищенные, на водоразделах — средне защищенные, в районе г. Москвы — преимущественно незащищенные.

• **Нижегородская область:** на большей части территории наблюдаются незащищенные подземные воды, на некоторых участках на левом и правом берегах Волги подземные воды слабо защищенные.

• **Новгородская область:** в долинах рек подземные воды слабо защищены, на водоразделах — незащищены.

• **Оренбургская область:** в долинах рек подземные воды незащищены, на водоразделах — слабо защищены.

• **Орловская область:** в долинах рек подземные воды незащищены, на водоразделах — слабо защищены.

• **Пензенская область:** на территории южнее г. Пензы распространены преимущественно незащищенные подземные воды, реже слабо защищенные; на территории севернее г. Пензы в долинах рек подземные воды незащищены, на водоразделах подземные воды средне и слабо защищены, на северо-западе области на небольшом участке — условно защищены.

• **Пермский край:** на правом берегу Камы подземные воды незащищены, севернее водохранилища — слабо защищены; на междуречье рек Камы и Чусовой в долине реки Камы распространены слабо защищенные подземные воды, на востоке междуречья — средне защищенные подземные воды, в долине реки Чусовой — незащищенные подземные воды; на левом берегу реки Камы распространены преимущественно незащищенные подземные воды, на южной границе — слабо защищенные подземные воды; на территории автономного округа распространены преимущественно незащищенные подземные воды.

• **Рязанская область:** на левом берегу реки Оки распространены незащищенные подземные воды; на правом берегу в долинах рек подземные воды незащищенные, на водоразделах — слабо защищенные подземные воды.

• **Саратовская область:** в долине Волги подземные воды слабо защищены от загрязнения, на водоразделах распространены незащищенные подземные воды.

• **Самарская область:** в долинах рек распространены незащищенные подземные воды, на востоке области на водоразделах — слабо защищенные подземные воды, на юго-западе — слабо и средне защищенные подземные воды.

• **Свердловская область:** практически на всей территории подземные воды незащищены от загрязнения, на западной границе области — слабо защищены.

• **Смоленская область:** на всей территории распространены преимущественно незащищенные подземные воды.

• **Тамбовская область:** в долинах рек подземные воды незащищены от загрязнения, на водоразделах — слабо защищены.

• **Тверская область:** в восточной части территории области в долинах рек и на водоразделах распространены незащищенные подземные воды, к востоку от г. Твери расположено плато со средне и слабо защищенными подземными водами; в западной части территории преобладают слабо и средне защищенные подземные воды, к западной границе области они переходят в незащищенные.

• **Тульская область:** в долинах рек подземные воды незащищены от загрязнения, на водоразделах, которые составляют большую часть территории области, подземные воды слабо защищены от загрязнения.

• **Ульяновская область:** на правобережной части территории на западе распространены незащищенные подземные воды, на востоке — слабо и средне защищенные подземные воды, в долине Волги подземные воды средне защищены; на левобережной части распространены преимущественно слабо защищенные, а в долинах рек — незащищенные подземные воды.

• **Челябинская область:** на территории, прилегающей к западной границе области, распространены слабо защищенные подземные воды, на остальной территории — незащищенные подземные воды.

• **Ярославская область:** на левобережной части на северо-востоке распространены преимущественно слабо защищенные подземные воды, в долине Волги — незащищенные подземные воды; на правобережной части на водоразделах распространены средне защищенные подземные воды, в долинах рек — незащищенные и слабо защищенные подземные воды.

• **Республика Башкортостан:** на территории севернее г. Уфы распространены незащищенные подземные воды; на левом берегу реки Белой подземные воды слабо защищены, а в долине реки — незащищены; на западной границе подземные воды средне защищены; на правом берегу реки Белой на севере и юге этой территории распространены незащищенные подземные воды, в центральной части — слабо защищенные подземные воды.

• **Республика Калмыкия:** на территории республики распространены преимущественно средне защищенные от загрязнения подземные воды, на юге республики подземные воды слабо защищены от загрязнения.

• **Республика Коми:** на территории республики распространены преимущественно незащищенные подземные воды.

• **Республика Марий Эл:** на основной части территории распространены незащищенные подземные воды и только на узкой полосе, протягивающейся в направлении (юг) — (северо-запад), распространены слабо защищенные подземные воды.



• **Республика Мордовия:** в районе г. Саранска подземные воды незащищены от загрязнения, на более высоких отметках распространены слабо и средне защищенные подземные воды.

• **Республика Татарстан:** на территории республики распространены преимущественно незащищенные подземные воды, на западной границе республики — слабо защищенные подземные воды, на юге на водоразделах подземные воды слабо защищены от загрязнения.

• **Республика Удмуртия:** практически на всей территории республики распространены незащищенные подземные воды.

• **Республика Чувашия:** почти на всей территории республики распространены незащищенные подземные воды, только на южной границе — слабо защищенные подземные воды.

Грунтовые воды являются источником питьевого водоснабжения на территориях бассейна Волги, где напорные водоносные горизонты содержат минерализованные подземные воды, это касается таких регионов, как Предуралье и др. В то же время грунтовые воды являются главным источником загрязнения напорных водоносных горизонтов, содержащих питьевые воды, на большей территории бассейна Волги. Поэтому на участках, где грунтовые воды загрязнены, они являются источником загрязнения и напорных горизонтов, если напоры этих горизонтов ниже уровней подземных вод. Такая ситуация наблюдается на большей территории Волжского бассейна, и только на территориях, прилегающих к областям разгрузки грунтовых и подземных вод (в зоне дренирования этих водоносных горизонтов крупными реками), наоборот, напорные воды могут являться источниками загрязнения грунтовых вод, если они содержат более минерализованные воды или рассолы.

#### Выводы и рекомендации

1. В целом, большая часть бассейна Волги (около 70%) характеризуется строением защитной зоны, соответствующим изменению защитного потенциала от слабого до полного его отсутствия, и только районы, расположенные севернее Прикаспийской низменности, отличаются преимущественно средним защитным потенциалом, и лишь незначительная территория — сильным защитным потенциалом.

Наиболее неблагоприятным строением защитной зоны характеризуется левобережная часть бассейна Волги севернее реки Камы и районы Прикаспийской низменности.

2. Грунтовые воды с наиболее высокой способностью к самоочищению распространены в восточной части бассейна Волги (Урал). Здесь же, в Уральском регионе, а также в северных и южных областях бассейна, распространены подземные воды, у которых способность к самоочищению отсутствует. Основная же центральная часть бассейна Волги характеризуется распространением подземных вод со средней, низкой (в основном) и очень низкой способностью к самоочищению.

3. Грунтовые воды характеризуются менее благоприятными природными условиями, определяющими их способность к самоочищению, чем зона, защищающая их поверхностного загрязнения. Защитная зона в некоторых регионах (севернее Прикаспийской низменности) обладает средним защитным потенциалом, грунтовые воды здесь имеют низкую и очень низкую способность к самоочищению.

4. Формирование грунтовых вод происходило главным образом за счет взаимодействия с процессами, развиваю-

щимся в атмосфере и защитной зоне, а также контролировалось взаимодействием с нижезалегающими водоносными горизонтами, имеющими в том числе и высокую минерализацию.

5. В качестве предварительных рекомендаций можно высказать следующие:

• Использование грунтовых вод в бассейне Волги для питьевого водоснабжения, исходя из их природных особенностей и возможности интенсивного загрязнения, может иметь ограниченное распространение. В связи с этим для водоснабжения в этом суперрегионе целесообразно использовать подземные воды более глубоких водоносных горизонтов.

• В ряде регионов, где водоснабжение осуществляется преимущественно за счет поверхностных и грунтовых вод (например, Предуральский регион), необходимо с целью предотвращения попадания загрязнения с поверхности в грунтовые воды проводить профилактические мероприятия, способствующие уменьшению инфильтрационных потерь из различных промышленных, сельскохозяйственных и коммунально-бытовых предприятий, а также мероприятия, направленные на предотвращение загрязнения от диффузных и точечных источников загрязнения в различных сферах производственной деятельности. Эти рекомендации справедливы и в целом для бассейна Волги, т. к. загрязненные грунтовые воды во многих регионах бассейна являются источниками загрязнения напорных водоносных горизонтов, содержащих пресные подземные воды.

Следует еще раз подчеркнуть, что приведенные мелко-масштабные оценки имеют исключительно качественный характер, основываются на экспертных оценках и индивидуальных представлениях авторов карт на изучаемую проблему.

#### Литература

1. Белоусова А. П. *Качество подземных вод. Современные подходы к оценке.* М.: Наука, 2001. 340 с.
2. Белоусова А. П. *Основные принципы и рекомендации по оценке и картированию защищенности подземных вод от загрязнения // Водные ресурсы.* 2003. Т. 30. № 6. С. 667.
3. Белоусова А. П., Гавич И. К., Лисенков А. Б., Попов Е. В. *Экологическая гидрогеология. Учебник для вузов.* М.: Академкнига, 2006. 397 с.
4. Биндеман Н. Н. *Оценка эксплуатационных запасов подземных вод.* М.: Госгеотехиздат, 1963. 203 с.
5. *Государственная почвенная карта СССР. Масштаб 1:1000000. Академия наук СССР. Почвенный институт им. В. В. Докучаева.* М.: Главное управление геодезии и картографии МВД СССР, 1953.
6. *Карта глубин залегания грунтовых вод европейской части России. Масштаб 1:15000000. Главный редактор А. Н. Семихатов. Министерство геологии и охраны недр СССР, ВСЕГИНГЕО, 1955.*
7. *Карта четвертичных отложений европейской части СССР и прилегающих территорий. Масштаб 1:15000000. Редактор И. И. Краснов. Министерство геологии СССР, ВСЕГЕИ, 1971.*

Автор выражает благодарность Жужневой Е. В., Каримовой О. А. и Миняевой Ю. В. за помощь в подготовке исходных картографических материалов.

## «РЕДКИЕ ЗЕМЛИ» В ВОЛЖСКИХ ВОДАХ



**Баренбойм Г. М.,**  
доктор физ.-мат. наук, профессор,  
гл. науч. сотр. Института водных  
проблем (ИВП) РАН



**Авандеева О. П.,**  
мл. науч. сотр. ИВП РАН; аспирант  
Российского университета дружбы  
народов

**Аннотация.** Редкоземельные элементы (РЗЭ) представляют собой группу из семнадцати химических элементов. Их промышленное значение и потребление, особенно за последние 20 лет, непрерывно растет. В связи с этим растут объемы отходов производства и использованной продукции. Это приводит к попаданию РЗЭ в окружающую среду, в том числе в водные объекты. Приводятся данные о содержании РЗЭ в воде и донных отложениях некоторых водных объектов Волжского бассейна. Токсическая опасность РЗЭ мало изучена, ПДК установлено только для двух РЗЭ. Поэтому следует обратить более пристальное внимание на контроль их содержания в водных объектах и возможные биологические эффекты.

**Ключевые слова:** редкоземельные элементы, структура потребления редкоземельных элементов, биологическая активность редкоземельных элементов, методы определения редкоземельных элементов.

**Abstract.** Rare earth elements (REE) are the group of seventeen chemical elements. Their industrial value and consumption, especially during the last 20 years, growing steadily. In this regard the volume of waste and used products are increasing. This leads to the ingress REE in environment, including natural waters. The data on the REE content in the water and sediments of some water bodies of the Volga basin was presented. Toxic hazard of REE is not well understood, MPC is known only for two REE. Therefore, it is necessary to pay attention on the study of their content in waters and possible biological effects.

**Keywords:** rare earth elements deposit, consumption structure, biological function, assessment of toxicity, the maximum allowable concentration.

В последние десятилетия в различных областях техники во все возрастающих масштабах находят применение редкоземельные элементы, которые исторически также получили название «редкие земли».

В соответствии с определением Международного союза теоретической и прикладной химии, редкоземельные элементы (РЗЭ) представляют собой набор из семнадцати химических элементов в периодической таблице Менделеева, а именно пятнадцать лантаноидов (лантан — La, гадолиний — Gd, гольмий — Ho, диспрозий — Dy, европий — Eu, иттербий — Yb, лютеций — Lu, неодим — Nd, празеодим — Pr, прометий — Pm, самарий — Sm, тербий — Tb, тулий — Tm, церий — Ce, эрбий — Er), а также скандий — Sc и иттрий — Y [1].

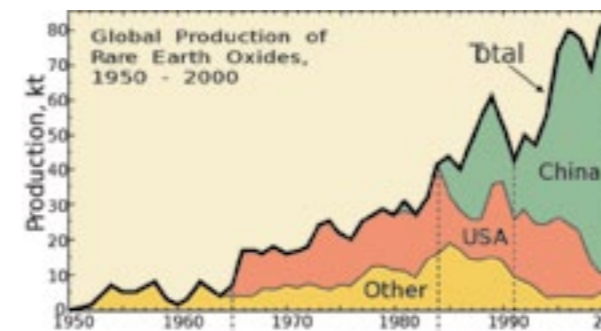
РЗЭ обычно разделяются на две группы: цериевую и иттриевую. Известно также распределение их на три подгруппы: легкие (цериевые: Ce, La, Nd, Pm, Pr), средние (самариевые: Dy, Eu, Gd, Ho, Sm, Tb) и тяжелые (эрбиевые: Er, Lu, Tm, Y, Yb) [2].

В химических соединениях РЗЭ проявляют степени окисления 2+ (Sm, Eu, Tm и Yb), 3+ (все РЗЭ) и 4+ (Ce, Pr, Nd, Tb, Dy). Ce — аналог Zr, Th и U(IV), Eu и Yb — аналоги щелоч-

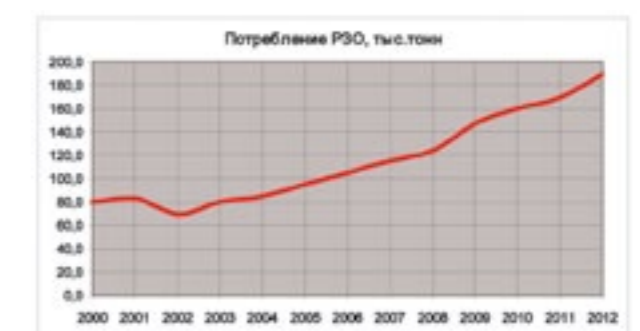
ноземельных металлов. Со многими электроотрицательными элементами (B, C, N, O, халькогены, галогены) РЗЭ образуют довольно стабильные соединения; высоко стабильны также гидриды РЗЭ. Поэтому РЗЭ — хорошие восстановители оксидов, сульфидов, галогенидов других металлов. РЗЭ реагируют с водой (при нагревании — быстро), соляной, серной и азотной кислотами. РЗЭ образуют многочисленные интерметаллические и комплексные соединения [3].

РЗЭ можно назвать элементами будущего. Их растущая роль в промышленности подтверждается растущими темпами их добычи и производства. По данным [4], РЗЭ были обнаружены впервые в 1794 г. в Швеции. Промышленное производство РЗЭ началось в 1903 г. в Австрии. В 1953 г. спрос РЗЭ составил 1000 т, в 2003 г. потребление возросло до 85000 т, в 2008-м — 124000 т, прогнозный спрос на 2016 г. — 200000 т (стоимость 2–3 млрд долл. США). Резкий скачок производства и потребления РЗЭ в период с 1950 г. по 2012 г. показывают также рис. 1 [5] и 2 [6].

До 1950 г. большая часть добываемых редкоземельных элементов поступала из Индии и Бразилии. Затем, вплоть до 1980-х гг., лидерство по добыче этих ископаемых принадле-



**Рис. 1.** Мировое производство оксидов редкоземельных металлов с 1950 по 2000 гг. по странам (в тыс. т)



**Рис. 2.** Рост потребления редкоземельных оксидов (РЗО) в мире [6]

жало ЮАР, а в 1980-е гг. — США. С начала 2000-х подавляющее большинство редкоземельных элементов добывается в Китае: 95% от общемирового объема в 2010 г. [7]. Служба геологоразведки США (United States Geological Survey) в конце 2010 г. оценила мировые запасы оксидов редкоземельных элементов в 110 млн т, из которых 50% принадлежит Китаю, 17% странам СНГ, 12% США, 2,8% Индии и 1,9% Австралии [7].

Россия является вторым по счету поставщиком редкоземельных элементов в мире и владеет 20% мировых резервов. Эти показатели могут существенно возрасти после недавнего открытия новых месторождений в Мурманской области, на Кольском полуострове, и, главным образом, на Курильских островах. В России имеются еще два или три других крупных месторождения, они объявлены стратегическими запасами [7].

Масштабы производства, ассортимент продукции, состояние технологии и области применения редких металлов продолжают быстро развиваться. Уже сейчас передовая современная промышленность невозможна без редких элементов: Sc для самых мощных лазеров; Nd, Sm, Dy для нового класса постоянных магнитов; Y, La для активно разрабатываемых высокотемпературных сверхпроводников; Y для новой конструкционной керамики; Sc для авиационных и космических материалов [8].

Существенно возросло использование РЗЭ для производства оптоволокон и устройств памяти, а также изготовления аккумуляторов и топливных элементов. РЗЭ являются обязательным составляющим элементом ноутбуков, смартфонов, планшетников, телевизоров с плоским экраном, энергосберегающих ламп, а также МРТ-томографов [9]. Одно из самых перспективных направлений — применение РЗЭ в расширяющемся производстве электро- и гибридных автомобилей, производстве солнечных батарей [9].

В связи с резким скачком потребления РЗЭ возросло количество отходов, которые не утилизируются должным образом. Результаты последних исследований показывают, что рост объемов электронных отходов в 3 раза выше роста объемов других бытовых отходов. Так, например, по данным на 2011 г., большинство людей не сдают свои мобильные телефоны на утилизацию, только 3% населения утилизируют их по всем правилам, остальные выбрасывают все на свалку

[10]. Это способствует высокой вероятности попадания РЗЭ в водные объекты.

Изучение токсических свойств редкоземельных элементов, в зависимости от их электронного строения с учетом конфигурационной модели вещества, позволило установить снижение их токсичности в ряду РЗЭ по мере образования стабильных электронных f7- и f14-конфигураций, понижение доли нелокализованных электронов и малостабильных электронных f-конфигураций при переходе от лантана к гадолинию и от иттрия к лютецию. Металлы иттриевой группы более токсичны по сравнению с активностью соединений цериевых элементов [11].

В связи с использованием в технике новых тугоплавких соединений РЗЭ возникла необходимость в проведении систематических исследований токсического действия тугоплавких соединений РЗЭ, относящихся к классам гексаборидов, карбидов, силицидов, гидридов, сульфидов, алюминидов, цирконатов, хромитов, в сравнительном аспекте по отношению к токсичности оксидов соответствующих металлов, в зависимости от электронно-кристаллической структуры соединений. Под влиянием гексаборида самария, оксидов самария возникало острое токсическое действие, отмечалась гибель животных, в то время как гексабориды иттрия гибели животных не вызывали, хотя подопытные животные отставали в массе по сравнению с контролем [11].

Оценка токсичности РЗЭ при попадании их в воду изучена в очень ограниченных масштабах. Известно, в частности, что водорастворимые соединения Y считаются умеренно токсичными, в организме Y заменяет кальций, что приводит к хрупкости костей, Ce токсичен: животные, которым вводили большие дозы церия, умирали из-за сердечно-сосудистой недостаточности [12]. Эти «ножницы» между стремительным увеличением потребления РЗЭ и их миграцией в окружающую среду, с одной стороны, и низкими темпами исследования биологической активности РЗЭ, с другой, могут привести к опасным последствиям для биоты и человека. Поэтому необходимо как более интенсивные и детальные исследования биологической активности РЗЭ, так и контроль за их содержанием в водных объектах.

В отечественной практике установлены ПДК для питьевой воды только для Eu (0,3 мг/л) и Sm (0,024 мг/л) [13]. Значения ПДК между ними отличаются примерно в 10 раз, хотя Sm

и Eu являются элементами одной химической группы (лантаноиды) и даже одной подгруппы (самариевые). Они близки по своим химическим свойствам. Такое различие в ПДК у Sm и Eu означает их различное биологическое влияние. Не исключено также, что эти ПДК определялись по различным методам, которые отличаются разным набором биологических мишеней и разным набором контролируемых фенотипических эффектов.

Известно несколько основных методов определения РЗЭ в воде: атомно-абсорбционная спектроскопия, оптическая эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой, масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой, рентгенофлуоресцентный анализ. Анализ их достоинств и недостатков показал, что для решения задачи обнаружения и анализа содержания РЗЭ в воде наиболее эффективным методом является оптическая эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой [14].

Как уже отмечалось выше, РЗЭ довольно легко взаимодействуют с водой, образуя в основном нерастворимые и в меньшей степени растворимые оксиды [15]. Таким образом, производные РЗЭ при попадании их в водные объекты можно обнаружить как в воде, так и в донных отложениях.

Действительно, по результатам полевых исследований некоторых источников водоснабжения г. Москвы методами оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, были обнаружены в воде следующие РЗЭ: Gd, Ho, Dy, Eu, Yb, Y, La, Nd, Pr, Sm, Ce, Er [16].

Для иллюстрации представим результаты аналитических исследований, связанных с определением содержания РЗЭ в р. Москве (вблизи санатория им. Герцена, пос. Поречье и г. Можайска). Отбор проб воды был произведен в мае 2010 г. В табл. 1 приведены усредненные данные по концентрациям РЗЭ, обнаруженных в четырех полученных пробах, а также справочные значения средних концентраций РЗЭ в речной воде по данным [17] (обобщенный кларк речной воды мира).

Отношение концентраций РЗЭ в пробах к справочным значениям концентраций РЗЭ в речной воде в графической форме представлено на рис. 3.

Данные табл. 1 и рис. 3 свидетельствуют о том, что в настоящее время содержание обнаруженных в р. Москве РЗЭ превышает среднюю справочную концентрацию РЗЭ в реках. Это можно связать с резким ростом потребления РЗЭ в промышленности и, как следствие, попаданием большого объе-

ма отходов, содержащих РЗЭ, в окружающую среду и, в частности, в водные объекты.

Если сравнить содержание европия и самария в воде р. Москвы с ПДК этих элементов для питьевой воды (ПДК для элементов, входящих в группу РЗЭ, для поверхностных вод суши отсутствуют), то превышений этого содержания для названных элементов не выявлено.

Исследование содержания РЗЭ в донных отложениях проводилось на р. Суре, крупном притоке р. Волги и Чебоксарского водохранилища — источника водоснабжения ряда крупных населенных пунктов Чувашии, Марий Эл и Нижегородской области, показало наличие в р. Суре следующих РЗЭ: La, Gd, Ho, Dy, Eu, Yb, Y, Lu, Nd, Pr, Sm, Tb, Tm, Ce, Er, Sc [18]. Данные получены в 2003 и 2005 гг. по пяти створам на р. Суре. В табл. 2 приведены усредненные данные по концентрациям РЗЭ, обнаруженных в полученных пробах донных отложений. В связи с тем, что усредненные справочные значения содержания РЗЭ в донных отложениях обнаружить не удалось, для сравнения были взяты значения кларков названных РЗЭ в земной коре (по данным А. П. Виноградова), кислых почвах (богатых кальцием и бедных кальцием) и почвах в целом (по данным А.П. Виноградова) [19].

На рис. 4 графически представлено распределение концентраций, приведенных в табл. 2.

Как видно из табл. 2 и рис. 4, в целом превышений содержания обнаруженных РЗЭ в р. Суре не выявлено. Это может свидетельствовать о том, что взятые для оценочного сравнения природные среды не совсем пригодны для донных отложений. Следует также отметить экспериментально обнаруженное возрастание содержания некоторых РЗЭ со временем. Так, например, содержание самария в р. Суре с 2003 по 2005 гг. возросло практически в 4 раза: с 0,29 мкг/л до 1,1 мкг/л (обе пробы отбирались в одной и той же точке одного створа) [18].

Таким образом, можно зафиксировать резкий рост потребления металлов группы РЗЭ и тенденцию дальнейшего роста его потребления. Согласно названным литературным источникам, у этих металлов при детальном анализе их биологической активности выявляются новые виды токсичности. Экспериментальные данные свидетельствуют о заметном превышении содержания РЗЭ, по сравнению с геохимическими кларками (на примере р. Москвы). Результаты изучения содержания РЗЭ в донных отложениях (на примере р. Суры)

№ п/п	Атомный номер	РЗЭ	Средняя концентрация РЗЭ в пробах*, % (А)	Средняя справочная концентрация РЗЭ в речной воде, % (В)	Отношение А/В
1	39	Иттрий	9,5*10 <sup>-9</sup>	Нет данных	—
2	57	Лантан	7,05*10 <sup>-9</sup>	6,3*10 <sup>-13</sup>	1,11*10 <sup>4</sup>
3	58	Церий	2,15*10 <sup>-8</sup>	9,14*10 <sup>-14</sup>	2,35*10 <sup>5</sup>
4	59	Празеодин	2,8*10 <sup>-9</sup>	8,47*10 <sup>-14</sup>	3,30*10 <sup>4</sup>
5	60	Неодим	1,17*10 <sup>-8</sup>	4,67*10 <sup>-13</sup>	2,51*10 <sup>4</sup>
6	62	Самарий	2,25*10 <sup>-9</sup>	8,55*10 <sup>-14</sup>	2,63*10 <sup>4</sup>
7	63	Европий	7*10 <sup>-10</sup>	1,1*10 <sup>-14</sup>	6,68*10 <sup>4</sup>
8	64	Гадолиний	2,4*10 <sup>-9</sup>	7,97*10 <sup>-14</sup>	3,01*10 <sup>4</sup>
9	66	Диспрозий	2*10 <sup>-9</sup>	4,55*10 <sup>-14</sup>	4,40*10 <sup>4</sup>
10	67	Гольмий	3*10 <sup>-10</sup>	9,1*10 <sup>-15</sup>	3,29*10 <sup>4</sup>
11	68	Эрбий	1,1*10 <sup>-9</sup>	3,5*10 <sup>-14</sup>	3,12*10 <sup>4</sup>
12	70	Иттербий	1*10 <sup>-9</sup>	3,3*10 <sup>-14</sup>	3,04*10 <sup>4</sup>

Примечание: \* все значения концентраций пересчитаны в проценты массы.

Табл. 1. Сравнительная оценка содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в пробах воды из р. Москвы

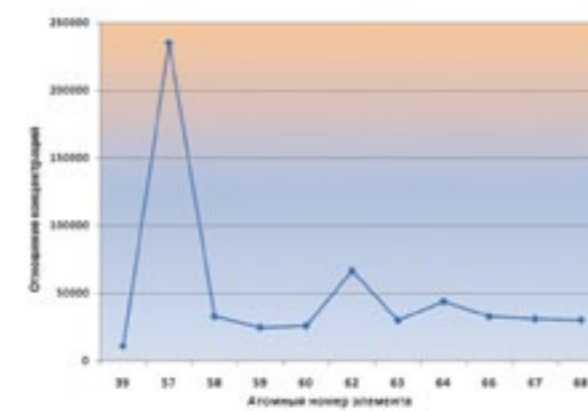


Рис. 3. Отношение концентраций РЗЭ в пробах к справочным значениям концентраций РЗЭ в речной воде (кларк речной воды)

Название элемента по его атомному номеру см. в табл. 1.

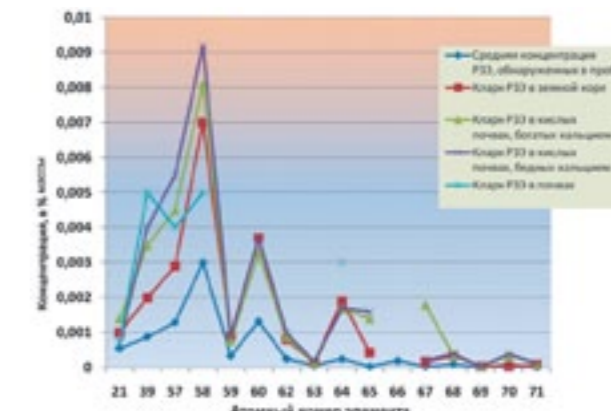


Рис. 4. Сравнительное распределение концентраций РЗЭ, обнаруженных в донных отложениях р. Суры, и некоторых усредненных справочных данных по концентрациям РЗЭ в земной коре и почвах

Обрыв кривых связан с отсутствием литературных данных. Название элемента по его атомному номеру см. в табл. 2.

№ п/п	Атомный номер	РЗЭ	Средняя концентрация РЗЭ, обнаруженных в пробах*, % массы	Кларк РЗЭ в земной коре, % массы	Кларк РЗЭ в кислых почвах, богатых кальцием, % массы	Кларк РЗЭ в кислых почвах, бедных кальцием, % массы	Кларк РЗЭ в почвах, % массы
1	21	Скандий	5,56*10 <sup>-4</sup>	1*10 <sup>-3</sup>	1,4*10 <sup>-3</sup>	7*10 <sup>-4</sup>	7*10 <sup>-4</sup>
2	39	Иттрий	8,86*10 <sup>-4</sup>	2*10 <sup>-3</sup>	3,5*10 <sup>-3</sup>	4*10 <sup>-3</sup>	5*10 <sup>-3</sup> **
3	57	Лантан	1,3*10 <sup>-3</sup>	2,9*10 <sup>-3</sup>	4,5*10 <sup>-3</sup>	5,5*10 <sup>-3</sup>	4*10 <sup>-3</sup>
4	58	Церий	3*10 <sup>-3</sup>	7*10 <sup>-3</sup>	8,1*10 <sup>-3</sup>	9,2*10 <sup>-3</sup>	5*10 <sup>-3</sup>
5	59	Празеодим	3,5*10 <sup>-4</sup>	9*10 <sup>-4</sup>	7,7*10 <sup>-4</sup>	8,8*10 <sup>-4</sup>	Нет данных
6	60	Неодим	1,3*10 <sup>-3</sup>	3,7*10 <sup>-3</sup>	3,3*10 <sup>-3</sup>	3,7*10 <sup>-3</sup>	Нет данных
7	62	Самарий	2,6*10 <sup>-4</sup>	8*10 <sup>-4</sup>	8,8*10 <sup>-4</sup>	1*10 <sup>-3</sup>	Нет данных
8	63	Европий	5,85*10 <sup>-5</sup>	1,3*10 <sup>-4</sup>	1,4*10 <sup>-4</sup>	1,6*10 <sup>-4</sup>	Нет данных
9	64	Гадолиний	2,53*10 <sup>-4</sup>	1,9*10 <sup>-3</sup>	1,7*10 <sup>-3</sup>	1,7*10 <sup>-3</sup>	3*10 <sup>-3</sup>
10	65	Тербий	3,5*10 <sup>-5</sup>	4,3*10 <sup>-4</sup>	1,4*10 <sup>-3</sup>	1,6*10 <sup>-3</sup>	Нет данных
11	66	Диспрозий	2*10 <sup>-4</sup>	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
12	67	Гольмий	3,84*10 <sup>-5</sup>	1,7*10 <sup>-4</sup>	1,8*10 <sup>-3</sup>	2*10 <sup>-4</sup>	Нет данных
13	68	Эрбий	1,1*10 <sup>-4</sup>	3,3*10 <sup>-4</sup>	3,5*10 <sup>-4</sup>	4*10 <sup>-4</sup>	Нет данных
14	69	Тулий	1,5*10 <sup>-5</sup>	2,7*10 <sup>-5</sup>	3*10 <sup>-5</sup>	3*10 <sup>-5</sup>	Нет данных
15	70	Иттербий	1,03*10 <sup>-4</sup>	3,3*10 <sup>-5</sup>	3,5*10 <sup>-4</sup>	4*10 <sup>-4</sup>	Нет данных
16	71	Лютеций	1,55*10 <sup>-5</sup>	8*10 <sup>-5</sup>	1,1*10 <sup>-4</sup>	1,2*10 <sup>-4</sup>	Нет данных

Примечание: \* все значения концентраций пересчитаны в проценты массы, \*\* содержания РЗЭ, выделенные курсивом, согласно [19], требуют уточнения.

Табл. 2. Сравнительная оценка содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) в пробах донных отложений р. Суры

требуют более детального анализа. В связи с тем, что ПДК известны только для двух элементов и биологическая роль группы РЗЭ в целом изучена мало, следует интенсифицировать исследования, связанные с миграцией РЗЭ из антропоферы в природные воды суши и связанные с оценкой экологических рисков, которые генерируются РЗЭ. Объектом таких исследований целесообразно избрать Волжский бассейн.

В заключение авторы благодарят младшего научного сотрудника ИВП РАН Чиганову М. А. за содействие в организации аналитических работ на водных объектах — источниках водоснабжения г. Москвы.

**Литература**

1. Номенклатура неорганической химии: Рекомендации ИЮПАК 2005 // [http://old.iupac.org/publications/books/rbook/Red\\_Book\\_2005.pdf](http://old.iupac.org/publications/books/rbook/Red_Book_2005.pdf).
2. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Ниобиевые, танталовые руды и редкоземельные элементы, Москва, 2007, 42 с. // [http://jorc.ru/doc/niob\\_tantal.pdf](http://jorc.ru/doc/niob_tantal.pdf).
3. Редкоземельные элементы // [http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article\\_3253.html](http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_3253.html).
4. Ian M. London, P. Eng. The Delicate Supply Balance and Growing Demand for Rare Earths // *Magnetics 2010, Orlando, Florida, January 27, 2010.*
5. В Японии найдено месторождение редких металлов, использующихся в электронике // <http://www.gadgetblog.ru/7919/#more>.
6. Косынкин В. Д., Глебов В. А. Возрождение российского производства редкоземельных металлов — важная задача отечественной экономики: пленарный доклад на III Международной конференции «Функциональные наноматериалы и высокочистые вещества». г. Суздаль, Россия, 4–8 октября 2010 г.
7. Редкоземельные элементы как фактор геостратегической игры // <http://win.ru/konspirologiya/1322641756>.

8. Твердохлебова Т. В., Усова Е. А. Экономическая глобализация и проблемы национальной и международной безопасности // *Проблемы современной экономики. 2011. № 4 (40).* // <http://www.m-economy.ru/art.php?nArtId=3796>.
9. Коссинс Д. Ноутбукам не хватает металлов // *Наука в фокусе. 2011. Сентябрь. С. 42–48.*
10. Мобильный телефон еще одна угроза экологии, 2011 // [http://www.saveplanet.ru/articles\\_88.html](http://www.saveplanet.ru/articles_88.html).
11. Токсичность гексаборидов РЗЭ // <http://style-as-art.ru/new.html?a=118>.
12. «Википедия», англоязычная версия // <http://en.wikipedia.org/wiki/>.
13. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества, 2010. // <http://files.stroyinf.ru/Data1/9/9742/>.
14. Компания «Шимадзу» в России // <http://www.shimadzu.ru/>.
15. Горная энциклопедия // [http://enc-dic.com/enc\\_rock/Redkozemelne-jelement-3600.html](http://enc-dic.com/enc_rock/Redkozemelne-jelement-3600.html).
16. Определение перспективных приоритетных загрязнителей воды водоисточников: ксенобиотиков, медицинских препаратов, гормонов и других веществ антропогенного происхождения. Этап 2.2: Проведение экспедиционных и лабораторных исследований по анализу загрязненности вод и донных отложений водоисточников и вод на водозаборах станций водоподготовки: Отчет о научно-исследовательской работе. Том 1. М.: ИВП РАН, 2010. 135 с.
17. Геохимия элементного состава гидросферы/ В. Д. Корж. М.: Наука, 1991. 243 с.
18. Сводный отчет о результатах экспедиционных исследований поверхностных водных объектов Чувашской Республики, включая Чебоксарское водохранилище, проведенных в 1998, 2002, 2003 (два экспедиционных цикла), 2005 годах. М.: ГЦВМ МПР РФ, ИВП РАН, 2005. 522 с.
19. Алексеев В. А. Экологическая геохимия: Учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.

# «ВОДМАШОБОРУДОВАНИЕ»: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Крючина Е. С.,  
начальник бюро маркетинга  
ОАО завод «Водмашоборудование»

**Аннотация.** Признано, что одним из факторов, определяющими качество жизни человека, является эффективная очистка сточных вод. Современные очистные сооружения — это промышленное предприятие, залогом эффективной работы которого являются технологии и качественное оборудование.

За период 2010–2011 гг., ОАО завод «Водмашоборудование» значительно расширил номенклатуру и модельный ряд выпускаемого оборудования, модернизировал, выпускавшуюся ранее, продукцию. За эти два года завод вышел за рамки отрасли ЖКХ и начал поставки оборудования для сахарных и нефтеперерабатывающих заводов, морских и речных портов, промышленных предприятий.

В разработках шире стали применяться такие материалы, как нержавеющие стали, полимеры. Весь комплекс продукции, выпускаемый «Водмашоборудованием», можно обозначить как «оборудование цивилизации».

**Ключевые слова:** очистные сооружения, очистка сточных вод, илососы, илоскребы, скребковые механизмы.

**Abstract.** It's recognized that one of the factors which defines quality of the human life is the effective wastewater treatment. Modern treatment facilities are manufacturing enterprises, which effectiveness is guaranteed by technology and the equipment of high quality.

During 2010–2011, the plant "Vodmashoborudovanie" extended considerably the product mix and the model range of the produced equipment and remodeled the products, output earlier. Within those two years the plant enlarged overhousing services and utilities and started the equipment deliveries to the oil refinery plants and sugar factories, sea and river ports, industrial companies. Such materials as stainless steel and polymers are used more widely in designing. All the output produced by "Vodmashoborudovanie" may be described as "The equipment of civilization".

**Keywords:** sewage treatment plant, wastewater treatment, sludge scrapers, suction dredger, scraper systems.

Широко известен тот факт, что в России порядка 30% водных объектов, используемых для питьевого водоснабжения, не отвечают нормативным требованиям по санитарному состоянию. Одной из главных причин такого положения является состояние сбрасываемых сточных вод.

В ряде федеральных округов это обусловлено перегруженностью или отсутствием очистных сооружений, а также низкой эффективностью их работы в силу устаревших технологических схем очистки и высокого износа. Решить эти и другие проблемы призвана федеральная целевая программа «Чистая вода», одной из задач которой является эффективная очистка сточных вод.

Очистные сооружения — это такое же промышленное предприятие, как и любое другое предприятие, выпускающее станки, машины, продукты промышленного назначения. Наступило время их перевода на новые ступени работы и обслуживания, внедрения новых машин и способов очистки. Поэтому предъявляются высокие требования к производителям оборудования водоочистки, основное из них — идти в ногу со временем, предоставляя современную технику, которая обеспечит полное соблюдение технологии очистки.

Оборудование, которое удовлетворяет этим требованиям, довольно сложное, потому что сам процесс очистки канализационных стоков состоит из нескольких этапов и достаточно трудоемкий. Управление таким хозяйством в большинстве случаев производится пока еще в ручном режиме. Для решения данной проблемы необходима разработка автоматических систем управления на всех этапах технологических процессов. Качественный скачок в области очистки бытовых сточных вод обеспечивают высокопроизводительные современные микропроцессорные системы, которые позволяют резко увеличить производительность и надежность функционирования системы, сокращая количество обслуживающего персонала.

ОАО завод «Водмашоборудование» постоянно адаптируется к изменениям в области очистки сточных вод, для чего модернизирует и обновляет соответствующую автоматизацию очистных сооружений выпускаемую продукцию для механической очистки и работы с осадками очистных сооружений, а именно: илососы, илоскребы, решетки, щитовые затворы и скребковые механизмы.

В конструкцию илососов и илоскребов внесены существенные изменения по управлению, установлены частотные преобразователи, которые позволяют плавно регулировать скорость перемещения механизмов; изменены приводные механизмы, которые снижают удельное давление на борта отстойника; изменена конструкция сосунов и скребковых механизмов, что эффективно сказалось на работе всего сооружения в целом.

В конструкцию скребковых механизмов внесены изменения в механизм передвижения, установлены принципиально новые приспособления для поворота скребков, что позволило значительно повысить качество сбора осадка.

Все механизмы имеют бесступенчатое регулирование скорости перемещения, что органично вписывается в автоматизацию технологического процесса.

В настоящее время ОАО завод «Водмашоборудование» активно разрабатывает и внедряет новую продукцию, которая ориентируется не только на стоки предприятий водопроводно-канализационных хозяйств, но и на другие области применения: это илососы для сахарных заводов, скребковые механизмы для речных и морских портов. В разработках применяются новые материалы — нержавеющие стали, полимерные материалы.

ОАО завод «Водмашоборудование» уверенно смотрит в будущее и готов сотрудничать со всеми заинтересованными предприятиями.

Наша цель — оборудование цивилизации!

**ОАО завод «Водмашоборудование»**  
394019 г. Воронеж, пр-т Труда, 111  
Тел.: +7(473) 221-02-22, 220-57-02, 221-00-38  
e-mail: vmo\_vrn@inbox.ru, market@vmo.su  
сайт: [www.vmo.su](http://www.vmo.su)



## РАЗВИТИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ: ПРИОРИТЕТЫ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ

Российская Федерация принадлежит к числу наиболее обеспеченных водными ресурсами стран мира. На территории страны в реках, озерах, болотах, ледниках и снежниках, а также в подземных водных объектах сосредоточено более 20 процентов мировых запасов пресных вод.

В целом по стране обеспеченность водными ресурсами составляет 30,2 тыс. куб. метров на человека в год, что значительно превышает установленный ООН критический минимум, необходимый для удовлетворения потребностей, — 1,7 тыс. куб. метров, однако территория Российской Федерации характеризуется значительной неравномерностью их распределения. На освоенные районы европейской части страны, где сосредоточено более 70 процентов населения и производственного потенциала, приходится не более 10 процентов водных ресурсов.

В целях реализации мер, направленных на гарантированное обеспечение водными ресурсами устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации, сохранение и восстановление водных объектов до состояния, обеспечивающего экологически благоприятные условия жизни населения, обеспечения защищенности населения и объектов экономики от наводнений и иного негативного воздействия вод, в 2012 году была разработана Минприроды России и утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 19.04.2012 №350 Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» (далее — ФЦП).

Особое место в Программе уделяется вопросам, связанным с развитием водохозяйственного комплекса бассейна р. Волга. В ФЦП отмечается, что особого внимания требует решение проблем в низовьях р. Волги, к которым прежде всего относится создание оптимального гидрологического режима ниже Волгоградского гидроузла, прежде всего в Волго-Ахтубинской пойме и дельте р. Волги.

Не менее важной задачей, стоящей в Программе, является создание и поддержание условий обводнения западных подстепных ильменей. В зоне устьевых взморья р. Волги необходимо создание оптимальных условий для прохода на нерест и обратное осетровых рыб, выращивания их мальков в зоне мелководья, а также поддержание судоходных глубин на Волго-Каспийском канале и необходимых глубин на рыболовных каналах.

Большое внимание в рамках программы уделяется мерам по защите застроенных берегов р. Волги от размыва и затопления, восстановлению малых водотоков, поддержание судоходных глубин на отдельных участках коренного русла р. Волги, а также защита отдельных территорий от подтопления.

Программа основывается на комплексном подходе к решению вопросов системного переустройства водохозяйственного комплекса для оптимизации использования водных ресурсов в целях водоснабжения населения, сельс-

кохозяйственного производства, рыбного хозяйства, сокращения холостых сбросов и потерь выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях Волжско-Камского каскада, а также сохранения уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги.

В рамках реализации Федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» предусмотрено увеличение доли гидротехнических сооружений, приведенных в безопасное техническое состояние, в общем количестве гидротехнических сооружений с неудовлетворительным и опасным уровнем безопасности с 17,6 % в 2012 году до 97,1 % в 2020 году.

Планируется также в период с 2012 по 2020 год увеличить численность населения, надежность обеспечения водными ресурсами которого повышена, проживающего в районах возникновения локальных вододефицитов, до 6,3 млн. человек.

Реализация программы обеспечит сокращение доли загрязненных сточных вод в общем объеме сброса в поверхностные водные объекты сточных вод, подлежащих очистке, — с 88,6 % в 2012 году до 45,2 % в 2020 году.

Также как результат реализации Программы прогнозируется увеличение доли населения, проживающего на подверженных негативному воздействию вод территориях, защищенного в результате проведения мероприятий по повышению защищенности от негативного воздействия вод, в общем количестве населения, проживающего на таких территориях, с 68,3 % в 2012 году до 85 % в 2020 году.

Запланированное в Программе число вновь созданных водохранилищ и реконструированных гидроузлов на действующих водохранилищах комплексного назначения, а также магистральных каналов и трактов водоподдачи для повышения их водоотдачи — 72. Протяженность новых и реконструированных сооружений инженерной защиты и берегоукрепления — 1678,2 км. Количество проектов по строительству (реконструкции) комплексов очистных сооружений и систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, реализованных с помощью механизма субсидирования процентных ставок по кредитам, — 225 единиц. Протяженность восстановленных и экологически реабилитированных водных объектов — 4350 км. Количество гидротехнических сооружений, приведенных в безопасное техническое состояние, по итогам реализации Программы составит 2400 единиц.

Предоставление и распределение субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на софинансирование региональных программ осуществляется по итогам ежегодного конкурсного отбора региональных программ, порядок проведения которого утвержден приказом Минприроды России от 27 июля 2012 г. № 219.

Информация предоставлена Управлением ресурсов вод и регулирования водохозяйственной деятельности Федерального агентства водных ресурсов РФ

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАЩИТЫ БЕРЕГА КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

**Даревский В. Э.,**  
канд. техн. наук, гл. инж. проектов отд. науч. иссл. и экспериментального проектирования ОАО «Гипроречтранс», почетный строитель России, почетный работник речного флота РФ

**Романов А. М.,**  
гл. инж. проектов отд. науч. иссл. и экспериментального проектирования ОАО «Гипроречтранс», почетный строитель России, почетный работник речного флота РФ

**Шестов Г. Е.,**  
главный специалист отд. науч. иссл. и экспериментального проектирования ОАО «Гипроречтранс», почетный работник речного флота РФ

**Мельник Г. В.,**  
нач. отд. научных исследований и экспериментального проектирования ОАО «Гипроречтранс», почетный транспортный строитель, почетный работник речного флота РФ

**Аннотация.** В статье «Использование современных методов расчета при проектировании защиты берега Куйбышевского водохранилища» дан конспективный обзор расчетов устойчивости, которые позволяют обосновать выбор наиболее эффективного метода инженерной защиты склонов от оползневой опасности.

**Ключевые слова:** оползневая опасность, противооползневая защита, береговая линия водохранилища, расчет устойчивости.

**Abstract.** The article "Landslide bank protection of Kuibyshev reservoir" presents stability calculations that allow to prove a choice of the best practice of engineering slopes protection from landslide danger.

**Keywords:** landslide danger, landslide protection, shoreline of water reservoir, stability calculation.

Освоение гидроресурсов Волги, начатое в 30-х гг. прошлого века и связанное с созданием на значительном ее протяжении каскада водохранилищ, кроме затопления значительных территорий, привело к активизации переработки ее берегов. После заполнения водохранилищ берег во многих местах отступает со скоростью 1,5–1,8 м в год, что сопровождается оползнями.

Оползни — одни из немногих стихийных и техногенных бедствий, которые в подавляющем числе случаев можно современными средствами предсказать и предотвратить. К сожалению, эти возможности не всегда используются на практике. И не потому, что они слишком затратны, а по неосведомленности или халатности.

В настоящей статье приведен пример оценки с использованием современных средств оползневой опасности правобережного склона р. Волги — Куйбышевского водохранилища на участке, примыкающем к трассе газопровода «Старая Бинарадка — Ульяновск», где наблюдаются склоновые процессы, вызванные переработкой и размывом береговой линии, а также особенностями геологического строения и гидрогеологического режима. По результатам работы были разработаны мероприятия по устранению оползневой опасности для газопровода.

Рассматриваемый участок расположен в 112 км выше плотины Жигулевской ГЭС и в 3,5 км к ЮВ от села Криуши. Здесь

высота крутой части склона, ограничивающей полого наклонное плато, составляет всего 10–15 м, и оползневой участок опасно примыкает к трассе подводного перехода трубопровода. Общий вид оползневого склона в 2003 г. показан на рис. 1.

Целью работы была разработка мероприятий по устранению оползневой опасности для трубопровода.

При проектировании и строительстве береговых участков подводных переходов трубопроводов практически всегда приходится учитывать возможность развития оползневых процессов, как правило, сопровождающихся деформациями и опасными повреждениями труб, — аварийные ситуации на продуктопроводах из-за подвижек грунта в местах их подводных переходов не являются чем-то необычным. Достаточно только вспомнить известные нам аварии в районах Котласа, Сарпула и Чебоксар [1, 2]. После крупной аварии на подводном переходе газопровода через р. Каму у г. Сарпула были проведены комплексные исследования склона и трубопроводов, включая выполненные нами расчеты устойчивости методами, примененными и в настоящей работе. Расчеты показали, что положение неустойчивых участков склона достаточно хорошо согласуется с результатами наблюдений за склоном, а также с результатами работ по дефектоскопии труб и измерению их напряженного состояния. На основании расчетов были указаны наиболее слабые места, где вскоре и произошли новые аварии, что доказало правильность расчетов.



Рис. 1. Общий вид оползневого склона



Рис. 2. Выходы пластичных черных глин

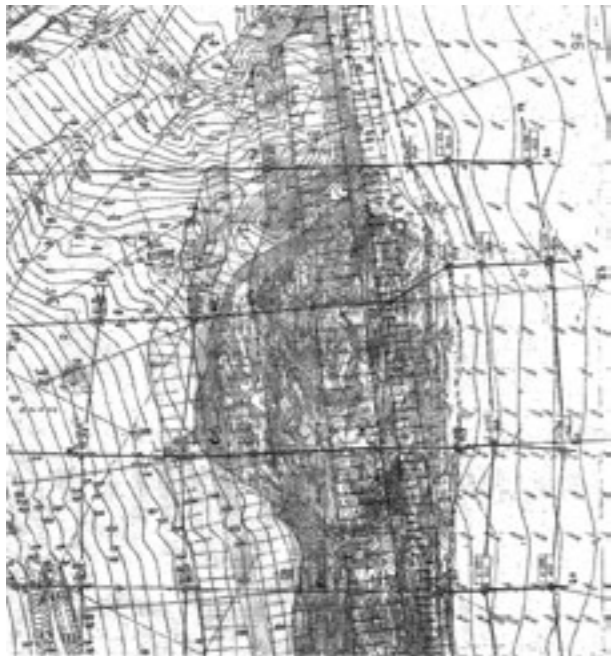


Рис. 3. Расположение геологических и расчетных разрезов

Для исследований и проектирования, выполненных в 2007 г., авторы располагали геоподосновой в масштабе 1:500 с фрагментом в масштабе 1:200, по данным 2004 г., инженерно-геологическим описанием объекта и инженерно-геологическими разрезами, выполненными ООО «Самаратрансгаз» и ООО «Компания МАКОМ». Кроме того, были сопоставлены топосъемки 1963, 2002 и 2004 гг., которые показали, как шло разрушение берега, и дали важный материал для контрольных расчетов склона.

В то же время анализ указанных материалов показал, что рассматриваемый участок строительства недостаточно полно обеспечен материалами инженерно-геологических изысканий с точки зрения требований к ним в районах развития склоновых процессов [5]. Горными выработками не освещена территория за пределами существующего оползневого тела, не выявлено зеркало сдвига и не определены параметры прочности глинистых грунтов вдоль зеркала сдвига и вблизи горизонта грунтовых вод в проницаемом грунтовом массиве. Поэтому при построении геомеханических моделей склона (расчетных схем) потребовалось сделать ряд существенных допущений, касающихся геологического строения и пр. и оказывающих влияние на результаты расчетов.

При гидроморфологическом описании участка было отмечено, что тело современного оползня представляет собой смещенный массив связных грунтов оползневой террасы, сложено перемьятыми суглинками «с выжатым по фронту валиком подстилающей глины на побережье водохранилища» (рис. 2), прочностные характеристики которой, тем не менее, не были определены. Нижняя граница оползневого тела, «по предварительной оценке, находится на отметке 51,5 м». При описании оползня его базис отнесен к отметке 52,25 м.

В материалах изысканий были построены пять геологических разрезов, обозначенных номерами 5а–9а (рис. 3). Положение расчетных разрезов, также показанное на рис. 3, несколько отличается от указанных выше. Они построены по направлению наиболее вероятного сползания и обозначены соответственно номерами 5б–9б.



Рис. 4. Выход черных глин, по поверхности которых видны выходы грунтовых вод

Инженерно-геологическое строение по этим разрезам с незначительными изменениями затем было отражено в геомеханических моделях, проверено и уточнено на основании большого количества контрольных расчетов (математического моделирования) склона до начала строительства.

Критерием достоверности геомеханической модели является близкое к единице расчетное значение коэффициента устойчивости склона, находящегося, как в рассматриваемом случае, в состоянии предельного равновесия, хотя бы для одного из возможных уровней воды в водохранилище.

Уровневый режим Куйбышевского водохранилища характеризуется следующими данными (с округлением), имеющими отношение к оценке оползневой опасности:

- нормальный подпорный уровень 5% обеспеченности — 53,9 м;
- максимальный уровень 1% обеспеченности — 54,2 м;
- минимальный уровень летом по ближайшему водпосту — 48,7 м;
- минимальный уровень зимой по ближайшему водпосту — 45,6 м;
- максимальная высота волны 5% обеспеченности — 2,5 м.

Для обеспечения согласования геологического строения с результатами наблюдений пришлось ввести дополнительный тонкий слой ослабленной глины, не отраженный на геологическом разрезе, но обнаруженный при осмотре склона (рис. 2 и 4), названный нами ИГЭ2г, вдоль предполагаемого зеркала сдвига и в зоне попеременного длительного увлажнения и высыхания глины. Параметры ее прочности подобраны на основании контрольных расчетов такие, которые можно было бы ожидать (по аналогам) при повторном сдвиге образцов в условиях водонасыщения («плашка по плашке») глины ИГЭ2в. Они оказались одинаковыми для всех разрезов.

Расчеты устойчивости были выполнены в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01-83 [3], СНиП 22-02-2003[4], СП 11-105-97, часть II [5] и ведомственных нормативных документов.

Расчеты выполнялись по программе RUST-51w, исходя из предположения, что определяющим, как это чаще всего и бывает при неоднородной толще грунтов, является поступательное перемещение. Краткие описания основных положений и методов расчета, а также программы RUST-51w приведены в [6].

В программе реализован общепринятый так называемый метод блоков. При этом в небольшой запас (т. е. в реально-

№ п/п	Файл, разрез	Рис.	УВ в реке, м / Наличие закольной трещины	Результаты расчета		
				E, kN/m	K <sub>c</sub>	Примечание
1	U15n31 5б		54,2 (ФПУ) есть	13,38	0,99	Предельное равновесие
2	U15n32 5б		54,2 (ФПУ) нет	–	1,08	Склон устойчив
3	U15n32 5б		48,6 (низкий) есть	7,81	0,99	Предельное равновесие
4	U16n31 6б	5	54,2 (ФПУ) есть	22,15 (склон) 12,6 (урез)	0,98 0,96	Предельное равновесие Склон неустойчив
5	U16n32 6б		54,2 (ФПУ) нет	– (склон) 12,6 (урез)	1,06 0,96	Склон устойчив Склон неустойчив
6	U16n33 6б		48,6 (низкий) есть	– (откос) 3,34 (урез)	1,00 0,99	Предельное равновесие Предельное равновесие
7	U17n31 7б		54,2 (ФПУ) есть	34,81	0,97	Склон неустойчив
8	U17n32 7б		54,2 (ФПУ) нет	–	1,03	Склон устойчив
9	U17n33 7б		48,6 (низкий) есть	24,27	0,98	Предельное равновесие
10	U18n31 8б	6	54,2 (ФПУ) есть	27,20	0,96	Склон неустойчив
11	U18n32 8б		54,2 (ФПУ) нет	–	1,06	Склон неустойчив
12	U18n33 8б		48,6 (низкий) есть	23,63	0,97	Склон неустойчив
13	U19n31 9б		54,2 (ФПУ) есть	28,86	0,98	Предельное равновесие
14	U19n32 9б		54,2 (ФПУ) нет	–	1,01	Предельное равновесие
15	U19n33 9б	7	48,6 (низкий) есть	34,51	0,97	Склон неустойчив
16	U19n34 9б		54,2 (ФПУ) нет	–	1,01	Предельное равновесие

Табл. 1. Результаты контрольных расчетов общей устойчивости

сти склон должен быть немного более устойчивым, чем по расчету), также в соответствии с общепринятой практикой, наклон сил взаимодействия между вертикальными блоками, на которые разделен сдвигаемый массив грунта, принят равным 0°.

Согласно указанным выше нормативным документам, критерием устойчивости является соблюдение неравенства

$$y_{lc} * F \leq y_c * R / y_n \quad (1)$$

для любой поверхности в массиве грунта, где F и R — расчетные значения, соответственно, сдвигающей силы (или момента этой силы) и силы предельного сопротивления (или момента этой силы); y<sub>c</sub> — коэффициент безопасности по ответственности, y<sub>lc</sub> — коэффициент сочетания нагрузок; y<sub>n</sub> — коэффициент условий работы (для примененного нами метода расчета — 1,0).

Критерием устойчивости также является значение коэффициента устойчивости

$$K_s \geq 1,0, \text{ где } K_s = (y_c * R / y_n) / y_{lc} * F. \quad (2)$$

Необходимо отметить, что в настоящее время, наряду с программой RUST-51w, используется полностью ей экви-

валентная по техническим параметрам программа RUST-M, обладающая современным интерфейсом. В частности, программа RUST-M внедрена в систему мониторинга оползневых склонов на трассе нефтепровода ВСТО-1.

Потеря устойчивости относится к первой группе предельных состояний, и, согласно требованиям указанных выше нормативных документов, расчеты необходимо вести на расчетные параметры прочности грунтов. При этом коэффициент безопасности по ответственности, который учитывает факторы, прямо не вошедшие в расчет, должен быть больше 1. Коэффициент сочетания нагрузок принят для периода нормальной эксплуатации сооружений (основное сочетание нагрузок и воздействий) — равным 1,0.

На основе инженерно-геологических разрезов (геологических моделей основания) были построены пригодные для машинной обработки расчетные разрезы — геомеханические модели склона. В отличие от геологической модели, образуемой комплексом инженерно-геологических элементов (ИГЭ), расчетная геомеханическая модель объекта образуется комплексом расчетных геологических элементов (РГЭ). Соглас-

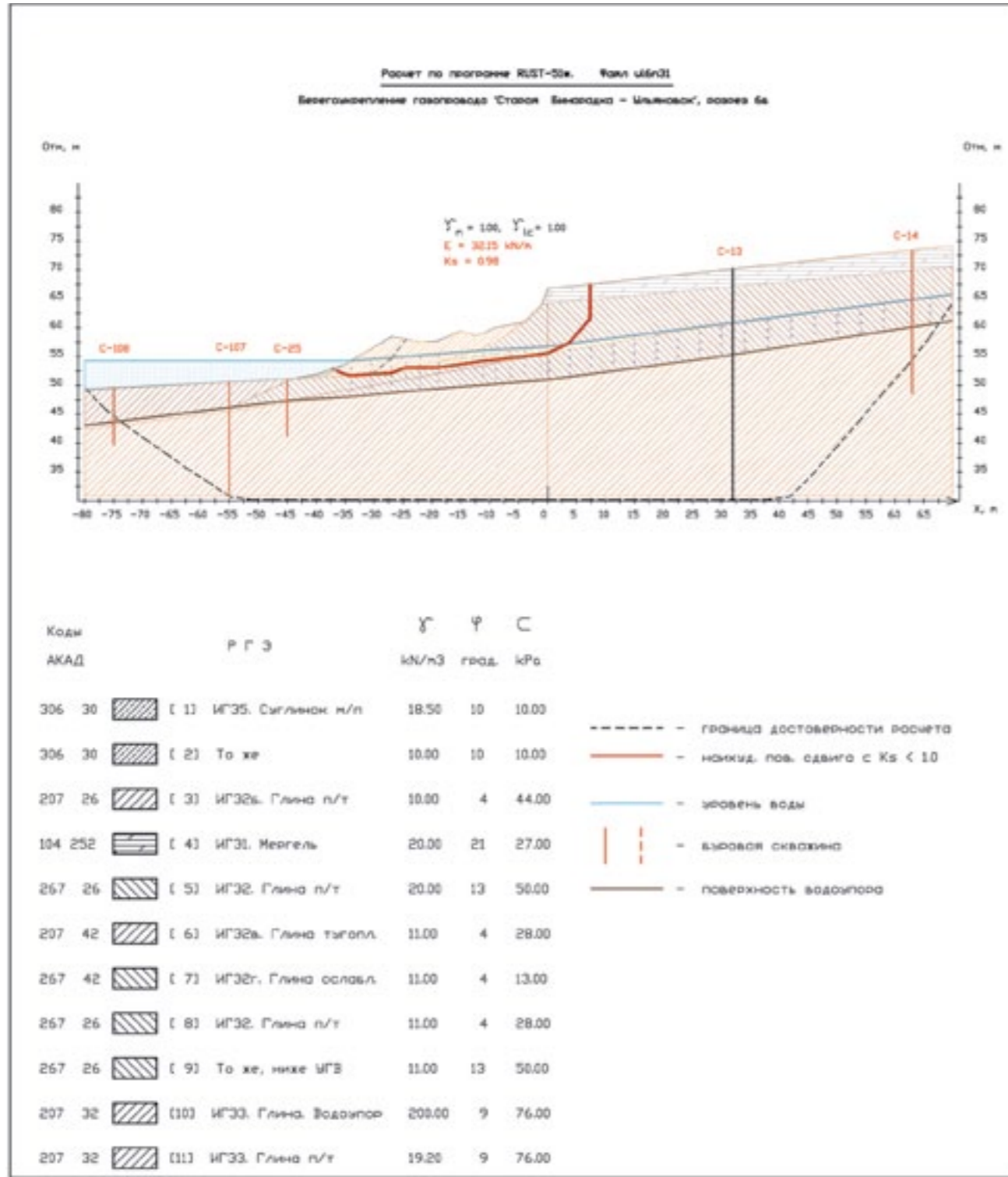


Рис. 5. Контрольный расчет склона по разрезу 6 б

но ГОСТ 20522-96 [7], «за РГЭ принимают некоторый объем грунта не обязательно одного и того же происхождения и вида, в пределах которого нормативные и расчетные значения характеристик при проектировании грунтового объекта по условиям применяемого расчетного или экспериментального метода могут быть постоянными... РГЭ может включать часть одного или несколько ИГЭ».

При объединении в один РГЭ двух и более одинаковых по происхождению и близких по прочности ИГЭ обычно в запас, как правило, принимаются параметры прочности, наилучшие из рекомендованных геологами. В настоящей работе

мы не упростили геологическое строение, однако на основе нескольких предварительных расчетов при построении геомеханических моделей, не нарушая геологических закономерностей, выбирали толщину и наклон слоев грунта между скважинами, менее благоприятными для устойчивости. Поэтому литологическое строение в геомеханической модели в некоторых местах несколько отличается от него в геологической модели, предложенной в материалах изысканий.

Удельный вес грунта ниже установившегося уровня грунтовой воды и выше поверхности водоупора принимали как для взвешенного грунта. Вне этих границ, в зависимости от

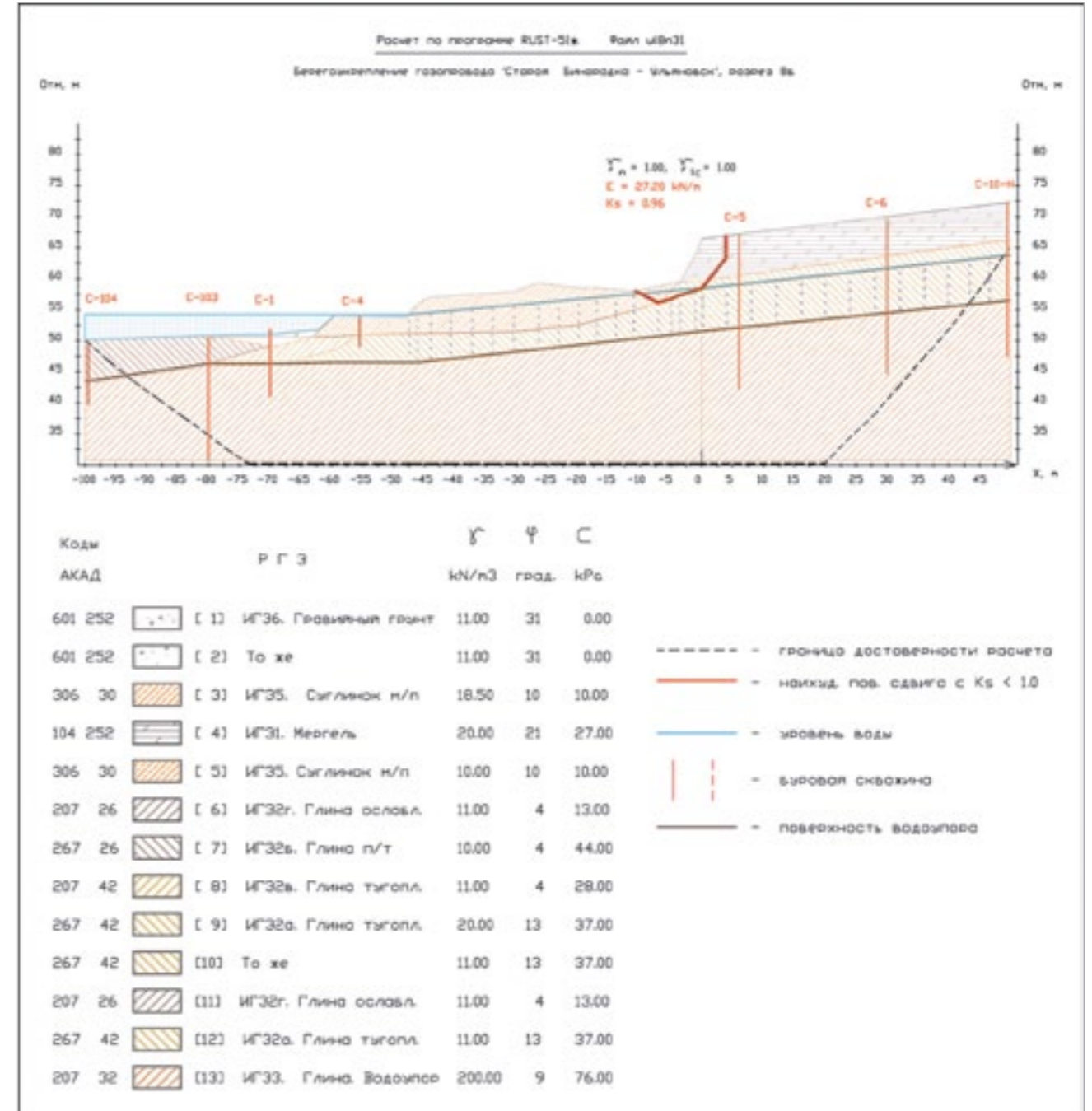


Рис. 6. Контрольный расчет по разрезу 8 б

решаемой задачи, как для грунта естественной влажности. Чтобы учесть вертикальное давление грунтовой воды, приложенное к поверхности водоупора, его имитировали тонким слоем водоупорного грунта, вес которого приблизительно равен весу воды в порах вышележащего грунта между водоупором и кривой депрессии плюс вес столба воды над дном водоема. Для этого тонкого слоя приняты параметры прочности, угол внутреннего трения и удельное сцепление глины ИГЭ3.

Учитывая, что склон является оползневым, было необходимо, в соответствии с требованиями п. 4.2.10 [5], данные лабораторных определений прочностных свойств сопоставить и в случае необходимости откорректировать «по результатам контрольных и обратных расчетов устойчивости склонов и

выявленных оползневых масс». Поэтому с целью проверки и уточнения геомеханических моделей основания, включая параметры прочности грунтов и положение ИГЭ и РГЭ, были выполнены контрольные расчеты склона до начала берегоукрепительных работ на принятые расчетные прочностные параметры грунтов.

Для контрольных расчетов коэффициенты безопасности по ответственности и сочетания нагрузок приняты равными 1. Расчеты были выполнены при ожидаемом высоком и относительно низком положении УГВ, с учетом и без учета закольной трещины. Основные результаты расчетов приведены в табл. 1, исходные данные и результаты расчетов для трех характерных разрезов — на рис. 5-7 ( в том виде, как они выдаются на печать в AutoCAD).

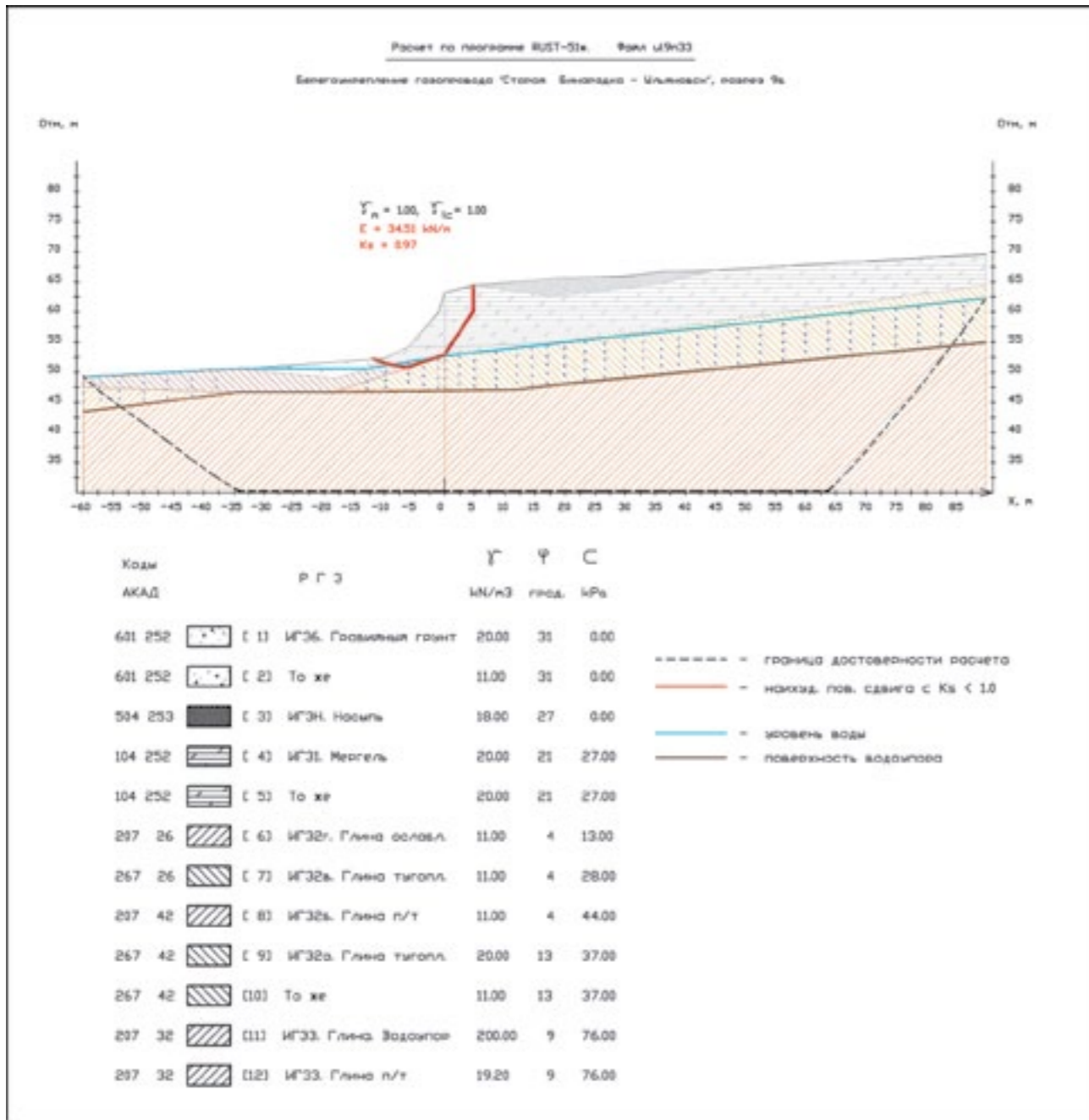


Рис. 7. Контрольный расчет по разрезу 9 б

**ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ**

1. Расчеты показали, что при принятых геомеханических моделях основания склон устойчив против сдвигов, но без больших запасов, или близок к состоянию предельного равновесия, если не учитывать образование закольной трещины. После образования закольной трещины склон уже неустойчив. Оползневая терраса, образовавшаяся в результате оползней, как это обычно и бывает в таких случаях [8], в основном устойчива и может быть подвержена мелким подвижкам и обвалам (см. расчет по разрезу 6б). Все это не противоречит описанию в материалах изысканий. Поэтому рассмотренные геомеханические модели были использованы для оценки устойчивости склона в эксплуатационный и строительный периоды.

2. Расчеты показали, что из всех методов инженерной защиты склона от оползневой опасности наиболее подходящим в конкретных условиях является перераспределение грунтовых масс путем срезки гребня склона и подсыпки основания откоса выше отметки 110,5 м. При этом обязательно устройство банкета из тетраэдров или тетраподов, укрепление дна перед банкетом и откоса над ним, рассчитанных на защиту основания склона от значительного волнового воздействия. Один из таких рациональных вариантов организации устойчивого рельефа с использованием территории только для временно-го отдыха населения или для ведения сельского хозяйства был рекомендован в указанной работе (в настоящей статье не приводится). Эти мероприятия должны быть дополнены

организацией поверхностного стока и благоустройством территории.

3. Контрольные расчеты, не учитывающие тонкую, слабо наклоненную пластичную глинистую прослойку, не обнаруженную при бурении, не смогли объяснить причину и характер наблюдаемого склонового процесса. А такие прослойки достаточно часто присутствуют на границе водоупора. Таким образом, на рассматриваемом объекте контрольные расчеты оказались хорошим средством уточнения не только параметров прочности грунтов, но литологического строения склона.

В заключение необходимо отметить, что для выполнения расчетов устойчивости грунтовых массивов необходимо использовать достаточно совершенные программы, которые автоматически ищут наиболее слабые поверхности скольжения. К таким программам могут быть отнесены программы серии RUST. И что особенно важно, эти расчеты должны проводить квалифицированные специалисты-геотехники.

**Литература**

1. Даревский В. Э., Романов А. М. Проектирование сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов (набе-

режные, берегоукрепления, подпорные стены, защита от оползней и пр.). М.: ООО «Издательство Мастер», 2011. 596 с.

2. Даревский В. Э., Романов А. М. Оценка оползневой опасности на трассе МГ // Газовая промышленность. 1999. Апрель. С. 44-46.

3. СНиП 2.02.02-85. Основания гидротехнических сооружений.

4. СНиП 22-02-2003. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования. (Взамен СНиП 2.01.15-90.)

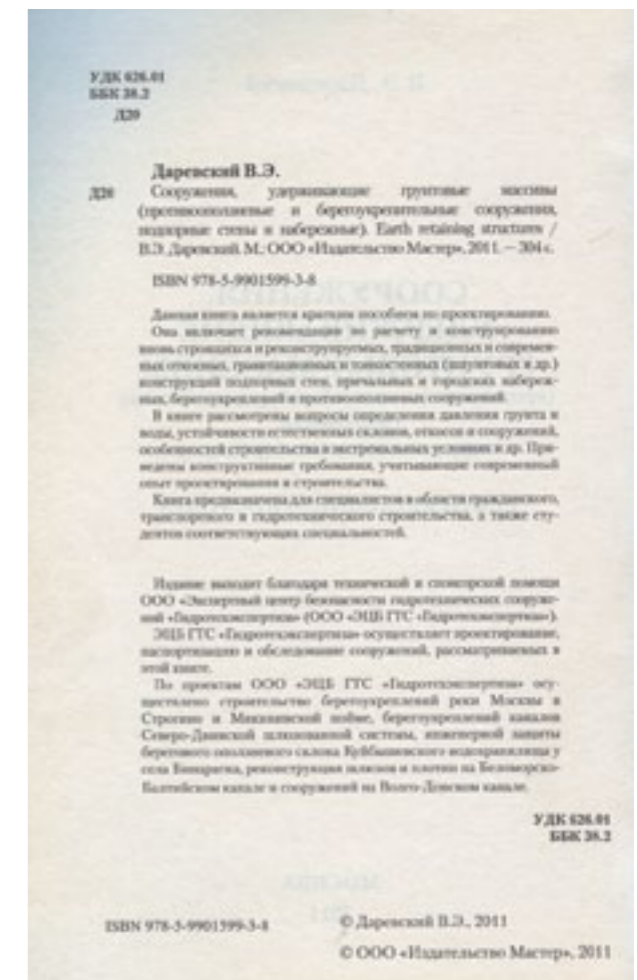
5. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов.

6. Даревский В. Э., Романов А. М., Ткачева М. В. Автоматизированные инженерные методы расчетов общей устойчивости склонов, зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 9. С. 16-21.

7. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.

8. Рогозин И. С. Оползни Ульяновска и опыт борьбы с ними. М.: Изд. Академии наук СССР, 1961.

**ИМЕЕТСЯ В ПРОДАЖЕ**



Книгу можно заказать в ООО «ЭЦБ ГТС «Гидротехэкспертиза» по телефону (495) 741-02-54. Стоимость 500 рублей, оплата по безналичному расчету.

Заказать выполнение расчетов устойчивости можно по эл. почте и телефонам: pier5@giprt.ru; 8-495- 365-38-88 (Даревский Владимир Эммануилович), melnik@gtxpert.ru; 8-916-221-56-87 (Мельник Григорий Викторович).



ООО «СВ-Сервис»

Разработка, испытание, производство и поставка конструкций из полимерных материалов

## Геооболочка «ГеоФРАМ»



- Армирование и повышение несущей способности земляного полотна (авто-, железных и подъездных дорог, площадочных объектов), в том числе и на слабых основаниях.
- Отвод выжимаемой воды из основания и стабилизация водного режима верхней части земляного полотна за счет хороших дренирующих свойств.
- Укрепление откосов насыпи земляного полотна, склонов оврагов, а также подпорных насыпей мостовых переходов, подпорных стен для повышения устойчивости, ограничения сдвиговых деформаций, удержания и сохранения массива грунта.
- Устройство гидротехнических сооружений в качестве противозерозионной конструкции укрепления береговых линий, пляжных и прибрежных зон.



Геооболочка «ГеоФРАМ» изготавливается закрытого, открытого многосекционного типа, из высокопрочных технических тканей, стойких к ультрафиолетовому излучению, агрессивным средам и с эксплуатацией в грунтовой среде более 50 лет.

## Контейнер «ГеоБЭГ»



- Восстановление и укрепление береговых линий, прибрежных зон и ландшафтов.
- Строительство искусственных островов, молов, волнорезов, плотин, бунов, причалов, защита донной зоны.
- Восстановление и укрепление дна и берегов рек, каналов, водоемов.
- Строительство подпорных стен любой высоты.
- Защита от водной и ветровой эрозии грунтов и строительных материалов, используемых для сооружения объектов.
- Хранение и транспортировка различных сыпучих материалов (грунт, песок, щебень и др.).

«ГеоБЭГ» изготавливается из высокопрочных технических тканей, стойких к воздействию агрессивных сред, ультрафиолетовому излучению, с эксплуатацией в грунтовой среде более 50 лет. Контейнеры изготавливаются объемом «ГеоБЭГ»-I от 0,03 м<sup>3</sup> до 1,0 м<sup>3</sup> и «ГеоБЭГ»-II от 1,2 м<sup>3</sup> до 5,5 м<sup>3</sup>.

ООО «СВ-Сервис» 142144 г. Москва, поселение Щаповское, д. Александрово, д. 60,  
тел.: 8(800) 100-41-50, +7(495) 780-71-61

e-mail: info@servis-sw.ru

На правах рекламы

## ГЕОТЕКСТИЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Пшеничникова Е. С.,  
канд. техн. наук, ведущий научный  
сотрудник ЦНИИС, г. Москва

**Аннотация.** Статья о применении пространственных геотекстильных конструкций в дорожном строительстве и берегоукреплении, при строительстве линейных объектов на слабых основаниях (болотах I–II типов) и укреплении откосов и склонов как составляющих в противозерозионных сооружениях. Применение геосинтетиков способствует снижению индустриального влияния природных ресурсов в промышленности и гражданском строительстве, а это — экологичность.

**Ключевые слова:** геосинтетика, земляное полотно, подпорная стена, линейные сооружения, многосекционная геооболочка.

**Abstract.** The article "Geotextile carcasses for construction of earthworks" considers technologies and application experience of geocontainers. It introduces analysis of geosynthetic materials adoption in comparison with traditional construction technologies. The article generalizes advantages and efficiency factors of geocontainers applying. It shows calculation methods of geomembrane stiffness and deflection of soil layer when using.

**Keywords:** geosynthetics, earth bed, supporting wall, line structures, multicell geomembrane.

В 80-е гг. XX в. для дорожных насыпей, сооружаемых на слабых грунтах, была рекомендована конструкция «насыпь в обойме или полуобойме», представляющая собой слой грунта, оборачиваемый нетканым геотекстилем в процессе сооружения насыпи. Слой грунта в обойме из геотекстиля мог работать на изгиб, снижалось влияние неравномерности осадки основания. Прочность сооружения таким образом повышалась, однако у конструкции были существенные недо-

статки: нетканый геотекстиль вследствие низкой прочности растягивался и рвался, полотнища материала требовалось сшивать при помощи паяльной лампы, что снижало скорость строительства.

Тогда возникла идея: сшить контейнер из ткани, обладающей высокой прочностью на разрыв, заполнить его тем или иным сыпучим материалом и собирать из таких контейнеров конструкцию.



Рис. 1. Заполнение геоконтейнеров при помощи загрузочного бункера



Рис. 2. Погрузка заполненных контейнеров в автосамосвал



Разработанные таким образом контейнеры нашли широкое применение в строительстве. Помимо дорожных насыпей, они стали использоваться при сооружении подпорных стен, промышленных площадок, а также в различных гидротехнических сооружениях. Контейнеры, заполненные грунтом, перераспределяют неравномерные деформации основания, не разрушаясь при этом, благодаря чему могут быть рекомендованы к использованию в районах с сейсмической активностью.

В 2012 г. геоконтейнеры были использованы для укрепления берега р. Малый Сулак в Хасавюртском районе Дагестана. Река Малый Сулак — приток р. Сулак — из года в год размывает берег, при этом происходит разрушение откосов насыпи автомобильной дороги, проходящей вдоль берега. Район относится к сейсмоопасным (сейсмичность 8 баллов).

На горных реках с высокой скоростью течения для укрепления берегов в последнее время применяют габионы, которые более эффективны, чем те или иные бетонные изделия: меньше трудозатрат при сооружении конструкции и дольше срок службы. Грунтовые контейнеры оказались дешевле габионов, поскольку меньше трудозатрат при монтаже, а для заполнения может быть использован дешевый местный мелкозернистый материал. Кроме того, в сейсмоопасных районах, где следует ожидать колебания основания и его перемещения, целесообразно использовать гибкие конструкции, мало чувствительные к деформациям оснований. По этой причине для проведения берегоукрепительных работ были использованы геоконтейнеры двухсекционные, размером 3,0×1,5×1,0 м.

Контейнеры заполняли при помощи загрузочного бункера (рис. 1) местным грунтом. Для перемещения контейнеров и монтажа были использованы автотележка, автосамосвалы, автомобильные краны (рис. 2). Контейнеры укладывали без каких-либо подготовительных работ, без планировки основания, схема укладки определялась на месте.

В процессе монтажа контейнеры связывали между собой монтажными петлями и лентами, образуя единую конструкцию (рис. 3). Было уложено около 70 контейнеров в 6 рядов.

Результаты осмотра конструкции, выполненные после года эксплуатации, показали следующее:

1. целостность ткани, из которой изготовлены геоболочки, а также монтажных элементов — лент, не была нарушена;
2. перемещений контейнеров относительно друг друга не наблюдалось;
3. при весеннем половодье местоположение конструкции не нарушено.
4. в результате половодья произошло вымывание глинистых частиц через стенки контейнеров, в результате чего общая высота конструкции незначительно уменьшилась по высоте.

Открытая многосекционная геоболочка с дном была использована при сооружении подпорных стен в г. Находке Приморского края.

70% территории Приморского края покрыто обособленными возвышенностями (сопками), склоны которых в черте города используют под застройку, для чего в скальном грунте сопки устраивают полки. В условиях стесненной застройки для использования откосной части сопки в полном объеме было принято решение о строительстве армогрунтовой подпорной стены с применением многосекционной геоболочки с дном. По поверхности подпорной стены планируется проложить автомобильную дорогу.



Рис. 3. Монтаж конструкции укрепления берега



Рис. 4. Заполнение многосекционных геоболочек скальным грунтом

Геоболочки растягивали на каркасе и заполняли грунтом (рис. 4). Монтаж геоболочек был выполнен в 4 ряда по вертикали. Каждый последующий ряд устраивали со смещением относительно нижнего на 0,3 м (рис. 5).

На поверхности сооруженной таким образом подпорной стены устроили выравнивающий слой грунта (рис. 6), который будет служить нижним слоем основания дорожной одежды.

После завершения осадки грунта в геоболочках будет построена дорожная одежда — верхний слой основания и асфальтобетонного покрытия. По бровке будет установлено барьерное ограждение.

В 2011 г. в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) на кафедре Инженерной геологии и геотехники под руководством проф. Доброва Э. М. была выполнена исследовательская работа, цель которой состояла в оценке эффективности применения геоболочки в земляных сооружениях. Для этого были аналитически определены жесткость и прогиб геоболочки с наполнителем небольших размеров, с высотой стенки



Рис. 5. Общий вид сооружения

30 см, размером ячеек 30×30 см (рис. 7), а также жесткость и прогиб слоя грунта тех же размеров, что был помещен в секции геоболочки. В качестве заполнителя ячеек был использован песок с влажностью  $W = 20\%$  и плотностью  $\gamma = 1,6 \text{ т/м}^3$ . Модуль деформации песка  $E_{gp} = 300 \text{ кгс/см}^2$ , коэффициент поперечной деформации  $\mu = 0,28$ . Ширина расчетной полосы геоболочки, и, соответственно, расчетного слоя грунта  $b = 100 \text{ см}$ .

Жесткость на изгиб грунтовой прослойки  $(EJ)_{gp}$  может быть определена по формуле:

$$(EJ)_{gp} = E_{gp} \frac{bh^3}{12} = 300 \frac{100 \cdot 30^3}{12} = 67500000 \text{ кгс} \cdot \text{см}^2. \quad (1)$$

Жесткость геоболочки при изгибе на единицу ширины  $D$  может быть определена как жесткость составного пакета из двух слоев по формуле:

$$D = D_{дн} + D_{геоб} + B_{дн} (h/2)^2, \quad (2)$$

где  $D_{дн}$  — жесткость при изгибе дна геоболочки;  $B_{дн}$  — жесткость при растяжении (сжатии) дна геоболочки;  $D_{геоб}$  — жесткость при изгибе слоя геоболочки с наполнителем.

$$D_{дн} = \frac{E_{дн} \cdot \delta_{дн}^3}{12(1-\mu^2)} + \frac{E_{дн} \cdot \delta_{дн} \cdot h^2}{4} = \frac{150 \cdot 3^3}{12(1-0,4^2)} + \frac{150 \cdot 3 \cdot 30^2}{4} = 10125 \text{ кгс/см}^2, \quad (3)$$

где  $E_{дн}$  — модуль деформаций полимерных материалов дна,  $E = 150 \text{ кгс/см}$ ;  $\mu$  — коэффициент поперечной деформации полимерных материалов, из которых изготовлена геоболочка,  $\mu = 0,4$ .

$$B_{дн} = \frac{E_{дн} \cdot \delta_{дн}}{1-\mu^2} = \frac{150 \cdot 0,3}{1-0,4^2} = 53,57 \text{ кгс/см}^2. \quad (4)$$

Жесткость при растяжении (сжатии) дна геоболочки равна:

$$B_{расч} = B \cdot b = 53,57 \cdot 100 = 5357 \text{ кгс/см},$$

$$D_{геоб} = \frac{E_0(h_1^3 + h_2^3)}{3(1-\mu^2)} = \frac{357(15^3 + 15^3)}{3(1-0,4^2)} \cdot 2 \cdot 100 = 189642857 \text{ кгс/см}^2, \quad (5)$$

$$D_{расч} = 10125 \cdot 100 = 1012500 \text{ кгс/см}^2,$$

где  $E_0$  — модуль деформаций стенок геоболочки перед наступлением потери устойчивости,  $E_0 = 357 \text{ кгс/см}^2$ ;  $h_1$  — высота над нейтральной осью,  $h_2$  — высота под центральной осью.

В формуле (5) рассматривается жесткость многосекционной геоболочки при наличии в ней только продольных ребер, а не замкнутых ячеек. С учетом ячеек необходимо полученную жесткость  $D_{геоб}$  умножить на 2 и на расчетную ширину полосы:

$$D = 1012500 + 189642857 + 5357 \cdot (30/2)^2 = 191860754 \text{ кгс/см}^2.$$

Отношение жесткостей многосекционной геоболочки толщиной 30 см и грунтовой прослойки той же толщины составляет:

$$\frac{(EJ)_{геоб}}{(EJ)_{gp}} = \frac{191860754}{67500000} = 2,84.$$

Следовательно, жесткость геоболочки с наполнителем в 2,84 выше жесткости грунтовой прослойки той же толщины.

Прогиб геоболочки, уложенной на грунт и воспринимающей сосредоточенную нагрузку, может быть определен по формуле:

$$W_{геоб} = \frac{b^2}{8D} \frac{5p_0 b m_1}{48} = \frac{100^2}{8 \cdot 191860754} \cdot \frac{5 \cdot 5000 \cdot 100 \cdot 1}{48} = 0,34 \text{ см}, \quad (6)$$

где  $P_0$  — сосредоточенная нагрузка — 5000 (нагрузка от колеса), кгс;  $D$  — жесткость геоболочки, кгс/см<sup>2</sup>;  $m_1$  — ко-



Рис. 6. Устройство выравнивающего слоя на поверхности подпорной стенки



Рис. 7. Геооболочка с наполнителем

эффицент, учитывающий условия закрепления геооболочки по краям, в рассматриваемой задаче  $m_f = 1$ .

Прогиб слоя грунта толщиной 30 см, неармированно-многосекционной геооболочкой, определяем по формуле (10):

$$W_{гр} = \frac{Pb^3}{48(EJ)_{гр}} = \frac{5000 \cdot 100^3}{48 \cdot 67500000} = 1,54, \quad (7)$$

$$\frac{W_{гр}}{W_{геооб}} = \frac{1,54}{0,34} = 4,52.$$

Следовательно, при применении многосекционной геооболочки прогиб слоя грунта уменьшается в 4,52 раза.

**Общие выводы**

1. Обследование конструкции берегоукрепления в Дагестане показало, что прочность геоконтейнеров отвечает предъявляемым к ним требованиям. Стенки геоконтейнеров выдержали нагрузку расположенной над ними верхней части сооружения (рис. 3), а также удары льдин и проплывающих предметов во время половодья.

2. Геоконтейнеры и многосекционные геооболочки следует применять в конструкциях земляных сооружений при строительстве в сложных условиях: на слабых грунтах, на подтапливаемых и затопливаемых участках, в районах с сейсмической активностью.

3. Для успешного использования геооболочек необходимо грамотное проектирование. Ясно, что при отсутствии выполненных должным образом проектных работ все преимущества предлагаемых материалов и технологии могут быть сведены на нет.

Так, конструкция берегоукрепления в Дагестане по существу служит подпорной стенкой, удерживающей откос, близкий к вертикальному (рис. 3). В этом случае на сооружение действуют другие нагрузки (не только водная, но и отпор грунта откоса), следовательно, должны быть выполнены соответствующие расчеты (на сдвиг, на опрокидывание). Перемещение конструкции в сторону реки может происходить из-за сдвигающей силы со стороны откоса.

4. Должны быть регламентированы требования к грунтам, заполняющим геоконтейнеры и геооболочки, в зависимости от условий применения. Использование местных грунтов может существенно снизить стоимость строительства. Так, при сооружении массивных не подтапливаемых подпорных стен и высоких насыпей в той их части, которая не подвержена промерзанию, для заполнения контейнеров могут быть использованы глинистые, в том числе пучиноопасные грунты. Глинистые грунты могут быть также использованы при строительстве временных дорог с покрытием переходного типа. При использовании геоконтейнеров в насыпях автомобильных дорог с покрытием капитального типа должен быть осуществлен контроль плотности грунта в контейнере, дорожную одежду следует устраивать только при достижении требуемой плотности грунта.

В гидротехнических сооружениях наполнитель не должен вымываться через стенки геоконтейнера.

Разработка нормативных документов, регламентирующих применение геоконтейнеров и геооболочек, позволит повысить эффективность их использования в строительстве.

5. Расчет жесткости и прогиба многосекционной геооболочки с наполнителем, выполненный под руководством проф. Э. М. Доброва, показал, что при армировании многосекционной геооболочкой прогиб слоя грунта уменьшается в 4,52 раза, что подтверждает целесообразность применения многосекционной геооболочки при строительстве дорог на слабых грунтах.

Полученный расчет может быть использован в проектных работах. Наличие расчетных методов позволит ускорить процесс внедрения данной конструкции в практику строительства.

**Литература:**

1. Львович Ю. М. Геосинтетические и геопластиковые материалы в дорожном строительстве. М.: Информавтодор, 2002.  
 2. Устьян Н. А. Опыт комбинированного применения геосинтетических материалов при строительстве транспортных сооружений // Мир дорог. 2010. № 48.  
 3. Устьян Н. А., Смелов Е. А. Геоконтейнеры и их применение в строительстве // Гидротехника. 2011. № 3(24).

# РЕКОНСТРУКЦИЯ ШЛЮЗА РЫБИНСКОГО ГИДРОУЗЛА НА ВОЛГЕ



Левачев С. Н., канд. техн. наук, профессор МГСУ



Малаханов В. В., канд. техн. наук, профессор МГСУ



Шурухин Л. А., главный инженер ЗАО «Акватик»

**Аннотация.** В статье приводится краткое описание Рыбинского гидроузла, результаты обследования технического состояния его гидротехнических судоходных сооружений и проектные решения по их реконструкции и ремонту.

**Ключевые слова:** судоходные гидротехнические сооружения, шлюз, причально-направляющие сооружения.

**Abstract.** The article presents a short description of Rybinsk hydro system, research results of technical condition of its navigational hydraulic structures and schemes for their rebuilding and repair.

**Keywords:** navigational hydraulic structures, shipping lock, mooring directing facilities.

Гидротехнические сооружения России (гидроузлы, порты, каналы и т. п.), построенные в основном в предвоенные и послевоенные годы XX столетия, вступили по сроку эксплуатации в стадию старения — их возраст сегодня составляет 50–60 и более лет. Особенно пагубно на их состоянии сказались 1990-е и 2000-е гг. — время отсутствия средств на ремонты, эксплуатации на износ. Участились аварии гидросооружений с катастрофическими последствиями (Саяно-Шушенская ГЭС, Киселевский и Тирлянский гидроузлы). В настоящее время наметилась тенденция к росту финансирования на ремонт и реконструкцию гидросооружений. Из числа объектов первоочередной масштабной реконструкции выделяется Рыбинский гидроузел, введенный в эксплуатацию 17 мая 1941 г. С тех пор Рыбинская ГЭС стала важнейшим источником электроэнергии, во многом покрывая остродефицитные пиковые нагрузки центра России.

В состав гидроузла входят: бетонная водосбросная плотина, земляная русловая плотина на р. Волге длиной 524 м и высотой 27 м, судоходный двухниточный однокамерный шлюз с напором 18,4 м, здание ГЭС с шестью поворотными-лопастными турбинами, земляная русловая плотина на р. Шексне длиной 470 м и высотой 35 м, земляные дамбы на р. Шексне общей длиной 6035 м.

Рыбинский гидроузел имеет комплексное транспортно-энергетическое назначение. Эксплуатацией гидротехнических сооружений занимаются две организации — ОАО «РусГидро» и ФГУП «Канал имени Москвы».

Поскольку гидросиловое и электротехническое оборудование Рыбинской ГЭС выработало свой нормативный ресурс и морально устарело, ОАО «РусГидро» в 1998 г. выполнило реконструкцию шестого агрегата ГЭС, а в 2002 г. был заменен четвертый агрегат. Согласно долгосрочной программе компании, к 2020 г. планируется завершить полное обновление Рыбинской ГЭС — реконструкцию сооруже-

ний и зданий, модернизацию всего основного и вспомогательного оборудования.

Водотранспортный комплекс Рыбинского гидроузла входит в состав ФГУП «Канал имени Москвы» и включает в себя следующие сооружения: судоходный шлюз, верхний и нижний подходные каналы с причально-направляющими сооружениями, здания управления судопропуском и системой питания шлюзов и пять дамб (рис. 1).

Для оценки состояния сооружений водотранспортного комплекса Рыбинского гидроузла и для выработки рекомендаций к проекту его капитального ремонта и модернизации в 2008–2010 гг. было выполнено комплексное обследование, к которому были привлечены ведущие организации и специалисты России.

Топографические, геодезические, геологические и подводно-технические исследования выполнила проектно-строительная гидротехническая компания ЗАО «Акватик», имеющая большой опыт таких работ, в том числе на гидротехнических сооружениях Беломоро-Балтийского, Волго-Донского и Волго-Балтийского каналов. Исследования состояния железобетонных и каменных сооружений, зданий и конструкций осуществил ведущий научно-исследовательский институт России в области железобетона — НИИЖБ. Металлоконструкции и механическое оборудование шлюза обследовали специалисты ФГУП «Центральное конструкторское бюро «Титан», имеющие опыт конверсионных разработок для шлюзов Волго-Донского канала. Исследования электротехнического оборудования и системы управления осуществили специалисты ЗАО «Траскон Текнолоджи». Обследование железобетонного моста, размещенного на нижней голове шлюза и обеспечивающего проезд авто- и железнодорожного транспорта, выполнили специалисты ЗАО ЦНИИ «Гипропромтранспроект». Научное руководство исследованиями и анализ состояния гидротехнических со-

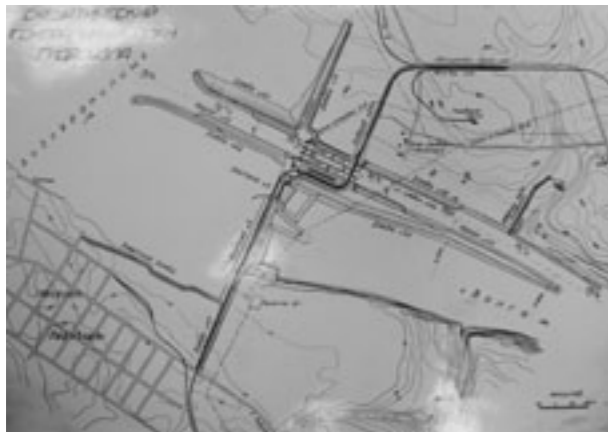


Рис. 1. Рыбинский гидроузел на Волге



Рис. 2. Рыбинский шлюз (камера осушена)

оружий (шлюза, каналов, дамб, причальных сооружений, водовыпуска) были выполнены научной группой специалистов Московского государственного строительного университета (МГСУ). В данной статье основное внимание уделено вопросам реконструкции железобетонных сооружений Рыбинского шлюза.

Железобетонный шлюз, однокамерный, двухниточный, приплотинный, расположенный в левобережной деривации, предназначен для осуществления судопропуска. Отметка нормального судоходного уровня (НПУ) верхнего бьефа 102,0 м. Отметка максимального расчетного уровня верхнего бьефа 103,4 м. Минимальный навигационный уровень верхнего бьефа 99,5 м. Нормальный судоходный уровень (НПУ) нижнего бьефа 83,6 м. Максимальный расчетный уровень нижнего бьефа 90,3 м, минимальный 83,4 м. Напор при НПУ — 18,40 м. Общая длина шлюза 361,5 м. Полезная длина камер №№ 11, 12 двухниточного шлюза 283,0 м, полезная ширина камер 30,0 м. Минимальная глубина на пороге нижней головы 3,90 м. (рис. 2).

Система наполнения шлюза — сложная распределительная. Она состоит из четырех продольных водопроводных галерей (по две на камеру, сечением 5,0×7,45 м каждая), размещенных между параллельными камерами в

днице межшлюзового пространства. От каждой двух продольных галерей соответственно в правую и левую камеры отходят поперечные галереи-питатели, размещенные в днище камеры. В верхней части поперечных галерей расположены выпуски, через которые происходит наполнение и опорожнение шлюза. Выпуски расположены между колосниками в виде деревянных пакетов, которые обеспечивают гашение энергии потока воды, поступающей в камеру из галерей, и равномерное распределение воды по шлюзу.

Забор воды для наполнения камер шлюза происходит через водоприемник (переключатель), расположенный в верхнем бьефе гидроузла, за пределами подходного канала. Галереи поворачивают по дуге на 90° от плотины № 2 к верхней голове камеры № 11, затем поворачивают к межшлюзью и проходят между верхними головами на протяжении 47,0 м. (рис. 3).

Сброс воды также осуществляется через водоприемник и через специальный водосброс, расположенный вне нижнего подходного канала, рядом с бетонной водосливной плотиной. Гашение энергии потока системы опорожнения и перепуска происходит в нижнем бьефе бетонной водосливной плотины при помощи гасителей-пирсов с донным порогом.

На водоприемнике установлены затворы вспомогательного наполнения и опорожнения. На участке водопроводной системы от верхней головы до переключателя расположены затворы наполнения водопроводных галерей (четыре затвора). В районе затворов сечение водопроводных галерей имеет размер 6,0×6,0 м. В средней части этого участка две галереи каждой камеры соединяются в одну. На этом участке устроен перепуск между галереями. Основные и вспомогательные затворы наполнения, затворы опорожнения, а также затворы перепуска плоские, ригельные, скользящие. Приводные механизмы стационарные цепные. Привод электрический.

Камеры №№ 11, 12 шлюза расположены симметрично относительно оси сооружения и в продольном направлении разрезаны температурно-осадочными швами (ТОШ) на три части: две крайние (береговая и речная) и среднюю часть (межшлюзовое пространство с водопроводными галереями и средние стенки обеих камер). Камеры разделены на восемь секций длиной по 30,0 м каждая. Высота каждой секции равна 30,75 м (от верха стены до подошвы фунда-

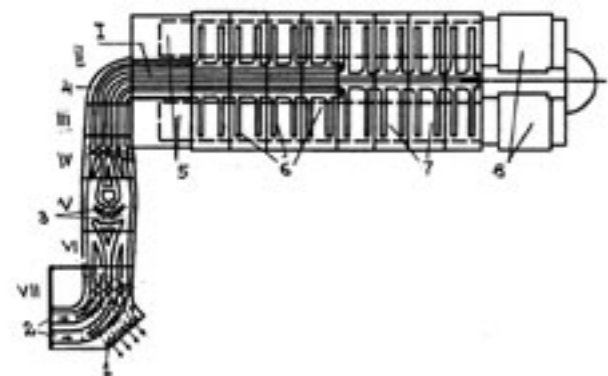


Рис. 3. Водопроводная система Рыбинского гидроузла:

I—VII — секции водопроводов наполнения и опорожнения; 1 — галереи опорожнения; 2 — галереи наполнения; 3 — галереи перепуска; 4 — продольные галереи; 5 — верхние головы; 6 — водовыпуски короткой галереи; 7 — водовыпуски длинных галерей; 8 — нижние головы

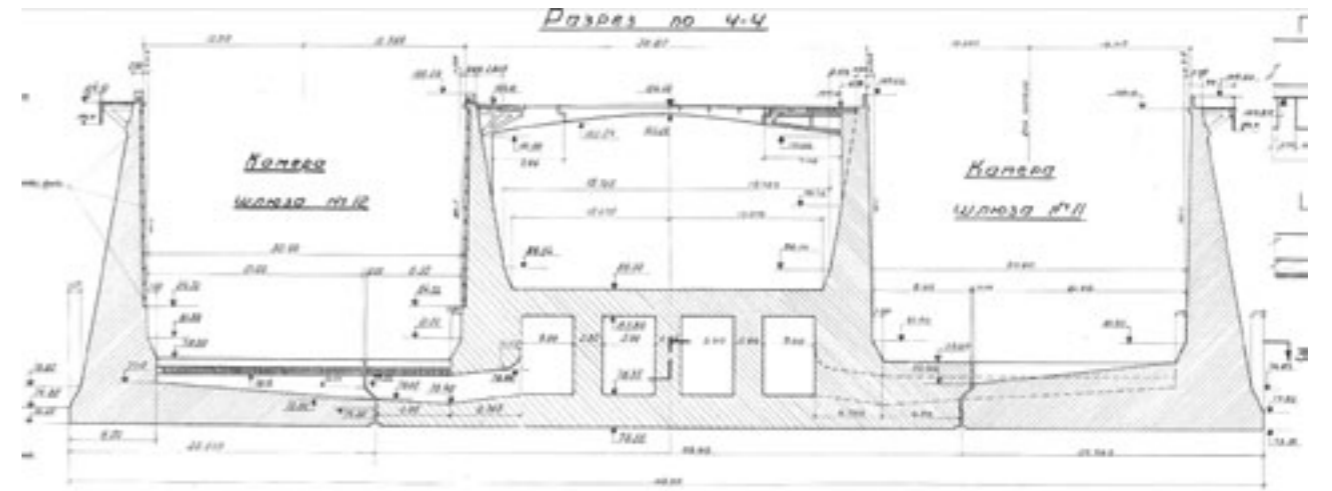


Рис. 4. Поперечный разрез по камерам шлюза

ментной плиты). Толщина дна равна 6,15 м. Стены камер имеют уклон лицевых граней 40:1 (рис. 4).

Верхние головы представляют собой неразрезные железобетонные конструкции докового типа длиной 51,0 м, шириной (с шахтами противовесов) 53,0 м, высотой 35,0 м. Со стороны верхнего бьефа днища верхних голов выполнены в виде королевой надстройки с нишами аварийно-ремонтных ворот. Толщина днища верхних голов составляет 7,5 м, в нише аварийно-ремонтного затвора — 10,0 м. Для удлинения пути фильтрации и уменьшения противодавления каждая голова имеет верховой зуб. Между массивами верхних голов устроена железобетонная диафрагма. В верхних головах расположены эксплуатационные и аварийно-ремонтные ворота. Аварийно-ремонтные ворота двухсекционные, колесные расположены перед эксплуатационными воротами и состоят из плоского быстродействующего щита, способного подниматься в прямом потоке. В нерабочем положении щит находится в донной нише, заподлицо с дном порога. Механизм привода стационарный цепной. Привод электрический и ручной. Эксплуатационные ворота — клапанные, стоечно-ригельные, плоские с горизонтальной осью вращения, заменены на новые в 2009–2010 гг. Обшивка металлическая, установлена с низовой

стороны ворот. Механизм привода ворот стационарный цепной. Привод электрический и ручной.

Нижние головы представляют собой неразрезные железобетонные конструкции докового типа длиной 58,0 м, шириной по днищу 47,2 м, высотой 33,5 м. Нижние головы для устойчивости на сдвиг имеют зуб (со стороны камеры) глубиной 3,0 м. Толщина днища нижних голов составляет 8,5 м, в нишах двустворчатых ворот — 7,0 м. В зоне двустворчатых ворот толщина днища увеличена до 10,0 м. В днище и устоях проходят дренажные потери. На нижних головах шлюза установлены двустворчатые ворота, замененные на новые в 2009–2011 гг. Приводной механизм стационарный канатный. Привод электрический, имеется ручной привод. На нижних головах также установлены ремонтные двустворчатые ворота. Через нижние головы проходит автомобильно-железнодорожный мост. Устои нижних голов являются опорами моста. Для разгрузки пролетного строения моста на его консолях подвешены помещения механизмов рабочих двустворчатых ворот.

Верхний подходный канал № 32 соединяет шлюз с водохранилищем, имеет ограждающие дамбы №№ 42, 45. Нижний подходный канал № 33 проходит в выемке и имеет ограждающие дамбы №№ 43, 48. В верхнем и нижнем

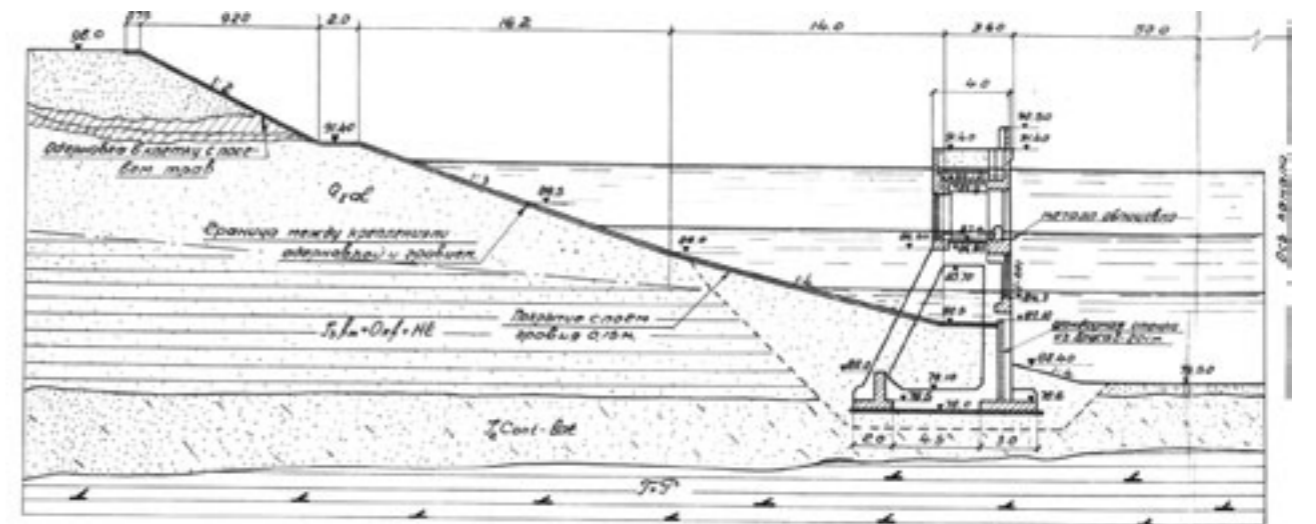


Рис. 5. Конструкция причально-направляющих сооружений нижнего бьефа

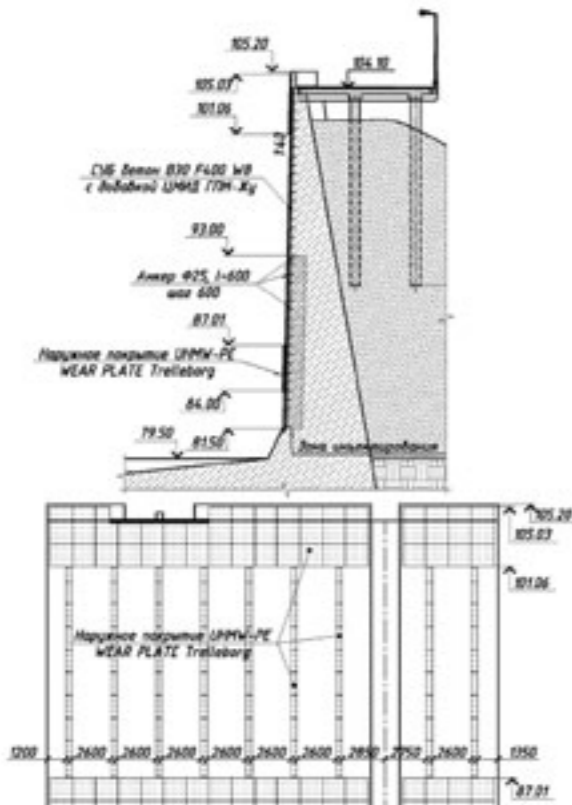


Рис. 6. Конструктивное решение по реконструкции стен камер шлюза

подходных каналах предусмотрены две причальные линии длиной 600,0 м и 300,0 м. Верхние причальные линии балочного типа. Балка коробчатого сечения опирается на бычки толщиной 3,0 м. Длина секции 20,0 м. Нижние причальные линии — двухъярусные, эстакадного типа, секционные. Секция состоит из пяти плоских железобетонных рам с нижней фундаментной плитой. Лицевая сторона представляет сплошную железобетонную направляющую стенку, переходящую в подводной части в шандорную (рис. 5).

Электроснабжение шлюза осуществляется по трем кабельным линиям 6 кВ с Волжской подстанции г. Рыбинска.

Результаты комплексного обследования шлюза, проведенного в 2009 г., позволили оценить техническое состояние железобетонных конструкций и разработать проект их ремонта и реконструкции. При обследовании особое внимание было уделено камерным стенам, учитывая их большую протяженность (около 1200 м), существенно обжатые сечения и подверженность непосредственному воздействию шлюзующихся судов.

Судя по результатам многолетних наблюдений, основные осадки голов и стен камер до 40 см произошли в первый период после окончания строительства. За последние 30 лет они практически стабилизировались и, по существу, не влияют на эксплуатационные параметры камерных стен и голов, но оказывают влияние на состояние противотрационных шпонок ТОШ. Неравномерность осадок нижних голов до 46 мм отрицательно сказывается на работе двухстворчатых ворот, что должно быть учтено при их реконструкции. Совместный анализ осадок и горизонтальных перемещений позволяет сделать вывод о том, что нет оснований для беспокойства о прочности и безопасности эксплуатации стен камер шлюза.

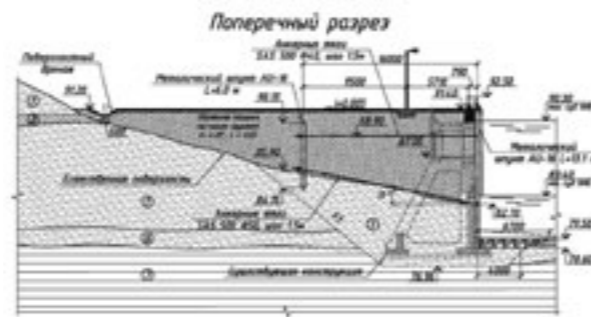


Рис. 7. Реконструкция причально-направляющих сооружений нижнего бьефа

Более существенными для эксплуатации являются горизонтальные перемещения верха устоев нижних голов до 25 мм, вызванные температурным воздействием и знакопеременными нагрузками при наполнении и опорожнении камер, что влияет на работу двухстворчатых ворот.

При визуальном обследовании галерей водоводов в межшлюзовом пространстве зимой 2008–2009 гг. отмечался повсеместный излив воды через межсекционные швы и трещины. При общей протяженности шпонок около 10 км за годы эксплуатации произошли повсеместные нарушения герметичности швов, что потребовало выполнения работ по герметизации швов и реконструкции шпонок, проведенных в течение 2010–2011 гг.

Визуальное обследование поверхности камерных стен выявило основные дефекты на внутренних поверхностях камерных стен — это трещины различной длины, величины раскрытия и направления; раковины, пустоты под плитами облицовки, истирание бетона плит-оболочек, истирание плит с обнажением арматуры плит-оболочек, разрушение бетона с обнажением основной арматуры, фильтрация в различных проявлениях и т. п.

Обследованиями установлено повреждение более 70% плит-оболочек, под большинством плит отсутствует плотный контакт их с монолитным бетоном стен. Глубина видимого повреждения бетона по площади стен неравномерна и в наиболее поврежденных местах достигает 10–20 см. Отмечены участки с полным разрушением плит-оболочек и обнажением рабочей арматуры в монолитном бетоне. Наличие трещин в конструктивных элементах средней части шлюза свидетельствует о возможности фильтрации воды через них и потенциальной возможности коррозии продольной арматуры, поставленной по конструктивным соображениям.

По результатам исследования бетонных образцов определена современная прочность бетона, которая составила в среднем около 200 кг/см<sup>2</sup>. При этом вопрос о снижении прочности основных конструктивных элементов камер шлюза не стоит, они находятся в ограниченно работоспособном техническом состоянии.

Оценка общего напряженно деформированного состояния камер шлюза была проведена с использованием конечно-элементных программ Plaxis и «Лира». Совместный анализ результатов поэлементных расчетов основных конструкций шлюза и общего конечно-элементного расчета поперечного сечения шлюза, а также результатов натурных наблюдений за осадками подтверждает удовлетворительное напряженно-деформированное состояние основных

элементов железобетонных конструкций камер, обеспечивающее необходимую безопасность эксплуатации шлюза.

Менее оптимистичный вывод был сделан по состоянию причально-направляющих сооружений Рыбинского шлюза, характерной особенностью которых является их рамная конструкция, включающая большое количество тонкостенных элементов, работающих в условиях переменного уровня воды. По итогам обследования, железобетонные конструкции причалов, особенно низовых, находятся в предаварийном состоянии. В результате проведенных натурных обследований, лабораторных исследований образцов бетона и расчетных исследований были разработаны рекомендации по реконструкции железобетонных сооружений шлюза, основные положения которых приведены ниже.

Для удобства эксплуатации шлюза и производства регламентных ремонтных работ по гидроузлу устраиваются технологические проезды вдоль камер шлюза. Они представляют собой железобетонный ростверк на свайном основании из металлических свай диаметром 630×10 мм (рис. 6). Продольные и поперечные связи свайного основания межкамерного пространства выполняются из металлических труб диаметром 426×8 м. Ширина технологического проезда равна 9,5 м. Для обеспечения доступа автомобильных кранов в межкамерном пространстве предусмотрено устройство специального подъемника. Технологические проезды рассчитаны на использование автомобильных кранов г/п 25 т и аналогичной грузовой техники. Также для обслуживания рабочих двухстворчатых ворот предусмотрено устройство на нижних головах четырех консольных кранов ККМ7-5-8-3 грузоподъемностью 5 т и вылетом стрелы 8 м.

В результате сравнительного анализа возможных методов реконструкции лицевых поверхностей стен камер шлюза, с применением современных материалов и технологий, намечено два варианта ремонта. Оба варианта предполагают удаление существующих плит — оболочек и деструктивного бетона на глубину в среднем до 25 см от лицевой грани и на 5 см за рабочую арматуру, с использованием гидроструйных аппаратов высокого давления.

Первый вариант реконструкции стен камер шлюза основан на использовании материалов ООО «БАСФ Строительные системы», выпускаемых на заводе в Подольском районе Московской области. Последовательность работ по данному варианту после удаления деструктивного бетона следующая:

1. Инъектирование зоны переменного уровня НБ суспензией цемента MAC-FLOW.
2. Установка арматурной сетки из стержней диаметром 12 мм на анкера из стержней диаметром 25 мм, закрепляемых на состав EMACO S88C.
3. Восстановление проектного контура лицевых граней стен камер шлюза путем укладки мелкозернистой сухой бетонной смеси наливного типа PC mix 3711 с повышенной стойкостью к трещинообразованию.
4. Защита основного бетона от истирающего воздействия судов путем нанесения (с предварительной подготовкой поверхности) безусадочной быстротвердеющей бетонной смеси тиксотропного типа EMACO S88C слоем толщиной 5 см (слой износа).

Второй вариант реконструкции стен камер шлюза основан на использовании материалов ЗАО «НП-ЦМИД» (Санкт-

Петербург). Последовательность работ по данному варианту следующая:

1. Инъектирование зоны переменного уровня НБ составом ЦМИД-2.
2. Установка арматурной сетки из стержней диаметром 12 мм на анкера из стержней диаметром 25 мм, закрепляемых на состав ЦМИД-2 «монтаж».
3. Восстановление проектного контура лицевых граней стен камер шлюза путем укладки литой самоуплотняющейся бетонной смеси с добавкой ЦМИД-ГПМ Жу с повышенной плотностью.
4. Монтаж плит наружного покрытия WEAR PLATE Trelleborg толщиной 60 мм для защиты бетона стен камер шлюза от истирающего воздействия судов. Покрытие UHMW-PE сочетает очень низкое трение с высокой ударной вязкостью и износостойкостью, намного лучше, чем сталь, и тем более, чем дерево. Материал стойкий к УФ излучению, не гниет и не расслаивается, подвергается 100% утилизации.

Необходимость защиты бетона лицевых поверхностей стен камер шлюза обусловлена следующими соображениями:

- функциональное назначение сооружения предполагает наличие интенсивных (более 9000 судов в год) истирающих воздействий при входах и выходах судов из камер шлюза;
- уменьшение величины защитного слоя бетона вследствие истирающих воздействий судов может привести к потере сцепления рабочей арматуры с бетоном, что в свою очередь грозит потерей прочности и устойчивости стен камер шлюза;
- именно сочетание механических (истирание и навалы судов) и температурных воздействий (морозная деструкция бетона) существенно интенсифицирует общий процесс деструкции бетона стен камер шлюза.

В итоге сопоставительного технико-экономического анализа для реконструкции стен камер и голов шлюза Рыбинского гидроузла принят второй вариант (рис. 6). Удаление существующего деструктивного бетона в виде плит оболочек и монолитного бетона за ними выполняется с отметки 81,50 м до отметки 104,10 м на глубину в среднем до 25 см от лицевой грани и на 5 см за существующую первую рабочую арматуру диаметром 40 мм. Удаление существующего деструктивного бетона необходимо производить гидроструйным аппаратом высокого давления WOMA 700Z (рабочее давление 1300 бар), смонтированным на роботеманипуляторе 710V.

Конструктивные решения по реконструкции причально-направляющих сооружений правого и левого берегов аналогичны друг другу и рассчитаны на нагрузку от транспортных средств и складированных грузов, равную 2,0 тс/м<sup>2</sup>, на всей площади территории и нагрузку от навала судна, равную 120,0 тс, нормальную к лицевой грани сооружения.

Реконструкция каждого из причально-направляющих сооружений нижнего бьефа состоит из двух частей: реконструкции нестандартных секций и стандартных секций. Реконструкция нестандартных секций заключается в ремонте бетона лицевых поверхностей с использованием современных материалов и технологий и последующей защите лицевых поверхностей от истирающих воздействий судов специальным наружным покрытием типа UHMW-PE. Стандартные

секции причально-направляющих сооружений нижнего бьефа реконструируются путем устройства оторочки из металлического корытного шпунта АУ с анкерровкой на двух уровнях. Данный вариант представляется оптимальным, т. к.:

- Для ремонта существующих конструкций необходимо применить дорогие тиксотропные смеси и подводное бетонирование в большом объеме. При высокой трудоемкости работ и сложности соблюдения технологии нанесения ремонтных смесей, с учетом трудно оценимой в данном случае (в силу конструктивных особенностей существующих конструкций) остаточной прочности железобетонных элементов сооружения, возможность обеспечения надежности и долговечности сооружений в процессе дальнейшей эксплуатации представляется весьма сомнительной. Более того, следует также отметить, что одним из основных деструктивных процессов бетона сооружений, наряду с истиранием судами, карбонизацией и коррозией арматуры, является морозная деструкция и ледовые, в т. ч. истирающие, воздействия. Активному развитию морозной деструкции и сильным ледовым воздействиям на бетон сооружений в данном случае способствует как само конструктивное решение — частично сквозная рамная конструкция с большим количеством тонкостенных элементов и второй горизонтальной площадкой в зоне переменного уровня, так и режим эксплуатации — большие колебания уровня воды в межнавигационный период. То есть ремонт существующих конструкций не изменит суровых условий их эксплуатации и соответственно будет недолговечным.
  - Устройство конструкции в виде высокого железобетонного ростверка контрфорсного типа на свайном основании невозможно: в силу наличия в основании триассовых глин твердой консистенции, не допускающих погружение свай; больших колебаний уровня нижнего бьефа и, как следствие, необходимости устройства массивного железобетонного ростверка высотой 7,0–8,0 м; необходимости частичного демонтажа существующих конструкций.
  - Устройство гравитационных конструкций, из практики проектирования, значительно дороже устройства тонких шпунтовых сооружений, а также в данном случае требует полного демонтажа существующих конструкций.
- Схема реконструкции принятого варианта представлена на рис. 7.

Причально-направляющие сооружения нижнего бьефа оборудуются новыми швартовными тумбами ТСО-25, неподвижными швартовными рымами, рассчитанными на усилие 25 т, и отбойными устройствами жесткого типа. Жесткие защитные отбойные устройства представляют собой сегмент (1/3) трубы d 1220×10 мм с днищем и крышкой из стального листа толщиной 10 мм, которые устанавливаются с шагом 3,0 м и заполняются бетоном.

Реконструкция стандартных секций причально-направляющих сооружений верхнего бьефа заключается, по аналогии с нижним бьефом, в устройстве оторочки из стального шпунта АУ-16 с анкерровкой стальными высокопрочными анкерными тягами SAS 500 на участках между существующими бычками — на одном уровне, на участках в районе бычков — на двух уровнях, и устройством упорной щебеночной призмы на дне перед и по всей длине сооружения.

Общая длина сооружений левого и правого берегов по внешней границе оголовка соответственно составляет около 900 м. Отметка кордона сооружений принята равной существующей и составляет 104,10 м. Отметка дна перед сооружениями принята равной отметке порога верхней головы и составляет 94,50 м.

Из-за значительного износа **колосниковых решеток** системы наполнения выявлено неравномерное поступление воды в камеры шлюза, образование мощных потоков в камере со значительными уклонами водной поверхности, что затрудняет условия отстоя судов в камерах при их наполнении и опорожнении, приводит к рысканию судов, к ударам о стены камер шлюза, к обрыву причальных тросов. При разработке проектных решений производились натурные и лабораторные исследования, по результатам которых был выполнен эскиз новых колосниковых решеток. Конструкция решеток была исследована в расчетном программном комплексе. Результатом исследований явилась новая колосниковая решетка и система ее крепления к железобетонным конструкциям выпускных галерей, которая должна обеспечить улучшение условий отстоя судов.

Для обеспечения удовлетворительных **условий подхода судов** к шлюзу со стороны НБ необходимо восстановить проектную длину намывной песчаной разделительной дамбы. Запроектирована дамба в виде двухрядной взаимозаанкерванной шпунтовой конструкции, с заполнением пазухи песчаным грунтом. Общая длина разделительной стенки составляет 1200 м. На участке длиной 809,3 м шпунтовые ряды взаимозаанкеруются стальными высокопрочными анкерными тягами, располагаемыми на одном уровне с шагом 1,5 м. На другом участке длиной 392,3 м шпунтовые ряды взаимозаанкеруются на двух уровнях пространственными рамами из стальных неравнополочных уголков. По верху шпунтовых рядов устраиваются металлические оголовки и металлическое парапетное ограждение высотой 1,1 м. Обратная засыпка пазухи между шпунтовыми рядами производится песчаным грунтом.

При разработке проекта реконструкции применены новые технологии ремонта крепления откосов каналов с использованием матов из нетканых материалов, заполненных бетоном, обеспечивающих монолитность конструкции крепления под водой.

Дополнительно следует отметить, что через нижние головы шлюза проходит смешанный **автомобильно-железнодорожный мост**. Конструкция такого совмещения автомобильного и железнодорожного проездов при данном конструктивном решении не безопасна и не отвечает требованиям нормативных документов. Предложено техническое решение, которое обеспечивает безопасное совмещение автомобильного и железнодорожного проездов.

Для повышения безопасности эксплуатации шлюза разработаны предложения по конструктивному решению предохранительных устройств, исключающих навал судов на нижние ворота шлюза при любых уровнях воды в верхнем и нижнем подходах каналах. В настоящее время ведутся строительные-монтажные работы по реконструкции причально-направляющих сооружений судоходного шлюза. В результате завершения реконструкции будет обеспечено работоспособное состояние Рыбинского шлюза и его элементов.

Проектно-строительная гидротехническая компания  
Экспертный центр по безопасности судоходных гидротехнических сооружений

# АКВАТИК

изыскания | проектирование | строительство | экспертиза



**17 лет на рынке гидротехнического строительства!**

**П**роектно-строительная гидротехническая компания "Акватик" вот уже 17 лет решает комплексные задачи в области гидротехнического строительства: от разработки концепции проекта и выполнения инженерных изысканий до проектирования и строительства (или реконструкции) гидротехнических сооружений.

**Наша деятельность включает в себя следующие виды работ:**

- Комплексное обследование судоходных гидротехнических сооружений.
- Все виды подводно-технических работ.
- Проведение инженерных изысканий, лабораторное исследование грунтов, анализ состава и оценка состояния бетона.
- Разработка проектов по строительству, реконструкции и ремонту гидротехнических сооружений.
- Весь комплекс строительных работ, их техническое сопровождение.
- Составление Деклараций безопасности гидротехнических сооружений.
- Освидетельствование судов, поднадзорных Речному и Морскому Регистрам Судоходства РФ и Английскому Регистру Ллойда.

**Контакты**

**Телефон:** (495) 787-49-84  
**Факс:** (495) 787-49-85

**www.aquatic.ru**  
**info@aquatic.ru**

На правах рекламы

## 2.

40-61

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА  
КРАСНОЯРСКАЯ ГЭСЭНЕРГИЯ  
НА РЕЗУЛЬТАТ

МЫ ЗНАЕМ, КАК СДЕЛАТЬ ТАК, ЧТОБЫ ЭНЕРГИЯ РАБОТАЛА НА ВАС, И ПРЕДЛАГАЕМ МАКСИМАЛЬНО НАДЕЖНЫЕ И ВЫГОДНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ СЕРВИСА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.

«Силовые машины» обладают уникальным опытом комплексного сервисного обслуживания: диагностики и контроля технического состояния действующих энергоустановок, их эксплуатации, ремонта, реконструкции и модернизации. Передовые конструкторские решения и современные технологии производства позволяют нам быть эффективным партнером. Мы – команда профессионалов, которые знают и любят свое дело.

- / более 300 000 МВт установленной мощности в 57 странах;
- / 4-е место в мире по объему установленного оборудования;
- / крупнейший в России инженерно-конструкторский центр в области энергомашиностроения;
- / все виды сервисных услуг – от единичных ремонтов до долгосрочных соглашений по техническому обслуживанию (LTSА).

[www.power-m.ru](http://www.power-m.ru)

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КРАСНОЯРСКОЙ ГЭС



**Иванченко И. П.,**  
канд. техн. наук, зам. зав. отделом гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова



**Прокопенко А. Н.,**  
зав. отделом гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова

**Аннотация.** На примере Красноярской ГЭС авторы определяют комплексные показатели надежности гидроагрегатов, параметры и критерии оценки их технического состояния. Определены показатели предельного состояния оборудования ГЭС. Представлены формулы определения коэффициента готовности и коэффициента оперативной готовности. Дан анализ технического состояния рабочих колес гидротурбины, причин трещинообразования лопастей и его влияния на степень выработки ресурса турбины.

**Ключевые слова:** гидроэнергетическое оборудование, радиально-осевая турбина, оценка технического состояния гидрооборудования, рабочее колесо гидротурбины.

**Abstract.** Through the example of Krasnoyarsk HPP the authors evaluate complex indexes of hydraulic unit reliability, characteristics and criteria for evaluation of their technical position. They determine extreme limit state of HPP facilities. It's presented formulas of availability and operative availability factors. Also they give the analysis of runners' technical condition, factors of blades crack formation and its impact on ratio of the turbine remaining life.

**Keywords:** hydropower facilities, centrifugal turbine, technical evaluation of hydropower facilities, runner of water turbine.

На Красноярской ГЭС установлено двенадцать агрегатов единичной мощностью  $N_a = 500$  МВт (по турбине  $N_r = 508$  МВт) при расчетном напоре  $H_p = 93$  м. Турбины предназначены для работы в диапазоне напоров от 76 м до 101 м. Проектный пусковой напор  $H_{пуск} = 70$  м. Гидроагрегаты 1–6 связаны с электрическими сетями 220 кВ, а остальные шесть — с сетями 500 кВ.

Первые две машины (станционные номера агрегатов 1 и 2) были пущены в ноябре 1967 г. при напоре почти на 10 м ниже проектного пускового значения. Ввод в эксплуатацию последних двух турбин (станционные номера 11 и 12) состоялся в ноябре-декабре 1971 г. при максимальных значениях напора. Годом выхода ГЭС на проектные параметры может считаться 1972 г.

### 1. Комплексные показатели надежности гидроагрегатов

Под «надежностью гидроагрегата» понимается его вероятностная способность участвовать в покрытии графика электропотребления энергосистемы. В такой постановке не учитывается, что отдельные машины работают с КПД ниже проектного,

имеют повышенный уровень вибраций опорных узлов и ограничения номинальной мощности.

Вопросам надежности энергетического оборудования уделяется сегодня повышенное внимание во всем мире, что объясняется прежде всего экономическими соображениями. Надежность оборудования закладывается при его проектировании и монтаже, а в процессе эксплуатации надежность только расходуется и восстанавливается (не всегда полностью) при ремонтах. Экономическая эффективность создаваемых энергетических машин реализуется в основном не в сфере производства, а в сфере эксплуатации. Наибольшей эффективностью в эксплуатации обладают сегодня агрегаты не большей единичной мощности, а большей надежности.

Повышение надежности и долговечности машин вообще и энергетических в частности является одной из важнейших задач человеческого общества. Для гидротурбин актуальность этой проблемы тем более очевидна, что моральное старение оборудования замедляется с годами. Действительно, по уровню гидравлического КПД и кавитационным качествам гидротурбины уже достигли в ряде случаев своих предельных значений, и поэтому необходимость их замены будет диктоваться в основном соображениями повышения надежности гидромашин.

Нахождение количественных показателей надежности основано на статистической информации, получаемой из опыта эксплуатации действующего оборудования. Опыт эксплуатации является громадным по объему экспериментом с реальными условиями работы оборудования, который не может быть воспроизведен ни в одной лаборатории. В этом опыте находят свое отражение все определяющие надежность гидроагрегата факторы: проектирование, изготовление, монтаж, условия эксплуатации и ремонта. Ретроспективные данные опыта эксплуатации действующего оборудования используются для определения характеристик надежности двух видов: комплексных (обобщающих) показателей, описывающих в целом надежность того или иного типа оборудования, и характеристик надежности отдельных элементов и узлов машин.

В технических документах надежность оборудования оценивается целым рядом показателей, одни из которых считаются основными, а другие — дополнительными. К основным показателям относятся: полный срок службы, в годах; срок службы между капитальными ремонтами, в часах; безотказная наработка, в часах; коэффициент технического использования (оперативной готовности)  $K_{ор}$ . Группу дополнительных показателей составляют: срок службы до первого капитального ремонта, в часах; наработка в генераторном режиме и режиме синхронного компенсатора до первого капитального ремонта и между капитальными ремонтами, в часах; трудоемкость капитального ремонта, в чел.-часах; удельная суммарная трудоемкость на один год ремонтного цикла, в нормо-часах/тыс. часов; коэффициент готовности  $K_r$ . Однако большинство из перечисленных показателей или не связаны напрямую с характеристиками надежности, или не являются вообще таковыми. Нарботка турбины в генераторном режиме и режиме синхронного компенсатора описывают режимные условия работы оборудования, полный срок службы есть характеристика долговечности машины, а трудоемкость капитального ремонта определяет ремонтпригодность и т. д. Непосредственное отношение к надежности гидроагрегатов имеют только две характеристики: коэффициент готовности

$K_r$  и коэффициент оперативной готовности  $K_{ор}$  [1]. Исходными данными для расчета этих комплексных показателей надежности гидроагрегата являются станционные сведения о продолжительности работы в генераторном режиме  $t_{ген}$ ; продолжительности работы в режиме синхронного компенсатора  $t_{ск}$ ; продолжительности нахождения в резерве  $t_{рез}$ ; суммарном простое в ремонте  $\Sigma t_p$ ; плановом простое в ремонте  $t_{р.пл}$ ; простое в реконструкции  $t_{рек}$  (табл. 1).

Коэффициент оперативной готовности агрегата определяется по формуле:

$$K_{ор} = \frac{t_{ген} + t_{ск} + t_{рез}}{t_k} = \frac{t_k - \Sigma t_p}{t_k}, \quad (1)$$

где  $t_k$  — календарное время в часах.

Этот коэффициент показывает вероятность нахождения агрегата в работоспособном состоянии за рассматриваемый календарный период эксплуатации. Несомненными достоинствами  $K_{ор}$  является простота его определения по отчетным материалам электростанций и возможность объективного сравнения надежности разнообразных видов энергетического оборудования. Недостатком показателя  $K_{ор}$  является то, что он не подразделяет ремонты на плановые и вынужденные. С учетом плановости ремонтов коэффициент готовности  $K_r$  может быть записан в следующем виде:

$$K_r = \frac{t_{ген} + t_{ск} + t_{рез}}{t_k - t_{р.пл}}, \quad (2)$$

где  $t_{р.пл}$  — продолжительность плановых ремонтов в часах. Коэффициент  $K_r$  всегда больше по величине, чем  $K_{ор}$ :

$$K_r = \frac{K_{ор}}{(1 - t_{р.пл}/t_k)}$$

Разница в абсолютных значениях коэффициентов  $K_r$  и  $K_{ор}$  находится, как правило, в пределах 0,03–0,04.

Официальные нормы простоя гидроагрегатов в планово-предупредительных ремонтах были разработаны Минэнерго в советские годы [2]. Простой агрегата в ремонте установлен в них в зависимости от типа турбины, диаметра рабочего колеса и мощности (табл. 2).

Коэффициент готовности  $K_r$  показывает вероятность заставить агрегат в любой момент времени в работоспособном состоянии, кроме периода планируемых ремонтов. Тогда противоположным событием работоспособного агрегата будет его вынужденный простой, а вероятность этого события (аварийность) составит  $q = (1 - K_r)$ . Равнозначным выражением для определения  $q$  является зависимость:

$$q = \frac{t_b}{t_k - t_{р.пл}},$$

где  $t_b$  — продолжительность вынужденных простоев агрегата ( $t_b = \Sigma t_p - t_{р.пл}$ ).

Превышение фактической продолжительности ремонта гидроагрегата над нормативом ( $t_{р.пл}$ ) рассматривается как вынужденный (аварийный) простой оборудования. В таком подходе к определению вынужденных простоев  $t_b$  имеются тонкости, с которыми надо считаться.

На многих ГЭС проводились и проводятся работы, связанные с реконструкцией оборудования. Время реконструкции  $t_{рек}$  не следует учитывать, когда реконструкция связана с изменением проектных показателей оборудования, напри-

Год	Рабочее состояние агрегата, в часах					Простой в ремонте и реконструкции, в часах		$K_{ор}$	$K_{ген}$	$K_{ск}$	$K_{рез}$	$K_{рем}$
	в часах	$t_{ген}$	$t_{ск}$	$t_{рез}$	$t_{х.хода}$	$\Sigma t_{рем}$	$t_{рек}$					
2005	6950	2555	891	3262	242	1810	—	0,793	0,292	0,102	0,400	0,207
2004	8393	4956	55	3108	274	391	—	0,955	0,564	0,006	0,385	0,045
2003	8340	5992	15	2186	147	420	—	0,952	0,684	0,002	0,266	0,048
2002	8157	5415	5	2588	149	603	—	0,931	0,618	0,001	0,312	0,069
2001	7583	6821	1	487	274	1177	—	0,866	0,779	0,000	0,087	0,134
2000	340	323	—	17	—	—	8444	0,039	0,037	0,000	0,002	0,961
1999	4797	4603	2	68	124	—	3963	0,548	0,525	0,000	0,022	0,452
1998	8374	5106	6	3205	57	386	—	0,956	0,583	0,001	0,372	0,044
1997	8541	5065	13	3339	124	219	—	0,975	0,578	0,001	0,395	0,025
1996	8351	5762	—	2458	131	433	—	0,951	0,656	0,000	0,295	0,049
1995	8538	8329	—	10	199	222	—	0,975	0,951	0,000	0,024	0,025
1994	6919	4795	—	2115	10	1841	—	0,790	0,547	0,000	0,243	0,210
1993	8416	4729	1	3352	334	344	—	0,961	0,540	0,000	0,421	0,039
1992	8487	5473	148	2503	363	297	—	0,966	0,623	0,017	0,326	0,034
1991	8458	5875	73	2478	32	302	—	0,966	0,671	0,008	0,287	0,034
1990	7301	3659	46	3184	412	1459	—	0,833	0,418	0,005	0,411	0,167
1989	8151	4058	5	4039	49	609	—	0,930	0,463	0,001	0,467	0,070
1988	8095	4391	2	3605	97	689	—	0,922	0,500	0,000	0,421	0,078
1987	8546	6420	46	1620	460	214	—	0,976	0,733	0,005	0,237	0,024
1986	7273	3742	7	3185	339	1487	—	0,830	0,427	0,001	0,402	0,170
1985	8418	4556	45	3682	135	342	—	0,961	0,520	0,005	0,436	0,039
1984	8641	4022	16	4481	122	143	—	0,984	0,458	0,002	0,524	0,016
1983	8638	5444	6	3085	103	122	—	0,986	0,621	0,001	0,364	0,014
1982	7771	2595	200	4830	146	989	—	0,887	0,296	0,023	0,568	0,113
1981	8038	4817	44	3107	70	722	—	0,918	0,550	0,005	0,363	0,082
1980	8611	6648	2	1654	307	173	—	0,980	0,757	0,000	0,223	0,020
1979	8620	8051	—	184	385	140	—	0,984	0,919	0,000	0,065	0,016
1978	6969	6702	—	158	109	37	1754	0,796	0,765	0,000	0,030	0,204
1977	8599	4642	—	3923	34	161	—	0,982	0,530	0,000	0,452	0,018
1976	8465	4945	—	3422	98	319	—	0,964	0,563	0,000	0,401	0,036
1975	7272	2742	—	4530	—	1488	—	0,830	0,313	0,000	0,517	0,170
$\Sigma$ , час	240053	153233	1629	79866	5326	31699	14161					

Табл. 1. Использование гидроагрегата 1 Красноярской ГЭС

Тип гидротурбины	Диаметр колеса, м	Мощность $N_r$ , МВт	Продолжительность ремонта, календарные сутки			Коэффициент оперативной готовности (плановый), $K_{ор.пл}$	
			в год проведения капитального ремонта				
			в кап. ремонте	в тек. ремонте	всего		
Радиально-осевые турбины	1,5–2,9		22	4	26	6	0,970
	3,0–5,4	$\leq 100$	28	5	33	8	0,961
		$> 100$	30	6	36	9	0,957
	5,5–6,5	$\leq 150$	32	7	39	9	0,955
$> 150$		37	8	45	14	0,940	
	$\geq 7,0$		<b>42</b>	<b>9</b>	<b>51</b>	<b>16</b>	<b>0,932</b>
Поворотные лопастные турбины	$< 3,6$		25	4	29	7	0,966
	3,6–4,5		28	5	33	8	0,961
	5,0–7,5		31	7	38	9	0,956
	8,0–9,5		35	8	43	12	0,946
	$> 9,5$		38	9	47	14	0,939
Капсульные агрегаты	$< 6,0$		30	7	37	9	0,956
	$> 6,0$		35	8	43	9	0,952

- Примечания:  
 1. Периодичность капитальных ремонтов всех типов гидротурбин составляет не менее 4 лет при наработке не менее 25000 час. (ГОСТ 10595-80, п.1.19).  
 2. Продолжительность планово-предупредительного ремонта гидравлических турбин мощностью до 10 МВт не нормируется.  
 3. Нормы продолжительности ремонта гидротурбин в зимних условиях увеличиваются на 10%, а для ГЭС, расположенных в условиях Крайнего Севера, на 15%.  
 4. Выделенные значения относятся к агрегату Красноярской ГЭС.

Табл. 2. Нормы простоя в планово-предупредительных ремонтах гидроагрегатов с разными типами гидротурбин

Год	Агрегат												Значение $\bar{K}_{op}$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	A 1-6	A 7-12
2005	0,793	0,870	0,949	0,967	0,923	0,957	0,000	0,912	0,955	0,967	0,967	0,965	0,910	0,794
2004	0,955	0,779	0,956	0,976	0,873	0,906	0,749	0,169	0,972	0,841	0,957	0,881	0,908	0,761
2003	0,952	0,949	0,963	0,718	0,794	0,420	0,999	0,496	0,969	0,922	0,910	0,800	0,799	0,849
2002	0,931	0,952	0,947	0,973	0,651	0,238	0,933	0,915	0,927	0,896	0,774	0,895	0,782	0,890
2001	0,866	0,969	0,816	0,969	0,026	0,971	0,930	0,858	0,808	1,000	0,914	0,930	0,770	0,907
2000	0,039	0,969	0,954	0,959	0,993	0,833	0,826	0,885	0,898	0,969	0,969	0,969	0,791	0,919
1999	0,548	0,833	0,910	0,197	0,955	0,928	0,947	0,869	0,942	0,836	0,964	0,961	0,729	0,920
1998	0,956	0,963	0,968	0,000	0,957	0,941	0,957	0,955	0,959	0,961	0,950	0,837	0,797	0,936
1997	0,975	0,967	0,686	0,551	0,969	0,932	0,967	0,837	0,884	0,886	0,739	0,961	0,847	0,879
1996	0,951	0,825	0,039	0,960	0,784	0,972	0,838	0,918	0,873	0,969	0,969	0,969	0,755	0,923
1995	0,975	0,004	0,956	0,970	1,000	0,978	0,901	0,979	0,876	0,837	0,969	0,980	0,814	0,924
1994	0,790	0,854	0,972	0,969	0,968	0,845	0,976	0,949	1,000	0,995	0,969	0,845	0,899	0,956
1993	0,961	0,972	0,942	0,809	0,972	0,949	0,940	0,947	0,892	0,969	0,840	0,705	0,934	0,882
1992	0,966	0,942	0,841	0,962	0,972	0,982	0,957	0,913	0,968	0,954	0,926	0,908	0,944	0,938
1991	0,966	0,825	0,969	0,891	0,840	0,969	0,969	0,971	0,730	0,927	0,968	0,944	0,910	0,918
1990	0,833	0,950	0,956	0,978	0,969	0,844	0,857	0,888	0,961	0,945	0,968	0,958	0,922	0,929
1989	0,930	0,957	1,000	0,840	0,962	0,952	0,931	0,969	0,967	0,754	0,918	0,916	0,940	0,909
1988	0,922	0,958	0,856	0,952	0,968	0,960	0,950	0,941	0,968	0,599	0,969	0,846	0,936	0,879
1987	0,976	0,851	0,972	0,957	0,853	0,939	0,967	0,969	0,968	0,967	0,828	0,922	0,925	0,937
1986	0,830	0,979	0,950	0,989	0,981	0,858	0,965	0,812	0,965	0,969	0,975	0,956	0,931	0,940
1985	0,961	0,954	0,981	0,859	0,951	0,958	0,834	0,966	0,805	0,964	0,957	0,951	0,944	0,913
1984	0,984	0,974	0,848	0,965	0,986	0,701	0,985	0,976	0,967	0,826	0,972	0,836	0,910	0,927
1983	0,986	0,837	0,988	0,988	0,884	0,977	0,945	0,967	0,973	0,941	0,832	0,955	0,943	0,935
1982	0,887	0,976	0,972	0,988	0,961	0,873	0,948	0,846	0,993	0,927	0,963	0,963	0,943	0,940
1981	0,918	0,957	0,981	0,840	0,630	1,000	0,839	0,969	0,817	0,891	1,000	0,993	0,888	0,918
1980	0,980	0,982	0,856	0,987	0,000	0,986	0,962	0,983	0,944	0,791	0,988	0,825	0,799	0,916
1979	0,984	0,819	0,997	0,980	0,387	0,643	0,988	0,986	0,932	0,965	0,813	0,925	0,802	0,935
1978	0,796	0,955	0,972	0,916	0,967	0,797	0,978	0,812	0,892	0,978	0,937	0,937	0,900	0,922
1977	0,982	0,957	0,805	0,784	0,900	0,956	0,782	0,954	0,861	0,927	0,922	0,913	0,897	0,893
1976	0,964	0,818	0,967	0,934	0,860	0,956	0,935	0,976	0,953	0,805	0,868	0,951	0,917	0,915
1975	0,830	0,936	0,943	0,927	0,962	0,947	0,923	0,813	0,776	0,908	0,943	0,736	0,924	0,850
С нача- ла экс- плуата- ции	0,883	0,888	0,900	0,863	0,835	0,876	0,893	0,884	0,916	0,906	0,924	0,908	0,874	0,905

Примечание: выделены коэффициенты  $K_{op}$  выше  $K_{op,пл} = 0,932$ .

Табл. 3. Коэффициент оперативной готовности гидроагрегатов Красноярской ГЭС  $K_{op}$  в различные годы

Параметр	Агрегаты	Эксплуатационный период, годы					
		1975-1980	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005
$\bar{K}_{op}^*$	1-6 7-12	0,873 0,905	0,926 0,927	0,931 0,919	0,900 0,923	0,784 0,916	0,834 0,840
$\bar{K}_{ген}^*$	1-6 7-12	0,580 0,263	0,537 0,348	0,682 0,205	0,685 0,252	0,655 0,179	0,572 0,292
$\bar{K}_{ск}^*$	1-6 7-12	0,022 0,077	0,015 0,086	0,006 0,190	0,002 0,212	0,001 0,183	0,008 0,147
$\bar{K}_{рез}^*$	1-6 7-12	0,271 0,565	0,374 0,493	0,243 0,524	0,213 0,459	0,128 0,553	0,253 0,402

Табл. 4. Коэффициент оперативной готовности  $\bar{K}_{op}^*$  для разных периодов эксплуатации двух групп агрегатов 1-6 и 7-12

мер, с увеличением установленной мощности агрегата, внедрением непредусмотренного проектом режима синхронного компенсатора и т. д. В этом случае время вынужденных простоев будет:

$$t_{в} = \sum t_{р} - t_{пл} - t_{рек}$$

Зато реконструкция, связанная с доводкой агрегата до проектных параметров или их поддержанию, должна рассматриваться как вынужденное мероприятие, удлиняющее продолжительность ремонтных работ. В дальнейшем полагается, что все работы по реконструкции имели на Красноярской ГЭС такой характер, и затраченное на реконструкцию время трек не исключалось из общей продолжительности  $\Sigma t_{р}$ .

Для описания режимных условий работы оборудования находились, по станционным сведениям, также следующие характеристики агрегата (см. табл. 1): относительная продолжительность работы турбины в генераторном режиме ( $K_{ген} = t_{ген} / t_{к}$ ); относительная продолжительность режима СК ( $K_{ск} = t_{ск} / t_{к}$ ); относительная продолжительность нахождения в резерве ( $K_{рез} = t_{рез} / t_{к}$ ), а также коэффициент ремонтного простоя ( $K_{рем} = \Sigma t_{рем} / t_{к}$ ). Сумма всех коэффициентов  $K_{ген}$ ,  $K_{ск}$ ,  $K_{рез}$ ,  $K_{рем}$  равна единице.

Рассчитанные по каждому году за период 1975-2005 гг. коэффициенты оперативной готовности  $K_{op}$  агрегатов Красноярской ГЭС представлены в табл. 3.

Плановый коэффициент оперативной готовности агрегатов Красноярской ГЭС оценивается по нормам табл. 2 величиной  $K_{op,пл} = 0,932$ . Фактическое значение коэффициента готовности  $K_{op}$  агрегатов было в течение 30-летнего периода эксплуатации (в большинстве случаев) выше планового и достигало в отдельные годы даже единицы (см. табл. 3). Ситуация  $K_{op} = 1,0$  имеет место в том случае, если продолжительность простоя агрегата в ремонте не превышает планового значения. Приведенные в табл. 3 данные о коэффициенте оперативной готовности машин свидетельствуют о высокой надежности оборудования Красноярской ГЭС.

На основании коэффициентов  $K_{op}$  отдельных машин было рассчитано среднее значение  $\bar{K}_{op}$  по каждому году эксплуатации группы агрегатов 1-6 и группы агрегатов 7-12. Далее, усредняя  $\bar{K}_{op}$  по периодам эксплуатации в 5 лет, получаем картину изменения надежности агрегатов этих двух групп машин за эксплуатационный период с 1975 по 2005 гг. (табл. 4).

Группа машин из агрегатов 7-12 имеет более высокую надежность по сравнению с надежностью группы агрегатов 1-6. Если расположить коэффициенты оперативной готовности агрегатов за весь период эксплуатации в порядке их

снижения, то для указанных групп машин получим следующую картину:

Группа машин	Место в ранжировании					
	1	2	3	4	5	6
1-6	0,900 (A-3)	0,888 (A-2)	0,883 (A-1)	0,876 (A-6)	0,863 (A-4)	0,835 (A-5)
7-12	0,924 (A-11)	0,916 (A-9)	0,908 (A-12)	0,906 (A-10)	0,893 (A-7)	0,84 (A-8)

Более высокая надежность агрегатов 7-12 объясняется тем, что они меньше по времени эксплуатируются в генераторном режиме, чем агрегаты 1-6. Продолжительность работы этих машин в генераторном режиме меньше, чем время нахождения в резерве (см. табл. 4).

Наиболее высокие показатели надежности оборудования имели место в советские годы, их снижение приходится на период после 1995 г. (см. табл. 4). Хотя тенденция снижения надежности оборудования имеет прогрессирующий характер, говорить о катастрофическом снижении надежности машин преждевременно.

## 2. Техническое состояние рабочих колес гидротурбин Красноярской ГЭС

Рабочие колеса являются главным ресурсопределяющим узлом радиально-осевых турбин [3], и поэтому их техническое состояние определяет в основном необходимость замены оборудования после длительного периода эксплуатации (40 лет). Понимая большую важность рабочего колеса в обеспечении надежной эксплуатации машин, остановимся на этом узле подробнее.

По размерам и массе сварные рабочие колеса Красноярской ГЭС являются крупнейшими в мире [4]. В связи с тем, что даже 1/4 часть колеса практически нетранспортабельна по железной дороге, было решено изготавливать колеса целиком на заводе с доставкой на ГЭС водным путем. Ступица выполнена литой из стали 20ГСЛ без пеньков. Обтекаемая водой поверхность ступицы обрабатывалась механически до приварки лопастей, что обеспечило наибольшую точность геометрии проточной части и хорошую базу для установки лопастей. Обод из четырех частей, соединяемых сваркой, выполнен из листового проката стали марки 22К. Он также механически обработан перед приваркой лопастей. Лопасти отливались в кокиль из стали 20ГСЛ. Входные кромки, а также места приварки к ступице и ободу обрабатывались на



Рис. 1. Схема расположения трещин

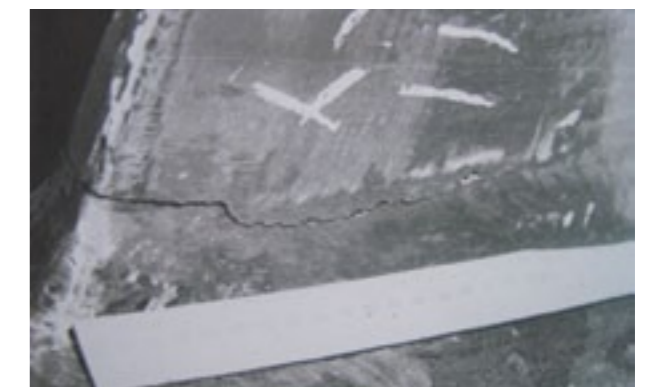


Рис. 2. Трещина на выходной кромке лопасти в зоне обода гидротурбины Красноярской ГЭС



Дата ремонта или осмотра	Наработка с начала эксплуатации, час	Местоположение трещин	Состояние лопастей (длина трещин в мм)													
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I 14.02.69	4505	ж обод			+ скв											
		е ступ.							+						+	
II 01.10.70	14734	ж			45 т.ст											
		е														
III 14.01.74	26 514	ж	10 скв											30 скв		
		е														
IV 10.05.77	56 416	ж	40 скв	40 т.ст	+				50 т.ст	+	50 скв			85 скв	30 скв	
		е					130 т.ст	25 т.ст								
V 12.05.80	78 824	ж	60 скв		70 скв			77 т.ст						150 скв		
		е					+								+	+
VI 31.08.84	104 712	ж	трещин не обнаружено													
		е	трещин не обнаружено													
VII 09.03.88	125 408	ж	трещин не обнаружено													
		е	трещин не обнаружено													
VIII 02.03.92	145 606	ж	трещин не обнаружено													
		е	трещин не обнаружено													
IX 20.01.96	164 429	ж					+									
		е	+													
X	188 055	ж			+											
		е														
XI	223 224	ж	+													
		е														
Общее число повреждений лопасти у ступицы			1			1	2	1								
Общее число повреждений лопасти у обода			4	1	5		1	2	1	1	3			2	2	1

Примечания:  
+ — длина трещины отсутствует  
скв — сквозная трещина  
т.ст. — трещина с тыльной стороны

Табл. 5. Сведения о повреждениях лопастей турбины 3 Красноярской ГЭС

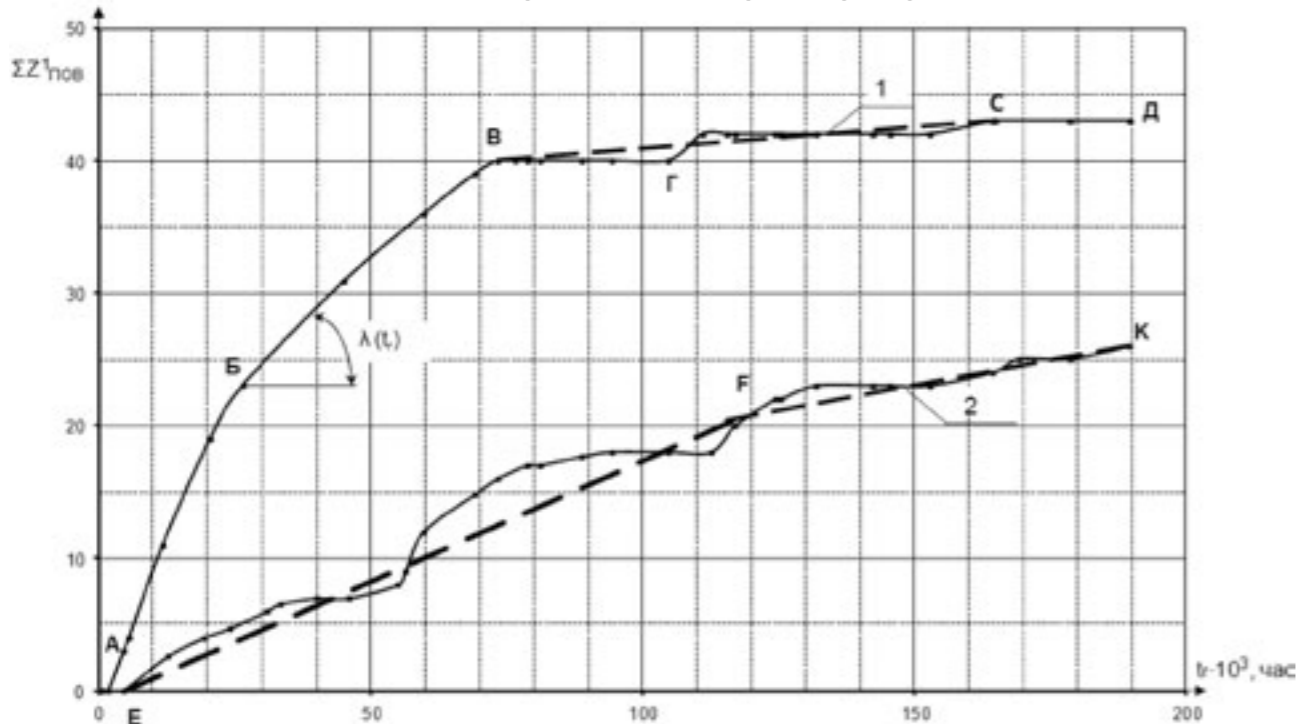


Рис. 3. Нарастание повреждаемости лопастей гидротурбин 1-4 Красноярской ГЭС от времени работы в генераторном режиме  
1. трещины в зоне выходной кромки лопасти и обода (зона «ж»)   
2. трещины в зоне выходной кромки лопасти и ступицы (зона «е»)

Наработка лопастей до обнаружения трещин, час	Номер агрегата	Число поврежденных лопастей		Суммарное число поврежденных лопастей	
		лопастей	в зоне «е»	в зоне «ж»	в зоне «е»
540	1	0	0	0	0
1 670	2	0	0	0	0
4 505	3	3	0	3	0
5 506	1	1	2	4	2
5 981	2	2	1	6	3
10 553	2	0	0	6	3
12 658	4	5	0	11	3
14 734	3	0	0	11	3
19 348	1	8	2	19	5
24 080	2	2	0	21	5
26 514	3	2	1	23	6
28 039	1	0	0	23	6
30 981	4	4	1	27	7
39 988	1	0	0	27	7
45 982	2	3	0	30	7
54 968	1	1	1	31	8
56 416	3	5	1	36	9
59 730	4	0	3	36	12
69 141	2	3	2	39	14
73 394	4	1	2	40	16
76 585	1	0	0	40	16
78 824	3	0	1	40	17
81 157	4	0	0	40	17
88 831	2	0	0	40	17
94 366	1	0	1	40	18
104 712	3	0	0	40	18
111 039	4	0	0	42	18
115 530	1	0	2	42	20
117 049	2	0	0	42	20
124 452	4	0	2	42	22
125 408	3	0	0	42	22
131 982	1	0	1	42	23
142 413	2	0	0	42	23
145 606	3	0	0	42	23
152 914	4	0	0	42	23
164 429	3	1	1	43	24
164 912	1	0	1	43	25
178 686	4	0	0	43	25
189 683	1	0	1	43	26
223 224	3	0	0	43	26

Табл. 6. Сведения по образованию первых трещин на лопастях рабочих колес Красноярской ГЭС

станке. Облицовка лопастей — ленточными электродами из сталей 30Х10Г10, 0Х13 и 1Х18Н9Т.

Трещинообразование лопастей имело место на всех агрегатах (рис. 1).

Трещины в зонах f и h носили эпизодический характер, тогда как разрушения в зонах ж и е наблюдались в массовом порядке. По этой причине состояние рабочих колес оценивается ниже только по эксплуатационным данным о повреждениях лопастей в зонах ж и е. Трещины в указанных зонах начинались от выходной кромки лопасти и шли по телу лопасти, как правило, на некотором удалении (20–50 мм) от обода или ступицы (рис. 2). Длина трещин могла быть самой разнообразной.

Первыми введенными в работу агрегатами были турбины со стационарными номерами 1–4. Статистические данные о повреждениях лопастей этих турбин с начала эксплуатации были собраны по форме, приведенной в табл. 5. Полагалось, что время работы агрегата в генераторном режиме до осмотра соответствовало наработке лопасти до образования повреждения.

Статистика повреждения лопастей показала, что основная масса разрушений приходилась на первые годы эксплуатации на область выходной кромки и обода (зона ж). В последние годы положение дел резко улучшилось. На рабочих

колесах 1 и 4 трещин в этой области не наблюдается вообще (соответственно после 1978 и 1989 гг.), а на турбинах 2 и 3 трещины обнаруживаются при осмотрах за последние 10 лет не более чем на одной-двух лопастях.

В табл. 6 показано нарастание повреждаемости лопастей турбин 1–4 с начала эксплуатации от времени наработки лопастей в генераторном режиме. В табл. представлены лопасти на момент обнаружения первый раз повреждения (трещины) в зонах ж и е. Лопасти с повторными повреждениями исключены из анализа.

В графическом виде данные табл. 6 показаны на рис. 3. Угол наклона кривых  $\Sigma Z^1_{пов} = f(t_p)$  к оси времени характеризует интенсивность отказа лопастей  $\lambda(t_p)$ . Под отказом понимается образование трещины на лопасти.

Математическое выражение для определения интенсивности отказа лопастей, например, на участке Б-В записывается следующим образом:

$$\lambda(t_p) = \frac{Z^1_{пов}(t_p)}{\Delta t_p \cdot Z_n(t_p)},$$

где:  $\Delta t_p$  — продолжительность временного участка Б-В, в часах;

$Z'_{пов}(t_p)$  — число лопастей, на которых впервые обнаружены трещины в области «ж» за период наработки  $\Delta t_p$ ;  
 $Z_n(t_p)$  — число неповрежденных лопастей в области «ж» в начале интервала  $\Delta t_p$ .

Расчеты интенсивности отказа лопастей в зоне «ж» для различных временных участков на рис. 3 дали следующие значения

- участок А-Б —  $\lambda(t_p) = 1,67 \cdot 10^{-5} 1/ч$ ;
- участок Б-В —  $\lambda(t_p) = 1,10 \cdot 10^{-5} 1/ч$ ;
- участок В-С —  $\lambda(t_p) = 0,08 \cdot 10^{-5} 1/ч$ ;
- участок С-Д —  $\lambda(t_p) = 0,00$ .

Эти данные позволяют сделать два вывода:

- массовое образование трещин в области «ж» на временном участке А-Б было связано с начальным периодом эксплуатации рабочих колес (его продолжительность составила около 75 000 часов наработки в генераторном режиме);
- говорить о выработке ресурса лопастями в зоне «ж» нет никаких оснований (за последние 150 000 часов наработки машин в генераторном режиме новых трещин практически не появлялось в этой зоне лопастей).

Число поврежденных лопастей в зоне «е» значительно меньше количества лопастей с трещинами в зоне «ж». За 40 лет работы турбин (более 220 000 часов в генераторном режиме) число лопастей с трещинами в зоне «е» составило 26 штук из 56 (общее число лопастей на четырех машинах), тогда как повреждения в зоне «ж» имели место на 43 лопастях.

Если повреждаемость лопастей в зоне «ж» давно прекратилась, то число поврежденных лопастей в зоне «е» постепенно нарастает (см. рис. 3). Однако интенсивность отказов лопастей здесь пока также незначительна. Осредненная на временном участке Е-Ф интенсивность отказа лопастей в зоне «е» равна  $\lambda(t_p) = 0,3 \cdot 10^{-5} 1/ч$ , а на участке К-Ф она снизилась до  $\lambda(t_p) = 0,16 \cdot 10^{-5} 1/ч$ .

Механизм трещинообразования рабочих колес в первые годы эксплуатации можно объяснить следующим образом.

Разрушение лопастных систем вызывается совместным действием двух основных факторов: высоким уровнем остаточных напряжений и дефектов структуры металла (технологический фактор) и динамическими нагрузками на эксплуатационных режимах (режимный фактор). В таком представлении механизма разрушения лопастей рабочим статическим напряжениям отводится второстепенная роль, поскольку их величина существенно ниже значений остаточных напряжений. Так по расчетным данным статические рабочие напряжения для наиболее нагруженного режима ( $N_r = 508 \text{ МВт}$  при  $H_p = 93 \text{ м}$ ) составляют в зоне обода и выходной кромки лопасти  $\sigma_{ст} = 50 \text{ МПа}$ , а в зоне ступицы и выходной кромки  $\sigma_{ст} = 129 \text{ МПа}$ . Натурные прочностные испытания ЛМЗ, выполненные на двух агрегатах при напорах 91,5 м; 93,0 м; 97,4 м, также не выявили больших рабочих напряжений. Статическая составляющая напряжений вблизи обода не превышала 52 МПа и слабо зависела от мощности агрегата. Осредненный на лопастях уровень рабочих напряжений в зоне ступицы и выходной кромки на режиме максимальной мощности ( $N_r = 508 \text{ МВт}$ ) был равен 90 МПа, хотя на отдельных лопастях были зафиксированы статические напряжения до 170 МПа.

Зато остаточные (сварочные) напряжения имели в начальный период эксплуатации существенно более высокие значения. По технологии изготовления рабочих колес Красноярской ГЭС последний сварной шов приходился на область соединения лопастей с ободом (зона «ж» на рис.1). По данным заводских измерений уровень остаточных напряжений в этой области мог достигать 300-400 МПа, тогда как в зоне ступицы напряжения были, как правило, не более 65 МПа.

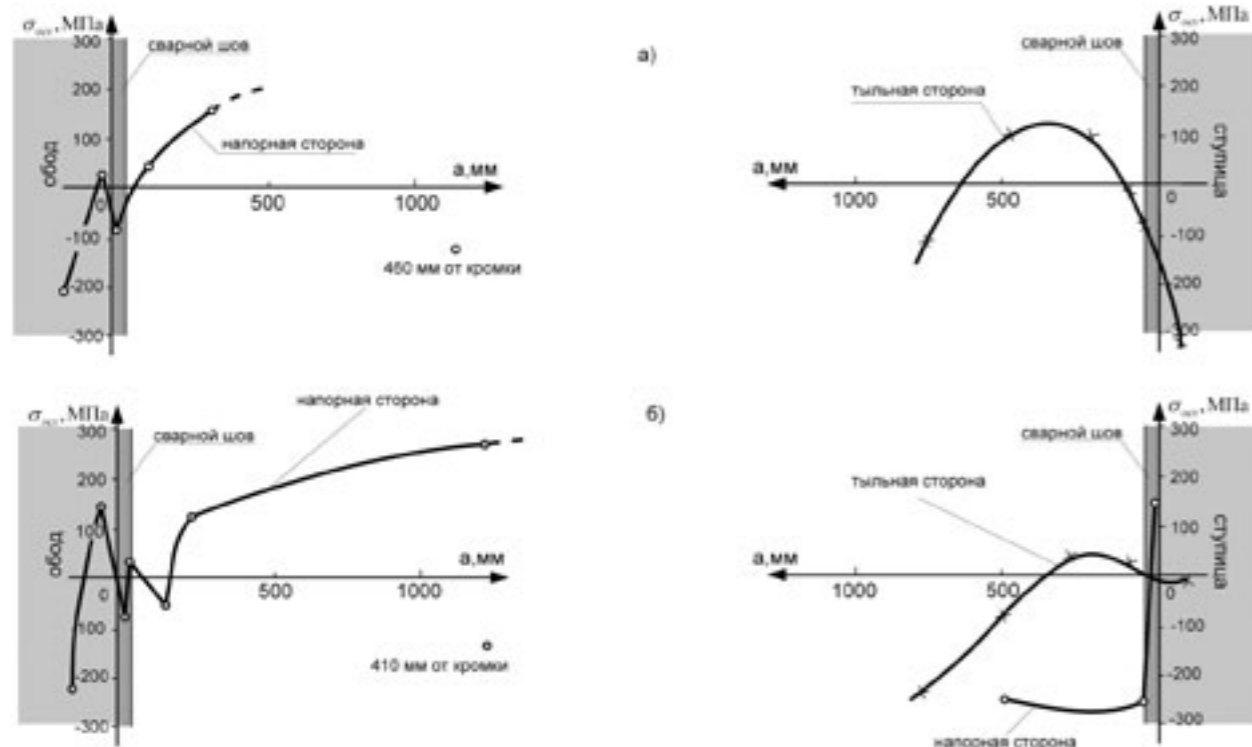


Рис. 4. Распределение остаточных напряжений вдоль выходной кромки лопастей в области обода и ступицы турбины Красноярской ГЭС  
 а) лопасть после ремонта; б) лопасть, не имевшая повреждений

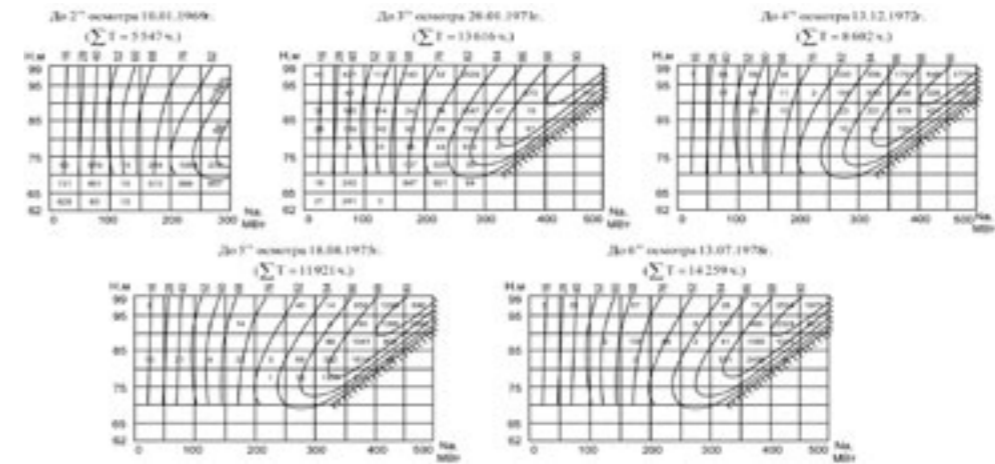


Рис. 5. Топограммы режимов H-N<sub>1</sub> агрегата 1 Красноярской ГЭС по отдельным межремонтным периодам, в часах

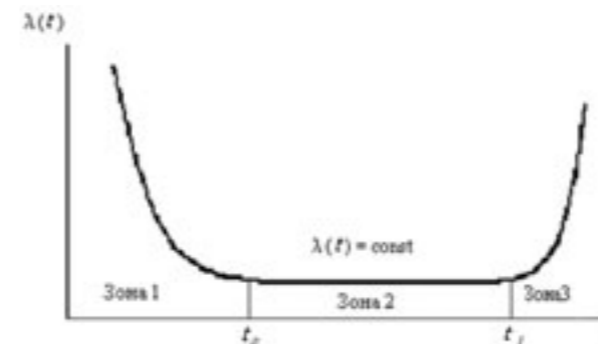


Рис. 6. Интенсивность отказа материального объекта

Возникновение трещин всегда сопровождается освобождением металла от внутренних напряжений; происходит разгрузка материала, прилегающего к боковым сторонам трещины. В то же время острая вершина трещины является сильнейшим концентратором напряжений, что провоцирует дальнейшее распространение возникшей трещины. Поэтому присутствие в лопасти трещины любого размера несет в себе потенциальную опасность разрушения всей лопасти (отрыва ее от ступицы или обода). При ремонте (после выплавки материала, окружающего трещину, и последующей заварки образовавшейся полости) происходит восстановление работоспособности лопасти. После многократных заварок появляющихся трещин рабочее колесо становится, в целом, менее напряженным (рабочее колесо постепенно освобождается от заводского высокого уровня сварочных напряжений). Кроме того ликвидируются (выплавляются) внутренние дефекты материала, через которые (или вблизи них) проходили трещины. Следствием этого процесса является уменьшение числа повторных трещин (нередко до нуля) на тех же самых режимах работы оборудования. Такая картина имела место на большинстве крупных и мощных ГЭС с турбинами радиально-осевого типа, и Красноярская ГЭС не является в этом отношении исключением.

НПО ЦКТИ совместно с кафедрой физики металлов Санкт-Петербургского Политехнического университета выполнил после 30 лет эксплуатации машин измерение остаточных напряжений на лопастях турбины 2 рентгенографическим методом. Напряжения измерялись в зоне обода и ступицы на двух лопастях, одна из которых не имела никогда трещин, а другая подверглась ремонту (рис. 4). Лопасть, прошедшая ремонт, имела меньший уровень остаточных напряжений, чем не имевшая

трещин лопасть. Экстремальные значения напряжений у не имевшей трещин лопасти составили +265 МПа, тогда как у лопасти после ремонта они равнялись +130 МПа.

Максимальные значения растягивающих остаточных напряжений наблюдались в экспериментах НПО ЦКТИ на удалении от места массового разрушения лопастей. В зоне галтельного перехода (у ступицы) зафиксированы растягивающие напряжения только у лопасти без повреждений. Отметим, что присутствие в лопастях высоких остаточных напряжений на удалении от зоны сварного шва фиксируется не только рентгенографическим методом. В экспериментах ЛМЗ мало разрушающим методом наблюдалась аналогичная картина.

Наиболее высокий уровень растягивающих остаточных напряжений находится сегодня выше зоны образования трещин на лопастях и не представляет опасности. Но в начальный период эксплуатации распределение остаточных напряжений было иным и являлось, одной из основных причин повреждений лопастей. Возникновение трещин в лопастях с последующей их заваркой привело не только к освобождению металла от больших заводских остаточных напряжений, но и к их перераспределению по лопасти. Уровень максимальных растягивающих напряжений снизился, и область их существования отодвинулась от зоны сварных швов.

На фоне большого влияния технологического фактора роль режимных условий в трещинообразовании лопастей не всегда может быть выявлена. Однако изучение опыта эксплуатации гидротурбин на различных ГЭС обнаруживает общую устойчивую тенденцию влияния режимов на повреждаемость лопастей: по мере повышения напора и соответственно увеличения мощности турбин интенсивность отказа лопастей возрастает.

Такое заключение, на первый взгляд, может показаться неожиданным, так как, по общепринятой точке зрения, наиболее опасными в отношении усталостной прочности машин считаются низкие (пусковые) значения напора. Объяснение этому опытному фактору следует искать в характере изменения гидродинамических нагрузок на лопастьную систему с ростом напора. Прочностные исследования свидетельствуют, что в спектре динамических напряжений всегда присутствуют высокочастотные составляющие. С повышением напора увеличивается их доля (для турбин с напором  $H \geq 100 \text{ м}$  она составляет 60-80 % от общего уровня динамических напряжений) и возрастает частота самих колебаний. Указанные высокочастотные динамические напряжения имеют одну при-

роду — они вызываются срывом вихрей с выходных кромок лопастей.

Различные сочетания уровня остаточных напряжений (технологический фактор) и гидродинамических нагрузок (режим работы турбины) дают самые разнообразные графики изменения интенсивности отказов лопастей для турбин одной и той же ГЭС. В отдельных случаях все дефектные лопасти выявляются при сравнительно небольших нагрузках (при низких значениях напора и мощности агрегата), но в большинстве случаев — по мере форсирования режима работы турбины (увеличения скорости потока). Часто бывает так, что после периода трещинообразования наступает такой период эксплуатации, когда новых поврежденных лопастей не обнаруживается на том же самом режиме работы турбины. По существу это означает, что приработочный период лопастей завершился **для данного режима**, и они должны были бы работать без трещин в течение длительного времени. Уровень остаточных напряжений оставшихся неповрежденных лопастей оказывается не опасным для высокочастотных гидродинамических нагрузок данного режима. Но агрегат переводится на форсированный режим с более высокими гидродинамическими нагрузками (увеличивается напор на ГЭС и соответственно мощность турбины), и остаточные напряжения, допустимые для предыдущего режима, становятся опасными для нового форсированного режима. В результате выходит из строя часть ранее неповрежденных лопастей (а иногда и все лопасти). Наступает опять приработочный период лопастей, но уже для **нового форсированного режима**. Процесс выбраковки заводских дефектных лопастей протекает до тех пор, пока все лопасти не проработают некоторое время на расчетном или близком к нему режимах (расчетный режим турбины является, как правило, наиболее тяжелым в отношении высокочастотных гидродинамических нагрузок). Вследствие затяжного характера наполнения водохранилища Красноярской ГЭС турбины длительное время выходили на расчетный режим, и процесс выбраковки дефектных лопастей оказался сильно растянутым по времени (на несколько лет). Топограммы режимов агрегата 1 с начала эксплуатации до прекращения трещинообразования лопастей показаны на **рис. 5**.

Процесс выбраковки лопастей не для всех агрегатов Красноярской ГЭС был столь растянутым по времени, как это имело место на турбинах 1–4. Последние агрегаты этой ГЭС (станционные номера 9–12) пускались при расчетных значениях напора и мощности. В этом случае трещины в зоне «ж» были выявлены на всех лопастях уже при первых осмотрах рабочих колес (через  $9 \cdot 10^3$ – $20 \cdot 10^3$  часов наработки).

Как известно, отказы всех объектов материального мира подчиняются экспоненциальному закону, а интенсивность отказов имеет «корытообразную» форму (**рис. 6**). Для первого периода эксплуатации (зона 1) интенсивность отказа исследуемого объекта может быть велика вследствие проявления приработочных отказов, вызываемых несовершенством конструкции, качеством его изготовления и монтажа. На втором участке ( $t_0$ – $t_1$ ) интенсивность отказов стабилизируется и остается постоянной длительное время, **если сохраняются неизменными условия работы объекта**. Отказы, происходящие на участке  $t_0$ – $t_1$ , называются вероятностными, они имеют эпизодический характер (может даже не быть отказов). Процессы, происходящие на участке  $t > t_1$ , характеризуются выработкой

ресурса объектом, в результате чего наступает «лавина» отказов, и функционирование объекта прекращается.

Анализ данных опыта эксплуатации по разрушению рабочих колес Красноярской ГЭС с позиций критериев надежности приводит к следующему заключению.

Массовое образование трещин в месте стыка выходной кромки лопастей с ободом было вызвано приработочными отказами. Из-за постепенного характера наполнения водохранилища продолжительность приработочного периода составила  $75 \cdot 10^3$  часов для агрегатов 1–4 (растянулась примерно на 15 лет). После завершения приработочного периода характер отказов лопастей с позиций теории надежности (графика на **рис. 6**) изменился. Имеющиеся сегодня случаи отказа лопастей (трещины в месте стыка выходной кромки и ступицы) связаны с постепенным, длительным процессом накопления усталости металла (зона 2 на **рис. 6**). Низкая интенсивность отказов лопастей позволяет утверждать, что рабочие колеса даже не приблизились к началу выработки ресурса, определяемому зоной 3 на **рис. 6**. Но в конечном итоге, по мере развития усталостных явлений в металле, рабочие колеса обязательно попадут в зону 3 «лавинообразных» отказов. Чтобы определить оценочно время наступления выработки ресурса лопастями, требуется проведение специальных расчетно-экспериментальных исследований.

#### ВЫВОДЫ

1. Фактические значения коэффициента оперативной готовности агрегатов Красноярской ГЭС были в течение эксплуатационного периода (1975–2005 гг.) в большинстве случаев выше планового (см. **табл. 3**), что свидетельствует о высокой надежности оборудования. Из-за меньшей наработки в генераторном режиме агрегатов 7–12 их коэффициент готовности имеет более высокие значения, чем коэффициент готовности агрегатов 1–6. Вместе с тем в последние годы наметилась прогрессирующая тенденция снижения коэффициента оперативной готовности машин (см. **табл. 4**).

2. Рабочие колеса турбин Красноярской ГЭС не выработали своего ресурса. Интенсивность трещинообразования лопастей в зоне выходной кромки и обода (зона «ж» на **рис. 1**) снизилась в настоящее время до нуля (см. **рис. 3**), хотя в первые годы разрушение лопастей в этой зоне носило массовый характер. Интенсивность появления трещин в зоне выходной кромки лопастей и ступицы (здесь следует ожидать выработки ресурса лопастями) пока также незначительна (см. **рис. 3**). Чтобы оценить время наступления выработки ресурса лопастями, рекомендуется провести специальные расчетно-экспериментальные исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Иванченко И. П., Прокопенко А. Н. *Комплексные показатели надежности гидроагрегатов // Надежность и безопасность энергетики №3(18), М., 2012. С. 63–66.*
- Справочник по эксплуатации и ремонту гидротурбинного оборудования / под редакцией Штерна Е. П., М.: Энергоатомиздат, 1985. С. 259.*
- Иванченко И. П. *Принципы оценки остаточного ресурса гидротурбин по данным опыта эксплуатации. Труды НПО ЦКТИ, №290, 2002. С. 141–159.*
- Броновский Г. А., Гольдфарб А. И., Фасулати Р. К. *Технология гидро-турбостроения. Л., Машиностроение, 1978. С. 192.*

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПЛОТИНЫ КРАСНОЯРСКОЙ ГЭС



**Золотухин Е. П.**,  
канд. техн. наук, заместитель  
директора по научной работе



**Кузьменко А. П.**,  
канд. техн. наук, старший  
научный сотрудник



**Воробьева Д. Б.**,  
младший научный сотрудник

**Аннотация.** Описан подход дополнительного контроля технического состояния плотин гидроэлектростанций (ГЭС) на основе анализа изменения их динамических характеристик, полученных с помощью автоматизированной системы регистрации землетрясений и мониторинга по микросейсмическим колебаниям сооружения. Описана структура разработанной системы, приведены результаты сейсмометрического мониторинга плотины Красноярской ГЭС.

**Ключевые слова:** автоматизированная система сейсмометрического мониторинга, безопасность гидротехнических сооружений (ГТС), регистрация землетрясений, динамические характеристики ГТС.

**Abstract.** An approach is described that has been developed for auxiliary monitoring of technical condition of hydropower plant dams. It is based on analysis of changes in dynamic characteristics of dams obtained by an automated monitoring and earthquake registration system that records microseismic vibrations of structures. The configuration of the system as well as the results of seismometric monitoring of the dam of Krasnoyarsk hydroelectric power plant are described.

**Keywords:** automated system for seismometric monitoring, safety hydroelectric power plants, earthquake detection, dynamic characteristics of dams, microseismic vibrations.

ОАО «Красноярская ГЭС» уделяет большое внимание надежности и безопасности гидротехнических сооружений, ведет сотрудничество с научно-исследовательскими организациями по разработке, совершенствованию и внедрению новых методов и средств оценки технического состояния плотины ГЭС и предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Одним из таких методов является способ оценки технического состояния объектов, основанный на анализе изменения их динамических характеристик: собственных частот и форм колебаний, декрементов затухания, реакции сооружения на сейсмическое событие и т. п. Наиболее простым и понятным диагностическим параметром технического состояния плотины являются частоты собственных колебаний плотины по трем главным осям. Они могут изменяться в процессе эксплуатации при изменении свойств материала (бетона) плотины и ее основания, а также условий сопряжения тела плотины с основанием. Кроме того, частоты меняются в зависимости от уровня верхнего бьефа (УВБ) и температуры окружающего воздуха (сезонные изменения).

Для определения динамических характеристик плотины Красноярской ГЭС регулярно, с периодичностью раз в 5 лет, специалисты Конструкторско-технологического института вычислительной техники СО РАН (КИ ВТ СО РАН) проводят детальное сейсмометрическое обследование сооружения при минимальном и максимальном УВБ.

Для непрерывного контроля технического состояния гидротехнических сооружений КТИ ВТ СО РАН совместно с

Югорским НИИ информационных технологий был разработан Программно-аппаратный комплекс мониторинга и регистрации землетрясений Красноярской ГЭС (ПАК МЗ). Данная система установлена и успешно эксплуатируется на плотины Красноярской ГЭС с 2010 г.

Преимуществом указанной системы является совмещение в ней двух основных функций:

- автоматической непрерывной регистрации колебаний плотины в режиме реального времени для выделения сейсмических событий (землетрясений, взрывов и т. п.) с оценкой их воздействия на плотину;
- периодической регистрации микроколебаний плотины под воздействием динамических нагрузок от функционирующего на ГЭС оборудования и микросейсмического фона для мониторинга технического состояния плотины по динамическим характеристикам.

Автоматизированная система мониторинга технического состояния и регистрации землетрясений подразделяется на три уровня (**рис. 1**).

Первый уровень — нижний — пункты наблюдения, состоящие из десяти трехкомпонентных пьезоэлектрических датчиков ускорения с сигнальными кабелями.

Второй уровень — средний — пункт сбора, оцифровки и передачи сейсмометрической информации по оптоволоконной линии связи на верхний уровень.

Третий уровень — верхний — информационно-аналитический центр, представляющий собой сервер с автоматизи-

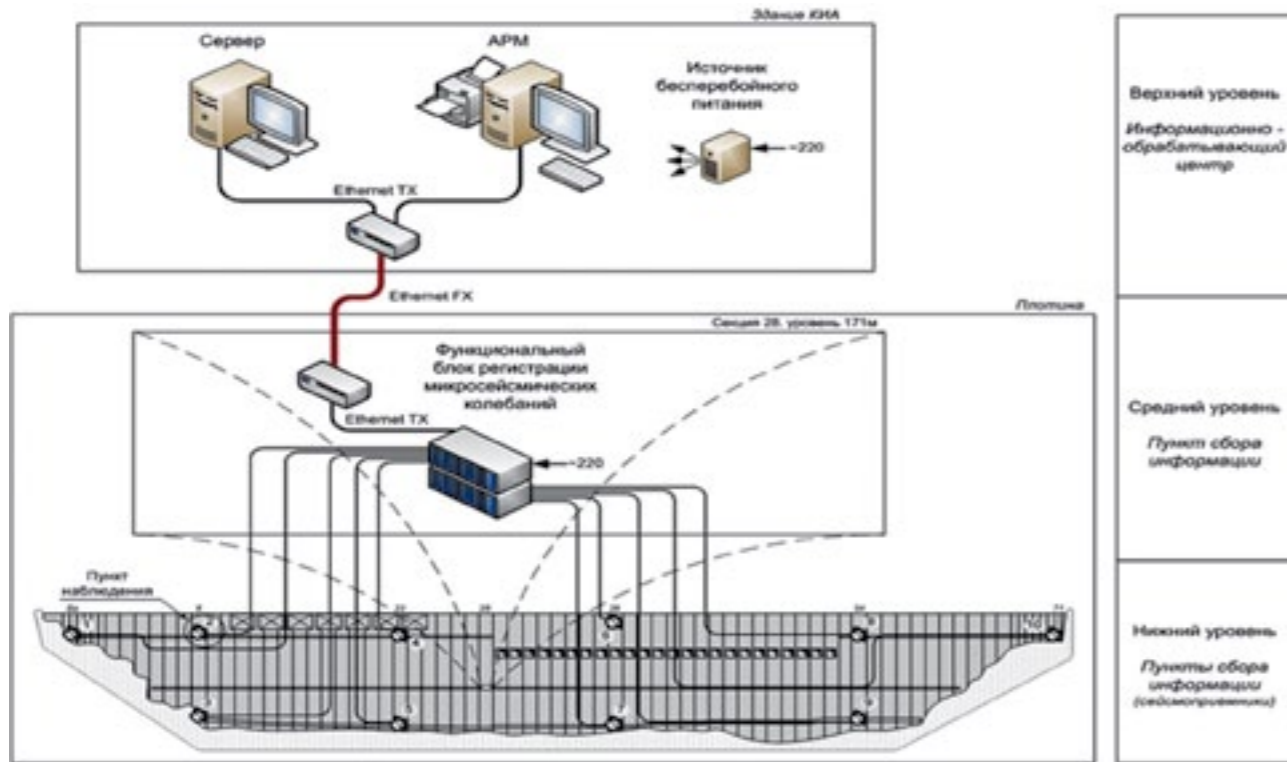


Рис. 1. Схема размещения функциональных блоков ПАК МЗ и расположения пунктов наблюдения на плотине Красноярской ГЭС

рованным рабочим местом (АРМ) оператора и АРМ специалиста-исследователя.

Для обработки данных мониторинга разработаны специализированные программы обработки, визуализации и интерпретации (программы зарегистрированы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности).

Автоматизированная система предназначена для регистрации и оценки интенсивности сейсмических событий, оповещения персонала ГЭС по электронной почте, локальной сети и SMS; составления отчетов о зарегистрированных событиях.

Кроме того, система осуществляет мониторинг технического состояния плотины: регистрацию микросейсмических колебаний плотины по расписанию (минимум дважды в сутки), непрерывную запись колебаний плотины для сохранения предыстории регистрируемых событий, обработку получен-

ных данных мониторинга для определения динамических характеристик и визуализации данных наблюдений в реальном времени (рис. 2).

С помощью системы за время эксплуатации были зарегистрированы 3 землетрясения интенсивностью около 3 баллов (рис. 3), а также накоплен уникальный материал по сейсмометрическому мониторингу плотины.

Благодаря внедрению ПАК МЗ на ОАО «Красноярской ГЭС» были впервые получены графики сезонного изменения первых четырех частот форм поперечных колебаний плотины (рис. 4).

По данным аппроксимации частот построен график линейной зависимости первых частот собственных форм поперечных колебаний плотины от УВБ (рис. 5) с высокой величиной достоверности аппроксимации.

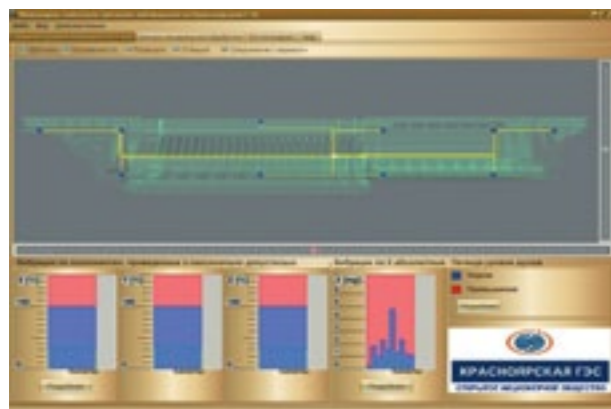


Рис. 2. Визуализация данных вибрации плотины Красноярской ГЭС

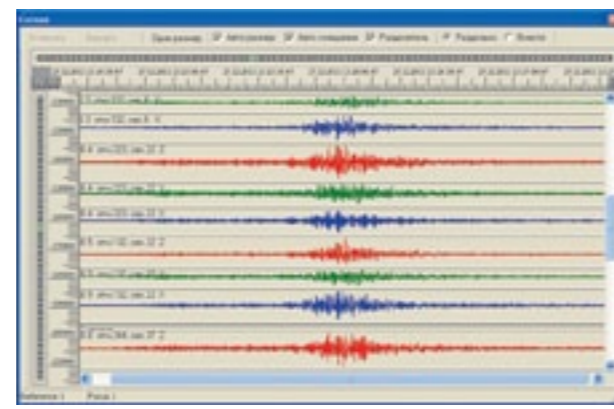


Рис. 3. Акселерограмма зарегистрированного землетрясения 27 декабря 2011 г.

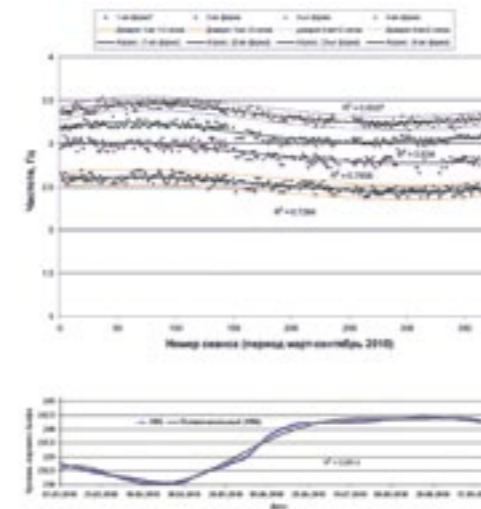


Рис. 4. Изменение частот собственных поперечных колебаний плотины Красноярской ГЭС за период мониторинга март-сентябрь 2010 г.: а) первые четыре частоты; б) изменение уровня верхнего бьефа

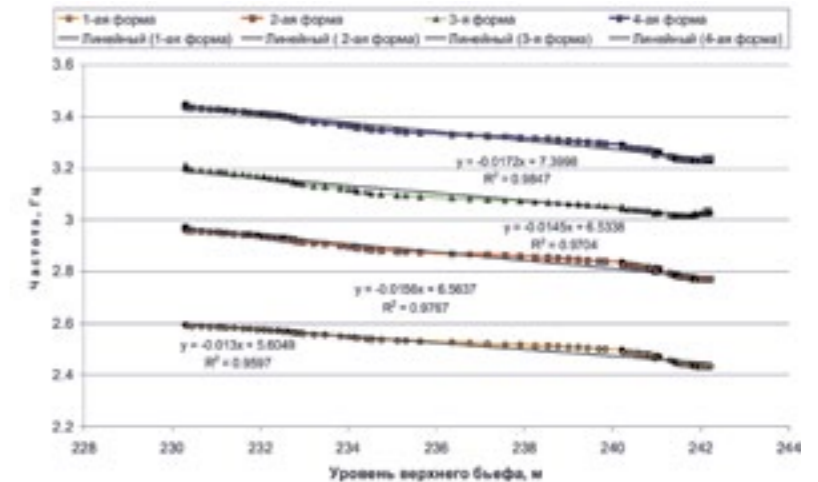


Рис. 5. Зависимость первых четырех частот собственных форм поперечных колебаний плотины от УВБ за период наполнения водохранилища

Эксплуатация ПАК МЗ на Красноярской ГЭС показала принципиальную возможность определения сезонных изменений частот форм поперечных колебаний гравитационной плотины с точностью, достаточной для осуществления мониторинга плотины по частотам собственных колебаний.

ОАО «Красноярская ГЭС» стала первым предприятием энергетической отрасли в регионе, внедрившим современные методы сейсмометрического мониторинга технического состояния гидротехнических сооружений.

Коммерческое предложение

Данная автоматизированная система со специализированным программным обеспечением может быть поставлена под заказ для регистрации землетрясений и мониторинга не только для плотин ГЭС, но и для других особо опасных, технически сложных и уникальных объектов, как то: мосты, тоннели, крупные промышленные объекты, высотные здания, стадионы и др. Структура и стоимость системы зависят от индивидуальных особенностей сооружения и определяются по результатам предварительного сейсмометрического обследования.

Использование автоматизированной системы позволит обеспечить постоянный и периодический контроль технического состояния зданий и сооружений, оптимизировать сроки капитального ремонта и вывода аварийных объектов из эксплуатации, своевременно принимать меры безопасности для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах.

**ОБ ИНСТИТУТЕ**

Конструкторско-технологический институт вычислительной техники Сибирского отделения РАН (КТИ ВТ СО РАН) создан постановлением Президиума СО АН СССР № 493 от 16 октября 1990 г. на базе Специального конструкторского бюро вычислительной техники СО АН СССР.

Основными научными направлениями деятельности института являются:

- 1) создание систем информатики, информационно-коммуникационных технологий в задачах принятия решений;
- 2) математическое моделирование и вычислительные технологии в области механики сплошной среды, физики, энергетики и экологии.

Институт выполняет фундаментальные и прикладные научные исследования, опытно-конструкторские работы в следующих областях:

- автоматизация и информатизация в научных исследованиях и промышленности;
- научное приборостроение;
- биомедицинская информатика;
- цифровая обработка сигналов.

Институт занимает лидирующее положение в разработке систем автоматизации технологических процессов и разработке информационных систем федерального и регионального уровней.

Наряду с фундаментальными исследованиями по основным научным направлениям, в КТИ ВТ СО РАН выполняются опытно-конструкторские и проектные работы по созданию систем, приборов и устройств, реализации проектов на объектах заказчиков, а также выпуск малых партий наукоемкой продукции, как на собственной опытно-производственной базе, так и на промышленных предприятиях с последующей ее реализацией на рынке.

Институт имеет свидетельство о допуске к определенному виду или видам работ (СРО), которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства, от 30 апреля 2013 г. № П-175-5408105383-01.

630090 г. Новосибирск, ул. Академика Ржанова, 6  
Тел./факс (8-383) 330-93-61  
E-mail: beht@kti.nsc.ru  
http://kti.nsc.ru



## КРАСНОЯРСКАЯ ГЭС — В ОСНОВЕ ЭНЕРГЕТИКИ СИБИРИ

Красноярская ГЭС входит в десятку крупнейших гидроэлектростанций мира. Является одним из основных производителей электроэнергии в Сибири. Расположена у города Дивногорска, в том месте, где самая полноводная река России — Енисей — пересекает отроги Восточного Саяна, это также центральная часть сибирской энергосистемы.

Красноярская ГЭС выполняет несколько базовых функций: выработка электроэнергии, оказание системных услуг (поддержание определенного уровня напряжения в контрольных точках энергосистемы, а также осуществление перетока электроэнергии через открытое распределительное устройство (ОРУ) напряжением 500 кВ по транзиту Запад — Восток). Также Красноярская ГЭС обеспечивает снабжение потребителей с точки зрения эксплуатации устройств противоаварийной автоматики.

Установленная мощность Красноярской ГЭС — 6000 МВт. В России ее опережает только Саяно-Шушенская. Среднегодовая выработка гидроэлектростанции — 18,3 млрд кВт·ч, что позволяет удовлетворять более 50% потребности Красноярского края в электроэнергии. В российском производстве доля Красноярской ГЭС может составлять около 2,5%.

История гидроэлектростанции началась в 1954 г., когда в Красноярский край прибыла первая бригада исследователей, которые должны были определить, на каком участке реки будет создана новая ГЭС. В итоге комиссия утвердила Шумихинский створ. Уже на следующий год на строительной

площадке вырос поселок энергетиков — ныне город Дивногорск. ГЭС возводилась 16 лет. В 1972 г. Красноярская гидроэлектростанция была сдана в промышленную эксплуатацию.

Строительство Красноярской ГЭС осуществлялось по проекту Ленинградского отделения института «Гидроэнергоспроект». Все строительные работы проводились под защитой земляных перемычек. В первую очередь строились водосбросная плотина и часть глухой левобережной плотины, а с момента перекрытия Енисея — 25 марта 1963 г. — развернулось основное строительство гидроэлектростанции в правобережном котловане. Расходы воды пропускались вначале через «гребенку» плотины, а в последующем — только через донные отверстия в водосбросной и глухой частях плотины.

В процессе возведения сооружений гидроузла в суровых климатических условиях Восточной Сибири выполнены большие объемы строительных и монтажных работ: переработано 9450 тыс. м мягких грунтов, вынута 6400 тыс. м скальной породы, уложено 5765 тыс. м бетона и железобетона, смонтировано 118 тыс. т металлических конструкций, механизмов и оборудования.

С вводом станции в действие в Красноярском крае и во всей Сибири началась новая жизнь. Гигантские объемы вырабатываемой энергии стали основой для создания крупнейших производств черной и цветной металлургии, химической и деревообрабатывающей промышленности. Предприятия строились одно за другим, а вместе с ними выросли целые города и поселки.

Красноярская ГЭС является важнейшим элементом Объединенной энергосистемы Сибири (ОЭС Сибири) и обеспечивает покрытие сезонной, недельной и суточной неравномерности нагрузки, принимая на себя значительную часть аварийного и вращающегося резерва мощности для регулирования частоты и напряжения. Поддержание системной надежности обеспечивается за счет высокого уровня квалифицированной эксплуатации оборудования самой ГЭС, его своевременной диагностики, выполнения полного объема планово-предупредительных капитальных и текущих ремонтов, модернизации целого комплекса оборудования.

### Время возведения ГЭС можно разделить на четыре периода:

1. Начальный. С 1956 по 1958 гг. — комплектация строительными кадрами, оснащение механизмами и транспортными средствами, строительство временного жилья, складов, дорог и линий электропередач.
2. Подготовительный. С 1959 по 1961 гг. — создание основной производственной базы.
3. Период основных работ — от начала укладки бетона (август 1961 г.) до пуска первых агрегатов (ноябрь 1967 г.).
4. Завершающий. С 1968 по 1972 гг. — окончание строительства ГЭС и ввод в действие всех гидроагрегатов станции.

Техническое перевооружение

### Техническое перевооружение

В настоящее время на станции полным ходом идет масштабное техническое перевооружение — энергетики модернизируют основное и вспомогательное оборудование ГЭС.

А начало проекту было положено еще в 1991 г., когда был разработан проект реконструкции гидроагрегатов Красноярской ГЭС. К непосредственным работам мы приступили в 1994 г., а первый реконструированный агрегат был введен в эксплуатацию в 1996 г. К настоящему времени полностью реконструированы одиннадцать из двенадцати гидроагрегатов станции, проведена реконструкция ОРУ-220 кВ — заменили силовое оборудование на оборудование, соответствующее лучшим мировым стандартам. Сейчас аналогичные работы ведутся и на ОРУ-500 кВ. Кроме



того, в 2012 г. специалисты Красноярской ГЭС и подрядных организаций заменили генераторные выключатели — установили вместо старых воздушных выключателей современные элегазовые комплексы. Провели реконструкцию автоматической измерительной системы коммерческого учета энергии (АИИС КУЭ). Данная система сертифицирована и позволяет эффективнее работать на оптовом рынке электроэнергии и мощности.

Также к настоящему времени выполнен большой объем замены вспомогательного оборудования, устройств телемеханики, вторичной коммутации. Проведена замена вводов главных трансформаторов. В 2012 г. введены в строй устройства группового регулирования активной энергии и мощности, позволяющие автоматически поддерживать определенный уровень нагрузки и мощности на группе гидроагрегатов.

В обозримом будущем красноярским гидроэнергетикам также предстоит провести замену оборудования на последнем — двенадцатом гидроагрегате, завершить модернизацию ОРУ-500 кВ и устройств вторичной коммутации. Кроме этого, специалисты намерены вернуться к замене отдельных элементов ранее реконструированных гидроагрегатов, т. к. на момент их реконструкции часть устройств, которыми сейчас оснащают гидроагрегаты, еще не существовала. В связи с этим, дабы привести все оборудование к современным стандартам, частично будут меняться и установленные ранее элементы.

Программа производственного развития Красноярской ГЭС включает в себя не только крупнейшие проекты, направ-

ленные на развитие и поддержание действующих энергоустановок, но и реализацию дополнительных инвестиционных проектов, которые обеспечивают безопасную, надежную и стабильную работу станции. К таким проектам относятся, например, вышеупомянутая модернизированная АИИС КУЭ, также система диагностического контроля оборудования, программно-аппаратный комплекс сейсмометрического мониторинга гидротехнических сооружений и мн. др.

Красноярская ГЭС по установленной мощности (6000 МВт) занимает 2 место в России и входит в десятку крупнейших ГЭС мира. Гидроэлектростанция работает в Объединенной энергосистеме Сибири. Средняя многолетняя выработка ГЭС составляет 18,3 млрд кВт·ч. Контрольный пакет акций (68,29%) принадлежит крупнейшей российской частной энергетической компании ОАО «ЕвроСибЭнерго» (входит в En+ Group).

Инвестиции в реконструкцию производственных мощностей Красноярской ГЭС обеспечиваются за счет собственных средств предприятия. Например, в 2012 г. они составили 924,4 млн руб. (это на 29,6% больше в сравнении 2011 г.). Стоит также отметить, что по своим масштабам программа производственного развития компании практически не имеет аналогов в российской гидроэнергетике. И ее реализация позволит не только повысить надежность работы гидроэлектростанции и энергоснабжения потребителей, но и конкурентоспо-

### «ЕвроСибЭнерго»

Контрольный пакет акций ОАО «Красноярская ГЭС» принадлежит российской частной энергетической компании «ЕвроСибЭнерго» (входит в En+ Group). ОАО «ЕвроСибЭнерго» образовано в 2001 г., контролирует 18 электростанций суммарной установленной электрической мощностью 19,5 ГВт, а также тепловые активы мощностью 17485 Гкал/ч. Более 15 ГВт мощностей «ЕвроСибЭнерго» приходится на крупные российские гидроэлектростанции, расположенные на сибирских реках Ангара и Енисее. Это Красноярская, Братская, Усть-Илимская и Иркутская ГЭС.

Компания участвует во всех сферах энергетического бизнеса: начиная от добычи угля для собственных тепловых электростанций, производства электро- и тепловой энергии и заканчивая ее продажей конечным потребителям. В составе компании также имеется инженеринговое подразделение с компетенциями ЕРС/ЕРСМ, которое обеспечивает необходимые работы по ремонту и модернизации существующих активов компании и строительству новых энергообъектов.

«ЕвроСибЭнерго» отличается большим опытом частного управления энергетическими активами в России. Реализованные программы модернизации и сокращения издержек позволили акционерному обществу достичь высокой эффек-

тивности работы предприятий: себестоимость производства энергии на ГЭС «ЕвроСибЭнерго», в том числе и на Красноярской ГЭС, ниже, чем на других российских гидроэлектростанциях; потребление топлива на тепловых станциях в расчете на произведенный киловатт-час электроэнергии существенно ниже среднего по Сибири уровня.

Восточная Сибирь — регион, где расположены основные активы «ЕвроСибЭнерго», и здесь в ближайшее десятилетие прогнозируется существенный рост энергопотребления, связанный с реализацией энергоемких проектов. Среди них — освоение нефтегазовых месторождений, строительство нефте- и газопроводов, мощностей по переработке углеводородов, создание новых металлургических производств, включая строительство алюминиевых заводов, мн. др. «ЕвроСибЭнерго» имеет запас мощности на существующих электростанциях и разрабатывает инвестиционную программу строительства новых электростанций.

# ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ приводы главного сервомотора

## ЭЛЕКТРОЦИЛИНДРЫ.РФ

До 7 метров до 2000 кН

Крупные электроцилиндры

Надежное решение для шлюзов и затворов

Электромеханический привод пропорционального клапана

Группа компаний «Прогрессивные Технологии»  
Россия, Москва, 109428, ул. Стахановская дом 20  
Тел/факс: (495)741-60-85; info@p-techno.ru  
www.p-techno.ru

На правах рекламы

## Новости гидроэнергетики: ВОЛЖСКАЯ ГЭС



Большинство ГЭС Волжского каскада уже прошли реконструкцию или модернизируются в настоящее время, в частности, одна из крупнейших ГЭС не только России, но и мира, — Волжская. Модернизация позволит не только увеличить мощность станции, но и обеспечить ее безопасность, в том числе и экологическую, что наиболее значимо для сохранения Волги.

В начале июля 2013 г. на Волжской ГЭС (филиал ОАО «РусГидро») после реконструкции введен в эксплуатацию гидроагрегат № 20, где была заменена гидротурбина. Это последняя из четырех турбин, которая реконструирована по условиям контракта между «РусГидро» и «Силловыми машинами».

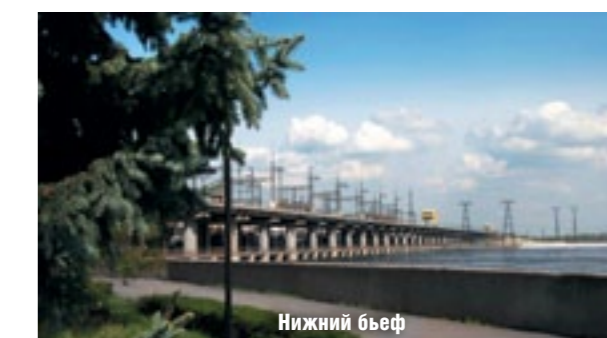
Новая турбина обладает улучшенными техническими характеристиками. После перемаркировки номинальная мощность гидроагрегата увеличится со 115 до 125,5 МВт. Проектирование, изготовление, испытания, поставку, строительные-монтажные работы, а также шеф-монтаж и пуско-наладку гидротурбины № 20 выполнило ОАО «Силловые машины».

Три предыдущие турбины в рамках первого долгосрочного контракта между «РусГидро» и «Силловыми машинами» реконструированы и введены в эксплуатацию в 2012 и 2013 гг. В 2013 г. «Силловые машины» начали исполнение обязательств по второму долгосрочному контракту, в ходе реализации которого к 2021 г. на Волжской ГЭС планируется заменить 10 гидротурбин и 22 генератора. В настоящее время на Волжской ГЭС в общей сложности заменено 12 из 22 гидротурбин.

Обновление оборудования проводится в соответствии с Программой комплексной модернизации «РусГидро»\*. Реализация этой программы на Волжской ГЭС позволит значительно повысить надежность и эксплуатационные характеристики оборудования, а также увеличить установленную мощность станции от проектной величины (2541 МВт) на 203,5 МВт. В итоге к 2021 г. установленная мощность крупнейшей ГЭС в Европе вырастет до 2744,5 МВт.

Программа комплексной модернизации ОАО «РусГидро» (ПКМ) утверждена 5 декабря 2011 г. и охватывает ключевые направления модернизации основного генерирующего оборудования, автоматизации основных производственных процессов, исходя из реального текущего технического состояния основных фондов и прогнозов его динамики на перспективу. Программа определяет сроки и объемы технического перевооружения на период 2012–2020 гг. с перспективой до 2025 г. ПКМ связана с необходимостью поддержания надежности всего технологического комплекса генерирующих объектов группы ОАО «РусГидро» в долгосрочной перспективе и базируется на принципах экономической эффективности и целесообразности.

- В рамках реализации ПКМ планируется заменить:
- 154 турбины, что составляет 55% от общего парка турбин по «РусГидро»;
  - 119 генераторов, что составляет 42% от общего парка генераторов по «РусГидро»;
  - 176 трансформаторов, что составляет 61% от общего парка трансформаторов по «РусГидро»;
  - 396 высоковольтных выключателей;
  - около 8 тыс. единиц оборудования вторичной коммутации;
  - более 4 тыс. единиц вспомогательного оборудования.



## ЗАО СУОС: НА ПУТИ ПОКОРЕНИЯ СИБИРИ

**Аннотация.** Статья рассказывает об опыте российской компании ЗАО Саянское управление основных сооружений; рассматриваются технические решения, примененные российскими специалистами при возведении больших плотин и водосбросов крупнейших ГЭС Сибири и Дальнего Востока.

**Abstract.** The article talks about experience of the Russian CJSC "Sayan basic facilities management"; it focuses on engineering solutions used by the Russian professionals in the construction of large dams and spillways of the biggest hydro power plants in Siberia and the Far East.

Вторая половина XX в. в развитии отечественной гидроэнергетики прошла под знаком освоения Сибири и Дальнего Востока. Крупнейшие ГЭС — Саяно-Шушенская, Красноярская, Бурейская, Богучанская, возведенные в сложнейших условиях, можно назвать настоящими достижениями российских специалистов. Несмотря на то, что строительство некоторых станций в конце ушедшего столетия было остановлено, но, завершённые и еще строящиеся в новом тысячелетии, они составляют гордость не только отечественной, но и мировой гидроэнергетики.

Практически в каждом выпуске журнала, так или иначе, можно встретить описание технических решений, инноваций, строительных технологий, реализуемых на этих ГЭС. Мало найдется специалистов и организаций, работающих в области гидроэнергетики, чья профессиональная деятельность не коснулась бы ГЭС Сибири и Дальнего Востока. Но об одном коллективе нам не удавалось рассказать несколько лет, несмотря на многочисленные попытки сделать большой содержательный материал. Речь о **Саянском управлении основных сооружений**, правопреемником которого сегодня является компания «ГидроЭнергоСтрой». Без рассказа о СУОСе невозможно отразить историю строительства Саяно-Шушенской, Бурейской, Богучанской ГЭС и многих других крупных объектов. Самые масштабные, наиважнейшие, величественные составляющие ГЭС — плотины, водосбросы, каналы — дело рук строителей ЗАО СУОС. Мы понимали — некогда думать о публикации: люди соскучились по настоящей работе, по большому сложному сооружению, после нескольких лет простоя и безденежья 1990-х они стремительно наверстывали упущенное на грандиозных оживившихся стройках. Они ничуть не утратили профессионализма, наоборот, осваивая самые со-

временные технологии, преумножили свои знания и опыт, способность находить единственно правильное решение. На наше слегка с обидой: «Газетам-то вы даете интервью», — Сергей Иванович Бурков, много лет возглавлявший СУОС и на тот момент уже генеральный директор «Красноярск-ГЭСстрой», улыбался в трубку: «Ну, вы же понимаете, одно дело — поговорить с журналистом газеты для не специалистов, другое дело — изложить свои мысли и разработки коллегам. Нам есть чем делиться, но сейчас надо работать. Завершим Саяны (после аварии. — Прим. ред.), вот тогда...» Он не лукавил, ему действительно хотелось делиться своим личным опытом и опытом его сплоченного, большого, профессионального коллектива —

### СУОС В ЦИФРАХ И ФАКТАХ

- Бурейская ГЭС (2000–2005): уложено 1365 тыс. куб. м бетона и железобетона (из общего объема 4235,5 тыс. куб. м). При производстве бетонных работ по плотине была применена технология укладки особо жестких бетонных смесей, что позволяло снизить стоимость кубометра бетона, уменьшить трудозатраты и повысить производительность труда.
- Богучанская ГЭС: работы ведутся вахтенным методом с февраля 2006 г. Укладку монолитного бетона в тело плотины (необходимо уложить 400 тыс. куб. м) ведет специализированное подразделение СУОС — АФ «Плотина»).
- Хакасский алюминиевый завод: коллектив ЗАО СУОС вел реконструкцию завода в качестве подрядчика. Объем бетонных монолитных конструкций составил 5,5 тыс. куб. м, сборного железобетона — 3,1 тыс. куб. м, кирпичной кладки — 1200 куб. м.



и потому, что гордился, и потому, что понимал ценность этого опыта для строительства новых объектов и развития энергетики. И хотя вся история СУОСа в фактах, достижениях, лицах уже была изложена в большой книге «Саянский взлет. Маршалы СУОСа», вышедшей в 2009 г. к 40-летию организации, Сергей Иванович уже думал о новых задачах и решениях. История в его понимании была движением вперед.

А потом его не стало... В 56 лет... Не верилось, потому что был молод, полон планов, энергетик не только по профессии, но и по состоянию души, когда энергия человека заряжает, объединяет людей и стимулирует не останавливаться на достигнутом. Про жизнь таких, как Сергей Иванович, говорят: «у него год за три». Сколько всего он успел в профессии за свою короткую, но стремительную жизнь. Сибирь стала его второй родиной — уехал с родного Алтая поступать в Новосибирский инженерно-строительный институт и сразу после его окончания получил распределение на Саяно-Шушенскую ГЭС; участвовал в строительстве таких крупных объектов, как Березовская ГРЭС, Саяно-Шушенская, Майнская, Курейская, Усть-Хантайская, Бурейская и Богучанская ГЭС, Хакасский алюминиевый завод и мн. др. В 1989 г.

### СУОС В ЦИФРАХ И ФАКТАХ

- Персонал — более 1000 человек, работа организуется вахтенным методом, круглосуточно, не прекращается при любых погодных условиях.
- Более 250 единиц техники и оборудования, что позволяет компании выполнять все работы самостоятельно и выдерживать сроки.
- Саяно-Шушенская ГЭС: бурно-взрывные работы — 83 тыс. куб. м, земельно-скальные работы — 1843 тыс. куб. м; бетонные работы — 337 тыс. куб. м; арматура и металлоконструкции — 10732 т; заполнительная цементация — 22,4 тыс. куб. м.

возглавил Управление основных сооружений, преобразованное впоследствии в ЗАО СУОС. Профессионал, человек сильной воли и при этом способный быть истинным руководителем — таким, который четко видит цель, умеет решать, казалось бы, неразрешимые задачи, умеет организо-

вать коллектив и работу, создать для достижения результата все необходимые условия, — в 1990-е гг. он буквально не дал погибнуть СУОСу. Бралась за любую работу — строили дороги, мосты и даже коттеджи — за продукты, без денег, но при этом сохранили костяк специалистов, технику и оборудование, а главное — свой профессиональный уровень. Аварию на Саяно-Шушенской ГЭС Сергей Иванович переживал как личную трагедию, ее восстановление в кратчайшие сроки считал делом чести и данью памяти погибшим товарищам. Именно на Саяно-Шушенской ГЭС в 1969 г. началась история СУОСа (тогда УОС), специалисты которого уложили в тело плотины и другие сооружения гидроузла СШГЭС 5 млн 600 тыс. кубометров бетона и железобетона.

Коллектив СУОСа одним из первых пришел на помощь СШГЭС после аварии, армирование блоков и укладку гидротехнического бетона приходилось вести в очень стесненных условиях, что требовало не только человеческой стойкости, но и особых технологий. Уже в октябре 2009 г., когда расчистка завалов близилась к завершению, СУОСовцы приступили к восстановительным работам на 7, 8, 9 агрегатах гидроузла. Были установлены новые фундаменты под энергоблоки, в кратчайшие сроки возведены колонны для реконструкции перекрытия здания ГЭС. При этом нельзя было прекращать работы по возведению водосброса, начатые СУОСом еще в 2007 г., которые должны были завершиться только в 2012 г., однако авария внесла свои коррективы — в условиях бесперывной работы первая очередь водосброса была пущена летом 2010 г. В это же самое время СУОСовцы работали на строительстве Богучанской ГЭС, выдерживая сроки, несмотря на то, что приходилось перебрасывать бригады на восстановление Саяно-Шушенской ГЭС. В советское время это назвали бы трудовым подвигом, но сам коллектив воспринимает свою работу как очередную задачу.

**Пятиступенчатый береговой водосброс СШГЭС** — сложнейшее инженерное сооружение, не имеющее в своем классе аналогов в мире. Два туннеля (длина каждого 1121,9 м, пропускная способность каждого — 1900 куб. м/с) выходят на перепадный участок протяженностью 708,9 м и шириной 100 м (расширение за рисбермой до 800 м, длина по оси около 720 м) и обеспечивают сопряжение сбрасываемого потока с руслом Енисея со скоростью около 5 м/с. Пятиступенчатый водосброс стал инновационным техническим решением, отвечающим высочайшему уровню безопасности.

О профессионализме специалистов СУОСа свидетельствует тот факт, что при любой работе коллектив руководствуется четырьмя основными принципами: работы должны быть выполнены качественно, в срок, при этом должны быть минимизированы трудозатраты и стоимость работ. Поэтому к любому проекту, даже если он детально диктует технологии строительства, в СУОСе приступают обдуманно, взвешивая каждое действие, — здесь по своему многолетнему опыту знают: жизнь может внести коррективы в любой момент. Ни один объект СУОСа не обходится без технологических новшеств и изобретений, многие из которых способна реализовать в России только эта компания. Так, при возведении каменно-набросной плотины Богучанской ГЭС под руководством Николая Петровича Мироненкова и Александра Григорьевича Цыбина была применена технология укладки асфальтобетонной смеси с применением специальной оснастки, разработанной и изготовленной специалистами ЗАО СУОС.



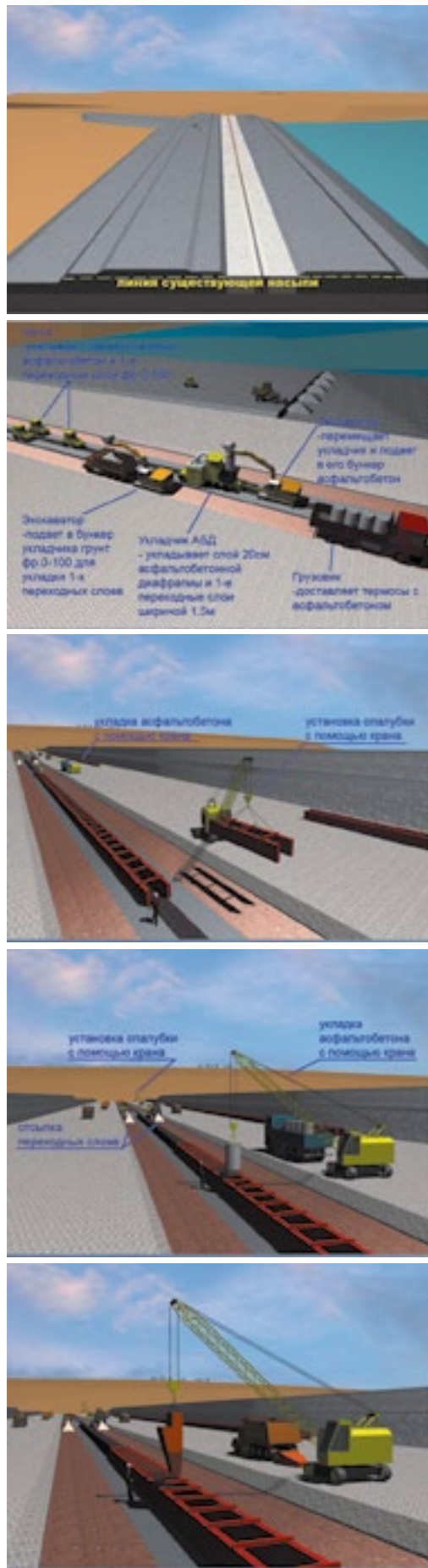


Рис. 1-5.



Основные технологические операции, которые сопровождали возведение (рис. 1-5):

1. Подготовка основания каменно-набросной плотины.
2. Монтаж опалубки (разработана и изготовлена СУОСом).
3. Приготовление асфальтобетонной смеси.
4. Транспортировка асфальтобетонной смеси.
5. Укладка асфальтобетонной смеси.
6. Контроль за остыванием асфальтобетона.
7. Демонтаж опалубки с перестановкой на новую «захватку».
8. Отсыпка и уплотнение грунта в прилегающей зоне.

Все операции производились на основании технических условий, согласованных с организатором строительства; при обеспечении качества были полностью выдержаны и сроки строительства.

В России практически нет компаний, которые выполняли бы аналогичные работы, уникальные объекты требуют особых людей — профессионалов, способных на инновационные и при этом обоснованно-взвешенные решения, ответственных, мужественных, персонально ответственных и организованных в слаженный коллектив. В начале нового века Н. Н. Добронравов и А. Н. Пахмутова посвятили замечательную песню строителям Бурейской ГЭС. Возвышенные поэтические строки можно полностью отнести к коллективу СУОСа:

*Встала плотина надежно и круто,  
Встала до самых небес.  
Мы построили эту плотину,  
Мы пустили Бурейскую ГЭС.  
Слово сдержали, от бурь не сбежали,  
Стали родными людьми,  
И себе, и другим доказали:  
Свет сильней и надежнее тьмы.*



Телефон 8 (391) 219-1520  
E-mail: office@hydro-es.ru  
Сайт: hydro-es.ru

Материал подготовлен Ильиной Т. В.



V Всероссийское совещание  
гидроэнергетиков.  
28–29 ноября 2013 г.  
Санкт-Петербург



## СИЛЬНОЙ РОССИИ — МОЩНУЮ ОБНОВЛЕННУЮ ГИДРОЭНЕРГЕТИКУ!

28–29 ноября 2013 г. в Санкт-Петербурге состоится V Всероссийское совещание гидроэнергетиков. Мероприятие пройдет под лозунгом «Сильной России — мощную обновленную гидроэнергетику!» Ожидается, что для обсуждения важнейших вопросов развития гидроэнергетического комплекса в современных условиях съедутся представители более 200 российских компаний.

Всероссийские совещания гидроэнергетиков проводятся один раз в 4 года, начиная с 1996 г. Первое и второе совещания организовывались ОАО «РАО ЕЭС России» по инициативе ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева». С момента создания НП «Гидроэнергетика России» функции по организации и проведению данного мероприятия были возложены на Партнерство при научной поддержке ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева».

«Всероссийские совещания гидроэнергетиков представляют собой площадку для конструктивного общения представителей гидроэнергетического комплекса России, где заинтересованные участники имеют возможность обсудить актуальные проблемы развития российской гидроэнергетики и выработать пакет предложений по развитию отрасли на долгосрочную перспективу», — отмечает заместитель исполнительного директора НП «Гидроэнергетика России» Алена Рыбушкина.

Определяющими темами V Всероссийского совещания станут современные условия функционирования отрасли, актуальные проблемы гидроэнергетики и пути их решения. По мнению экспертов, с наступлением периода стабилизации российской экономики наиболее остро встанут вопросы о реновации существующих гидроэнергетических объектов и строительстве новых. Эти процессы напрямую связаны с возрождением российской гидроэнергетики. В этой связи не менее важной является и разработка долгосрочной программы развития отрасли. Всероссийское совещание призвано собрать для совместного рассмотрения и обсуждения данных вопросов всех заинтересованных представителей гидроэнергетического комплекса.

К настоящему времени утверждена предварительная программа мероприятия, которая предусматривает двухдневную работу по четырем основным направлениям:

- ▶ «Системные и инфраструктурные проблемы реализации проектов в гидроэнергетике в Российской Федерации»;
- ▶ «Выстраивание системы технического регулирования в гидроэнергетике Российской Федерации: итоги 10 лет работы и перспективы»;
- ▶ «Последние достижения в технологии исследований, проектирования, строительства и эксплуатации в гидроэнергетике: проблемы и перспективы внедрения»;
- ▶ «Использование новых конструктивных решений, материалов и оборудования в строительстве и эксплуатации объектов гидроэнергетики: соотношение показателей надежности (безопасности) и экономической эффективности».

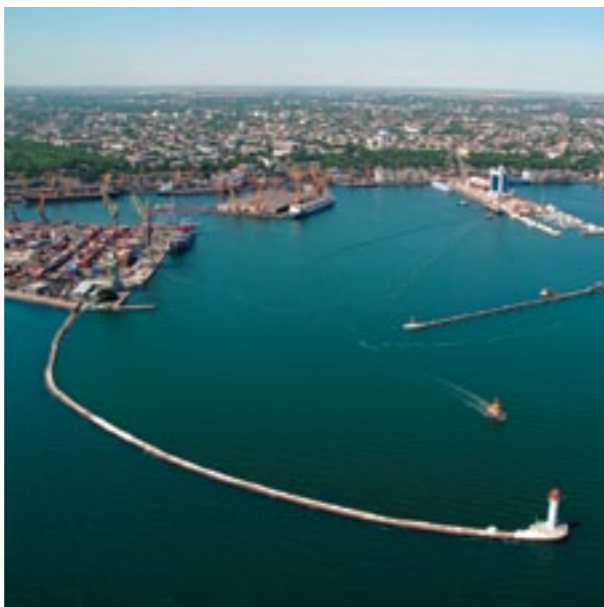
Направления работы совещания будут обозначены в установочных докладах пленарного заседания, после чего обсуждение продолжится на заседаниях секций (круглых столах). В ходе работы секций участникам предстоит рассмотреть проблемные вопросы по соответствующим направлениям с различных точек зрения: рисков и выгод от внедрения новых решений, кадровой обеспеченности новых решений, имеющегося опыта применения, соотношения безопасности и эффективности и т. д.

«Следует отметить, что возможность выступить с докладом предоставляется всем желающим представителям гидроэнергетического комплекса. Отбор докладов на совещание производится Программным комитетом мероприятия на основе результатов рецензирования текстов расширенных тезисов», — пояснила Алена Рыбушкина.

Во второй день мероприятия на завершающем пленарном заседании будут подведены итоги работы V Всероссийского совещания гидроэнергетиков и озвучено общее решение. Данный документ станет своеобразным руководством к действию по развитию отрасли на ближайшие 4 года.

Более подробная информация о V Всероссийском совещании гидроэнергетиков размещена на сайте <http://hydropower.ru> в соответствующем разделе.





## О БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ИМЕРЕТИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В АДЛЕРСКОМ РАЙОНЕ Г. СОЧИ



**Макаров К. Н.,**  
доктор техн. наук, профессор,  
зав. каф. городского  
строительства Сочинского  
государственного университета,  
академик Академии транспорта РФ

**Аннотация.** Рассматриваются основные причины постоянного размыва строящегося берегозащитного сооружения в Имеретинской низменности Адлерского района г. Сочи. Отмечается, что размывы отсыпаемых пляжей и деформации откосного берегоукрепления происходят в зонах подводных каньонов, для которых автором еще в 2008 г. были даны соответствующие рекомендации. Происходящие в настоящее время корректировки проекта берегозащиты постепенно приводят их авторов к тем самым конструкциям сооружений, которые предлагались в указанных рекомендациях.

**Ключевые слова:** берегозащитные мероприятия, подводные каньоны, транспорт наносов, ширина пляжа, волногаситель, пляжеудерживающие сооружения.

**Abstract.** The main reasons for continuous washout of the sea shore protection construction in the Imeretinskaya lowland of the Adler district of Sochi are considered. It is noted that washouts of poured-out beaches and deformation of slope protection happen in zones of underwater canyons for which the author in 2008 made the corresponding recommendations. Updatings of the shore protection project occurring now gradually lead their authors to those designs of constructions which were offered in those recommendations.

**Keywords:** coastal protection actions, underwater canyons, sediment transport, beach width, wave absorber, beach protection constructions.

Проводимые в настоящее время мероприятия по берегозащите побережья Имеретинской низменности в Адлерском районе г. Сочи показали, что реализуемый проект не дает достаточного эффекта в зонах подводных каньонов, где наблюдаются постоянный размыв пляжа, повреждение сооружений и перелив накатной волны на защищаемые территории. Это объясняется невыполнением в полной мере разработанных на стадии подготовки проекта научных рекомендаций. Предлагаемые же корректировки проекта фактически повторяют эти рекомендации, разработанные еще в 2008 г., однако опять не в полном объеме, что может привести к тому, что их реализация вновь не приведет к желаемым результатам.

Напомним, что Имеретинская низменность расположена в междуречье рек Мзымты и Псоу. Общая длина берега междуречья около 8 км. От устья р. Мзымты до м. Константиновский бровка свала глубин приближена к берегу на 50–400 м. Подводный склон здесь на всем протяжении расчленен шельфовыми долинами (каньонами), **рис. 1** [1, 2].

Река Мзымта ранее ежегодно выносила в море в среднем около 30 тыс. м<sup>3</sup> песка и гальки. Речной материал частично распределялся на пляже и подводном склоне к северо-западу от устья (около 5–6 тыс. м<sup>3</sup>). Основная же масса образовывала поток наносов юго-восточного направления со средней мощностью 15–25 тыс. м<sup>3</sup> в год.

Непосредственно в пределах междуречья р. Мзымта — р. Псоу насчитывается до одиннадцати каньонных систем, из которых три (каньоны Мзымтинский, Новый, Константиновский) являются действующими. По ним осуществляется современный транспорт наносов на глубину, и их верховые отвершки находятся в приустьевой зоне на глубинах 10–15 м.

Средние уклоны тальвегов каньонов в интервале глубин 20–40 м — в пределах 0,25–0,30.

Наиболее активным и опасным с точки зрения перехвата наносов является каньон Новый (**рис. 2**). Он получил свое название после того, как в 1930-х гг. были установлены явные признаки его влияния на береговые процессы. До этого основные потери вдольберегового потока наносов связывали с каньоном Константиновским (расположен против одноименного мыса). Контур каньона Нового достаточно четко прослеживались еще на карте 1888 г., когда проводились изыскания для прокладки телеграфной линии Лондон — Бомбей. Тогда его вершина находилась на 200 м мористее, чем в 1976 г. Как вел себя каньон все это время, сказать трудно. Достоверно известно, что в условиях низового размыва после 1976 г. темпы продвижения бровки каньона к берегу составили в среднем 1 м в год.

Вершина каньона Нового максимально приближена к берегу. Его бровка выражена в рельефе с глубин 7–8 м. Русло каньона в верхней части относительно прямолинейное. В диапазоне глубин 25–75 м имеет узкое ложе и очень крутые (до 30°) боковые откосы. Фронтальная часть каньона достигает ширины 400 м.

Во время глубоководных погружений галька в русле каньона обнаружена до глубины 190 м. В мелководной части галька залежала в виде сплошного покрова. На больших глубинах вместе с галькой встречались крупные плоские валуны. В некоторых местах на бортах каньона были обнаружены выходы валунных глин [3].

Сравнение съемок 1838, 1888, 1925, 1935 и 1949 гг. свидетельствует, что в естественном режиме берег междуречья



Рис. 1. План эхолотационного сканирования прибрежной зоны Имеретинской низменности

нарастал со средней скоростью 0,1 м в год. При этом выдвигание аккумулятивных форм в сторону моря контролировалось близостью свала глубин и подводных каньонов.

К 2005 г. выбор гальки и песка из русла р. Мзымты для строительных целей достиг беспрецедентных масштабов. Поэтому сток наносов в береговую зону фактически прекратился. Это привело к тому, что в 2006 г. процесс разрушения морского берега приобрел катастрофический характер. Ширина пляжей сократилась до 5–18 м на участке от причала парка «Южные культуры» до каньона Новый, и не более 25 м на участке каньон Новый — м. Константиновский. Сравнение

материалов съемок 2004 и 2006 гг. показало, что сокращение ширины пляжа на участке берега р. Мзымты — м. Константиновский составило 20–24 м.

В настоящее время, в связи с подготовкой к проведению в г. Сочи зимних Олимпийских игр — 2014, на побережье Имеретинской низменности ведется масштабное гидротехническое строительство. В частности, завершено строительство порта Имеретинский, который полностью прервал и без того скудный вдольбереговой поток наносов от устья р. Мзымты. Строительство порта, а также создание новой набережной для защиты олимпийских объектов вызвали необходимость

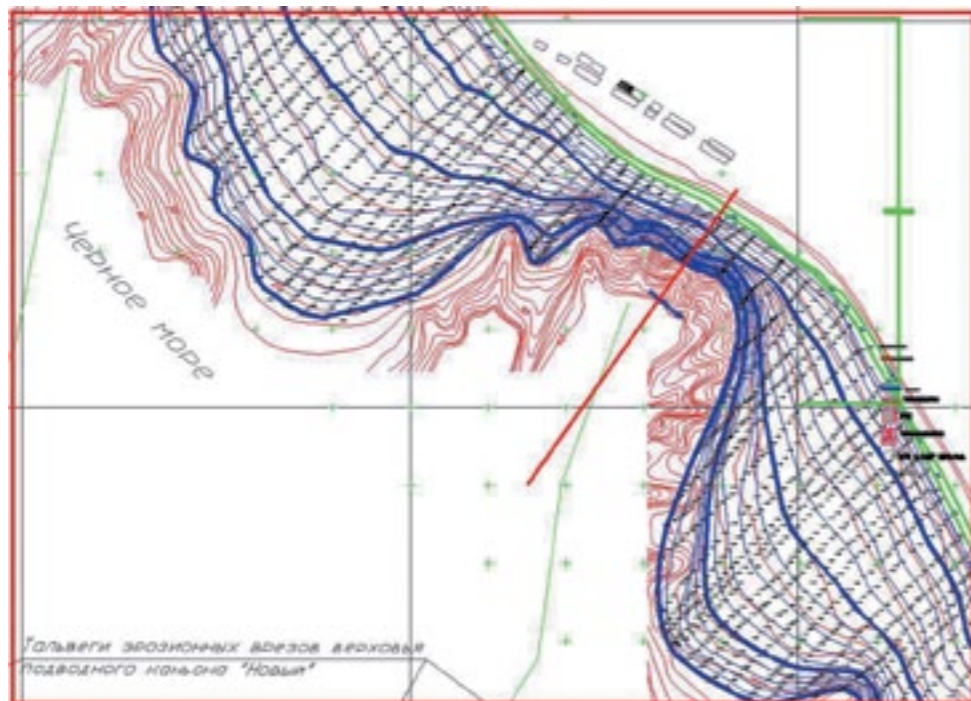


Рис. 2. Подводный каньон Новый

строительства берегоукрепления вдоль участка побережья от Восточного мола порта Имеретинский до восточного борта мыса Константиновский.

При проектировании порта и берегозащитных мероприятий под руководством автора было выполнено математическое моделирование гидро- и литодинамических процессов на побережье Имеретинской низменности и разработаны рекомендации для проектирования берегозащиты, которые, помимо научно-технических отчетов, были также изложены в работах [4–6].

В указанных рекомендациях были выдвинуты две концепции берегозащиты побережья Имеретинской низменности:

1. Ежегодное искусственное пополнение пляжей к востоку от порта инертным материалом в объеме порядка 15–20 тыс. м<sup>3</sup>/год — расчетная мощность вдоль берегового потока. Для этого к востоку от порта Имеретинского необходимо ежегодно создавать резервный ленточный отвал пляжеобразующего материала.

2. Консервация существующих пляжей путем строительства системы бун с последующим пополнением потерь пляжей на истирание один раз в 2–3 года.

Конкретные предлагаемые инженерные решения заключались в следующем.

В обоих вариантах берегозащиты ширина пляжей на всем протяжении участка должна быть доведена до их естественной ширины, т. е. порядка 25–30 м путем искусственных отсыпок. Большее уширение пляжей представляется нереальным, поскольку контролируется свалом наносов в подводные каньоны.

Однако такая ширина пляжей на рассматриваемом участке берега недостаточна для волногашения во время сильных штормов (особенно в верховьях каньонов) [7]. Поэтому в тыльной части пляжа необходимо устроить волногаситель, который заменит бы собой недостающую для волногашения часть.

Волногаситель в тыльной части пляжа может быть устроен в виде:

1. Откосно-ступенчатой волнозащитной стены с упором на свайном основании с малым коэффициентом отражения.

Стена должна представлять из себя капитальное сооружение, которое надежно и долговременно защитит берег от волновых воздействий и, соответственно, от его разрушения и затопления защищаемой территории, в том числе олимпийских объектов. Упорный массив стены должен быть заглублен в зонах каньонов не менее чем на 3 м от уреза моря. Со стороны берега за стеной может быть устроена набережная (дорога). Рекомендуемый вариант конструкции стены показан на рис. 3.

Здесь следует отметить, что подобная конструкция берегоукрепления уже была построена на восточном участке побережья Имеретинской низменности и показала высокую эффективность (рис. 4).

2. Наброски (бермы) из крупного сортированного камня, которые следует рассматривать как деформируемое сооружение, подлежащее периодическим эксплуатационным ремонтам.

3. Наброски из фигурных блоков (тетраподов или гексабитов), которые также следует рассматривать как деформируемое сооружение.

Очевидно, что в вариантах 2 и 3 берег будет практически выведен из рекреационного использования.

Как отмечено выше, верховые бровки каньонов Нового и Константиновского в настоящее время врезаются в берег со скоростью порядка 1 м в год [2, 3]. Следовательно, необходимо предусмотреть мероприятия по их закреплению. Однако эта задача представляется весьма неоднозначной, поскольку до сих пор нет ясного теоретического представления о причинах появления подводных каньонов вообще и размыва их тальвегов в верховых частях в частности. На этот счет имеется ряд гипотез.

Большинство исследователей склоняются к гипотезе, согласно которой эрозия вершин каньонов вызывается медленным смещением осадочного материала (с включением крупнообломочного) по тальвегу каньона, перемежающегося с кратковременными быстрыми оползнями [8].

Если принять указанную гипотезу, то накопление наносов в вершинах каньонов не только не приводит к их стабилизации (как считалось ранее), но напротив, ускоряет эрозионные

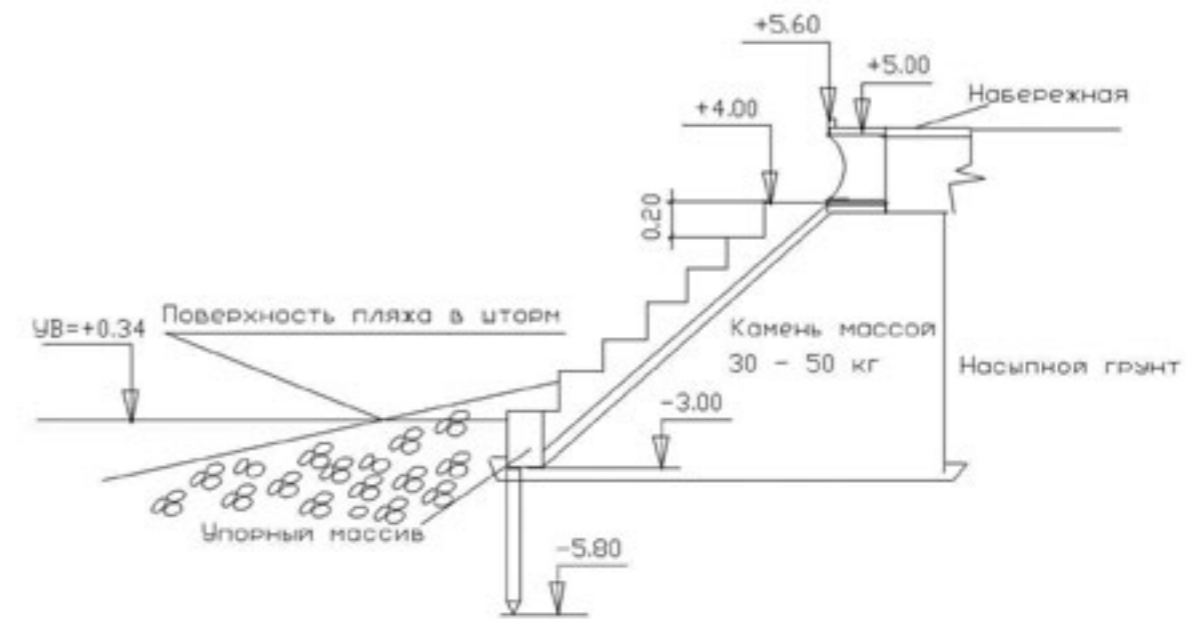


Рис. 3. Рекомендуемая конструкция откосно-ступенчатой волнозащитной стены



ни расположение этого отвала, ни технология его создания в проекте, в частности, в ПОС, не детализируются. Более того, в составе инженерных решений этого проекта указанный резервный отвал вообще отсутствует.

Поскольку совершенно очевидно (и это подтвердили в том числе неоднократно выполненные исследования на гидравлических моделях), что подводные волноломы не могут обеспечить устойчивость пляжей без искусственной их подпитки, реализация предлагаемых корректирующих проектных решений не приведет к стабилизации пляжей, особенно это касается зон подводных каньонов.

В этой связи логично предположить, что следующей «научной находкой» корректировщиков проекта берегозащиты Имеретинской низменности будет предложение о строительстве бун согласно рекомендациям от 2008 г.

**Литература**

1. Сафьянов Г. А., Меншиков В. А., Пешков В. М. Подводные каньоны — их динамика и взаимодействие с береговой зоной океана. Краснодар, 2007.
2. Имеретинская низменность. Природно-геологические условия, проблемы освоения // Под ред. И. П. Балабанова. М.: ООО «Издательский дом Недр», 2011.

3. Пономарев А. А. Докладная записка по материалам изучения подводного склона береговой зоны Имеретинской низменности. Сочи: ООО «Инжзащита», 2007.

4. Макаров К. Н. Концепция инженерной защиты побережья Имеретинской низменности при строительстве олимпийских объектов в г. Сочи // Недвижимость. Экономика. Управление. 2008. № 1. С. 69–72.

5. Иванов А. В., Макаров К. Н. Инженерная защита побережья Имеретинской низменности в Адлерском районе города Сочи // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2009. № 3 (122). С. 62–64.

6. Мацко И. М., Макаров К. Н. Берегозащитные мероприятия для побережья Имеретинской низменности в г. Сочи // Вестник МГСУ. Спецвыпуск № 1/2010. М.: МГСУ, 2010. С. 61–66.

7. Коблев А. Х., Лещенко С. В., Макаров К. Н. Накат разрушающихся волн на берег в зонах подводных каньонов. Морские берега — эволюция, экология, экономика: материалы XXIV Международной береговой конференции. Туапсе, 01–06 октября 2012 г., т. 2, с. 193–197.

8. Шеппард Ф., Дилл Р. Подводные морские каньоны. Л.: Гидрометеиздат, 1972.

9. Макаров К. Н. Проблемы проектирования и строительства морских гидротехнических сооружений на Черноморском побережье России // Гидротехника. 2012. № 4. С. 36–39.

*Запланируйте в Вашем деловом календаре!*

**ДВЕНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА И КОНФЕРЕНЦИЯ**



# НЕВА



**ПО СУДОСТРОЕНИЮ, СУДОХОДСТВУ, ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОРТОВ И ОСВОЕНИЮ ОКЕАНА И ШЕЛЬФА**

**24-27 СЕНТЯБРЯ 2013 ■ РОССИЯ ■ САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**



**DRAGFLOW**  
DREDGING • MINING • INDUSTRY

**ПОГРУЖНЫЕ НАСОСЫ, МОБИЛЬНЫЕ ЗЕМСНАРЯДЫ**

Фирма DRAGFLOW S.R.L. (Италия) — один из ведущих производителей погружных грунтовых насосов с электрическим и гидравлическим приводом и мобильных земснарядов, специально спроектированных для работы с вязкими грунтами с высоким содержанием твердых частиц. DRAGFLOW S.R.L. за более чем 25-летний срок своего существования приобрела значительный опыт по всему миру в поставке дноуглубительного оборудования для различных отраслей, таких как портовая и морская отрасли, энергетическая промышленность, добывающая и обрабатывающая промышленность.

Погружные износостойкие насосы DRAGFLOW с рыхлителями и агитатором предназначены для перекачки бентонита, вязких, абразивных и водогрунтовых сред имеют следующий диапазон характеристик:

- производительность 30–1200 м<sup>3</sup>/час;
- напор до 62 м;
- мощность 2,2–220 кВт;
- масса 145–4350 кг;
- максимальное содержание твердых частиц по весу до 70%;
- максимальный размер твердых частиц до 120 мм;
- температура до 80 град С;
- уровень кислотности до 9,5 pH;
- для работы на больших глубинах до 250 м с применением компенсатора давления;
- во взрывобезопасном исполнении.

Смотрите работу насосов и земснарядов DRAGFLOW на видео в интернете:

[YouTube](#) DRAGFLOW DREDGING

**PUMPING THE IMPOSSIBLE**



**НАСОСЫ DRAGFLOW КАЧАЮТ ТАМ, ГДЕ ДРУГИЕ НЕ МОГУТ!!!**

Официальный дистрибьютор в России, странах СНГ и Балтии  
**DRAGFLOW RUSSIA**  
тел. +7 812 642 55 30  
тел. +7 812 642 55 40  
dragflow.russia@gmail.com  
www.dragflow.ru

**DRAGFLOW S.R.L.**  
Via Pasubio, 40  
37069 Villafranca (VR) Italy  
Tel. +39 045 6304521  
Fax. +39 045 6335758  
info@dragflow.it  
www.dragflow.it

На правах рекламы.

Россия 199106, Санкт-Петербург, Большой пр. В. О., 103 • телефон +7 812 321 2676, 321 2817, факс 321 2677 • [ttn@peterlink.ru](mailto:ttn@peterlink.ru)  
International Enquiries Dolphin Exhibitions Ltd., UK • phone +44 1449 741801 • fax +44 1449 741628 • [info@dolphin-exhibitions.co.uk](mailto:info@dolphin-exhibitions.co.uk)

**THE POWER OF RUSSIAN SHIPPING AND MARITIME INDUSTRY**

На правах рекламы [www.transtec-neva.ru](http://www.transtec-neva.ru)

# О ВЕЛИЧИНЕ РАЗВОРОТНОГО КРУГА ДЛЯ СУДОВ С ПОДРУЛИВАЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ



**Соколов В. Т.,**  
капитан дальнего плавания,  
профессор Института  
последипломного образования  
специалистов морсречфлота  
Украины, член совета  
Института морехозяйства  
и предпринимательства,  
почетный работник  
морсречфлота Украины

**Аннотация.** Величина разворотного круга на акватории порта зависит от радиуса циркуляции судна, если оно движется самостоятельно, или от схемы обеспечения — при развороте буксирами. Расчеты величины разворотного круга для обоих случаев даются в нормативных документах. Для судов с подруливающими устройствами таких расчетов в нормативных документах не приводится. Настоящая публикация предлагает методику таких расчетов, с использованием вероятностной модели теории кругового рассеивания.

**Ключевые слова:** порт, разворотный круг, судно, дрейф, вероятность.

**Abstract.** The amplitude of turning basin in the port waters depends on vessel's turning radius if it moves independently or depends on security structure when tugs help to turn. For the both cases the calculations of turning basin amplitude are in the regulatory documents. Such calculations for the vessels with thrusters aren't in the regulatory documents. The author of the article "About amplitude of turning basin for the vessels with thrusters" offers the method of calculations applying the probabilistic model of circular dispersion theory.

**Keywords:** port, turning basin, vessel, drift, possibility.

Портостроение немислимо без понятия «акватория» — места, предназначенного для маневрирования прибывших в порт судов. Одной из составляющих внутренней акватории порта, стесненной гидротехническими сооружениями, является разворотный круг, где происходит разворот судна на любой курс, вплоть до обратного. Величина разворотного круга сегодня определяется нормативными документами, которые предусматривают разворот судна своими движителями на циркуляции; для крупнотоннажных судов диаметр разворотного круга берется равным двум длинам расчетного судна.

Современные крупнотоннажные суда, оснащенные подруливающими устройствами, способны осуществлять разворот самостоятельно, практически без помощи буксиров, на площади гораздо меньшей, чем при циркуляции. Для такой схемы маневрирования размеры разворотного круга в нормативных документах не даются, поэтому эксплуатационники диаметр разворотного круга определяют интуитивно, проектировщики же довольствуются устаревшими руководствами.

Настоящая методика, предлагаемая автором данной публикации, определяет схему расчетов по определению величины разворотного круга для судов с подруливающими устройствами. При этом учитываются не только размеры маневрирующего судна и его парусность, но и точность выхода в центр разворота, а также величина дрейфа в период разворота на новый курс.

Процесс определения диаметра разворотного круга имеет две основные составляющие:

- определение ошибки выхода расчетного судна в точку, намеченную для разворота;
- расчет величины дрейфа судна от ветра в процессе разворота этого судна своими подруливающими устройствами.

В соответствии с вероятностной теорией кругового рассеивания [1], ошибка выхода судна в центр круга рассеива-

ния, при заданной вероятности  $P$ , определяется радиусом  $r_p$  по формуле

$$r_p = \sigma \sqrt{-2 \ln(1-P)}, \quad (1)$$

где  $\sigma$  — ср. кв. погрешность нормального распределения.

С учетом длины расчетного судна, диаметр DPL разворотного круга будет соответствовать формуле

$$D_{PL} = L + 2r_p = L + 2[\sigma \sqrt{-2 \ln(1-P)}], \quad (2)$$

где  $L$  — длина расчетного судна, м.

Дрейф судна в период своего разворота подруливающими устройствами на новый курс требует периодической корректуры места относительно центра круга. Это смещение увеличивает радиус разворотного круга на величину

$$r_w = V_w t, \quad (3)$$

где  $V_w$  — скорость смещения судна относительно центра круга под воздействием ветра  $W$ , м/с;  $t$  — время работы подруливающего устройства на разворот без корректуры места судна относительно намеченного центра разворота (периодичность корректуры места), сек.

Скорость ветрового дрейфа определяется формулой [2, 3]

$$V_w = 0,0336 W \sqrt{A}, \quad (4)$$

где  $W$  — скорость ветра, м/с;  $A = S_n / S_n$  — соотношение площадей парусности надводного  $S_n$  и подводного  $S_n$  борта судна.

Для облегчения поиска величины  $V_w$  приводится табл. 1. Окончательная формула определения диаметра разворотного круга для судов с подруливающими устройствами будет иметь вид

$$D_o = L + 2r_p + 2r_w = L + 2[\sigma \sqrt{-2 \ln(1-P)}] + 2[0,0336 W \sqrt{A} t] \quad (5)$$

**Пример 1**

Определить диаметр разворотного круга для судна длиной  $L = 300$  м;  $A = 2,0$ ;  $P = 0,98$ ;  $\sigma = 20$  м, что составляет 1% одномильной шкалы дальности судовой РЛС; при ветре  $W = 15$  м/с.



W, м/с	Скорость дрейфа, $V_w$ , м/с							
	A = 0,5	A = 1,0	A = 1,5	A = 2,0	A = 2,5	A = 3,0	A = 3,5	A = 4,0
5	0,12	0,17	0,20	0,24	0,26	0,29	0,31	0,34
10	0,24	0,33	0,41	0,47	0,53	0,58	0,63	0,67
15	0,36	0,50	0,62	0,70	0,80	0,87	0,94	1,00
20	0,48	0,67	0,82	0,94	1,06	1,16	1,26	1,34
25	0,60	0,84	1,02	1,15	1,32	1,46	1,58	1,68

Табл. 1. Определения скорости дрейфа расчетного судна

**Решение:** В соответствии с формулой [1], ошибка выхода судна в центр круга рассеивания будет равняться

$$r_p = \sigma \sqrt{-2 \ln(1-P)} = 20 \text{ м} \sqrt{-2 \ln(1-0,98)} = 56 \text{ м}.$$

Величина сноса судна при повороте

$$r_w = V_w t = 0,70 \text{ м/с} \cdot 95 \text{ сек} = 66,5 \text{ м}.$$

Величина скорости дрейфа  $V_w$  судна выбрана из табл. 1: время работы движителей без корректуры места определяется теоретически, в зависимости от скорости разворота судна, как функции мощности движителей, или экспериментально.

В соответствии с формулой (5), диаметр разворотного круга будет равняться:

$$D_o = 300 \text{ м} + 2(56 \text{ м}) + 2(66,5 \text{ м}) = 545 \text{ м},$$

что соответствует

$$D_o = 545 \text{ м} / 300 \text{ м} \approx 1,8 L.$$

Для штилевой погоды

$$D_o = L + 2r_p = 300 \text{ м} + 112 \text{ м} = 412 \text{ м},$$

$$D_o = 412 \text{ м} / 300 \text{ м} \approx 1,4 L.$$

Данная методика дает возможность не только определять проектировщикам величину разворотного круга на акватории порта, но и оценивать вероятность  $P$  безопасного разворота расчетного судна на существующей для разворота площади. Кроме того, решается задача по определению возможного разворота судов при различных скоростях ветра  $W$ .

Приведем примеры для этих вариантов.

**Пример 2**

Определить вероятность безопасного разворота для судна длиной  $L = 320$  м при тех же условиях, как и в первом примере, где  $\sigma = 20$  м,  $W = 15$  м/с,  $A = 2,0$ , но  $D_o = 500$  м.

**Решение:** Из формулы (5)

$$r_p = \frac{D_o - (L + 2r_w)}{2} = \frac{500 \text{ м} - (300 \text{ м} + 133 \text{ м})}{2} = 33,5 \text{ м}.$$

И, в соответствии с формулой (1), после преобразований

$$P = 1 - e^{-\frac{r_p^2}{2\sigma^2}} = 1 - e^{-\frac{33,5^2}{2 \cdot 20^2}} = 1 - e^{-1,122} = 1 - 0,245 = 0,76.$$

**Пример 3**

Определить, при какой силе ветра  $W$ , судно длиной  $L = 320$  м,  $A = 2,0$  сможет разворачиваться в круге диаметром  $D_o = 500$  м с вероятностью  $P = 0,98$ , если  $\sigma = 20$  м,  $t = 95$  сек.

**Решение:** В соответствии с формулой (1),

$$r_p = \sigma \sqrt{-2 \ln(1-P)} = 20 \text{ м}, \quad \sqrt{-2 \ln(1-0,98)} = 56 \text{ м},$$

$$r_w = \frac{D_o - (L + 2r_p)}{2} = \frac{500 \text{ м} - (320 \text{ м} + 112 \text{ м})}{2} = 34 \text{ м}.$$

В соответствии с формулой (3), где  $r_w = V_w t$ , определим скорость дрейфа судна

$$V_w = r_w / t = 34 \text{ м} / 95 \text{ сек} = 0,36 \text{ м/с}.$$

И, в соответствии с табл. 1, колонка  $A = 2,0$ , путем интерполяции, определяем, что скорость ветра должна быть равной  $W \leq 8$  м/с.

Публикуемый материал, по нашему мнению, должен положить конец ничем не подкрепленным рассуждениям: каким должен быть по своей величине разворотный круг для судов с подруливающими устройствами.

**Литература**

1. Венцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Наука, 1969. 976 с.
2. Соколов В. Т. Акватории порта и навигационная безопасность плавания судов. Одесса: Астропринт, 2006. 160 с.
3. Соколов В. Т., Карпенко И. А. Безопасность судоходства. Критерии навигационной безопасности портовых акваторий. Одесса: Астропринт, 2012. 128 с.

Информационно-проектная служба  
**«Гидротехпроект»**

*Проектирование, обследование, декларирование  
 гидротехнических сооружений*

Разработка проектной документации гидротехнических сооружений на внутренних водных путях

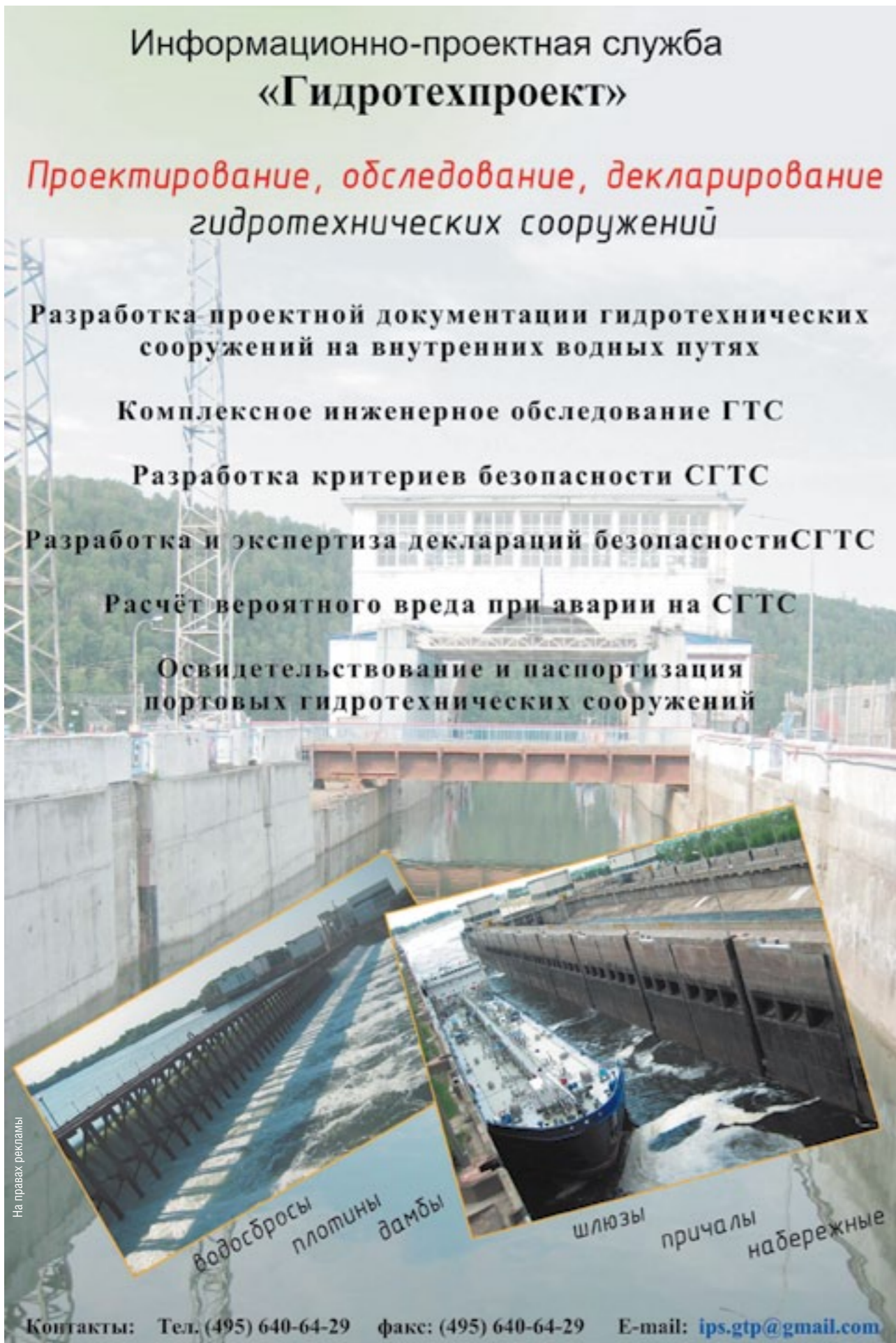
Комплексное инженерное обследование ГТС

Разработка критериев безопасности СГТС

Разработка и экспертиза деклараций безопасности СГТС

Расчёт вероятного вреда при аварии на СГТС

Освидетельствование и паспортизация портовых гидротехнических сооружений



На правах рекламы

водосбросы  
плотины  
дамбы

шлюзы  
причалы  
набережные

Контакты: Тел. (495) 640-64-29 факс: (495) 640-64-29 E-mail: [ips.gtp@gmail.com](mailto:ips.gtp@gmail.com)



**NEVA-METALL TRADE**



**ПРОГРАММА ПОСТАВОК  
 ШПУНТОВЫХ СВАЙ**

- ◆ Комплексные поставки стальных шпунтовых систем производства ведущей европейской металлургической компании ARCELOR MITTAL Commercial RPS для морских и речных проектов строительства причалов, портовых сооружений, защитных дамб, обустройства набережных и проведения общестроительных работ;
- ◆ Инженерная поддержка инновационных технологических решений в области строительства гидротехнических сооружений;
- ◆ Техническое сопровождение проектных решений высококлассными специалистами европейских компаний.





«Neva-MetalTrade» LTD  
 198035 г. Санкт-Петербург, Межевой канал, д. 3/2, 8 этаж  
 Тел./факс: (812) 740-7010, e-mail: [severst@nevamt.spb.ru](mailto:severst@nevamt.spb.ru) [www.nevamt.spb.ru](http://www.nevamt.spb.ru)

На правах рекламы

## «Развитие портовой и терминальной инфраструктуры 2013»

Приглашаем Вас принять участие в работе XI международной конференции "Развитие портовой и терминальной инфраструктуры 2013", которая состоится 17 октября 2013 года в г. Новороссийск, п. Абрау-Дюрсо, конгресс-центр ОАО "Абрау-Дюрсо".

### Среди тем конференции:

- Строительство морских и речных портовых ГТС;
- Современные технологии дноуглубления;
- Нормативное регулирование технической эксплуатации портовых гидротехнических сооружений;
- Эксплуатация и безопасность гидротехнических сооружений;
- Современные антикоррозийные и изоляционные материалы;
- Обеспечение специальной безопасности и физической защиты объектов порта;
- Новинки перегрузочной техники, порталных и контейнерных кранов.
- IT-технологии

по вопросам участия и спонсорства: + 7 (8617) 71-31-01  
+ 7 (8617) 71-62-20

## АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА



**Ковалевская О. Ю.,**  
ст. преподаватель кафедры  
защиты окружающей среды  
Морского государственного  
университета им. адм.  
Г. И. Невельского



**Блиновская Я. Ю.,**  
доктор техн. наук, доцент, зав.  
кафедрой защиты окружающей  
среды Морского государственного  
университета им. адм.  
Г. И. Невельского (Владивосток)

**Аннотация.** В статье «Анализ аварийности морских объектов нефтегазового комплекса» отражены крупные аварии на морском континентальном шельфе, нанесенный ими экологический и экономический ущерб. Обобщены причины аварий на морских добывающих сооружениях, обозначены меры, выполнение которых снижает риск возникновения чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** континентальный шельф, экологическая безопасность, морские добывающие сооружения.

**Abstract. T.**  
**Keywords:** w.

Нефтегазовый комплекс имеет очень важное экономическое и политическое значение для нашего государства, но вместе с тем его развитие сопряжено со значительным воздействием на окружающую среду. Несмотря на предпринимаемые меры безопасности, в том числе экологической, объекты нефтегазовой индустрии имеют очень высокий риск наступления аварийных ситуаций. Ни один из промышленных объектов данного производства не застрахован от разлива. Безопасная эксплуатация систем добычи, хранения, перевалки нефти и нефтепродуктов зависит от выполнения целого ряда условий и технических мероприятий. Поэтому повышение уровня промышленной безопасности нефтедобычи подразумевает проведение целого комплекса технических, методических, административных и организационных мероприятий, включающих меры по оптимизации межремонтного периода эксплуатации оборудования промысла, повышению качества ремонтных и профилактических мероприятий, обеспечению бесперебойного электроснабжения объектов, постоянному контролю технического состояния оборудования и т. п.

Проблемы в добыче, хранении и транспортировке нефти постоянно усугубляются вследствие неудовлетворительного состояния основных производственных фондов нефтедобывающих предприятий. В целом по нефтяной отрасли степень износа основных производственных фондов составляет более 60%, а по отдельным нефтяным компаниям достигла 70%, и продолжает расти. Особенно часто возникают проблемы при обустройстве скважин, проведении огневых, газоопасных и ремонтных работ. В связи с этим за последние 5 лет отмечен рост числа инцидентов по причине отказа и неисправности оборудования с 15 до 32% практически во всех технологических процессах. Также, согласно статистике, в числе причин возникновения аварийных ситуаций отмечаются нарушения правил эксплуатации и человеческий фактор, в том числе вследствие ослабления производственного контроля.

Анализ последствий разливов нефти показал, что наиболее значительный ущерб связан с авариями на морских объектах нефтегазового комплекса. Это обусловлено высокой уязвимостью и чувствительностью компонентов при-

родной и социально-экономической среды, а также их высокой концентрацией. Отличительной особенностью аварий на морских площадочных объектах является скоротечность развития аварийных процессов, связанных с выбросом углеводородов и их горением в условиях плотного размещения оборудования.

Следует отметить, что мировая история освоения континентального шельфа характеризуется достаточно обширной географией аварий с катастрофическими последствиями на буровых судах и платформах разного типа (погружных, полупогружных, передвижных, стационарных). Один из первых существенных инцидентов произошел 2 октября 1980 г. во время бурения на платформе Ron Tarrmeueg в Красном море. Результатом стал неконтролируемый выброс в акваторию около 150000 т сырой нефти, погибли 19 человек, экологический ущерб составил 800000 долларов.

Следующая крупная авария, повлекшая за собой нефтяное загрязнение, произошла на платформе Piper Alpha 6 июля 1988 г. в Северном море. В результате утечки газа и последующего взрыва, а также в результате непродуманных и нерешительных действий персонала погибли 167 человек из 226 находившихся в тот момент на платформе. Добыча нефти и газа была прекращена сразу же после аварии, но поскольку трубопроводы платформы были подключены к общей сети, соединяющей соседние платформы, на которых добычу длительное время не решались остановить без разрешения руководства компании, нефть продолжала поступать в акваторию, что поддерживало продолжающийся пожар. Ущерб составил 3,4 млрд долларов.

Новое тысячелетие ознаменовалось аварией на бразильской платформе Petrobras в Атлантическом океане в 125 км от побережья Бразилии. 15 марта 2001 г. из-за технической неисправности нефть и газоконденсат стали поступать в опорную колонну, что привело к взрыву. Имеющаяся на платформе аварийная система оказалась неработающей. В результате аварии погибли 11 человек, платформа затонула, а ущерб от разлива 125000 т нефти превысил 1 млрд долларов.

Но все же крупнейшей катастрофой в истории освоения морских месторождений является взрыв нефтяной плат-



формы Deepwater Horizon 20 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе в 80 км от побережья штата Луизиана (США). Через поврежденную скважину с глубины 1500 м за 152 дня инцидента в акваторию попало 5 млн баррелей нефти, образовавшей пятно площадью 75 тыс. км<sup>2</sup>, в момент взрыва погибли 11 человек. Попытки остановить утечку нефти продолжались до 4 августа 2010 г., параллельно проводились мероприятия по локализации и ликвидации нефтяного пятна. Только лишь 19 сентября 2010 г. было объявлено о полной герметизации поврежденной скважины. Экономический ущерб, по разным оценкам, составляет от 7 до 20 млрд долларов, затраты на ликвидацию последствий у компании British Petroleum превысили 9,5 млрд долларов, экологический ущерб не оценен до сих пор.

В канун 2013 г. во время шторма буровая платформа Kulluk, принадлежащая компании Royal Dutch Shell, села на мель в кабельтове<sup>1</sup> от побережья необитаемого острова Ситкалидак, недалеко от о. Кадьяк (южное побережье Аляски, США). По утверждению Береговой охраны США, инфракрасный мониторинг акватории места аварии следов нефтепродуктов не показал, однако на борту платформы находилось 568000 литров дизельного топлива и 45000 литров горюче-смазочных материалов. Крайне сложная навигационная обстановка обусловила высокий риск разлива нефтепродуктов.

Это далеко не все инциденты, произошедшие с буровыми платформами за последние несколько десятков лет. Вместе с тем обобщение и анализ сведений об авариях, произошедших на объектах подобного типа, позволяют выявить несколько взаимосвязанных причин их возникновения. А именно:

- неконтролируемый выброс нефти и/или газа из скважин;
- нарушение целостности несущих (или опорных) конструкций, а также отказы (или неполадки) оборудования;
- ошибки персонала;
- внешние воздействия техногенного характера (столкновение с морскими судами, падение вертолета, диверсии);
- независимые от человеческой деятельности обстоятельства (стихийные бедствия, природные явления).

Как показывает практика нефтегазодобычи нефти на континентальном шельфе, плавучие буровые установки характе-

ризуются достаточно высокой аварийностью, особенно при обустройстве скважин и бурении. Аварийное фонтанирование скважины при бурении и эксплуатации является одной из наиболее частых причин, приводящих к разливам нефти, а также лидирует по тяжести последствий (воздействие на персонал, объекты экономики и окружающей среды).

Что касается транспортировки нефти морем, то здесь также неизбежным спутником танкерных операций продолжают оставаться аварии. В последние годы прослеживается тенденция снижения аварийности нефтеналивного флота, но вместе с тем аварии на танкерах являются основным источником негативного экологического воздействия. Более того, высокий риск сохраняется вследствие интенсификации перевозки нефти морем, особенно при освоении Северного морского пути. Этот район вызывает живой интерес у всего мирового сообщества, ни у кого не вызывает сомнения его большое значение для развития торговли и промышленности. Северный морской путь является кратчайшим между Европой и Азией, и поэтому очевиден интерес к нему не только как к транспортной коммуникации между портами России, но и как к магистрали между портами Западной Европы и Восточной Азии. Современные технологии и ледокольное обеспечение позволяют использовать Северный морской путь круглогодично. Однако сложные природные условия и имеющиеся здесь уязвимые ресурсы обуславливают повышенные требования к обеспечению экологической безопасности. Степень рисков повышают специфические условия арктических морей — движущиеся льды, низкие температуры воды и воздуха, экстремальные шторма, которые не только осложняют судоходство, но и могут привести к разливам нефти. Учитывая высокую степень уязвимости арктических экосистем к антропогенному воздействию, и вместе с тем высокую экономическую значимость Северного морского пути, требуется внедрение современных инструментов, повышающих степень безопасности, в том числе и экологической, и снижающих риски. К таким инструментам относят, например, выделение районов ограничения антропогенной деятельности, разработку информационных систем обеспечения безопасности и другие, рассмотрение которых не входит в задачи данной статьи.



Вероятность и объемы разливов нефти зависят от ряда факторов, основными из которых являются: интенсивность судоходства, конструкция танкера и условия навигации. Согласно исследованиям ИМО, основными причинами аварий судов (84–88% аварий танкеров) и, соответственно, разливов нефти являются человеческий фактор и условия навигации. В России принимаются меры по снижению влияния человеческого фактора: во всех крупных морских портах России, в частности, в настоящее время работает система управления движением судов, которая позволяет обеспечить постоянный контроль местоположения судна, в портах с интенсивным судоходством внедрена система разделения путей движения судов и т. п.

Из аварий танкерного флота одним из крупнейших инцидентов, вызвавших наибольший общественный резонанс, является авария танкера «Эксон Валдез». Сравнительно небольшой объем нефти (по разным оценкам, от 37 до 70 тыс. т) привел к загрязнению более 1200 км побережья Аляски. Отсутствие взаимопонимания при организации ликвидационных мероприятий между Береговой охраной США, местными, федеральными властями, населением и экологическими организациями привело к тому, что время было упущено, нефть распространилась на значительное расстояние от севшего на рифы танкера и загрязнила уязвимые участки побережья. Компании «Эксон Мобил» были предъявлены иски от 38000 истцов. Общие затраты на ликвидацию и компенсацию ущерба составили более 5 млрд долларов.

Не менее громкой стала авария в ноябре 2002 г. танкера «Престиж», перевозившего российский мазут. К первой годовщине катастрофы у берегов Испании танкера «Престиж» Всемирный фонд природы опубликовал доклад, в котором были проанализированы ее последствия. Общий объем разлившего топлива был оценен в 64 тыс. т. Около 13 тыс. т этого нефтепродукта все еще оставалось в танках затонувшего судна. Еще 5–10 тыс. т находились на поверхности акватории в Бискайском заливе и периодически выбрасывались на берег. В совокупности было загрязнено более 3000 км побережья Испании, Франции и Великобритании, погибло более 300 тыс. птиц, огромный ущерб нанесен рыболовству и рекреации. Общая сумма экономических потерь, связанных с последствиями катастрофы танкера «Престиж», оценивается в 5 млрд евро. При этом они были возмещены не более чем на 3%.

Значительной экологической катастрофой отозвалась авария танкера «Солар 1» у берегов Филиппин в августе 2006 г. В результате попадания в акваторию 1800 т мазута оказались загрязненными не менее 300 км побережья, 500 гектаров мангровых лесов, 60 гектаров водорослевых плантаций. Пострадал морской резерват «Таклонг», на акватории которого обитают 29 видов кораллов и 144 вида рыб. Ущерб понесли более 3000 филиппинских семей, основным источником дохода которых было рыболовство.

Из разливов, затронувших российские побережья, нельзя не упомянуть об аварии танкера «Волганефть-139», разломившегося во время шторма в Керченском проливе 11 ноября 2007 г. В этот же день получил повреждение еще один танкер, шесть судов сели на мель, еще четыре затонули. В акваторию Азовского и Черного морей попало более 2000 т мазута. Только от гибели птиц и рыб ущерб составил почти 4 млрд руб.

В данной статье приведен далеко не весь список аварийных ситуаций, но на основании их анализа можно выделить ряд превентивных организационных мер, позволяющих снизить вероятность чрезвычайных событий. В общем виде их можно сгруппировать следующим образом.

- Обеспечение безопасной дистанции при навигации, что уменьшит риск навигационной ошибки.

- Создание навигационных коридоров для танкеров, особенно в зоне особо уязвимых и чувствительных к нефтяному загрязнению районов, что способствует снижению степени экологического риска.
- Внедрение систем автоматического распознавания опасных грузов и комплексной системы мониторинга прибрежных и портовых акваторий.
- Назначение специальных портов-убежищ, которые должны обеспечить безопасную эвакуацию аварийных танкеров.
- Формирование оперативной системы оповещения между капитанами судов и портовыми службами.
- Обеспечение своевременной и оперативной буксировочной поддержки, особенно для крупнотоннажного флота.
- Наиболее важными факторами, определяющими выбор конкретных подходов к обеспечению экологической безопасности морской акватории при транспортировке нефтепродуктов, являются ледовые условия, ограниченная видимость, обусловленная туманами, экстремальные значения температуры, влажности, скорости ветра и т. д. Это обуславливает необходимость проведения комплексных исследований состояния окружающей среды с целью выявления районов приоритетной защиты и районов ограничения антропогенной деятельности, позволяющих выявить прямые и обратные связи между загрязнением и способностью природной среды выполнять свои средообразующие, ресурсные и биосферные функции.
- Формирование системы готовности на случай разлива нефти и обеспечение своевременной локализации и ликвидации разлива. Для этого целесообразно формирование информационных систем обеспечения безопасности, позволяющих провести заблаговременное моделирование и отработку наиболее вероятных сценариев.

**Литература**

1. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах морских нефтегазовых месторождений. М. В. Лисанов, В. В. Симакин. Материалы II Международной конференции ROOGD-2008 «Освоение ресурсов нефти и газа российского шельфа: Арктика и Дальний Восток». 17–18 сентября 2008 г. С. 93–94.
2. О мерах по изучению и повышению эффективности освоения минерально-сырьевых ресурсов континентального шельфа Российской Федерации: доклад министра природных ресурсов и экологии РФ Ю. П. Трутнева на заседании Правительства РФ 12 мая 2005 г. // <http://www.concession.ru/parseDocument.php?DocName=111>.
3. Стратегия изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации на период до 2020 года // <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=20488>.
4. Maritime bulletin. Хроника катастроф // <http://www.odin.tc/2013/russian.htm>.
5. Инструкция по безопасности морских буксировок // Письмо Росморфлота от 08.07.1996 МФ-351921 «О введении в действие Инструкции...».
6. Дальневосточная ассоциация морских капитанов. Морские катастрофы // [http://www.kapitanydv.ru/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=10&Itemid=100](http://www.kapitanydv.ru/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=10&Itemid=100).
7. Метастазы Мексиканского залива // <http://www.kpe.ru/sobytiya-i-mneniya/ocenka-sostavlyayuschih-jizni-obschestva/zdorove-cheloveka-orujie-genocida/3328-metastazi-13-1>
8. [www.ru.wikipedia.org](http://www.ru.wikipedia.org).
9. Разливы нефти в море и обеспечение готовности к реагированию на них // <http://www.tekhnospas.ru/art/statii/neftnamore/>.



# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАТФОРМ НА РОССИЙСКОМ ШЕЛЬФЕ



**Миронов М. Е.,**  
доктор техн. наук, профессор,  
главный специалист  
ОАО «ВНИИГ  
им. Б. Е. Веденеева»

**Аннотация.** В статье рассмотрены актуальные вопросы проектирования морских гидротехнических сооружений (платформ), предназначенных для добычи нефти и газа на дальневосточном шельфе России. Основное внимание уделено конструкциям платформ и нормативно-правовой базе.  
**Ключевые слова:** шельф, погружные платформы, нормативно-правовая база.

**Abstract.** In article questions of design of sea hydraulic engineering constructions (platform) intended for an oil recovery and gas on the shelf of Russia are considered. Basic attention is given constructions of platforms and legal regulation.  
**Keywords:** shelf, submersible platforms, regulatory and legal framework.

К настоящему времени в практике освоения российского континентального шельфа наибольшее распространение получили погружные платформы — морские гидротехнические сооружения, состоящие из фундаментного основания (кессона), опорной части в виде нескольких колонн и верхнего строения. На шельфе они применяются в качестве оснований для бурения при добыче нефти и газа на участках с неблагоприятными ледовыми и волновыми условиями и глубинами в основном до 50 м.

Погружные платформы в процессе эксплуатации опираются на морское дно, но к месту эксплуатации они обычно буксируются в плавучем состоянии. Погружные платформы являются гравитационными сооружениями, т. к. их устойчивость на дне обеспечивается, главным образом, собственной массой. Для усиления связи платформы с грунтовым основанием при необходимости могут устраиваться «юбки» под подошвой.

Погружные платформы, например, для северо-восточного шельфа о. Сахалин, имеют основания гравитационного типа (ОГТ) в виде кессона и четырех колонн трубчатого сечения (рис. 1, 2; табл. 1).

С 2002 г. специалисты ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» принимали активное участие в процессе проектирования и изготовления ОГТ платформ ПА-Б, Лун-А и «Беркут», а именно:

- разрабатывали СТУ на железобетонные ОГТ;
- верифицировали основы проектирования и ТЭО (проекты) платформ;
- проводили сопоставление вариантов ОГТ из железобетона и стали;
- подтверждали соответствие проектов требованиям российских норм и стандартов в части обеспечения устойчивости платформ и несущей способности грунтового основания, а также прочности железобетонных колонн;
- разрабатывали утверждаемые части рабочих проектов, содержащие необходимые дополнения и изменения к ТЭО (проектам), а также разделы проектной документации, сопровождали указанные документы в надзорных органах вплоть до их утверждения и согласования;
- проводили испытания бетона ОГТ платформ ПА-Б, Лун-А и «Беркут» на прочность, водонепроницаемость и морозостойкость;



**Рис. 1.** Общие виды платформ ПА-Б (а), Лун-А (б) и «Беркут» (в), предназначенных для северо-восточного шельфа о. Сахалин (фото с сайта <http://www.offshore-mag.com>)

• осуществляли авторский надзор за изготовлением и строительством платформ и др.

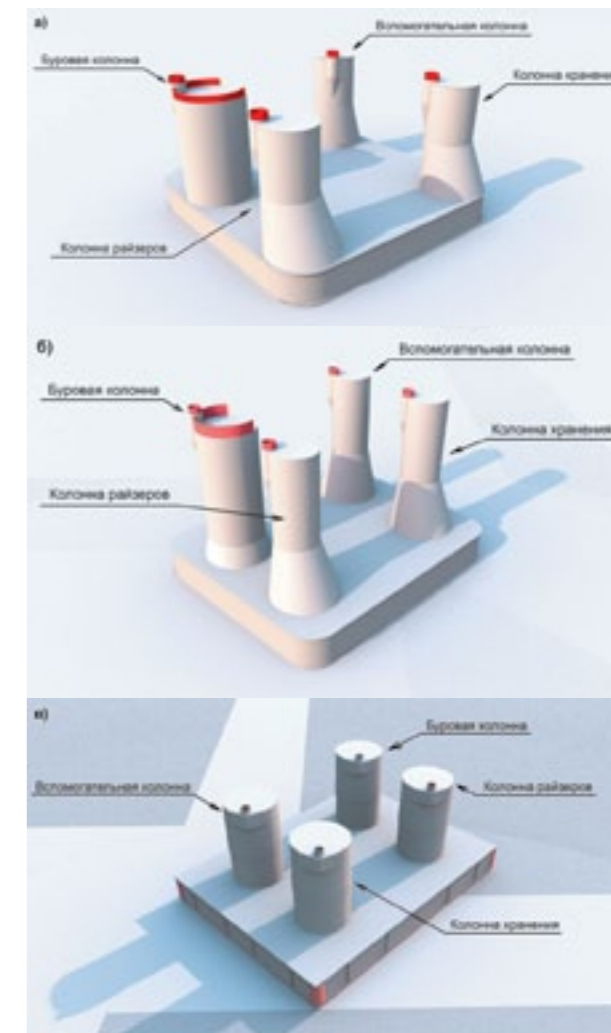
В ходе проектных работ и в процессе строительства были выявлены следующие достоинства погружных платформ с ОГТ, к примеру, в сравнении со свайными опорными блоками:

- устойчивость сооружений на сдвиг и опрокидывание обеспечивается большой собственной массой;
- все части ОГТ изготавливаются в береговых условиях, что существенно сокращает сроки строительства и обеспечивает высокое качество работ;
- ОГТ обладают собственной достаточной плавучестью, и это позволяет буксировать их на большие расстояния без применения вспомогательных средств обеспечения плавучести;
- значительно уменьшается продолжительность морских работ, т. к. ОГТ полностью изготавливаются и оснащаются требуемым технологическим оборудованием на береговой базе, буксируются по морю к месту эксплуатации в вертикальном положении, а устанавливаются на морское дно — в наклонном положении путем регулируемого затопления;
- сразу после посадки на дно ОГТ воспринимают нагрузки от волн, ветров, течений (что резко снижает вероятность повреждения штормами во время установки и в период временной стоянки без верхнего строения).

Среди недостатков ОГТ выделяется значительная стоимость строительства и эксплуатации сухого дока для изготовления и вывода сооружения на открытую воду (рис. 3).

Буксировка ОГТ к месту эксплуатации, их установка на грунтовое основание и защита дна от размывов осуществляются только в течение времени, ограниченного по условиям погоды. В связи со значительным собственным весом ОГТ и платформ в целом требуется учитывать повышенные требования к прочности и устойчивости грунтов дна.

К недостаткам также следует отнести большую осадку ОГТ во время буксировки (иногда требуется устройство глубоководного выводного канала). Необходимо предъявлять повышенные требования к качеству бетонных работ, т. к. вследствие усадочного трещинообразования может возникнуть доступ морской воды к арматуре. Возможны также повреждения наружных железобетонных стенок сооружений вследствие гидростатического давления воды при погружении ОГТ для установки на дно до заполнения всех отсеков водой.



**Рис. 2.** Проектные 3D виды ОГТ платформ ПА-Б (а), Лун-А (б) и «Беркут» (в)

Погружные платформы с железобетонными основаниями по конструктивному исполнению и характеру работы относятся к сооружениям строительного профиля. При транспортировке на место установки или перемещении на новое место работы погружные платформы должны обладать плавучестью и остойчивостью, однако эти стадии должны рассматриваться как переходные, т. к. они не оказывают определяющего влияния с конструктивной точки зрения.

Характеристика	Платформа		
	ПА-Б	Лун-А	«Беркут»
Размеры кессона, м	94×91,5×11,5	105×88×13,5	132,6×100×13,4
Диаметр колонн, м	17,2–24,2	16,2–26,3	25,6
Высота колонн, м	39,0–40,5	51,7–55,7	41,3
Общий вес кессона и колонн, тыс. т	94,6	109,0	156,7
Вес механического оборудования, тыс. т	2,5	2,9	4,2
Вес арматуры, тыс. т	14,2	15,7	19,9
Вес преднапряженной арматуры, тыс. т	0,98	1,10	2,64
Высота юбки под подошвой, м	Нет	Нет	1,4

**Табл. 1.** Характеристики ОГТ платформ ПА-Б, Лун-А и «Беркут»



Рис. 3. Общий вид сухого дока в порту Восточный

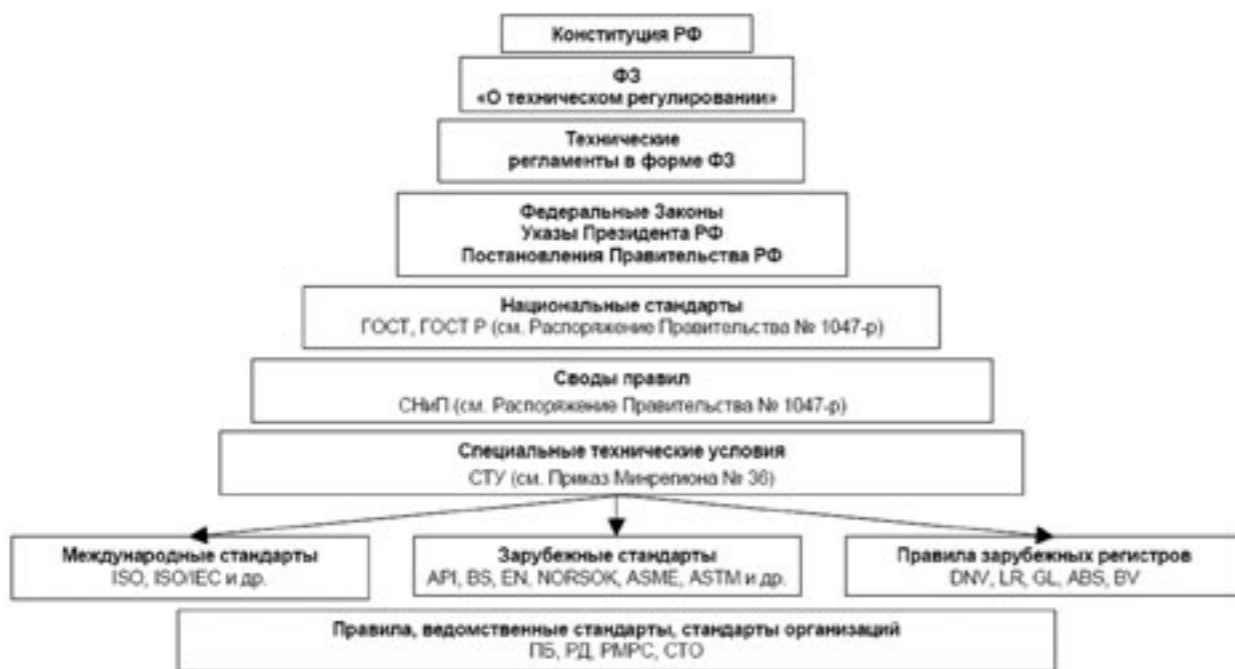


Рис. 4. Иерархия российской нормативно-правовой базы

Таким образом, требования к проектированию и строительству погружных платформ следует устанавливать в соответствии с требованиями действующих федеральных законов, постановлений (распоряжений) правительства РФ, нормативно-правовых актов и нормативных документов федеральных органов исполнительной власти в строительстве с учетом отраслевой специфики проектируемых объектов. Вопросы плавучести и остойчивости платформ во время морских операций должны решаться с учетом соответствующих правил Российского морского регистра судоходства (РМРС).

Иерархия российской нормативно-правовой базы для погружных платформ для российского континентального шельфа представлена на рис. 4.

В заключение необходимо подчеркнуть, что при проектировании, изготовлении и строительстве погружных платформ для освоения континентального шельфа России должны в полной мере выполняться требования федерального закона РФ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ.

11-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА ПО ОСВОЕНИЮ РЕСУРСОВ НЕФТИ И ГАЗА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА СТРАН СНГ

# RAO/CIS OFFSHORE 2013

11<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION FOR OIL AND GAS RESOURCES DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN ARCTIC AND CIS CONTINENTAL SHELF

**SEPTEMBER 10–13 СЕНТЯБРЯ**

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ • ST. PETERSBURG

**ЗАРЕГИСТРИРУЙТЕСЬ ЗАРАНЕЕ!**  
BOOK NOW! [www.rao-offshore.ru](http://www.rao-offshore.ru)

ГЕНЕРАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ: ГАЗПРОМ, РОСНЕФТЬ, WINTERSHALL, HALLIBURTON  
ОФИЦИАЛЬНЫЕ СПОНСОРЫ: TOTAL, Statoil  
СПОНСОРЫ: FMC Technologies, Schlumberger  
СПОНСОРЫ КРУГЛЫХ СТОЛОВ: CAMERON, DNV, Shell, ABS, SSP  
СЕКРЕТАРИАТ: РЕСТЭК  
Тел.: (812) 320 9660, 303 86 63  
E-mail: geo@restec.ru, rao2@restec.ru

## РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ МОРСКОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ШТОКМАНОВСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ — ОТ TLP ДО FPSO



**Шибакин С. И.,**  
доктор техн. наук,  
заместитель начальника  
департамента  
ООО «Газпром добыча шельф»

**Аннотация.** Ключевой задачей при обустройстве морских месторождения на арктическом шельфе является выбор типа конструкции платформы, которая позволит эффективно работать в сложных природных условиях, воспринимая весь комплекс воздействий окружающей среды.

**Ключевые слова:** морские месторождения, арктический шельф, ледовые условия, морская платформа.

**Abstract.** The main task for offshore infrastructure development on the Arctic shelf is selection of platform construction type that will permit to work efficiently in harsh weather conditions taking all kind of environmental effects.

**Keywords:** offshore fields, arctic shelf, ice conditions, offshore platform.

Штокмановское газоконденсатное месторождение (ШГКМ) характеризуется уникальным по сложности комплексом географических и гидрометеорологических факторов: значительные удаленность от берега (около 600 км) и глубина моря (более 300 м); тяжелый ветро-волновой режим; сложные ледовые условия с вероятностью появления айсбергов и полей двухлетнего льда. Поэтому ключевой задачей в общей проблеме освоения ШГКМ является создание эффективной технологической платформы, способной с необходимой степенью надежности противостоять природным воздействиям. В статье рассматривается более чем 10-летний путь эволюционного развития концепции технологической платформы для работы под воздействием экстремальных природных условий, даются результаты многокритериального анализа и формулируются рекомендации по выбору оптимального для ШГКМ типа технологической платформы.

Отсутствие практического опыта работ в подобных условиях и прямых аналогов проектных решений потребовало выполнения на первых этапах проекта большого объема НИ-ОКР не только по выбору конструкции платформ, но и в целом по разработке и обустройству месторождения.

Ближайшими прототипами платформ для ШГКМ являются прежде всего технологические платформы, примененные на месторождениях в Северном море.

К примеру, платформа Troll A (рис. 1) представляет собой железобетонную конструкцию гравитационного типа, установленную на глубине воды 305 м. Общая высота сооружения (опорный блок с верхним строением) — 472 м, размеры палубы ВСП 170×51 м, общий («сухой») вес опорного блока платформы — 656000 т (в том числе 100000 т армирующей стали), общий вес ВСП — 30000 т. В своем основании опорный блок имеет ребристые элементы (юбку), заглубленные в морское дно на 36 м. Платформа установлена на месторождении в 1995 г.

Одним из основных преимуществ стационарных платформ, фиксируемых на грунте, является высокая стабиль-

ность (малые перемещения) при внешних воздействиях волнения, ветра, ледяных образований и пр. Данное свойство платформ этого типа упрощает выполнение бурения скважин с платформ, а также позволяет использовать жесткие райзерные системы с фонтанной арматурой, размещенной на платформе. Эти решения являются отработанными и обладают высокой степенью надежности. Именно по этой причине на первых этапах разработки проекта (до применения в мировой практике подводных добывающих комплексов) Штокмановского месторождения рассматривались платформы, фиксируемые на грунте.

При этом, наряду с традиционными способами обеспечения устойчивости платформ на грунте, были рассмотрены дополнительные мероприятия по повышению стабильности платформ и их способности противостоять внешним воздействиям.

Также были рассмотрены плавучие платформы. Платформа Snorre (рис. 2) установлена в Северном море на глубине 308 м, что также примерно соответствует условиям ШГКМ. Эксплуатация платформы начата в 1992 г.

Платформа Snorre является одним из первых классических примеров плавучих сооружений, известных под аббревиатурой TLP (Tension Leg Platform) — платформ с натяжными связями, выполненными, как правило, в виде вертикальных труб диаметром около 1 м.

Стабильность этих платформ обеспечивается избыточной плавучестью опорной части, которая создает натяжение в вертикальных якорных связях. Опорная часть платформ TLP выполняется в основном для полупогружных платформ в виде четырехколонной конструкции.

Водоизмещение четырехколонной TLP Snorre — 106 тыс. т при эксплуатационной массе верхних строений около 60 тыс. т. Габаритные размеры платформы в плане — 125×105 м. Для балансировки платформы в каждом «углу» опорной части имеются цистерны балласта для приема до 1200 т воды.



Рис. 1. Платформа Troll A



Рис. 2. Платформа Snorre

Система удержания состоит из шестнадцати связей, размещенных по четыре в каждой колонне. Предварительное натяжение, создаваемое избыточной плавучестью, — 24 тыс. т. Связи выполнены из полых стальных труб  $\varnothing$  32 дюйма с толщиной стенки 38 мм. При обтяжке за счет упругости связи вытягиваются на ~25 см. При эксплуатации предусмотрена замена любой связи в случае выхода ее из строя с использованием технологии и оборудования, предусмотренных для монтажа связей. Допускается выход из строя одновременно только одной связи из шестнадцати.

На дне вертикальные связи крепятся к донным якорям. Якоря пенетрационные, железобетонной конструкции, с заглублением в грунт на 13 м.

Максимальное смещение платформы в горизонтальной плоскости при экстремальном шторме составляет около 40 м. При этом угловые и вертикальные перемещения практически отсутствуют.

Кроме платформ с четырехколонной опорной частью, известны также платформы TLP с моноколонной опорной частью, у которых крепление натяжных связей осуществляется к трем радиальным пилонам (рис. 3).

Такая форма опорной части благоприятна с точки зрения волновых и ледовых нагрузок.

Высокая стабильность по вертикальным и угловым перемещениям позволяет осуществлять с платформ типа TLP бурение практически без ограничений по погодным условиям. Благодаря этому

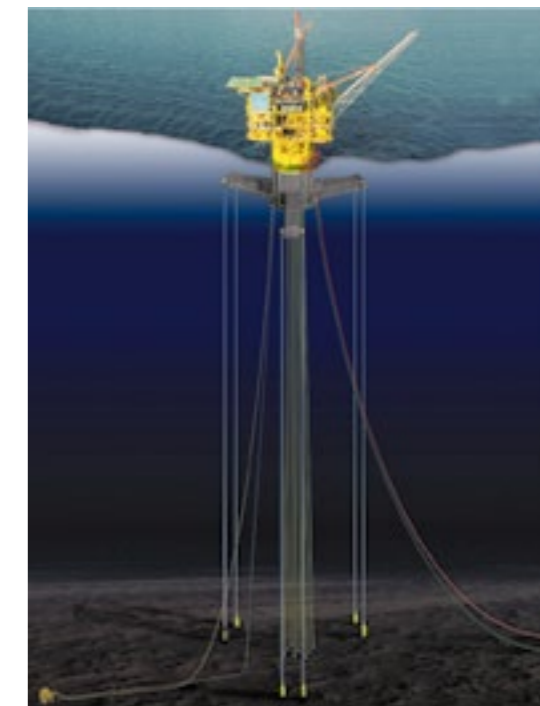


Рис. 3. Платформа TLP с моноколонной опорной частью

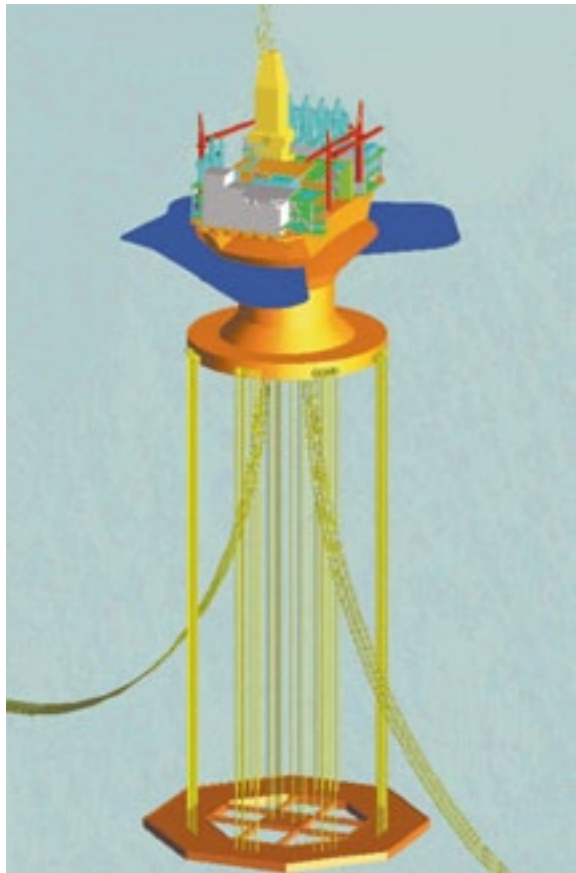


Рис. 4. Платформа TLP катушечной формы

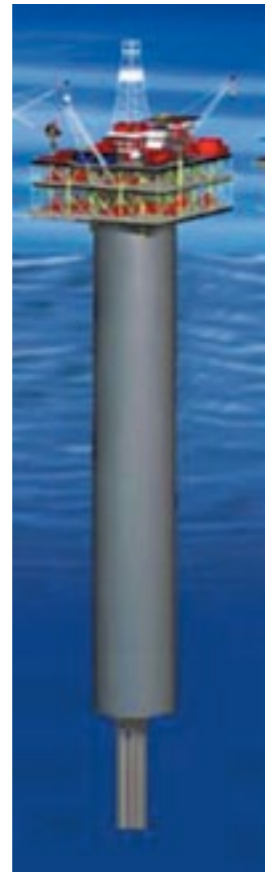


Рис. 5. Платформа типа SPAR Genesis

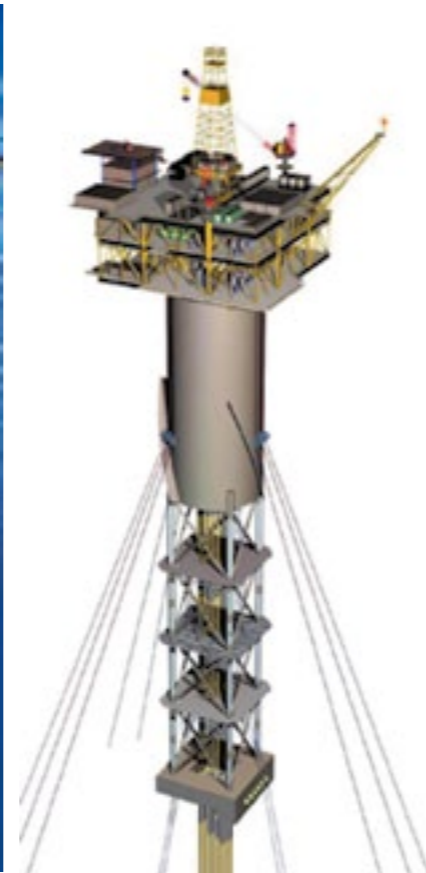


Рис. 6. Платформа типа SPAR Holsten

платформы TLP, как правило, оборудуются буровыми установками и используют как основную жесткую райзерную систему с фонтанной арматурой, расположенной на платформе. В этой связи платформа типа TLP была рекомендована к рассмотрению при обустройстве Штокмановского месторождения.

Стремление оптимизировать платформу типа TLP для восприятия и уменьшения ледовых нагрузок путем изменения конфигурации опорной части реализовано в предложении компании Сопосо, в соответствии с которым опорная часть платформы выполняется катушечной формы (рис. 4).

Такая форма обеспечивает уменьшение глобальной ледовой нагрузки примерно в 2 раза по сравнению с четырехколонной TLP.

Опорная часть удерживается вертикальными связями, которые натянуты за счет положительной плавучести. При массе верхних строений 53 тыс. т масса корпуса опорной части была определена как 50 тыс. т.

Одним из наиболее распространенных вариантов (типов) морских платформ, применяемых в глубоководных акваториях, являются платформы типа SPAR. Общие виды платформ Genesis и Holsten как наиболее представительных изображены на рис. 5, 6.

Платформа Genesis имеет классическую (традиционную) для SPAR конструкцию опорной части, выполненную в виде цилиндра. Эти платформы обладают качествами, которые позволяют их использовать в сложных условиях воздействия факторов внешней среды, включая и ледовые воздействия, из-за малых поперечных размеров в зоне воздействия льда.

Поэтому этот тип платформ был также рекомендован к рассмотрению для обустройства Штокмановского месторождения.

Плавучие платформы типа BUOY были проработаны компанией Aker Maritime по заказу компании Norsk Hydro в конце 90-х гг. прошлого века для массы верхнего строения 53 тыс. т (рис. 7). Опорная часть катушечной формы удерживается на месте установки наклонными якорными связями. Масса корпуса опорной части составляет более 80 тыс. т, что несколько больше, чем для плавучих платформ других типов.

Основными недостатками данной платформы являются значительные перемещения и крены опорной части при действии волновых и особенно ледовых нагрузок, а также сложности с обеспечением устойчивости платформы с установленными верхними строениями.

Исходя из вышесказанного, по первоначальному замыслу (1994 г.), на месторождении предполагалось установить несколько технологических платформ типа TLP (плавучая платформа на натяжных опорах), совмещающих в себе функции бурения эксплуатационных скважин, подготовки добываемого газа к транспортировке и отгрузки в морской трубопровод. Последующие проработки по обустройству ШГКМ были ориентированы на использование подводных добывающих комплексов (ПДК) для добычи углеводородов с последующей их транспортировкой по внутрипромысловым трубопроводам и райзерам на платформу, где предполагалось осуществление подготовки и отгрузки газоконденсатной смеси. Таким образом, произошло разделение функций: бурение скважин предлагалось осуществлять плавучими буровыми

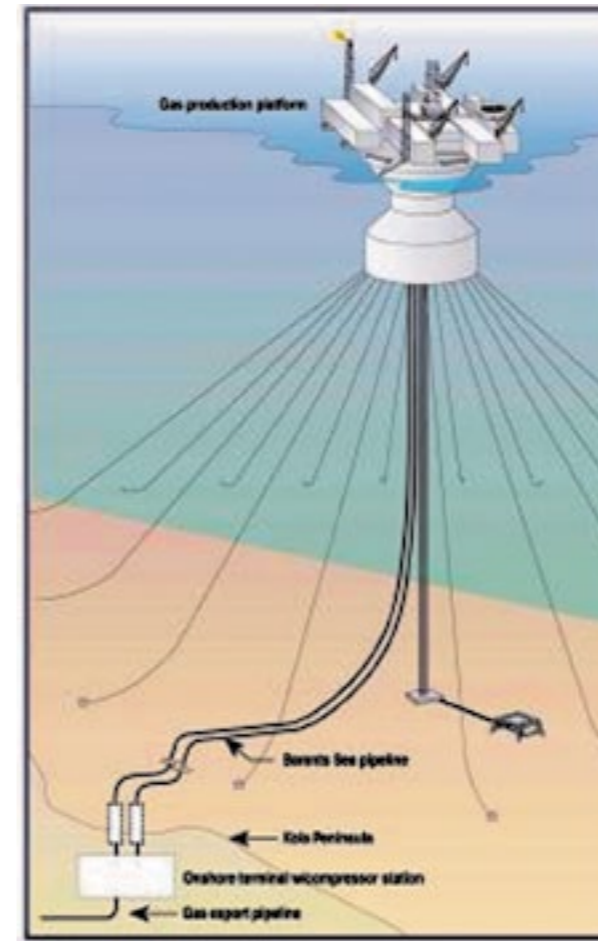


Рис. 7. Платформа типа Буоу

установками типа ППБУ, а для добычи, подготовки и отгрузки углеводородов с месторождения устанавливалась специализированная ледостойкая технологическая платформа. В качестве вариантов такой платформы стали рассматриваться конструкции плавучих платформ типа SPAR, BUOY и FPU (FPSO). В рамках обоснования инвестиций были выполнены обширные исследования по выбору типа платформы для обустройства ШГКМ. В результате этих исследований было рекомендовано для дальнейших проектных работ по обустройству ШГКМ использовать платформу типа SPAR. Выбор этого варианта в принципе был достаточно хорошо обоснован. Этот тип платформы обладает хорошими качествами поведения в природных условиях ШГКМ при сильном волнении и сложных ледовых условиях. Однако этот тип платформы применительно к ШГКМ обладал лимитированной грузоподъемностью по отношению к весу верхнего строения из-за ограниченной осадки платформы (глубины на точках установки платформ составляют около 300–350 м). Кроме этого, проведенные ледовые исследования в акватории ШГКМ показали возможность появления айсбергов массой до 10 млн т на точках установки платформ. В этой связи возникла необходимость по разработке технических решений по отводу платформы в случае надвигающейся угрозы столкновения с айсбергом. В этом случае для платформы SPAR возникали технические сложности по разработке узла отстыковки платформы от якорной системы удержания (ЯСУ).

По всем вариантам технологических платформ в ЦНИИ им. А. Н. Крылова проводились комплексные расчетно-экспериментальные исследования, направленные на оценку и



Рис. 8. Технологическая платформа типа FPSO

совершенствование их мореходных и ледовых качеств. В качестве логического завершения данного цикла работ ЦНИИ им. А. Н. Крылова совместно со специалистами ООО «Севморнефтегаз» (ныне ООО «Газпром добыча шельф») выполнен сопоставительный анализ вариантов морских платформ типа SPAR, BUOY и FPU (FPSO), в котором в полной мере задействованы результаты расчетно-экспериментальных исследований. В качестве органичной части анализа используется метод многокритериальных экспертных оценок, позволяющий восполнить объективно существующие на стадии концептуальных проработок области неопределенности.

В результате выполненного анализа получены следующие оценки:

- По эффективности платформа типа FPU (FPSO) превосходит платформу типа SPAR менее чем на 25% и BUOY более чем на 30%.
- Характеристики взаимодействия платформы типа FPU (FPSO) со сложными ледовыми и ветро-волновыми условиями ШГКМ, как показали расчетно-теоретические и экспериментальные исследования, не уступают, а во многих случаях превосходят характеристики платформы типа SPAR и тем более BUOY.
- Важнейшими преимуществами платформы типа FPU (FPSO), в первую очередь, являются:
  - самоходность, позволяющая быстрее и с большей безопасностью покинуть точку при угрозе столкновения с айсбергом, а также обеспечивающая минимальное количество ледокольной поддержки и существенное упрощение выполнения морских операций за один навигационный сезон;
  - наличие больших объемов корпуса для организации хранения добываемого конденсата и его отгрузки танкерам непосредственно от платформы, что позволяет реализовать транспорт на берег однофазной продукции — только газа и уменьшить потребность в оборудовании береговой инфраструктуры;
  - упрощение строительства и доведение его до полной готовности к морским операциям в заводских условиях;
  - обеспечение наибольшей безопасности персонала за счет размещения жилого комплекса на максимальном удалении от технологического оборудования.

В настоящее время завершена разработка проектной документации по технологической платформе типа FPU (FPSO) в составе морского добычного комплекса по освоению ШГКМ.

# СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК



**Иушин П. С.,**  
аспирант Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского



**Петрашев С. В.,**  
канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой технологий и эксплуатации нефтегазового оборудования Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского

**Аннотация.** В статье обобщены способы и устройства защиты морских нефтегазовых сооружений от ледовых нагрузок. Представлена сравнительная характеристика технологий защиты морских добывающих сооружений ото льда, даны обоснования современных технических средств защиты от ледовых нагрузок.

**Ключевые слова:** морские нефтегазовые сооружения, ледовые нагрузки, защита ото льда.

**Abstract.** The article generalizes ways and protection devices for offshore oil and gas structures from ice loads. It presents comparison of protection methods of offshore producing structures from ice, feasibilities for modern protective equipment from ice loads.

**Keywords:** offshore oil and gas structures, ice loads, ice protection

Проблемы, связанные с добычей нефти и газа, для современного общества являются актуальными. Основные крупные месторождения на суше уже находятся в разработке, поэтому возникла необходимость поиска и добычи углеводородов на морском дне. Технические решения для добычи углеводородов в тяжелых ледовых условиях включают как усиленную конструкцию платформ, так и технические средства их защиты.

Традиционно мероприятия по противоледовой защите сооружений принято разделять на пассивные и активные. Пассивные мероприятия защиты обеспечиваются конструкцией самого сооружения, его прочностью, массой и т. п. В этом случае нагрузки от движущегося льда полностью воспринимаются самим сооружением. Активные мероприятия защиты связаны со специальным воздействием на лед с целью его разрушения и уменьшения (или исключения) нагрузок ото льда на сооружение. Здесь лед может быть разрушен на подходах к сооружению, или ледовые нагрузки воспринимаются специальными устройствами на сооружении, так что непосредственно сооружение воспринимает только часть ледовой нагрузки. В целом воздействие ледовых нагрузок всегда существенно отражается на конструкциях применяемых сооружений [1].

К мероприятиям по пассивной защите с целью обеспечения ледостойкости сооружений можно отнести следующее:

- 1) Уменьшение площадей горизонтальных сечений в зоне воздействия льда, так что площадь контакта сооружения с ледяным полем сокращена. Таким образом, энергия навала ледяного поля расходуется на местные разрушения льда в сравнительно небольшой зоне контакта с сооружением.
- 2) Применение гравитационных сооружений с большой массой и с развитой площадью подошвы фундаментного блока для опирания на грунт дна. Благодаря увеличению площади подошвы достигается снижение напряжений в грунте основания и уменьшение опрокидывающего момента.
- 3) Устройство наклонных граней внешних поверхностей сооружения в зоне воздействия льда с целью снижения горизонтальных нагрузок ото льда. Разрушение ледяного поля в этих случаях обуславливается в первую очередь изгибом, а не сжатием. В свою очередь вертикальная реакция от воздействия льда способствует устойчивости сооружения, т. к. меньше сдвигающая сила и меньше опрокидывающий момент.

4) Применение сооружений с конической формой опорной части в зоне ватерлинии. **За счет чего ледовая нагрузка снижается — как вследствие уменьшения сечения опоры в зоне ватерлинии, так и вследствие работы ледяного поля на изгиб.**

5) Укрепление связи фундаментной части сооружения с грунтом морского дна посредством «пришивных» свай для закрепления сооружения к грунту дна. Для этого обычно применяются длинные сваи из стальных труб.

6) Устройство под подошвой фундаментного блока рубашек («юбок») в виде системы стальных или железобетонных вертикальных стенок (ножей) для связи с грунтом дна.

7) Замораживание грунтов дна с целью примораживания подошвы фундаментного блока к грунту основания. Иногда производится также глубинное замораживание грунта с помощью термосвай.

8) Укрепление слабых грунтовых оснований. Сюда относятся такие способы, как замена слабых грунтов, устройство песчано-гравийных подушек и дрен, уплотнение оснований и др.

9) Усиление строительных конструкций в местах контактов со льдом. Имеется в виду увеличение сечений стальных и железобетонных элементов, иногда железобетон покрывается листовой сталью и т. п.

10) Устройство скользящих покрытий поверхностей сооружения в зоне воздействия льда. Для этого используют покрытия с малым коэффициентом трения и др.

В настоящее время большинство шельфовых сооружений имеют пассивную защиту от воздействия льда, т. е. сама конструкция сооружения может полностью выдерживать ледовые нагрузки. Значительная часть сооружений на полярных шельфах является гравитационными с развитыми площадями подошв. Искусственные острова, в силу своих конструктивных особенностей, являются также гравитационными и имеют достаточную связь с морским дном.

Значительное количество конструкций платформ имеет элементы с наклонными или коническими наружными поверхностями. При наклонной поверхности ледяное поле разрушается в основном от изгиба. Нагрузка ото льда разделяется на горизонтальную и вертикальную составляющие. Горизонтальная нагрузка становится меньшей (по сравнению со случаем вертикальной поверхности), и, следовательно, улучшается работа сооружения на сдвиг. Появление верти-

кальной составляющей нагрузки способствует устойчивости сооружения, но увеличиваются напряжения на морское дно, что может быть недостатком при слабых грунтах оснований. Конические поверхности, аналогично наклонным, также уменьшают горизонтальные нагрузки ото льда на сооружение. Кроме того, при конической поверхности разрушенный лед легче удаляется от сооружения, так что меньше вероятность заторов.

В качестве недостатка следует отметить, что при наклонных и конических поверхностях усложняется швартовка судов и затрудняются грузовые операции (нужны краны с увеличенными выносами стрел и др.). Возможно наползание битого льда на откосы, так что в случаях искусственных островов увеличиваются высоты парапетов. Не исключено смерзание льда с наклонной поверхностью, в таком случае нагрузка ото льда не снижается, т. к. наклон поверхности не проявляется. При наклонной поверхности платформы в зоне ватерлинии увеличиваются в целом размеры сооружения (особенно при увеличенных глубинах), его масса, т. е. возрастает материалоемкость сооружения и его стоимость [2].

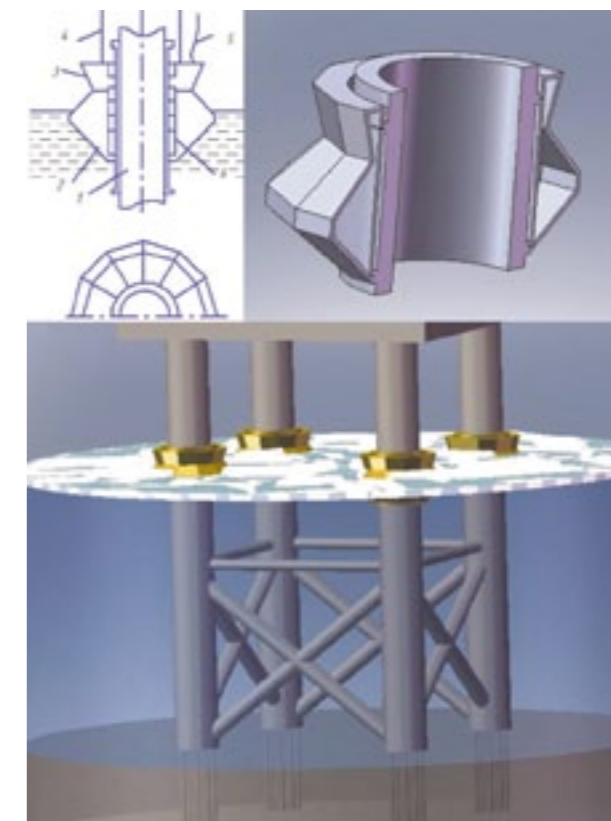
Для сравнения, в случае вертикальной поверхности платформы в зоне воздействия льда последняя полностью воспринимает силовое воздействие льда, но здесь меньше площадь контакта сооружения со льдом, проще технология работ по строительству платформ, меньше материалоемкость.

Для закрепления платформ с усиленной связью с морским дном [1] применяются анкерные сваи, устраиваются рубашки под подошвами фундаментных блоков, производится замораживание грунта оснований и др. Устраиваемые под подошвами стальные или железобетонные рубашки имеют высоты стенок ножей от 3 до 5 м. Пустоты под подошвами внутри рубашек заполняются под нагнетанием цементным раствором. Рубашки укрепляют основание и связывают с ним сооружение, как следствие, существенно увеличивается устойчивость сооружения на сдвиг и опрокидывание при действии ледовых и волновых нагрузок.

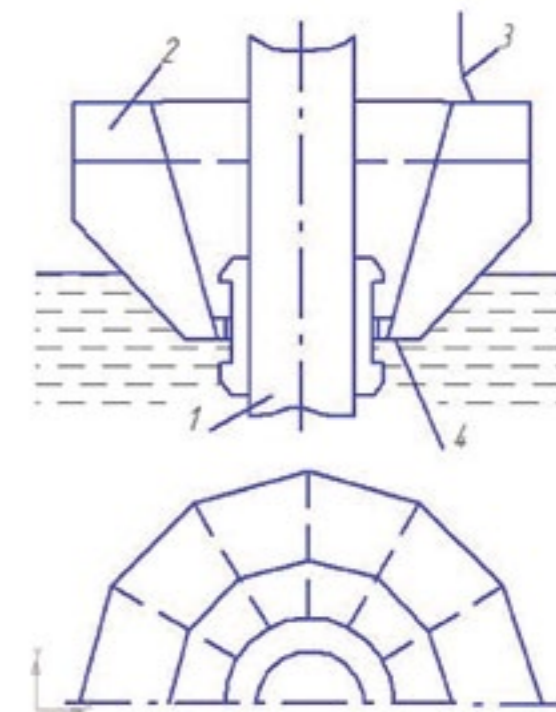
Примораживание подошвы сооружений к морскому дну выглядит достаточно перспективным. Здесь в конструкцию фундаментного блока по периметру монтируются трубы с диаметрами от 0,8 до 1 м, которые являются не только путями движения хладагента, но одновременно служат несущими элементами для фундаментного блока и обеспечивают его прочность. В качестве хладагента обычно используется керосин с отрицательной начальной температурой (примерно  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Данный способ имеет ряд положительных свойств. Расход энергии на охлаждение хладагента производится только в короткий летний сезон времени, в связи с низкими отрицательными температурами воздуха в другие времена года. Для примораживания сооружения не требуется производства специальных работ по подготовке грунта основания морского дна. Примораживание применимо для ряда конструктивных типов платформ. К отрицательным сторонам примораживания относятся:

- 1) отсутствие достоверного контроля за ходом примораживания грунта;
  - 2) эксплуатационные расходы, связанные с работой установок для обеспечения движения хладагента;
  - 3) пожароопасность и возможное загрязнение среды при повреждениях трубопроводов и др.
- Примораживание более целесообразно при малых глубинах и устойчивых отрицательных температурах воздуха. Более затруднительно замораживание глинистых грунтов. Применение термосвай для укрепления оснований сооружений уже давно распространено в строительстве. Производится погружение термосвай в грунт основания. Происходит замораживание грунта в зоне погружения свай под фундаментным блоком платформы. При этом достигается более глубинное замораживание грунта, чем в случае примораживания. Следует иметь в виду, что сами термосваи укрепляют основание и связывают его с платформой.



**Рис. 1.** Схема вертикально перемещающегося бандажа на колонных платформах: 1 — колонна; 2 — балластные отсеки; 3 — отсеки с насосами и подогревом воды; 4 — подъемные тросы; 5 — силовой кабель; 6 — опорное подшипниковое устройство



**Рис. 2.** Схема поворотного бандажа на колонных платформах: 1 — колонна; 2 — отсеки с насосами и подогревом воды; 3 — силовой кабель; 4 — опорное подшипниковое устройство

Укрепление грунтовых оснований и улучшение их свойств является довольно распространенным способом пассивной защиты сооружений. К основным мероприятиям по созданию оснований с необходимыми свойствами относятся:

- удаление верхнего слоя слабых грунтов целью посадки сооружения на более прочные нижние слои грунта;
- устройство песчаных и песчано-гравийных подушек без замены или с частичной заменой слабых грунтов в основании;
- устройство песчаных дрен для консолидации грунтов слабых оснований; часто для этого дрены устраиваются под песчаными подушками, что существенно ускоряет консолидацию основания;
- вибрирование рыхлых песчаных оснований с целью их уплотнения;
- инъекция цементного раствора под подошву сооружения для обеспечения плотного контакта сооружения с основанием;
- укрепление основания сваями, так что в работу вовлекаются большие массы грунта и усиливается связь сооружения с основанием;
- устройство ограждающих стенок в основании из стального шпунта; иногда используют мешки с камнями весом от 50 до 100 кг, укладываемые обычно по периметру фундаментного блока, с образованием, таким образом, бермы.

Зарубежными специалистами из США, Японии и Швеции предложен также способ укрепления слабых грунтов оснований путем глубокого перемешивания грунтов с цементным раствором. Подача раствора в грунт дна осуществляется по трубам, оборудованным смесителями лопастного типа. Опытные работы на шельфе моря Бофорта (бухта Гаррисона) показали эффективность такого способа. При этом несущая способность слабого основания увеличивается в десятки раз.

Чем более шероховатая поверхность конструкции, тем более благоприятные условия для ее смерзания со льдом. Ледовые нагрузки при этом на наклонные поверхности увеличиваются. Поэтому с целью уменьшения нагрузок ото льда на наклонных поверхностях устраиваются скользящие покрытия с малым коэффициентом трения. Покрытие играет роль смазки, уменьшается прилипание льда к конструкции, затрудняется обмерзание конструкции. Имеются примеры применения покрытий на эпоксидной (полиуретановой) основе с коэффициентом трения до 0,03 (аналогично покрытиям корпусов ледоколов). Такие покрытия выполняются в условиях верфи при строительстве отдельных платформ [3].

Истирающее действие льда разрушающе действует на конструкции сооружений. Поэтому для защиты конструкций в зонах воздействия льда устраиваются противоледовые пояса. Так, железобетонная конструкция сооружения защищается обшивкой из толстостенной листовой стали, крепящейся к заделанным в бетон стальным закладным элементам (анкерам). Для защиты основной конструкции устраиваются также железобетонные противоледовые пояса из предварительно напряженных железобетонных элементов (плит, скорлуп и др.).

При использовании активных методов защиты воздействия льда первоначально воспринимается специальными устройствами на защищаемом сооружении или у этого сооружения, а затем уже разрушенный лед вступает в контакт с сооружением. При этом нагрузка ото льда на сооружение меньше по значениям, а также изменяется характер воздействия льда. К мероприятиям, снижающим или исключающим нагрузки ото льда на сооружения, относятся следующие:

- использование ледоколов для разрушения ледяных полей;
- устройство прорезей (траншей) в ледяном покрове, окружающем сооружение;
- применение специальных конструктивных устройств для разрушения льда (устройства монтируются, например, на опорном стволе платформы-монопода или на опорных колоннах платформы);
- применение направленных взрывов для разрушения ледяных полей, затворов;

- обогрев конструкции сооружения в зоне воздействия льда с целью таяния льда и снижения его прочности;
- применение пневматических или гидравлических установок для накачки под ледяной покров у сооружения горячей среды (попутного газа, воздуха, пара, выхлопных газов, воды);
- использование для работ буровых судов, разрушающих ледяной покров качкой корпуса.

Из отмеченных выше мероприятий активной защиты ото льда наиболее распространенным и надежным является использование ледоколов. С целью снижения ледовых нагрузок получило широкое распространение устройство прорезей, или траншей, в ледяном покрове. Так, в случае круглого в плане искусственного острова или сооружения в окружающем ледяном покрове устраивается сеть круговых в плане и радиальных прорезей. При навале на остров разрушения льда происходят прежде всего по системе прорезей как наиболее слабым местам; в результате общая нагрузка ото льда уменьшается. Устраиваются сухие (глухие, несквозные) и мокрые (сквозные) прорези. При сухой прорези делается траншея, ледяное дно которой препятствует поступлению воды в прорезь (и на поверхность льда). При мокрой прорези траншеи сквозные (до воды). Прорези устраиваются как вертикальные, так и наклонные. Может устраиваться комбинация сухих и мокрых прорезей. Применение направленных взрывов также является надежным способом защиты, но при этом наносится вред экологии среды, иногда требуется эвакуация обслуживающего персонала платформ и др.

С целью снижения ледовых нагрузок на сооружения известны случаи практического применения обогрева строительных конструкций в местах контакта со льдом. Для этого рекомендуется использовать отработанные газы из газовых турбин или дизель-генераторов, тепло которых должно передаваться теплоносителю — морской воде с антифризом [2]. Теплоноситель уже должен подогревать соответствующие конструкции сооружения.

Устраиваются пневматические и гидравлические установки для разрушения ледяного покрова. Получил практическое применение пневматический способ разрушения льда воздушными струями, выпускаемыми из перфорированных трубопроводов, уложенных по дну. Другие мероприятия находятся в стадии исследований и опытного применения.

Нашло применение использование конструктивных специальных устройств для разрушения льда. Наиболее часто используются противоледовые защитные устройства типа бандажей (манжет, поясов и т. п.), монтируемых на опорном стволе или на колоннах платформ в зонах воздействия льда. Само бандажное устройство обычно представляет собой стальной разделенный внутри на отсеки понтон с круговой или многогранной формой в плане и с наклонными (в том числе коническими) боковыми поверхностями для разрушения льда. В отсеки понтона может подаваться горячий агент (воздух, пар, вода и пр.).

Одно из известных предложений по активной защите ото льда платформ с колоннами заключается в устройстве на колоннах ледокольных бандажей в зоне ватерлинии (рис. 1). Каждый бандаж подвешивается к тросам лебедок, установленных в надводном строении платформы, и может перемещаться по вертикали. Наружные поверхности бандажей наклонные, так что лед может разрушаться при движении бандажей как вниз, так и вверх. Бандаж гравитационного типа, имеет значительную собственную массу, так что при опускании вниз он разрушает лед своим весом. Колонна в зоне ледокольного бандажа укрепляется, при этом сам бандаж движется по роликовым направляющим. Очевидно, что ледокольный бандаж может находиться в зоне ватерлинии только во время подвижек льда. Все остальное время бандаж может быть в поднятом тросами положении у надводного строения платформы, вне воздействия льда и волн.

Известным является также предложение по активной защите ото льда колонн платформы посредством поворот-

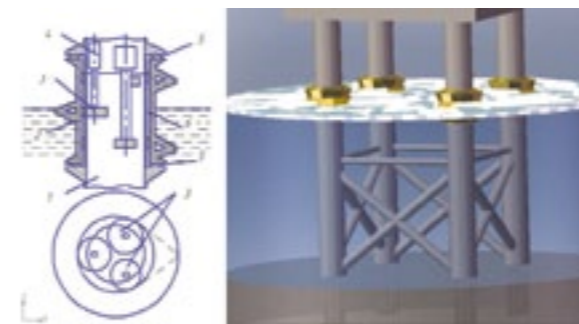


Рис. 3. Схема ледорезов винтового типа на колонне многоопорной платформы: 1 — колонна; 2 — винтовой корпус с резьбой; 3 — зубчатое колесо привода; 4 — электродвигатель; 5 — опорные подшипниковые устройства; 6 — зубчатое колесо

ного ледокольного бандажа (рис. 2). Последний шарнирно закрепляется внизу к опорному кольцу на колонке и может совершать поворотные движения. Корпус бандажа имеет «ледокольные» обводы, так что разрушение льда происходит, как при движении ледокола. Бандаж может снабжаться разрушающими лед устройствами, например, буровой машиной, ледорезными фрезами, подачей под лед горячей воды или жидкости и др. Внутренний объем бандажа разделяется на водонепроницаемые балластные отсеки, заполняемые подогретой водой (подогрев для исключения смерзания).

Известны зарубежные и отечественные предложения по устройству на колоннах платформ цилиндрических бандажей с винтовой наружной поверхностью (рис. 3). Бандаж приводится во вращение электродвигателем, при этом в процессе разрушения льда возникают горизонтальные и вертикальные составляющие нагрузок. Винтовая поверхность (нарезка) бандажа имеет внутри каналы для движения в них горячей жидкости или газа с целью исключения обмерзания. Винтовой бандаж устанавливается на колонну и включается в работу по разрушению льда только на время подвижек ледяного поля.

Следует заметить, что применение бандажных ледокольных устройств не зависит от глубин, на которых устанавливается платформа. В принципе, возможно применение подобных устройств и на колоннах полупогружных платформ.

Имеется предложение для защиты ото льда платформ типа монопод устраивать на опорном стволе винтовую ледорезную поверхность с клиновидными профилями зубьев (рис. 4).

При контакте с винтовой поверхностью ледяное поле претерпевает деформации прорезания и излома в совокупности с изгибом и сжатием. Касательная составляющая реакции винтовой поверхности уводит разрушенный лед из зоны сооружения, так что исключается образование торосов. Испытания в ледовом бассейне Арктического и Антарктического научно-исследовательского института показали, что нагрузка от плавающих ледяных полей на опорный ствол с винтовой поверхностью примерно в 2 раза меньше, чем в случаях отсутствия винтовой поверхности.

Представляет интерес ледорезное пневматическое устройство для защиты платформ типа монопод (рис. 5). На опорном стволе платформы имеется стационарное конусное устройство в виде двух усеченных конусов, соединенных основаниями [4]. Дополнительно к этому для разрушения льда служит предложенное подводное ледорезное пневматическое устройство, которое включает: плавающие понтоны с избыточной плавучестью, имеющие в плане общую форму окружности или многоугольника; бандаж (может совершать вертикальные перемещения по стволу); трубчатые кронштейны, соединяющие бандаж с понтонами; упоры на опорном стволе; пустотелые ножи, установленные на палубах понтонов.

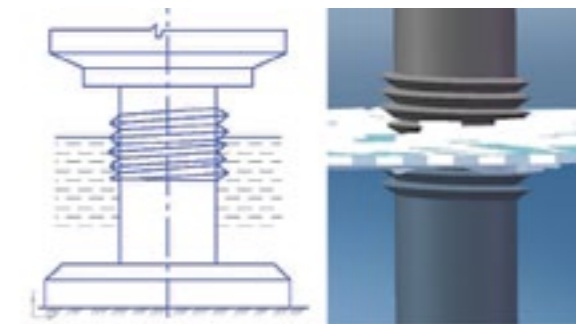


Рис. 4. Схема ледорезов винтового типа на опорном стволе платформы типа монопод

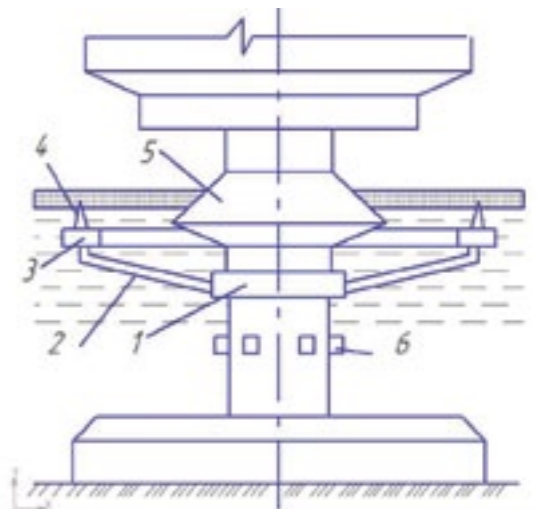


Рис. 5. Схема ледорезного пневматического устройства для защиты платформ типа монопод: 1 — бандаж; 2 — трубчатый кронштейн; 3 — плавучий понтон; 4 — пустотелый тяз; 5 — стационарное конусное устройство; 6 — упор

Вертикальные перемещения всей пневматической системы обуславливаются соответствующей балластировкой понтонов. Понтоны, бандаж и в целом вся пневматическая система могут совершать вертикальные перемещения. Высотные положения упоров и конусов зависят от колебаний уровня, отметок и толщин, ледяных полей и др. При нахождении понтонов в подводном положении и удалении из них водяного балласта происходит всплытие пневматической системы до упора кромок ножей в ледяное поле снизу. Резка льда производится горячим воздухом (отработанными газами, паром), вытекающим из кромок пустотелых ножей. Воздух к ножам подается через трубчатые кронштейны. Образующиеся подрезы льда способствуют разрушениям ледяных полей при их последующем взаимодействии с конусным устройством. При этом уменьшаются нагрузки на платформу в целом от воздействия льда.

#### Литература

1. Симаков Г. В., Храпаты Н. Г., Марченко Д. В. *Ледостойкие гидротехнические сооружения континентального шельфа: учебное пособие*. Владивосток: ДВПИ, 1984. 52 с.
2. Беллендир Е. Н., Глаговский В. Б., Кривоногова Н. Ф., Сапегин Д. Д. *Обоснование проектирования стационарных сооружений на арктическом шельфе // Гидротехническое строительство*. 1997. № 7. С. 31–35.
3. Алексеев Ю. Н. и др. *Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа / Ю. Н. Алексеев, В. П. Афанасьев, О. Е. Литонов, М. Н. Мансуров, В. В. Панов, П. А. Трусков*. Гидрометеиздат. СПб., 2001. 282 с.
4. Черепанов Н. В. *Классификация льдов природных водоемов // Труды АНИИ*. 1976. Т. 331. С. 77–99.

# СОВРЕМЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ БЕРЕГОЗАЩИТЫ И ПРОБЛЕМЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА МОРСКИХ БЕРЕГАХ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ



**Басс О. В.,**  
Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград

**Аннотация.** Анализ современного состояния системы берегозащиты берегов Балтийского моря в пределах Калининградской области. Аварийное состояние гидротехнических сооружений не обеспечивает эффективную защиту морских берегов от разрушения. Современная концепция морской берегозащиты определяет, что берегозащитные сооружения должны регулировать перемещение наносов в прибрежной зоне моря с целью сохранения и восстановления пляжевой полосы, как основного элемента защиты берега.

**Abstract.** The analysis of a current state of system protection coast of the Baltic Sea within the Kaliningrad region. The accident condition of hydraulic engineering constructions doesn't provide effective protection of sea coast against destruction. The modern concept sea protection defines that bank protection constructions have to regulate movement of deposits in a coastal zone of the sea for the purpose of preservation and restoration of a beach strip, as basic element of protection of the coast.

Морское побережье в пределах Калининградской области (протяженностью 147 км) — единственный регион Российской Федерации, расположенный в открытой части Балтийского моря. На побережье располагаются курорты федерального значения (Светлогорск — Отрадное и Зеленоградск), имеющие значительный рекреационный потенциал, а также особо охраняемые природные территории (ООПТ), в том числе национальный парк «Куршская коса». Кроме того, в пределах региона РФ расположены трансграничные акватории лагун Балтийского моря — Вислинского и Куршского заливов (с суммарной протяженностью берегов 295 км).

В последние десятилетия отмечается рост негативного воздействия вод Балтийского моря в пределах Калининградской области на морские и лагунные берега. Штормовое воздействие приводит к потере ценных приморских территорий, исчезновению песчаных пляжей, что препятствует развитию хозяйственной деятельности на побережье, снижает туристическую и рекреационную привлекательность региона (рис. 1).

Юго-восточное побережье Балтийского моря является районом, где защита берегов имеет давние традиции [1, 2]. Первоначально германскими гидротехниками берегозащита концептуально принималась как «система укрепленных пунктов (точек)», где основными являлись берегозащитные сооружения — волноотбойные береговые стены и набережные.

В дальнейшем было установлено, что продольные сооружения не обеспечивают достаточной защиты морских берегов от штормового воздействия моря (рис. 2).

Поэтому в начале XX в. произошло изменение концепции берегозащиты — на участках берега, подверженных интенсивной абразии, наиболее эффективными были признаны пляжеудерживающие сооружения (буны) [2–5].

Применение бун в регионе базировалось на положительном опыте применения бун на морских берегах Голландии, Германии и речных берегах Швейцарии и Франции.

Строительство бун велось со второй половины XIX в. на морских и лагунных берегах Вислинской и Куршской кос [2].

В 1925–1927 гг. на участках берега, подверженных интенсивной абразии, был построен комплекс бун разных конструкций в береговой полосе длиной 21 км (рис. 3). В ходе строительства использовался более чем 80-летний опыт сооружения бун на морских песчаных берегах.

Строительству предшествовали обширные научные исследования, специальные изыскания и лабораторные исследования (моделирование в волновом лотке) [6–11].

Как показала дальнейшая практика, принципиальный подход к применению бун для берегозащиты песчаных берегов и разработанная в конце XIX в. технология сооружения бун косы прошли испытание временем и во многом не потеряли практической значимости для решения задач защиты берегов в настоящее время.

Послевоенное берегозащитное строительство на море в пределах Калининградской области до настоящего времени концептуально, в большей степени, соответствует принципам позапрошлого века: ГКУ КО «Балтберегозащита» возводит исключительно набережные (променады), волноотбойные береговые стены (в том числе и из габионов).

Анализ современного состояния системы берегозащиты показал, что основной причиной неэффективной работы большинства пляжеудерживающих сооружений является общий дефицит наносов на подводном береговом склоне [12–13]. Кроме того, было отмечено, что эффективность работы бун значительно снижают продольные сооружения (стены) [14].



**Рис. 1.** Разрушаемые морские и лагунные берега в пределах Калининградской области (выделено красным цветом)

Аварийное состояние гидротехнических сооружений (довоенной постройки и возведенных в последние десятилетия) не обеспечивает эффективную защиту морских берегов от разрушения (рис. 4).

Кроме того, долговечность эксплуатации габионов в штормовых условиях вызывает большие сомнения (рис. 5).

В настоящее время общепризнано, что наиболее эффективным методом берегозащиты является создание искусственных пляжей, в том числе применительно и к берегам Самбийского полуострова.

В качестве источника песчаного грунта при создании искусственных пляжей ГКУ КО «Балтберегозащита» рассматривает подводные месторождения наносов в прибрежной зоне Балтийского моря.

В этой связи следует вспомнить о полузабытых проектах по искусственной подпитке береговой зоны Самбийского полуострова наносами.

Это, во-первых, транспорт пульпы из карьера Янтарного комбината на северный берег (проект, имеющий более чем сорокалетнюю историю) [12, 13].

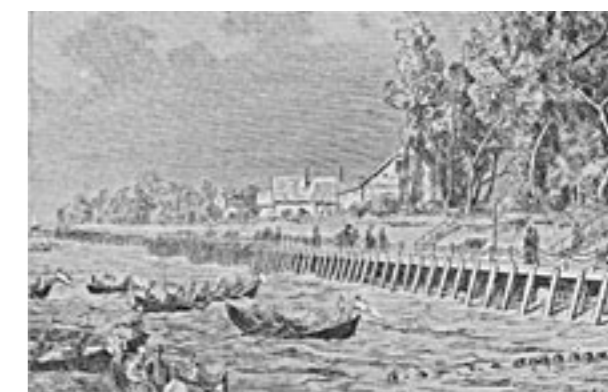
Во-вторых, проект террасирования обвално-оползневых склонов. Террасирование — классический способ борьбы с обвално-оползневыми процессами крутых склонов и откосов. Если производить селективно (с учетом инженерно-геологического строения береговых обрывов) сброс горных пород в море, может быть решена проблема по искусственной подпитке береговой зоны Самбийского полуострова [13].

В-третьих, восполняемые запасы кондиционных песчаных наносов, расположенных на западном берегу Самбийского полуострова, — зона мощной аккумуляции наносов южнее м. Обзорный (Окунево). На этот участок береговой зоны протяженностью 4,5 км поступают наносы от размыва техногенных отложений горных пород из карьеров Янтарного комбината.

В-четвертых, представляется перспективным отвал песчаных грунтов дноуглубительных работ на подходе к каналу порта Пионерский в береговую зону для создания искусственных пляжей в районе курортов Светлогорск и Зеленоградск.

При создании искусственных пляжей мировой опыт рекомендует: для снижения выноса песчаного материала с искусственных пляжей необходимо первоначально возвести наносоудерживающие (буны) и волногасящие (волноломы) сооружения с учетом природных условий и морфологических процессов.

Современная концепция морской берегозащиты определяет, что берегозащитные сооружения в условиях развития побережья, наряду со снижением волнового воздействия на



**Рис. 2.** Променады и буны у Кранца (Зеленоградск), 1880 г. [2]



**Рис. 3.** Проект строительства бун 1925–1927 гг. [3]



**Рис. 4.** Набережная и фрагменты бун, гор. Светлогорск, май 2013 г.

береговой склон, должны регулировать перемещение наносов в прибрежной зоне моря с целью сохранения и восстановления пляжевой полосы как основного элемента защиты берега.

Берегозащитные мероприятия должны предусматривать возможность использования существующей системы берегозащиты, учитывая их современное состояние и эффективность сооружений [15, 16].

Развитие приморского рекреационного потенциала региона в современных условиях не представляется возможным без оперативно действующей системы берегозащиты.



Рис. 5. Состояние габионов у г. Светлогорска после четырех лет эксплуатации, 2013 г.

**Литература**

1. Žaromskis R. Skirtingos žmonių veiklos poveiris pietryčių Baltijos krantų raidai. // Geografijos metraštis 34 (I). t. 2001. Nr. 59–72.
2. Arbomeit J., Bock P., Jentsch A. Handbuch des deutschen Dunnenbaues. Berlin, 1900. 435 s.
3. Heiser H. Uferschutzbau an der deutschen Ostseeküste // D. Bautechnik, H. 53. Berlin, 1927.
4. Magens K. Uferschützbauen an der Ostseeküste von Dars bis Hiddensee. Hannover, 1958.
5. Bülow K. Allgemeine Küstendynamik und Küstenschutz an der südlichen Ostsee zwischen Trawe und Swine // Berlin, Beiheft zur Zeitschrift "Geologie", № 10, 1954.
6. Torngüst A. Die Wirkung der Strumpf von 9 bis 10 Januar 1914 auf Samland und Nehrung // Schr.d physik Ges Leipzig u. Berlin, 1914.

7. Tornquist A. Geologie von Ostpreussen. Berlin, 1910. S. 199-21.
8. Mortensen H. Die Morphologie der samlandische Steilküste auf Grund einer phisko-morphologischen Kartierung des Gebietes. H. III, Hamburg, 1921. 74 s.
9. Pratie O. Der Verblieb des Abbruchmaterials des Samlandküste // Geol.d.Meers, Königsberg, 1932.
10. Tidemann B. Über Wandern des Sandes Küstenraum des Samlandes. Zeitschr. Bauw. № 199. 1930.
11. Kressner B. Modellversuche über Wirkungen der Strömungen und Brandungswellen auf sandigen Meersstrand und die zweckmäßige Anlage von Strandbuhnen // D. Bautech. H. 25, Berlin, 1928. S. 374–386.12.
12. Айбулатов Н. А., Жиндарев Л. А., Пискарева М. А. Транспорт наносов в береговой зоне юго-восточной Балтики / Природные основы берегозащиты. М.: Наука, 1987. С. 99–115.
13. Бойнагрян В. Р. Морфология и динамика берегов Самбийского полуострова // Океанология, 1966. Т. 6, вып. 3. С. 16–21.
14. Басс О. В. Современная концепция берегозащиты и проблемы гидротехнического строительства на морских берегах Калининградской области // Гидротехника. 2012. № 3 (28). С. 68–70.
15. Свод правил. СП 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. М.: Корпорация «Трансстрой», 1998. 166 с.
16. Кофф Г. Л., Басс О. В., Борсукова О. В., Цекоева Ф. К. Вопросы берегозащиты морского побережья Калининградской области. Науч.-метод. изд., ДВФУ, Владивосток, 2012. С. 42.

# 4.

93-124

## СТРОИТЕЛЬСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГТС

Дизельгенераторы, насосы, приводы буровых, погрузчики, бульдозеры, камнедробилки, трубокладчики, карьерное оборудование...

**ПРИ ЗАКАЗЕ ОБОРУДОВАНИЯ ТРЕБУЙТЕ ТЕХНИКУ С ДВИГАТЕЛЕМ VOLVO!**

**МЫ ОБЕСПЕЧИМ ВАМ:**

- сервис европейского уровня
- поставку запасных частей, соответствующую мировым стандартам
- специальную программу поддержки крупных удаленных клиентов

Вопросы – по e-почте  
 Подробности – на сайте

volvopenta.ru@volvo.com  
 www.volvopenta.com/industrial

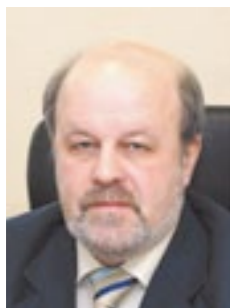


**VOLVO PENTA**

Volvo Penta входит в Группу Volvo



# ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ: ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ, ТРЕБОВАНИЯ, ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ К ПРИМЕНЕНИЮ



**Беллендир Е. Н.,**  
доктор техн. наук, генеральный директор ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»



**Глаговский В. Б.,**  
доктор техн. наук, первый заместитель генерального директора ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»



**Пак А. П.,**  
канд. техн. наук, помощник генерального директора ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»

**Аннотация.** В статье, подготовленной специалистами ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, даны подробные разъяснения действующей нормативной базы по гидротехническим сооружениям, а также детальные комментарии изменений, внесенных в СНиПы за период их актуализации в 2009–2012 гг.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, технические правила, нормативно-технические документы.

**Abstract.** Professionals of VNIIG created an article where they gave detailed explanations of working regulatory base for hydraulic structures as well as detailed commentaries of changes amended the construction rules and regulations during their updating in 2009–2012 yy.

**Keywords:** hydraulic structures, technical regulations, standard technical documents.

До 2003 г. в России, а до этого в СССР действовала система, в которой нормативно-технические документы разделялись на документы, которые должны использоваться в обязательном порядке, и документы, носящие рекомендательный характер. К первым относились документы, утверждаемые государственными органами исполнительной власти — Госстроем, Госстандартом, министерствами (СНиП, ГОСТ, ВСН, ОСТ и т. п.). Ко вторым — документы, которые разрабатывались отдельными научно-исследовательскими и проектными организациями (рекомендации, руководства, пособия и др.).

С принятием федерального закона «О техническом регулировании» № 184-ФЗ, который вступил в силу 1 июля 2003 г., изменилась вся идеология технического нормирования в стране. В соответствии с этим законом были введены два вида документов в сфере технического регулирования:

- технические регламенты — правовые документы, устанавливающие обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования;
- документы в области стандартизации, применяемые на добровольной основе (национальные стандарты, правила стандартизации, нормы и рекомендации в области стандартизации, применяемые в установленном порядке классификации, общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, стандарты организаций, своды правил).

В состав национальных стандартов следовало, казалось бы, отнести и СНиП, т. е. они должны перейти в ранг документов добровольного применения. Однако не все в этом вопросе однозначно. В соответствии с п. 1 ст. 46 федерального закона № 184-ФЗ, на переходный период (до 1 июля 2010 г.) до вступления в силу соответствующих технических регламентов требования СНиП подлежали обязательному исполнению только в части, соответствующей целям:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей.

Учитывая, что требования СНиП, особенно СНиП по гидротехническим сооружениям (ГТС), в основном направлены на перечисленные цели, эти документы в переходный период следовало считать действующими.

Следующий момент связан с позицией Минюста России по вопросу статуса СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения». Письмом от 23.03.2004 № 17/3111-ЮД в адрес Госстроя РФ, подписанным первым заместителем министра юстиции Ю. Г. Деминим, Госстрою РФ было отказано в регистрации СНиП и предписывалось действовать в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 13.08.1988 № 1009, а именно: «В течение 10 дней со дня получения отказа в государственной регистрации руководителем федерального органа власти или лицом, исполняющим его обязанности, издает соответствующий документ об отмене нормативного правового акта, в регистрации которого было отказано, и направляет его копию в Министерство юстиции Российской Федерации». Госстрой России не выполнил этого предписания.

Далее, письмом от 28.04.2006 № 01/3472-ЕЗ Министерство юстиции РФ сообщило, что им принято решение не рассматривать СНиП на предмет их государственной регистрации с учетом их нормативно-технического характера и положений федерального закона № 184-ФЗ. На основании этой новой позиции Минюста России заместители министров промышленности и энергетики России А. Г. Реус и регио-

нального развития России Ю. П. Тартышев в своем письме профессиональным объединениям строителей констатировали, что «указанные строительные нормы и правила действуют наряду с другими аналогичными нормами, принятыми ранее и зарегистрированными Минюстом в установленном порядке». 29 ноября 2006 г. письмом Минпромэнерго России (№ АР-6839/08) и Минрегион развития России (№ 12325-ЮТ/08) эта позиция была подтверждена и уточнена: «строительные нормы и правила подлежат обязательному исполнению наряду с другими аналогичными нормами, принятыми ранее и зарегистрированными Минюстом России в установленном порядке, в соответствии с п. 1 ст. 46 федерального закона «О техническом регулировании» № 184-ФЗ впрямую до вступления в силу соответствующих технических регламентов».

Таким образом, позиция Минюста России об обязательной регистрации СНиП не имела последствий для практики исполнения требований норм. Хотя некоторые специалисты пытались использовать это обстоятельство для отмены СНиП, их исключения из списка действующих нормативных документов.

Вопрос добровольного применения документов в области стандартизации и распространения этого принципа на СНиП был предметом дискуссий среди инженеров, научных работников. В области технического регулирования гидротехнических сооружений это связано также с тем, что не вступил в силу соответствующий технический регламент, который установил бы обязательные для применения и исполнения требования к объекту технического регулирования — гидротехническим сооружениям.

В федеральном законе «О техническом регулировании» СНиП оказались за рамками установленной системы документов — не упоминаются среди документов в области стандартизации. В 2007 г. были приняты поправки к федеральному закону № 184-ФЗ (№ 65-ФЗ), которые в перечень документов стандартизации добавили «Свод правил». Строго говоря, введение сводов правил не означало официального восстановления легитимности СНиП как документов в области стандартизации. Только принятый 30.12.2009 г. федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» № 384-ФЗ придал СНиП статус сводов правил, что означало включение их в национальную систему стандартизации.

В соответствии со ст. 42 федерального закона № 384, строительные нормы и правила, утвержденные до дня вступления в силу этого закона, признаются сводами правил. А в соответствии с ч. 1 ст. 6: «Правительство Российской Федерации утверждает перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требования настоящего федерального закона». 21 июня 2010 г. распоряжением Правительства РФ № 1047-р утвержден такой перечень национальных стандартов и сводов правил. В этот перечень вошли следующие СНиП по гидротехническим сооружениям:

- СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения»;
- СНиП 2.02.02-85\* «Основания гидротехнических сооружений»;
- СНиП 2.06.04-82\* «Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)»;
- СНиП 2.06.05-84 «Плотины из грунтовых материалов»;
- СНиП 2.06.06-85 «Плотины бетонные и железобетонные»;
- СНиП 2.06.08-87 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений»;
- СНиП 2.06.07-87 «Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения»;
- СНиП 2.06.09-84 «Туннели гидротехнические».

Кроме того, в перечень вошел ряд СНиП, которые используются при проектировании гидротехнических сооружений:

- СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования»;
- СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве»;
- СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии»;
- СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология»;
- СНиП 22-02-2003 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения» и др.

Вся работа по подготовке федерального закона № 384-ФЗ, разработка технического регламента о безопасности зданий и сооружений и подготовке распоряжения Правительства РФ № 1047-Р проводилась Министерством регионального развития Российской Федерации при участии федерального автономного учреждения «Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве» (ФАУ «ФЦС», директор Т. И. Мамедов). ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» оказывало консультационные услуги по СНиП для гидротехнических сооружений.

В 2009–2012 гг. по договорам с ФАУ «ФЦС» ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» проводилась работа по актуализации СНиП, вошедших в распоряжение № 1047-р. Остановимся на отдельных изменениях, внесенных в актуализированные редакции СНиП.

**СП 58.13330.2012 («Гидротехнические сооружения. Основные положения»). Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003).**

Изменения касаются следующих вопросов:

- В разделе 2 «Термины и определения» пересмотрен состав терминов, уточнен термин «Гидротехнические сооружения» за счет включения фразы «сооружения систем технического водоснабжения, системы гидротранспорта отходов и стоков, подачи осветленной воды», введен термин «Собственник гидротехнического сооружения».
- В разделе 3 в части «Обеспечение безопасности и энергетической эффективности гидротехнических сооружений» добавлен п. 3.13 об энергосбережении.
- В текст СП включен новый раздел 4 «Общие требования безопасности гидротехнических сооружений на стадии строительства», включающий требования по безопасности при пропуске строительных расходов воды и льда, требования безопасности при ведении строительных работ в зимний период, требования безопасности окружающей среды при строительстве и др.
- В текст СП включен новый раздел 5 «Безопасность гидротехнических сооружений при эксплуатации», включающий требования, правила и нормы обеспечения безопасности ГТС при эксплуатации, в т. ч. особые требования при эксплуатации в особых природных условиях (в северной климатической зоне и сейсмических районах); при пропуске максимальных расходов воды, при эксплуатации механического оборудования, специальных гидросооружений (судоходных, портовых, морских, хранилищ и накопителей жидких отходов); требования по техническому контролю ГТС и механического оборудования; требования к природоохранным мероприятиям, к обслуживающему персоналу эксплуатируемых ГТС.
- Выполнено редактирование отдельных пунктов.

**СП 23.13330.2011 («Основания гидротехнических сооружений»). Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85).**

В СП, в отличие от СНиП, введена новая гл. 6 «Инженерно-геологическая и расчетная схематизация оснований». Проектирование ГТС опирается в значительной степени на инженерно-геологические изыскания и выбор расчетных схем оснований и расчетных моделей скальных и нескальных грунтов связан с их инженерно-геологическими особенностями. При инженерно-геологических изысканиях опреде-

ляется инженерно-геологическая схематизация основания с построением его инженерно-геологических элементов. На основе этого определяется используемая при проектировании расчетная модель основания, состоящая из расчетных геологических элементов.

В СП, по сравнению со СНиП, большее внимание уделяется современному подходу к расчетам напряженно-деформированного состояния оснований. Предполагается, что для ответственных сооружений необходимо привлекать сложные механические модели, достаточно адекватно отражающие реальное поведение грунтов и скальных пород, а для расчетов привлекать существующие вычислительные комплексы для ЭВМ, позволяющие детально учитывать неоднородность строения оснований, трещиноватость и блочность скальных пород и т. п.

В СП содержится новый раздел о контроле качества подготовки оснований, в котором отражены особенности контроля при строительстве на скальных и нескальных основаниях и отмечены основные организационные мероприятия. Кроме контроля качества работ по укреплению оснований, приведены основные положения контроля работ по строительному водопонижению, которые отсутствовали в тексте СНиП.

Кроме требований, относящихся к проектированию и строительству ГТС на основаниях всех типов, в новом СП введена глава, касающаяся проблем, возникающих при эксплуатации гидротехнических сооружений. Это прежде всего вопросы наблюдений за поведением оснований с целью предотвращения развития в них негативных процессов. В гл. 13 даны требования к применяемой контрольно-измерительной аппаратуре и требования к натурным наблюдениям не только за осадками, смещениями и деформациями основания, но и за фильтрационным режимом и воздействием открытых потоков на нижний бьеф гидроузла.

Главы СП по контролю качества работ при подготовке оснований строящихся гидротехнических сооружений и мониторингу состояния оснований в процессе эксплуатации соответствуют приказу Министерства регионального развития РФ от 30.12.2009 № 624 «Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства».

**СП 38.13330.2012 («Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)»).** Актуализированная редакция СНиП 2.06.04-82\*.

Приоритетными направлениями при актуализации СНиП 2.06.04-82\* являлись следующие:

- разработка требований к определению всего комплекса исходных данных, которые должны быть учтены при расчете нагрузок и воздействий, в том числе разработка требований безопасности при условиях, в которых необходимо учитывать динамические и усталостные эффекты волновых и ледовых воздействий;
- определение всего комплекса воздействий, влияющих на безопасность сооружений при волновых и ледовых воздействиях, в том числе: местные размывы дна, повышенный коррозионный износ, заливание территории при волнении, обмерзание сооружения, образование ледовых заторов, недопустимый уровень волнения на защищаемой территории;
- определение условий, требующих обязательно физического и/или математического моделирования процессов при оценке безопасности сооружений;
- учет волновых и ледовых воздействий в процессе строительства;
- определение требований к программно-вычислительным комплексам, применяемым для оценки безопасности со-

оружений, подверженных волновым и ледовым воздействиям;

- минимизация негативного влияния на окружающую среду вследствие взаимодействия построенного сооружения с волновыми и ледовыми процессами.

Подвергнут тщательному пересмотру выбор расчетных гидрометеорологических параметров, в том числе определяющих ледовые условия. В актуализированном СНиП 2.06.04-82\* назначение исходных расчетных гидрометеорологических параметров четко увязано с классом гидротехнического сооружения.

В разделе 6, посвященном нагрузкам от судов на гидротехнические объекты, приоритетным при актуализации СНиП, являлось уточнение расчетных условий, при которых производится определение нагрузок на сооружение. Были внесены уточнения в определение энергии навала судов на причальное сооружение с учетом условий причаливания.

Разработаны более конкретные рекомендации по расчету воздействия от навала судов на направляющие (палы) и причальные сооружения в связи с широким использованием современного поколения отбойных устройств различной формы (арочные, конусные, бочкообразные, параллельного движения, рамные и т. д.). При этом указано, что энергоемкость каждого отбойного устройства следует принимать по его паспортным характеристикам.

Внесено уточнение в расчетные методы определения нагрузок при косом подходе судов к причальной стенке, камере шлюзов и на входе в стесненные акватории (вход в порт, камеру сухого дока, камеру шлюза), где широкое применение нашли новые отбойники колесного и роликового типа, привальные отбойные брусья и плиты с поверхностями из синтетических материалов, имеющих низкий коэффициент трения.

Уточнены расчетные усилия от ошвартованного судна на причал с учетом современных методов швартовки.

Уточнены расчетные усилия от ошвартованного судна на причал с учетом современных типов судов, в том числе от навала судов, имеющих бульбообразную носовую оконечность.

Основные расчетные зависимости актуализированного СНиП уточнены и откорректированы с учетом развития новых методов расчета. Важнейшим средством проектирования стали компьютерные программно-вычислительные комплексы, которые позволяют повысить достоверность оценки волновых и ледовых воздействий и требуют более полной и всесторонней информации о взаимодействии сооружений повышенной ответственности с окружающей средой. Некоторые частные методики, приведенные в прежней редакции СНиП, переведены в рекомендуемые приложения.

**СП 39.13330.2012 («Плотины из грунтовых материалов»).** Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84\*.

Основные положения документа повышают требования к проведению натурных наблюдений в период строительства и эксплуатации плотин, что должно приводить к снижению риска аварий и повышению надежности и безопасности плотин. Даются рекомендации по проектированию плотин с железобетонными диафрагмами, ранее не применявшиеся в отечественной практике плотностроения, а также приводятся рекомендации по расчетам асфальтобетонных и металлических диафрагм в теле каменно-набросных плотин. В качестве справочного материала рассмотрены основные виды нарушений плотин из грунтовых материалов и способы их ремонта.

Отметим также изменения, внесенные в отдельные пункты СП:

- в п. 5.10 исключено требование о том, что «устройство берм не должно вести к уположению откоса, определенного расчетом», это повышает устойчивость откосов при устройстве берм;
- включен новый пункт (п. 5.45) с требованиями к экранам из камня, залитого литым асфальтом;

- сформулированы условия (п. 5.49), при которых допускается возводить монолитные железобетонные диафрагмы без резки горизонтальными деформационными швами;
- введены (п. 5.51) дополнительные требования по использованию струйной технологии цементации;
- уточнены требования к числу слоев и гранулометрическому составу обратных фильтров (п. 5.70);
- включены (п. 5.73) новые требования по исключению хемогенного кальматирования дренажных устройств при наличии грунтовых вод, содержащих в растворенном виде окислы марганца или железа;
- сформулированы условия (п. 5.73 и 5.37), при которых примыкание ядра плотины к основанию происходит через массивную бетонную пробку;
- в табл. 7 (п. 7.1) перечень типов плотин дополнен плотиной «каменно-земляной, возводимой направленным взрывом»;
- расширены требования по конструкциям и назначению толщины железобетонных экранов (пп. 7.26–7.28);
- уточнены требования к подготовке скального основания плотин для выполнения эффективной сопрягающей цементации (п. 7.30);
- свод правил дополнен разделом 8 «Требования к охране окружающей среды»;
- дополнено к перечню основных расчетов для плотин I и II классов дан перечень видов расчетов для плотин III и IV классов (п. 9.1);
- список приложений дополнен двумя рекомендательными приложениями: об особенностях расчета асфальтобетонных диафрагм (приложение К) и оценка состояния, в основные виды нарушений, ремонт и реконструкция плотин (приложение Л).

**СП 40.13330.2012 («Плотины бетонные и железобетонные»).** Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85).

В общих положениях приведены основные виды современных бетонных и железобетонных плотин и принципы их выбора в зависимости от топографических, инженерно-геологических и климатических условий с учетом сейсмичности района, компоновки гидроузла, способов строительных работ, наличия местных строительных материалов и условий эксплуатации плотины. В число основных видов плотин включены гравитационные плотины со ступенчатой низовой гранью.

Уточнены требования, предъявляемые к техническим характеристикам бетона различных зон плотин и к параметрам зонального распределения бетона в плотинах.

Установлено, что в сооружениях, возводимых в северной строительной-климатической зоне, марки бетона по водонепроницаемости должны быть не ниже: для бетонных конструкций — W4, для железобетонных конструкций — W6. При этом срок твердения (возраст) бетона, отвечающий его проектной марке по водонепроницаемости, следует принимать равным: для железобетонных конструкций — 28 сут., для массивных конструкций, возводимых в теплой опалубке, — 60 сут. Отдельно указан минимальный уровень требований по водонепроницаемости, морозостойкости и прочности для конструкций, подверженных воздействию высокоскоростных потоков воды или потоков воды с влекомыми наносами.

Для внутренних зон гравитационных и арочно-гравитационных плотин введено требование о необходимости рассматривать возможность применения жестких бетонных смесей, уплотняемых укаткой (укатанных бетонов).

Включено требование о том, что металлические конструкции и механическое оборудование плотин, строящихся в северной строительной-климатической зоне, следует проектировать с учетом требований, предъявляемых к металлу, работающему в условиях низких отрицательных температур.

В разделе 6 приведены общие конструктивные требования к бетонным и железобетонным плотинам.

Уточнены геометрические параметры глухих плотин I–II классов и требования к конфигурации быков и оголовков водосбросных и водосливных плотин. Указано, что напорная грань гравитационных и контрфорсных плотин должна иметь уклон в сторону верхнего бьефа. Для конкретных сооружений величина этого уклона должна определяться при их проектировании с учетом ожидаемой глубины сезонного раскрытия горизонтальных межблочных швов со стороны нижнего бьефа.

Вдоль верховой грани плотин установлено, что следует предусматривать устройство дренажа в виде вертикальных дрен (скважин), имеющих выходы в продольные галереи. Устройство горизонтальных дрен должно быть специально обосновано в проекте. Расстояние от напорной грани плотины до оси дренажа должно определяться величиной критического градиента напора, который надлежит принимать в зависимости от марки бетона по водонепроницаемости: от  $J_{cr,t} = 10$  при W4 до  $J_{cr,t} = 50$  при W20. При изменении марки бетона по водонепроницаемости на одну ступень критический градиент напора увеличивается на пять единиц. Каждая продольная галерея должна иметь не менее двух аварийных выходов, расположенных на расстоянии не более 300 м друг от друга.

Конструкции бетонных плотин должны быть высокотехнологичны, т. е. рассчитаны на их возведение современными методами бетонирования с выполнением всех технологических операций высокопроизводительными машинами и механизмами.

Указано, что толщину наружной зоны в пределах переменного уровня воды следует принимать не менее 1,5 м и не менее глубины проникания отрицательной температуры за зимний сезон. Толщину износостойких и кавитационностойких облицовок следует принимать в пределах 1,0–2,0 м, при этом, как правило, должна быть обеспечена возможность бетонирования облицовки одновременно с укладкой бетона в прилегающую часть тела плотины. Толщину защитной зоны для наружных частей плотины, подвергающихся воздействию атмосферных осадков и знакопеременных температур, но не омываемых водой водоемов, следует принимать не менее 1,0 м.

В разделе 10 изложены основные положения, которыми надлежит руководствоваться при проектировании и расчетах гравитационных плотин на скальных основаниях.

Указано, что для массивных гравитационных плотин следует рассматривать возможность применения для внутренних зон малоцементного жесткого бетона, в том числе бетона, уплотняемого укаткой. Водонепроницаемость и долговечность такой плотины обеспечиваются укладкой со стороны верхнего бьефа слоя из вибрированного бетона. Со стороны нижнего бьефа зона малоцементного жесткого бетона защищается слоем из вибрированного бетона или путем установки сборных бетонных блоков специальной формы.

Принято, что для повышения сейсмостойкости бетонных гравитационных плотин следует предусматривать:

- уширение поперечного профиля плотины в нижних сечениях;
- облегчение верхней части сооружений за счет применения оголовков облегченного типа (коробчатого, контрфорсного и т. п.);
- использование топографии створа для устройства клиновидной («токтогульской») резки сооружения на секции;
- армирование тела плотины.

Условие прочности и долговечности гравитационных плотин, рассчитываемых на основное сочетание нагрузок и воздействий эксплуатационного периода, принимается достаточным, если на верховой (напорной) грани плотин обе-

спечиваются близкие по величине к нулю напряжения сжатия. Это условие должно соблюдаться как при расчетах плотин на сокращенный, так и на полный состав нагрузок и воздействий. Условие прочности и долговечности железобетонных плотин, рассчитываемых на полный состав нагрузок и воздействий строительного и эксплуатационного периода, принимается достаточным, если глубина сезонного раскрытия горизонтальных швов со стороны напорной грани не превышает  $1/3-1/2$  расстояния от напорной грани плотин до оси дренажа.

**СП 41.13330.2012 («Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений». Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87).**

Установлено, что для обеспечения требуемой водонепроницаемости и морозостойкости конструкций необходимо предусматривать следующие мероприятия:

- укладку бетона соответствующих марок по водонепроницаемости и морозостойкости со стороны напорной грани и наружных поверхностей (особенно в зонах переменного уровня воды);
- применение поверхностно-активных добавок к бетону (воздухововлекающих, пластифицирующих и др.);
- устройство противотрифильтрационных элементов (уплотнений) в деформационных швах и применение специальной технологии подготовки горизонтальных строительных швов;
- устройство дренажа со стороны напорной грани.

Установлены нормативные и расчетные сопротивления для вибрированного и укатанного бетона различных классов, а также коэффициенты условий работ, с учетом которых они используются в расчетах при проектировании гидротехнических сооружений и их элементов.

Приведены данные о начальном модуле упругости для вибрированных и укатанных бетонов разных классов.

Повышены требования к толщине защитных слоев бетона и качеству бетона таких слоев для лицевых поверхностей конструкций и частей сооружений, подвергающихся непосредственному воздействию воды (зоны переменного горизонта воды, поверхности водосливов и водосбросов, обделки безнапорных туннелей, плиты крепления откосов каналов и т. п.) в сочетании с воздействием замораживания — оттаивания, кавитации или истирания наносами, — толщина защитных слоев бетона должна составлять не менее 60 мм и не менее двух диаметров стержней для рабочей и распределительной арматуры.

При проектировании сталежелезобетонных конструкций дополнительно необходимо рассчитывать прочность металлической облицовки на действие транспортных, монтажных и строительных нагрузок (в соответствии со специально разработанными техническими условиями) и анкеров, обеспечивающих совместную работу листовой арматуры и бетона.

Дана классификация элементов (балка, короткая балка, балка-стенка и т. д.) и способы оценки наступления их предельного состояния (по усилиям или по напряжениям) в зависимости от соотношения размеров. Для элементов, предельные состояния которых не могут быть выражены через усилия, приведены зависимости для оценки их прочности, трещиностойкости, выносливости и расчета арматуры.

В разделе 8 даны указания по расчетам бетонных и железобетонных конструкций на прочность и выносливость.

Приведены уточненные расчетные зависимости для определения коэффициентов условий работы бетона и арматуры, учитывающие многократное нагружение конструкций. Эти зависимости относятся также и к малоцикловым ( $N < 2 \cdot 10^6$ ) нагружениям, что характерно для многих конструкций гидротехнических сооружений.

**СП 101.13330.2012 («Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения». Актуализированная редакция СНиП 2.06.07-87).**

Разработка свода правил выполнена ОАО «Институт Гидропроект» совместно с ОАО «Гипроречтранс». В СП внесены следующие основные изменения:

- в разделе «Нормативные ссылки» даны ссылки на действующие нормативные документы;
- в раздел «Термины и определения» внесены основные термины и определения, используемые в СП;
- внесены изменения и дополнения по оформлению документа согласно требованиям ГОСТ 1.5-2001;
- в раздел «Подпорные стены» внесены изменения касающиеся безопасности подпорных стен;
- внесены изменения и дополнения в раздел «Судоходные шлюзы»; раздел дополнен пунктами, касающимися обеспечения безопасности сооружений судоходного шлюза и охраны окружающей среды, введено дополнительное приложение «Предшлюзовые рейды и аванпорты»;
- раздел «Рыбопропускные и рыбозащитные сооружения» разделен на два отдельных раздела «Рыбопропускные сооружения» и «Рыбозащитные сооружения», разделы значительно расширены.

**СП 103.13330.2012 («Туннели гидротехнические». Актуализированная редакция СНиП 2.06.09-84).**

Действующие в СНиП 2.06.09-84 устаревшие положения были пересмотрены в проекте актуализированного СНиП — это:

- проектирование конструкций и трассы туннеля с учетом принятых способов производства работ;
- требование проведения научных исследований для обоснования проектных решений только для туннелей I и II классов;
- использование бетонов с добавками (пластифицирующими, воздухововлекающими, комплексными добавками поверхностно-активных веществ);
- использование в бетоне обделок туннелей микрокремнезема;
- требования по использованию более высокой марки бетона для монолитных бетонных и железобетонных конструкций В20, вместо В15 по СНиП 2.06.09-84 (на основании данных натурных наблюдений);
- требование не ограничивать минимальный процент армирования обделок безнапорных туннелей;
- уточнение обязательных и рекомендательных требований.

При актуализации СНиП 2.06.09-84 учтены следующие приоритетные направления:

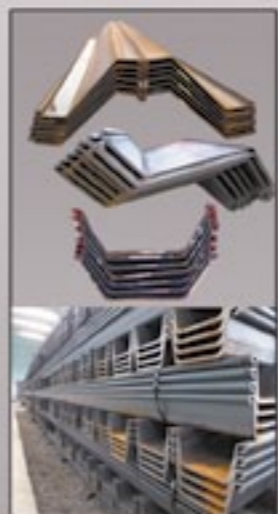
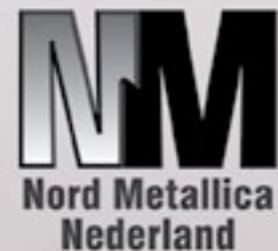
- зависимость конструкции туннеля и выбор трассы от способа производства работ;
- выбор материала (бетона) для обделки туннелей с учетом современных научных достижений в этой области;
- учет новейших методов расчета при формировании требований по расчету туннелей.

Принимая во внимание существование современных расчетных программ и учитывая необходимость становления современных инженерных кадров, приложения А и Б по расчету обделок туннелей сопровождаются указанием — «при предварительных расчетах».

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Строительные нормы и правила по гидротехническим сооружениям, утвержденные Госстроем страны, были и остаются нормативными документами, в которых установлены обязательные для применения и исполнения требования.

2. Указанный статус СНиП должен учитываться при планировании, разработке и утверждении документов более низкого уровня.



#### Прямые поставки шпунта

Поставка любого импортного шпунта со склада в Голландии или с завода  
Шпунт новый, б/у, продажа, аренда, обратный выкуп  
Поставка и аренда статических погрузчиков «Гикен» с операторами или без таковых  
Обучение рабочих и ИТР для работы со статическими погрузчиками  
Помощь в расчете и проектировании шпунтовых ограждений

Признанный лидер по поставкам шпунта в Россию



Во второй половине 2013 года в России откроется агентство «Giken Co.»  
Следите за объявлениями на нашем сайте, [www.nordmetallica.com](http://www.nordmetallica.com)



Норд Металлика Нидерланд  
Схеллестраат 2д. 6882 HE Велп, Нидерланды  
Тел. в Москве: +7 499 343 06 54, тел. в Санкт-Петербурге: +7 812 903 84 49,  
e-mail: [info@nordmetallica.com](mailto:info@nordmetallica.com), [www.nordmetallica.com](http://www.nordmetallica.com)

На правах рекламы

## 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



На правах рекламы



## УПРАВЛЯЕМОЕ СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ВОДЫ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРОРЫВА МОРЕННОЙ ДАМБЫ ОЗЕРА ПЕТРОВА (Кыргызстан, Внутренний Тянь-Шань)



**Запороженко Э. В.,**  
канд. геолого-минералогических наук,  
зам. генерального директора  
по научной работе  
ОАО «Севкавгипроводхоз»,  
(г. Пятигорск)



**Бутенко А. А.,**  
главный инженер проекта  
ОАО «Севкавгипроводхоз»  
(г. Пятигорск)

**Аннотация.** В истоках р. Кумтор за молодой конечной мореной на рубеже XIX–XX вв. возникло озерное новообразование, по мере деградации (по климатическим причинам) питающего его ледника непрерывно увеличивающее объем накопления водных масс (к 2013 г. до 70 млн м<sup>3</sup>). Создались и развиваются условия возможного прорыва сдерживающей естественной дамбы, сложенной многолетнемерзлыми породами с включением блоков погребенного льда, подвергающейся термокарстовым процессам. Такой прорыв приведет к селевому потоку, способному стать катастрофическим для инфраструктуры и хвостохранилища действующего золотодобывающего рудника «Кумтор». Основываясь на анализе складывающейся инженерно-геологической обстановки и многовариантном рассмотрении возможных трасс сброса и различных конструкций водопропускных сооружений, предложено поэтапное снижение уровня (объема) вод озера через ступенчатый перепад из габийных конструкций, осуществляемое в летний период года по тракту и в режиме, отвечающем оптимальным технико-экономическим показателям и наименьшему инженерному риску. Абсолютная отметка уровня воды в озере на конец 2012 г. — 3733 м.

**Ключевые слова:** моренный комплекс, озерное новообразование, многолетнемерзлая толща, погребенный лед, прорывной сценарий, сбросное сооружение, габиины.

**Abstract.** Behind the modern terminal moraine of the Kumtor river source (Tien Shan) a new lake formation appeared at the turn of the 20th century. With the feeding glacier degrading, due to climate reasons, the volume of accumulated water masses has continuously increased (up to 70 mln cu.m by 2013). The lake's natural retaining dam, composed of permafrost rocks with inclusions of buried ice blocks, is subject to thermokarst processes. Conditions for a possible dam failure have formed and have been developing. Such a failure will lead to a debris flow, possibly catastrophic for the infrastructure and tailings dump of the operating Kumtor gold mine. Based on the analysis of the developing geotechnical situation and on multi-variant consideration of possible discharge routes and various construction designs of outlet works, a phased water level drawdown (water volume reduction) of the lake via a cascade of gabion structures during summer period, in a route and mode as to achieve the best technical and economic solution and minimum engineering risk, has been suggested. The absolute water level of the lake as of the end of 2012 is 3733 m.

**Keywords:** moraine complex, new lake formation, permafrost section, buried ice, failure scenario, catastrophic debris flow, phased water level drawdown, outlet structure, gabions.

В начале 2013 г. институт «Севкавгипроводхоз» представил канадской компании, осуществляющей разработку золоторудного месторождения, «Предпроектные предложения» по управляемому снижению уровня подпруженного конечноморенным валом крупного горного водоема. Такая необходимость была вызвана нарастающей угрозой прорыва водных масс на подкомандную территорию с возможными катастрофическими последствиями для существующего хвостохранилища (рис. 1)<sup>1</sup> и инфраструктурных объектов.

Карьер компании располагается на абсолютных отметках 3900–4200 м, вспомогательные службы — до 4400 м. Функционирует с 1997 г. и является вторым по величине добычи в мире<sup>2</sup>. Планируемый в 2013 г. уровень извлечения — 550000–600000 унций золота (с 1997 г. добыто более 300 т).

Предложения института базировались на результатах обобщения материалов геологических, гидрологических и геофизических изысканий и исследований как прошлых лет, так и выполненных в 2012 г. группой специалистов из России, Киргизии и Чехии, а также данных, полученных от заказчика — «Кумтор Оперейтинг Компани» [1]. При этом в 2012 г. были проведены: батиметрические исследования системы озера Петрова<sup>3</sup>, георадарные — краевого участка ледника Петрова; проанализирована информация по строению моренного вала, в том числе геофизические данные (элек-

трондирование, томография, гравиметрия) и материалы бурения. Обработаны космодатаснимки съемки со спутника GeoEye-1. Составлен ортофотоплан.

Озеро Петрова расположено в северо-восточной части Киргизии, на западном склоне горного массива Ак-Шыйрак. Отметка уреза воды в озере 3733–3734 м. Из озера вытекает р. Кумтор, являющаяся притоком р. Большой Нарын. Озеро сформировалось у языка ледника Петрова за молодой мореной. По съемке 1911 г., оно имело площадь 200–300 тыс. м<sup>2</sup> (Ерохин, [1]). По мере отступления ледника Петрова (с 1869 г.), вызванного климатическими причинами и ускорившегося с 80-х гг. прошлого столетия (15,1 м/год за период 1869–1957 гг., 24,8 — за 1958–1980 гг., 38,0 — за 1981–1990 гг., 43,3 — за 1991–1999 и 61,4 м/год в 2000–2006 гг., данные М. Черны, Б. Янски, С. Ерохина). К 2013 г. (батиметрическая съемка 25–27 июля 2012 г.) объем воды в озере достиг 69 млн м<sup>3</sup>, за 2009–2012 гг. увеличившись на 62000 м<sup>3</sup>, ~8,3% от общего объема, при незначительном (~на 2%) увеличении площади озера, т. е. за счет таяния льда и деградации вечной мерзлоты на дне (в чаше).

<sup>1</sup> Здесь и ниже снимки Э. В. Запороженко.

<sup>2</sup> После «Янкоча» — рудника в Перу.

<sup>3</sup> Впервые район посетила экспедиция А. В. Кульбарса в 1869 г. В ее состав входил подпоручик Петров, в честь которого назван ледник, а впоследствии, и озеро [2].



г. Пермь, ул. Кронштадтская, 35  
тел./факс (342) 236-90-70  
тел. в Ижевске (3412) 56-62-11  
тел. в Краснодаре (861) 240-90-82  
тел. в Красноярске (391) 208-17-15  
тел. в Казани (843) 296-66-61

[www.new-ground.ru](http://www.new-ground.ru), [info@new-ground.ru](mailto:info@new-ground.ru)

тел. в Москве (495) 643-78-54  
тел. в Самаре (846) 922-56-36  
тел. в Санкт-Петербурге (812) 923-48-15  
тел. в Тюмени (3452) 74-49-75  
тел. в Уфе (917) 378-07-48  
тел. в Челябинске (351) 235-97-98



Рис. 1. Июль 2012 г. Хвостохранилище. Сброс пульпы с обогатительной фабрики рудника «Кумтор»

Озеро Петрова образует молодой (играющий роль плотины) моренный комплекс из мерзлых гляциальных, флювиогляциальных и лимногляциальных разделяющезернистых отложений с погребенными блоками льда (С. Ерохин, [1]). По лихенометрическому датированию 1978 г. [3], этому комплексу ~100 лет (по [4], формировался в период 1900–1915 гг.). Находится в районе ледниковой аккумуляции Кумторских сыртов, характеризующихся мелкорасчлененным, холмисто-западным рельефом зоны вечномерзлых пород. Поверхность морены испещрена термокарстовыми воронками и западинами, придающими ей на фото и космоизображениях сотовый облик. Летом они заполнены водой (рис. 2). Наиболее значительный водоем — Голубой залив (рис. 3), практически соединенный с основным озером. Его объем на 2012 г. ~800 тыс. м<sup>3</sup>.

Термокарстовые процессы в последние десятилетия идут с заметной активизацией, что, наряду с ростом объема воды в озере, увеличивает риск прорывного сценария с формированием селевого потока.

Дендритовый ледник Петрова достигает в длину 14 км [3], его языковая часть (рис. 4), по данным радиолокационного зондирования октября 2012 г. (Д. Петраков [1]), находится на плаву. При глубинах воды, достигающих у переднего края ~65 м, площадь плавающей части оценивается в 0,04 км<sup>2</sup>, объем в 1700 тыс. м<sup>3</sup>, а возможный объем айсбергов, откалывающихся от края ледника (рис. 5), — до 330 тыс. м<sup>3</sup>. Обрушение айсберга объемом ~200 тыс. м<sup>3</sup> в период с 10 по 30 июля 2012 г. (данные космических съемок) не привело к возникновению волны в верхнем бьефе у моренной дамбы, отстоящей от места откола в ~800 м, тогда как, согласно мо-



Рис. 3. Участок конечного моренного вала с «Голубым заливом» и озером Петрова (космоснимок, извлечение из [1])



Рис. 2. Июль 2012 г. Заполненная водой термокарстовая воронка на конечном моренном вале — естественной плотине озера Петрова

делированию в [5], высота волны должна была бы достичь (у этой дамбы) 3 м, а высота заплеска — 6 м!

Сток из озера (на 2012 г.), дающий начало р. Кумтор, — по понижению в концевой северной части морены, происходит (по С. Ерохину [1]) «последние 10–20 лет». Ранее осуществлялся более северным трактом, ныне сухим («старое» русло) на протяжении по крайней мере 70 лет. Метеостанцией Тянь-Шань (рис. 6) 2 августа 1943 г. по р. Кумтор близ ее истока был зафиксирован расход в 66,2 м<sup>3</sup>/с, тогда как «последние 10–20 лет» по действующему руслу (рис. 7) он не превышал 30 м<sup>3</sup>/с (21 августа 2012 г. — 25,7 м<sup>3</sup>/с). С таким расходом существующие водопропускные сооружения «Кумтор Оперейтинг Компани» справлялись успешно. Ныне «сухой» исток отделен от озера порогом высотой до 2 м.

Разнообразие материала моренных масс: лед, мерзлые породы широкого гранулометрического диапазона — от песков до крупных глыб прочных скальных пород, с возможным присутствием пустотных интервалов в разрезе, — осложняет как разработку прогнозных прорывных сценариев, так и оценку устойчивости к внутреннему и (или) поверхностному размыву ~30-метровой (в среднем) высоты естественной плотины. Крайне проблематично определить физико-механические свойства и состояние разреза комплекса. Исполнитель «Предпроектных предложений» последними сведениями не располагал и исходил из ситуации, что:

- при неопределенности прогноза событий над зандровым сыртом с главным опасным производственным объектом — хвостохранилищем находится ~70 млн м<sup>3</sup> воды, сдерживаемых деградирующей под ее утепляющим влиянием моренным мерзлотным комплексом;



Рис. 4. Июль 2012 г. У фронта ледника Петрова



Рис. 5. Июль 2012 г. Миниайсберг на озере



Рис. 6. Кумторский сырт. Метеостанция «Тянь-Шань». 3654 абс. м. Не функционирует с 1948 г. Здание станции деформировано процессами, вызванными деградацией «вечной мерзлоты»

- альтернативы искусственному снижению уровня нет;
- поэтапное осуществление снижения должно начинаться как можно быстрее.

Отметим в этой связи, что к созданию эвакуационных каналов на угрожающих прорывом горных водоемах (озерах) Казахстана путем постепенного снижения порога перелива на практике приступают уже при объеме накопления воды в 150–250 тыс. м<sup>3</sup> [6].

Институтом рассмотрено пять вариантов трактов сброса (рис. 8) и пять вариантов конструкций водосбросных сооружений.

**Створ 1а.** Направление сброса — по «сухому» руслу истоков р. Кумтор. От озера исток отделен перемычкой высотой до 2 м (летние колебания уровня в озере ±0,7 м).

**Створ 1б.** Направление — по действующему руслу истока р. Кумтор. Как и Створ 1а, располагается в самой молодой (северной) части морены с высоким содержанием погребенного льда (до 50–70%). Так же, как и по Створу 1а, в русле имеется глыбово-каменная отмостка со средним диаметром глыб ~0,5 м мощностью до 3–5 м. Глубина активного слоя многолетней мерзлоты под существующим руслом оценивается в 2–4 м. Судя по большей продолжительности существования тракта перелива ныне «сухого» русла (Створ 1а), формировавшаяся ранее по его дну отмостка должна иметь мощность не менее 3 м.

**Створ 2.** Через самый узкий участок моренного комплекса (дамбы) и Голубой залив (между руслом р. Кумтор и береговой линией Голубого залива — 265 м, по горизонту от береговой линии до выхода на внешний откос — 90 м). Гребень морены под уровнем Голубого залива возвышается на 13,5 м. Для достижения понижения уровня верхнего бьефа глубина канала сброса в многомерзлом разрезе с участками льда должна быть >14 м.

**Створ 3.** Сброс воды — через Голубой залив, с организацией транспортотока по более широкой части морены (540 м вместо 265 м и 192 м вместо 90 м по Створу 2 соответственно). Максимальный перепад на участке «гребень — уровень» — 24 м. Придется вскрывать: самый молодой (третий) моренный подкомплекс, затем второй с пониженным содержанием (10–30%) погребенного льда и выходить на флювиогляциальные отложения.

**Створ 4.** Сброс — через понижение у южного примыкания моренного комплекса к коренному склону — слабовыраженный тракт древнего русла (истока) р. Кумтор. Максимальный перепад между современным уровнем воды в озере и наивысшей точкой на поверхности морены по створу — 27 м. Начальная глубина выемки приближается к 30 м. Ею будут вскрываться разновозрастные льдосодержащие породы.

В ходе анализа данных об инженерно-геологической обстановке с учетом объемных показаний реализации работ

по понижению уровня в вариантах Створов 2, 3 и 4 были отклонены (глубокие выемки, устройство высоких насыпей на крутых внешних откосах морены для работы строительной техники, у Створов 2 и 3 — кроме того, по риску прорывоопасности участка наиболее активно идущих термокарстовых процессов в массиве суженной части естественной моренной подпруды).

Недавний (Створ 1а) и существующий (Створ 1б) тракты естественного сброса воды из озера признаны наиболее приемлемыми для рассмотрения конструктивных вариантов решения задачи снижения уровня с соблюдением условий:

- минимального воздействия на сложившуюся к 2013 г. инженерно-геологическую ситуацию, определяемую теплообменом между поверхностными водами истока р. Кумтор, водными массами озера и породами, слагающими моренный комплекс;
- поэтапного снижения уровня воды в озере (один этап за летний период стока);
- сброса воды расходом, не превышающим максимально зафиксированный в работающих водопропускных сооружениях инфраструктуры объектов заказчика (до 30 м<sup>3</sup>/с);
- осуществления мониторинга за работой водосбросного тракта, динамикой происходящих процессов в озере и внутри сдерживающей его морены, начиная с момента инженерных работ по снижению уровня;
- понижения уровня на фоне прорези между Голубым заливом и озером (уравнивания зеркала воды);
- предпочтительности водосбросного сооружения с температурно-усадочным (деформационными) швами (либо из гибких конструкций);
- ориентировки конечного понижения уровня в 15–20 м, позволяющего сократить площадь озера более чем в 2 раза, увеличив ширину сдерживающей естественной дамбы до 1,8 км по основанию (вместо 500–600 м на 2013 г.);
- исключения производства взрывов в теле моренной дамбы. При этом:
- крупногабаритные конструкции типа шлюзов-регуляторов и водоподпорных сооружений (из-за опасности и неравномерных деформаций оснований, подвергаемых термокарстовым процессам, — перекося сооружений, контурная фильтрация и пр.) применять нецелесообразно;
- для слежения за эффективностью инженерных работ по понижению уровня желательное использование возможностей, предоставляемых космической съемкой высокого разрешения (ежегодно, по завершении каждого этапа или перед началом следующего);
- в связи с ожидаемым возникновением на надводной поверхности моренного комплекса разрозненных водоемов (при понижении уровня воды ~на 5 м), перемычки между последними придется оперативно разрезать.



**Рис. 7.** Июль 2012 г. Пульпопровод через р. Кумтор и гидроствор «Кумтор Оперейтинг Компани» на р. Кумтор — в 4 км от истока

Как упоминалось выше, конструкции водосбросных сооружений рассматривались в пяти вариантах.

**Вариант 1.** Применительно к Створу 16. Ступенчатый перепад. Продольный профиль — с минимальной подрезкой поверхности. Поперечное сечение — прямоугольный лоток шириной 8,0 м и высотой 2,0 м из монолитного железобетона В25 F200 W6. Толщина днища лотка 0,3 м, толщина стен от 0,2 до 0,5 м. Сопряжение ступеней — путем устройства стенки (монолитный железобетон) высотой 1,5 м. Для снижения теплообмена между водой и погребенным льдом основания — лоток на слое пенопласта толщиной 5 см по выравнивающему слою песка толщиной 10 см. Обратная засыпка — местным грунтом с послойным уплотнением, недосыпаемым на 0,5 м до верха стенок лотка для безопасного ограждения внутренней части водосброса. С двух сторон лотка — дорога шириной 5 м для возможности беспрепятственного подъезда к любой точке водосброса эксплуатационной и строительной техники. Подводящее русло на входе в лоток — конусовидной формы. Пропускная способность — 34 м<sup>3</sup>/с.

**Вариант 2.** Применительно к Створу 16. Ступенчатый перепад из габионных конструкций. Продольный профиль (рис. 9) — с минимальной подрезкой. В поперечном сечении — прямоугольный лоток шириной 8,0 м и высотой 2,0 м (рис. 10). Дно лотка — матрасы «Рено» 6×2×0,3 м, стены — габионы 2×1×1 м. Сопряжение перепадов — путем установки опорного габиона 2×1×1 м в конце и начале каждой ступени. Для снижения теплообмена между водой и погребенным льдом основания — пенопласт толщиной 5 см по выравнивающему слою песка толщиной 10 см. Поверх пенопласта — гидроизоляционная конструкция, состоящая из геомембраны толщиной 2 мм, между двух слоев геотекстиля плотностью 400 г/м<sup>2</sup> для предупреждения геомембраны от повреждений. Последняя несет изоляционную задачу. Обратная засыпка — местным грунтом с послойным уплотнением. Недосыпается до верха стенок лотка так же, как и для варианта 1. С двух сторон лотка — дорога шириной 5 м. Направляющий конусовидный вход. Пропускная способность — та же (~34 м<sup>3</sup>/с).

**Вариант 3.** Применительно к Створу 1а. Ступенчатый перепад из трехмерных георешеток в виде трапециевидного канала шириной по дну 8,0 м, глубиной 2,0 м, с крутизной откосов 1:2. Для защиты от размыва на дно и откосы укладывается георешетка «Геовейб» GW20(244×203×150), ячейки которой заполняются монолитным бетоном В15 F200 W6 (композитная система, обладающая прочностью на растяжение и распределяющей способностью квазиоднородного слоя). Георешетка крепится к откосам и дну канала Г-образными анкерами из арматуры класса АIII, диаметром 12 мм и шагом 1 м. Сопряжение ступеней — установкой опорного бетонного блока 2×1×1 м в конце каждой ступе-



**Рис. 8.** Фрагмент ортофотоплана, составленного по космическим снимкам GeoEye-1 от 29 июля — 01 августа 2012 г. с рассмотренными вариантами створов — трактов сброса вод озера Петрова (Створы 1а, 16, 2, 3 и 4)

ни. Для снижения теплообмена между водой и погребенным льдом основания лоток кладется на слой пенопласта толщиной 5 см по выравнивающему слою песка толщиной 10 см. С двух сторон лотка — дорога шириной 5 м. Устраивается конусовидный вход. Пропускная способность — та же (~34 м<sup>3</sup>/с).

**Вариант 4.** Применительно к Створу 4. Батарея из восьми сифонов полиэтиленовых труб круглого сечения, диаметром 0,8 м. Расход — на 25 м<sup>3</sup>/с. Длина каждого сифона — 150 м (на 1 этапе). В начале и в нижней части труб устанавливаются задвижки, в самой высокой точке — клапан откачки воздуха. За нижней задвижкой — клапан впуска воздуха. Трубы укладываются на песчаную подготовку толщиной 15 см и пригружаются по бокам и сверху местным грунтом без крупных включений (диаметром ≤20 мм). Для придания устойчивости сооружениям против вибрационных воздействий и сползания по откосу трубы крепятся стальной аркой из швеллера № 12 и грунтовыми анкерами длиной 5,5 м с шагом 6 м к основанию. На выходе предусмотрена призма из рваного камня диаметром 300 мм (для гашения энергии потока). С двух сторон водосброса — дорога шириной 5 м.

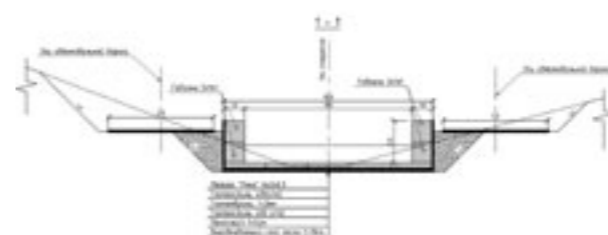
**Вариант 5.** Применительно к Створу 4. Насосная станция (рис. 11) размером в плане 13×42 м с подводящими и отводящими трубопроводами. Здание — металлический каркас, обшитый профнастилом с утеплителем. Оборудуется центробежными горизонтальными насосами Д12500-24-9 агрегатов (один агрегат резервный). Марка электродвигателя АН2-17-48-12У4 мощностью 1000 кВт. Марка насоса — из условия расчетной водоподдачи — 25 м<sup>3</sup>/с (максимальный наблюдаемый расход воды р. Кумтор за последние 15 лет). Подача одного насоса — до 3,47 м<sup>3</sup>/с. Всасывающая способность при этом не превысит 2 м от оси вала насоса. На подводящем трубопроводе — задвижки, на отводящем — счетчики-расходомеры. В здании для монтажа (демонтажа) оборудования — кран-балка грузоподъемностью 20 т. Масса насоса — 19,8 т, масса электродвигателя — 8,08 т. Фундаментная плита под насосом из монолитного железобетона марки В15 F200 W6. Отводящий трубопровод — стальная труба диаметром 1,0 м, длиной — 150 м. На выходе призма из рваного камня диаметром 300 мм для гашения энергии потока. Размещение — на одной площадке с существующей (обеспечивающей потребности рудника «Кумтор»).

Для реализации вариантов 1, 2 и 3 водосбросных сооружений предлагается следующая последовательность работ и смены событий (режим водопонижения):

- в начале зимнего периода первого года (этапа) мероприятий, когда естественный сток из озера прекращается, производится строительство водосбросного сооружения в направлении снизу вверх, с устройством порога, позволяющего осуществить понижение уровня воды на 1,0 м (уменьшить существующий объем воды в озере ~на 4 млн м<sup>3</sup>);



**Рис. 9.** Продольный профиль и конструкции варианта 2 водосбросного сооружения по Створу 16 (ступенчатый габионный перепад)



**Рис. 10.** Поперечный разрез водосбросного сооружения по варианту 2

- перелив из озера начинается в весенний период, т. к. уровень порога водослива окажется на 1 м ниже естественного, то перелив начнется раньше обычного срока, и хотя приток воды будет происходить в таком же режиме, как и раньше, сток продолжится более длительный период; более длительным будет и период максимального стока (если до управляемых инженерных процедур сток расходом в 25 м<sup>3</sup>/с достигал к концу июля — августе, т. к. для этого необходим был подъем уровня озера на 1–1,2 м, то теперь такая ситуация сложится предположительно уже в начале июля, а окончание половодья переместится на более поздний срок (при этом максимальный расход половодья не увеличится — сработка объема воды в озере будет происходить не за счет увеличения расхода стока, а за счет увеличения периода стока);
- с прекращением поверхностного стока из озера, в зимний период, верхний порог ступенчатого перепада демонтируется по возможности с сохранением геотекстиля, геомембраны, пенопласта; углубляется основание под сооружение и монтируется подводящий канал к нижнему порогу из расчета, что этот канал будет ~на 1 м ниже уровня воды, установившегося в период первого этапа (амплитуда всех последующих годовых понижений корректируется по достигаемым результатам уровневой срезки);
- следующие этапы аналогичны — подводящее русло к порогу водослива будет углубляться и удлиняться; с мероприятиями по стабилизации откосов плотины (обрушение опасно перекрытием сечения) путем нарезки уступов (полок) шириной 4–5 м через каждые 3–4 м по высоте;
- обеспечение гарантированного водозабора для нужд рудника «Кумтор» будет требовать переноса существующей насосной станции (через каждые 2–2,5 м срезки уровня). Осуществление понижения уровня ~на 15 м приведет к уменьшению объема воды в озере ~на 45–50 млн м<sup>3</sup>.

Ввиду трудности прогнозирования деформационного поведения сбросного тракта в условиях многолетнего мерзлого разреза целесообразно в качестве резерва иметь возможность временного перевода стока из системы Створа 16 в Створ 1а (и/или наоборот).

Для варианта 4 режим водопонижения будет характеризоваться следующими особенностями:

- в летний период строится сифонный водосброс с как можно более низкой посадкой порога водослива (желательно на одну отметку с уровнем воды в озере); работы по сбросу воды сифонами начинаются осенью, когда приток в озеро резко падает; входной патрубок заглубля-



**Рис. 11.** Июль 2012 г. Водозабор технической и питьевой воды «Кумтор Оперейтинг Компани» близ южного берега озера Петрова

- ется в воду на 2 м; сифон подготавливается к работе путем откачки воздуха при закрытых задвижках; после откачки воздуха открывается сначала верхняя задвижка, а при заполнении всего пространства водой — нижняя, после чего происходит разгрузка сифона (сброс воды); потребуется постоянно определять количество одновременно работающих сифонов; уровень воды над максимально сниженным не должен подниматься больше чем на 20 см, при таком подъеме в работу должен включаться следующий сифон; в начале зимнего сезона работу по сбросу необходимо прекращать и демонтировать входную часть сифона во избежание ее раздавливания льдом;
- для подготовки к следующему этапу в зимний период понижается существующий порог водослива из озера до сработанного накануне уровня воды;
- демонтируется гребневая часть сифона и его более низкая укладка; производится зарядка и сброс воды;
- подготавливаются условия для последующего этапа; каждый последующий этап сброса воды предполагает углубление существующего порога водослива истока р. Кумтор в зимний период до уровня воды в озере; углубленная часть порога должна крепиться от размыва, т. к. до начала работы водослива потребуется через русло реки пропустить максимальные расходы воды.

Режим водопонижения для варианта 5 предполагается следующим:

- строится насосная станция с подводящим (всасывающим) и отводящим трубопроводами;



**Рис. 12.** Июль 2012 г. Исток р. Кумтор. Вид с гребня морены. 1 — озеро Петрова, 2 — порог перелива

Вариант	Створ	Конструктивные особенности	Достоинства	Недостатки
1	1б	Ступенчатый перепад. Монолитный железобетон.	Наименьшие объемы земляных работ (выполняются в зимнее время); подготовка арматурных каркасов в помещении (в теплый период года); при строительстве производится лишь монтаж готовых изделий.	Выполнение бетонных работ в зимнее время, дополнительные затраты по прогреву бетона, повышенная вероятность брака; жесткость конструкции, большое количество деформационных швов, трудно прогнозируемый характер развития деформаций «основание — сооружение» во время пропуска стока.
2	1б	Ступенчатый перепад. Габийонные конструкции.	Гибкость конструкций, стойкость к деформациям основания (осадкам, пучению грунта и пр.); конструкция наиболее адекватно вписывается в окружающую среду (естественная отсыпка).	Производство ручных работ в зимнее время; повышенные объемы земляных работ <sup>4</sup> .
3	1а	Ступенчатый перепад. Трехмерные георешетки.	Низкая трудоемкость; возможность выполнения подготовительных работ в летний период (в сухом русле).	Производство бетонных работ в зимнее время, дополнительные затраты по прогреву бетона, большая вероятность брака.
4	4	Батарея из восьми сифонов полиэтиленовых труб диаметром 0,8 м.	Строительство в летний период.	Сифонные водосбросы применяются для автоматического поддержания уровня воды на заданной отметке, их использование для перманентного понижения уровня воды назначению не соответствует; перекосы конструкции и деформации основания недопустимы, надежная работа определяется наличием и возможностями доставки оборудования для откачки воздуха, требуется постоянное присутствие эксплуатационного персонала; большие объемы земляных работ; необходима врезка в моренную дамбу до уреза воды, что весьма опасно; для осуществления контакта труб с основанием требуется устройство грунтовых анкеров; вибрационные воздействия при работе, опасные последствия нарушения устойчивости основания; практическое отсутствие возможности выполнить демонтаж пластиковых труб без повреждения; на каждом этапе потребуются новые трубы взамен демонтируемых (или переход на стальной сортамент); с каждым этапом, вслед за отступающим урезом воды в озере, необходимо укладывать все более длинные ставы труб на только что освободившуюся из-под воды поверхность (на «слабые» грунты); устройство сифонов невозможно без понижения порога водослива и работ по защите от размыва (удорожание на \$10–12 млн).
5	4	Насосная станция размером в плане 13×42 м с подводными и отводящими трубопроводами. Оборудуются центробежными горизонтальными насосами Д12500-24 — 9 шт.	Возможность строительства в летний период.	Высокая стоимость (по сравнению с другими вариантами в 9–13 раз); потребность в большом количестве электроэнергии, строительстве трансформатора у здания; вибрационные и тепловые воздействия, опасные по нарушению целостности (устойчивости) моренного массива; реализация варианта без понижения порога водослива и работ по защите от размывов (удорожание на \$10–12 млн) невозможна.

<sup>4</sup> Стоимость определена по затратам на добычу и доставку каменного заполнителя из специального карьера; возможно ее снижение за счет использования материалов вскрыши, отходов карьера «Кумтор», моренных среднегабаритов (мелких валунов).

Табл. 1. Конструктивно-технические достоинства и недостатки предложенных вариантов

- производится понижение уровня воды в озере ориентировочно на 1 м с поддержанием этого уровня в течение года путем включения в работу необходимого количества насосов;
- понижается сформировавшийся порог водослива р. Кумтор (в истоке) до сработанного уровня, углубленная часть порога крепится от размыва;
- производится перенос насосной станции на рядом расположенную площадку с посадкой на 1 м ниже предыдущей (понижение корректируется по опыту предыдущего этапа); первый этап с понижением на 1 м и переносом насосной станции на новую площадку потребует около 1 года;
- далее по аналогичной схеме осуществляются следующие этапы понижения.

Стоимость строительно-монтажных работ по вариантам для 15 этапов (оценка в долларах США): вариант 1 — 10,4 млн, вариант 2 — 15,2 млн; вариант 3 — 13,0 млн, вариант 4 — 11,8 млн; вариант 5 — 131,9 млн.

Конструктивно-технические достоинства и недостатки предложенных вариантов приводятся в табл. 1.

К строительству рекомендован вариант 2 — габийонное водосбросное сооружение по Створу 1б (существующий исток р. Кумтор), характеризующийся наименьшими техническими и экологическими рисками (рис. 12).

В составе «Проектной документации» в качестве обязательных должны быть предусмотрены натурные наблюдения за обстановкой, складывающейся на объекте и прилегающей территории от проведения работ по намеченному понижению

уровня, программа и состав инструментального и визуального мониторинга с методическими рекомендациями, а также план действий персонала в случае возникновения непредвиденных ситуаций.

**Литература**

1. Черноморец С. С., Тутубалина О. В., Доронкин Ю. И., Ерохин С. А., Загинаев В. В., Лаврентьев И. И., Петраков Д. А., Усубалиев Р. А., Черны М., Шобр М., Энгел З., Янеки Б. Результаты инженерно-геологических, гидрологических и геофизических изысканий для разработки предпроектных решений по управляемому снижению уровня воды в озере Петрова (Кыргызская Республика). Отчет. Москва — Прага — Бишкек, 2012. 117 с., 72 рис., 8 табл. Список лит. 42 назв.
2. Лунькин Ю. М., Лунькина Т. В. Туристские зоны Киргизии. Кыргызстан: «Фрунзе», 1989. С. 116.
3. Севестьянов Д. В. Новые данные об эволюции высокогорного озера у конца ледника Петрова (Тянь-Шань) // Известия ВГО, т. 113, вып. 5. Ленинград: Наука, 1981. С. 430–435.
4. Серебряный Л. Р., Орлов А. В. Тянь-Шань глазами гляциолога. Москва: Наука, 1988. С. 105.
5. Geohazard Hazard And Risk Assessment For Potential Moraine Dam Outbreak Flood At Petrov Lake. Kyrgyzstan. Kumtor Mine. Final Project No.0889-001. BGC Engineering Inc.23, March 2012, 143 pp.
6. Медеу А. Р. Селевые явления юго-восточного Казахстана. Основы управления. Том 1. Алматы, 2011. С. 244



Engineering a better solution

Маккаферри — мировой лидер по разработке комплексных решений в области инженерной защиты территорий. Более 130 лет компания специализируется на возведении подлорных стен, армировании крутых откосов и насыпей, устройстве дренажных систем, защите от оселей и камнепадов, армировании дорожного полотна, речном и морском берегоукреплении. За 17 лет работы на рынке СНГ с использованием материалов Маккаферри построено и реконструировано более 10 000 объектов. Мы предлагаем следующие решения для гидротехнического строительства: облицовка каналов и дамб, укрепление берегов и дна водоемов, защита грунтов от эрозии и дренаж, защита и стабилизация трубопроводов, устройство оголовков труб, расчистка и дноуглубление водоемов, осушение территорий, восстановление прибрежных территорий. Производственные мощности компании находятся в России, Украине, Казахстане.

MACCAFERRI

www.maccaferri.ru



**МАНТА RAY**  
Грунтовые анкерные системы

ООО «ТПК»  
Санкт-Петербург, Богатырский пр., д. 18, корп. 2, оф. 205  
Тел.: (812) 329-88-67, 324-97-55, e-mail: sale@tpk-stroy.ru; www.tpk-stroy.ru

**ЗА 30 МИНУТ**  
**УСТАНОВКА АНКЕРА**

**ПРЕИМУЩЕСТВА АНКЕРОВ МАНТА RAY:**

- быстрая и простая установка за 30 минут
- немедленная проверка несущей способности
- низкая стоимость по сравнению с традиционными применениемными видами анкеров

На правах рекламы

## Трубы б/у в строительстве: не НОУ-ХАУ и тем более не «авось»!



**Гончаров В. В.,**  
канд. техн. наук,  
председатель совета директоров  
ООО «Трест Запсибгидрострой»,  
инженер-гидротехник,  
заслуженный строитель РФ

**Аннотация.** Описан опыт использования вторичной трубы для изготовления сварного трубчатого шпунта. Представлены результаты исследования материалов и конструкций, их практического применения при строительстве подпорных стен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52644-2010.  
**Ключевые слова:** шпунт трубчатый сварной, трубошпунт, замковые соединения, клещевидное шпунтовое соединение, безанкерный больверк.

**Abstract.** The experience of secondary pipe adoption for the manufacturing of welded pipe pile is described. The article presents research results of materials and structures and their use in practice during construction of retaining walls as required the GOST (state standard) P 52644-2010.  
**Keywords:** welded pipe pile, pipe pile, interlocks, claw-shaped pile connection, anchorless revetment.

Так уж получилось, что в одном и том же номере журнала вышли две статьи, при этом взаимоисключающие друг друга по сути (см. «ГИДРОТЕХНИКА», 2012 г., № 4 (29). — Прим. ред.). Случайность, либо хитрый ход редактора?!

Итак, на обложке журнала «ГИДРОТЕХНИКА» читаем:

35 лет ООО «Трест Запсибгидрострой»:

- 20 лет истории трубошпунта в России;
- 150000 тонн высококачественной продукции;
- 40 км подпорных стен;
- всего 3 клиновых шпунтины;
- ни одного разрыва;
- ни одной рекламации.

Показатели не вписываются в обычные представления, и любой профессионал вправе подвергнуть их сомнению! Но здесь нет ни грамма лукавства, все сказанное — чистая правда, как и правда в том, что в 150 тыс. т трубошпунта 120 тыс. т — восстановленная труба, а остальные 30 тыс. т — замковые соединения!

Практически все объекты эксплуатируются в жестких природно-климатических условиях: повышенные ледовые нагрузки (толщина льда до 1,5 м), наличие вечной мерзлоты, продолжительная зима и высокие паводковые уровни 7–10 м над нулем графика. Наиболее сложные объекты построены в ХМАО и ЯНАО, на Байкале, в городе Иркутске на реке Ангаре. А также все причальные сооружения в Среднем Приобье, на реках Обь и Иртыш, с высотой стенки от 12 до 14 м. В биографии «Треста Запсибгидрострой» есть безанкерные подпорные стенки свободной высотой от 8 до 10,5 м — к примеру, транспортная развязка в городе Ханты-Мансийске. Таких больше в России нет.

В Поволжье построены уникальные причалы для выгрузки крупнотоннажного оборудования весом до 1350 т. Расчетная нагрузка на причал от 40 до 120 т/м<sup>2</sup>. При этом есть объекты, которые эксплуатируются уже более 20 лет в штатном режиме.

Это уже не эксперименты, это давно уже практика широкомасштабного внедрения в строительство трубошпун-



ПГТ Березово. Причал  
Ханты-Мансийский автономный округ



ПГТ Тазовский. Причал  
Ямало-Ненецкий автономный округ





Безанкерный больверк свободной высотой 10,5 м. Ханты-Мансийск. ХМАО

та, изготовленного из вторичной трубы. Немного экономии: сегодня на рынке стоимость трубошпунта сопоставима со стоимостью новой трубы (без учета антикоррозийного покрытия). Трубошпунт, который мы выпускаем, на 25–30% дороже. Но наши изделия если не в разы, то существенно превосходят по качеству продукцию любого другого поставщика. Трубошпунт производства треста — инновационная продукция с высокой добавленной стоимостью, в первую очередь за счет приварки замковых соединений. Сегодня стоимость импортных коннекторов колеблется от 120 до 150 тыс. руб. за т. Учитывая этот фактор, мы еще в 2011 г. запатентовали и наладили выпуск отечественного горячекатаного коннектора — тем самым обеспечили полное импортозамещение. При этом снизили стоимость одной тонны, а несущие характеристики существенно повысили.

Наши замковые соединения продуманы до мельчайших деталей, удобны и надежны в работе. За 23 года упорной работы над совершенствованием конструкций и технологий мы фактически создали новое направление (школу) в строительстве тонких подпорных стен из сварного трубчатого шпунта. Уже двенадцать проектных институтов широко используют разработанную нами совместно с ОАО «ЦНИИС транспортного строительства» нормативную документацию.

В ближайшие дни выйдет сортамент трубошпунта из 500 наименований, справочное пособие по трубошпунту. Это совершенно иной мир возможностей проектирования и строительства тонких подпорных стен, это другая философия, в основе которой лежат семь простых истин:

- Не навреди природе.
- Строй надолго.
- Строй качественно.
- Строй быстро.
- Строй безопасно.
- Строй красиво.
- Строй гордо — во славу профессии и Отчизны.

Их нельзя рассматривать отдельно, это взаимосвязанные проблемы, и их необходимо решать в комплексе.

К чести предприятий, входящих в систему «Запсибгидростроя»: ОАО «Мостоотряд-69», ООО «Плавстройотряд 34», ООО «Гилан», ООО «Больверк» и двух заводов, которые способны производить до 40 тыс. т высококачественной продукции в год, — они успешно внедряют эти принципы на наших строящихся объектах.



Елабуга. Причал для разгрузки крупнотоннажного оборудования

Но в то же время чрезвычайно важно при проектировании замкового соединения изначально предвидеть ход погружения, степень его надежности, ибо замок в процессе забивки является вертикальной направляющей, испытывает колоссальные перегрузки, особенно при погружении с дневных отметок. При слабых замках любой наклон вдоль или поперек оси забивки, приводит к выходу из замка. И, как следствие, при производстве дноуглубительных работ выявляются десятки разрывов в шпунтовых стенках, через которые вымывается грунт обратной засыпки, образуются провалы на уже введенном объекте. Это именно то, что происходило в Усть-Луге, — наличие вторичной трубы здесь не имело никакого значения. Справедливости ради надо отметить, что на этом объекте такие же проблемы были и на участках, выполненных из корытного шпунта Л-607.

В табл. 1 представлены результаты испытаний замковых соединений ШТС на разрыв, выполненных в лабораториях ОАО «ЦНИИС транспортного строительства». Комментарии здесь излишни. Все очевидно.

В нашем сортаменте используются варианты №№ 1, 2, 10, 11, 12.

Есть еще одна особенность, которой мы придаем большое значение: если на трубошпунте есть ярко выраженная «обойма» и «гребень» (позиции 2, 10, 11), мы настоятельно рекомендуем на одной трубе располагать только «обоймы», на другой только «гребни» (рис. 2).

В этом случае при забивке центр тяжести совпадает с геометрическим центром, что повышает качество погружения. Есть и другие обязательные приемы, например, устройство лидирующей траншеи.

Конструкция трубошпунта — это система, состоящая из двух основных элементов: собственно трубы и замкового соединения.

Мы убедились, что замки в момент погружения испытывают критические нагрузки, а в процессе эксплуатации обеспечивают грунто непроницаемость, неся всего лишь 5–7% всей нагрузки, приходящейся на лицевую стену. Остальное приходится на трубу!

И у нее неограниченные возможности. Обратимся к табл. 1 и графику (рис. 1). Допустим, нам расчетно необходим  $W = 4000 \text{ см}^3/\text{м}$  стены. По сортаменту наиболее близкий — это ШТС с клещевидным захватом и  $\varnothing$  трубы 720/10. Вес  $1 \text{ м}^2$  — 241 кг и  $W = 4397 \text{ см}^3/\text{м}$  стены. Но не торопитесь при-

№ п/п	Тип замкового соединения ШТС	Схема замкового соединения	Разрушающее усилие Р, тс на 1 п. м
1	FI-512 ТУ 5264-003-13512256-2009		723,3
2	УГ и УЗ ТУ 5264-002-13512256-2008		168,0
3	ПШС ТУ 5264-007-01393674-2010		80,0 не соответствует ГОСТ
4	ШТСШ ТУ 0925-008-01393674-2004		59,0 не соответствует ГОСТ
5	ООО «СтройСпецСервис» («крылья» от трубы)		100,0 не соответствует ГОСТ
6	ООО «СтройСпецСервис» («крылья» к трубе)		130,0 не соответствует ГОСТ
7	ШТСУ по патенту № 2083763 С1		42,9 не соответствует ГОСТ
8	ШТСО ТУ 0925-007-01393674-2003		75,41 не соответствует ГОСТ
9	Larsen corner section 20 применительно ТУ 5264-003-13512256-2009		60,6 не соответствует ГОСТ
10	Патент на изобретение № 2471042 В. В. Гончарова Клещевидное шпунтовое соединение		468,7
11	Патент на полезную модель № 2368723 Шпунтовая стенка с металлическим уплотняющим элементом		400
12	Патент на полезную модель № 2368723 Шпунтовая стенка с металлическим уплотняющим элементом		200

Примечание: п. 4.3. ГОСТ Р 52644-2010. Усилие на разрыв замков профилей ШТС должно быть не менее 1500 кН/п. м (150 тс/п. м).

Табл. 1. Результаты испытаний замковых соединений ШТС на разрыв

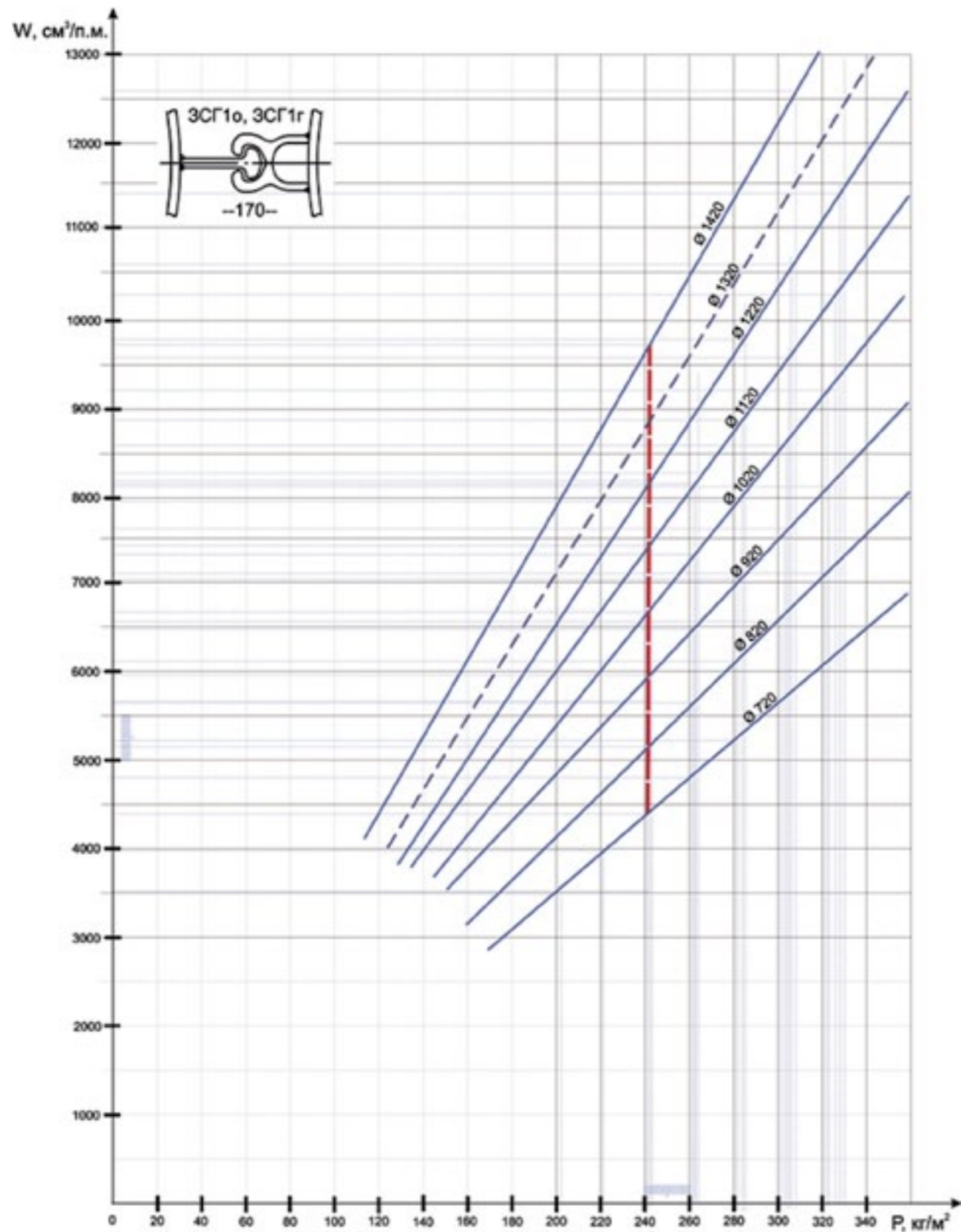


Рис. 1. График соотношения материалоемкости и момента сопротивления на метр стены при различных диаметрах труб и толщины стенки, с замковым соединением ЗСГ1о, ЗСГ1г

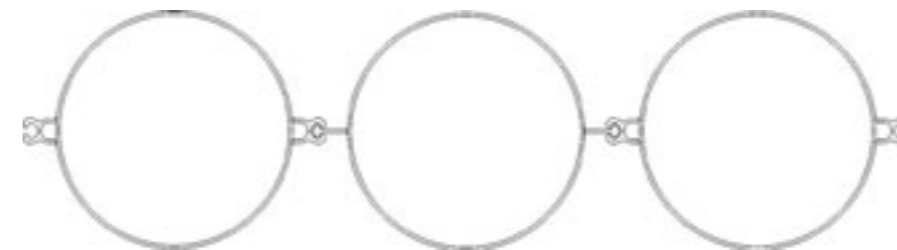


Рис. 2.

Тип замкового соединения ШТС и расстояние в свету между трубами, мм	Наименование показателя шпунтовой стены из ШТС	Параметры ШТС для труб диаметром (мм) с толщиной стенки (мм)							
		720x10	820x10	920x10	1020x10	1120x10	1220x10	1420x10	
ЗСГ1-о, ЗСГ1-г --170--	Расход металла, кг/м², стены	Труба	193,6	199,1	203,5	207,4	210,6	213,3	217,0
		Замок	47,4	41,9	38,5	33,6	31,4	29,7	25,0
	<b>Всего</b>	<b>241,0</b>	<b>241,0</b>	<b>242,0</b>	<b>241,0</b>	<b>242,0</b>	<b>243,0</b>	<b>242,0</b>	
	<b>Момент сопротивления <math>W_{ст}</math>, см³/м, стены</b>	<b>4397</b>	<b>5151</b>	<b>5910</b>	<b>6673</b>	<b>7434</b>	<b>8204</b>	<b>9766</b>	

Табл. 2.

нимать решение. Сортамент дает возможность найти более оптимальный вариант: к примеру, ШТС с тем же замком, но труба 820/10, где вес 1 м² тоже 241 кг, а  $W = 5151$  см³/м стены. Из графика следует, что только за счет увеличения диаметра трубы можно в разы увеличить несущую способность трубошпунта, не увеличивая металлоемкости. Ни один прокатный шпунт не обладает такой возможностью. При проектировании это позволяет отказаться от разгрузочных платформ, каменных призм, экранящих свай и порой даже от анкеровки.

Трубошпунт — уже признанная проектировщиками и заказчиками конструкция, но до конца ими не познанная!

Только этим можно объяснить факт ежегодного ввоза в страну, по разным оценкам, от 125 до 160 тыс. т различного горячекатаного шпунта, стоимостью одной тонны от 60 до 70 тыс. руб. Это рабочие места, но не здесь у нас, а там у них!

Мы действительно безнадежно отстали от западных технологий, но там, где мы можем что-то достойно противопоставить зарубежному производителю, надо обязательно это делать. Иначе скоро нас, россиян, идентифицировать будет невозможно!!

Уважаемые коллеги!

Я попытался косвенно пояснить, что проблема не в том, что используется восстановленная труба, а в том — КАКАЯ она! Какая система контроля, есть ли вообще система?! В ГОСТ Р 52664-2010, в отличие от предыдущего, включена целая глава, регламентирующая порядок отбора вторичной трубы, контроля качества на всех этапах восстановления, вплоть до определения физико-механических свойств и химического состава металла.

К сожалению, указанная выше статья о вторичной трубе не аргументирована, построена на эмоциях, на «авось», и в ее основу легли те данные и оценки, которые подготовили заинтересованные трубные компании. Изложенные факты не отражают объективной оценки трубошпунта из вторичной тру-

бы. История с портом в Имеретинской бухте никак не связана с вторичной трубой. То же самое было бы и с новой трубой, при прочих факторах, которые были там 14 декабря 2009 г.

Если моих аргументов, приведенных выше, а также наличия ГОСТ Р 52664-2010, не достаточно, приведу еще один пример проведенного исследования.

После выхода статьи «Трубы б/у в строительстве: «авось» или «ноу-хау» я в декабре 2012 г. заключил договоры с московским институтом ОАО «ЦНИИС транспортного строительства» и Новосибирской академией водного транспорта на определение физико-механических свойств и химического состава образцов металла от новой трубы, труб из-под нефтепровода и газопровода  $\varnothing 820/10$  и  $\varnothing 1020/12$ . Образцы были предоставлены под номерами, институты не знали, что исследование проводится параллельно и, соответственно, не знали, какая труба под тем или иным номером образца.

Результаты отличались сотыми долями, и все образцы соответствовали требованиям ГОСТ на изготовление трубошпунта. После исследования в отчет был включен документ за подписью генерального директора об идентификации образцов и труб, включая информацию, откуда они были изъяты.

Честь имею.

/В. Гончаров/



ООО «Трест Запсибгидрострой»  
628403 Тюменская обл., г. Сургут,  
ул. Университетская, 7  
Телефон/факс (3462) 24-31-57  
E-mail: tzsgs@mail.ru,  
zsgs@surguttel.ru

## «ШПУНТОВАЯ КОМПАНИЯ»: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ШПУНТОВЫХ ОГРАЖДЕНИЙ



ООО «Шпунтовая компания» основана в 2006 г., но сегодня уже является одной из ведущих строительных организаций на Северо-Западе. Репутацию надежного и профессионального партнера компания завоевала в очень короткие сроки благодаря стремительной динамике развития. Сегодня в ее штате более 50 человек, кадровый состав, — а это опытные российские специалисты различных строительных профессий, — способен выполнить широкий спектр работ, при этом используя технические средства самой компании и не привлекая подрядчиков:

- строительство подпорных стен котлованов, временных шпунтовых ограждений;
- гидротехнические работы;
- работы нулевого цикла;
- поставка шпунтовых свай и стальной продукции;
- устройство буронабивных свай по технологии фундекс, погружение ж/б свай в заранее пробуренные «лидерные» скважины (аналог — вдавливание);
- раскрепление шпунтового ограждения котлованов, анкерные конструкции и системы раскрепления для шпунтов;
- антикоррозионная защита металлоконструкций, пескоструйные, окрасочные работы, огнезащита;
- инспекция и контроль антикоррозионных работ сертифицированными специалистами;
- ремонт бетонных, железобетонных, металлических поверхностей.



Выполнение работы на высоком качественном уровне и строго в обозначенные сроки обеспечивает и собственная производственная база, включающая парк техники и современное оборудование:

- вибропогружатели Allpicks обычной частоты и высокочастотные;



- вибропогружатель Tunkers HVB 40 26 на базе экскаватора;
- монтажные гусеничные краны РДК, МКГ — 4 единицы;
- Hitachi-Sumitomo SCX700 гусеничный кран — 70 т;
- дизельгенераторы от 6 квт до 250 квт — 6 единиц;
- шпунт Ларсен разного вида AU, 606, 607, I4, I5 — постоянно в наличии порядка 1000 т;
- установка для статического вдавливания шпунта Giken Silent Piler SW 100.

Руководство компании ориентировано на постоянное, системное повышение квалификации сотрудников. Так, к примеру, ООО «Шпунтовая компания» тесно сотрудничает с компанией Allpicks B.V., которая консультирует специалистов по погружению шпунта. Аттестация сотрудников проводится ежегодно, обязательно отслеживается освоение новых технологий, как отечественных, так и зарубежных, — такая задача является основополагающей для каждого специалиста «Шпунтовой компании». На сегодня она является партнером СРО НП «БСК» и имеет все необходимые допуски для работы.

Партнеры и заказчики «Шпунтовой компании», — а это такие крупные организации, как: «Метрострой», «СОЮЗ», «Ленстройремонт», «Лидер Групп», «Линтек», «ЗБ Трест», «Ленгазспецстрой», Генеральная строительная корпорация, РГЭС, «Стройнефтегаз», ЕВРАЗ, ArcelorMittal и мн. др., — неизменно отмечают не только качество работ и соблюдение сроков «Шпунтовой компанией», но также и строгое соблюдение ее работниками норм технической, пожарной, санитарной безопасности, способность вести работы в особо затрудненных условиях.

Весь цикл работ «Шпунтовая компания» делает самостоятельно: при постановке задачи или обозначении проблемы специалисты изучают объект и условия работ, производят необходимые исследования и экспертные оценки, на основе полученных данных разрабатывают технические решения, реализуют их, в дальнейшем сопровождая эксплуатацию объекта. По мнению коллектива, именно способность выполнить работы комплексно и стала залогом успеха «Шпунтовой компании».

**ООО «Шпунтовая компания»**  
Санкт-Петербург, ул. Афонская, д. 2  
Тел./факс (812) 495-6348  
Тел.: 8-921-900-34-32; 8-921-352-11-11  
shpuntcomp@yandex.ru  
www.shpuntcomp.ru



## ОПЫТ УСИЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПОЗИЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ БАКСАНСКОЙ ГЭС



**Сердюк А. И.,**  
начальник проектного бюро  
ИПЦ «ИнтерАква» (г. Москва)



**Чернявский В. Л.,**  
лауреат премии Совета министров  
СССР, директор ИПЦ «ИнтерАква»  
(г. Москва)

**Аннотация.** Мы продолжаем серию публикаций о восстановлении и реконструкции одной из старейших станций Северного Кавказа — Баксанской ГЭС (см. «ГИДРОТЕХНИКА», 2013, № 1–2). Одними из важнейших задач были восстановление, ремонт и усиление конструкций зданий и сооружений. Работы были выполнены ИПЦ «ИнтерАква», который не только одним из первых в России освоил технологии работы с композитными материалами, но и стал разработчиком уникальных технических решений по защите и усилению конструкций, успешно применяющихся на различных гидротехнических и промышленных объектах, обеспечивая безопасную эксплуатацию на несколько десятков лет.

**Ключевые слова:** Баксанская ГЭС, композиционные материалы, несущая способность, трещиностойкость, коррозионная стойкость.

**Abstract.** We continue a series of publications about rebuilding and reconstruction of one of the oldest hydropower plant in the North Caucasus — Baksanskaya HPP (ref. "HYDROTECHNIKA", 2013, №1-2). The more important goals were rebuilding, repair and reinforcement of building structures and constructions. The works have been done by research production center "InterAqua", which not only one of the first in Russia had absorbed technologies of work with composite materials, but they had become a developer of unique engineering solutions for construction protection and reinforcement, which is used to ensure safe operation during some decades at various water engineering and industrial facilities.

**Keywords:** Baksanskaya HPP, composite materials, loaded capability, crack resistance, corrosion resistance.

Решение о реконструкции Баксанской ГЭС было принято в 2010 г. после совершения теракта [1]. Реконструкция ГЭС базировалась на результатах обследования, выполненного ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева и проектных решений «Мособлгидропроект». Работы по реконструкции здания ГЭС выполнялись «Турборемонт-ВКК».

В частности, при реконструкции здания административно-бытового комплекса решались следующие задачи:

- ремонт и восстановление поврежденных строительных конструкций;
- обеспечение соответствия физико-механических свойств конструкций современным требованиям строительных норм;
- изменение конструктивных параметров строительных элементов в связи с перепрофилированием ряда помещений и увеличением расчетных нагрузок из-за замены оборудования и обеспечение требуемой несущей способности;
- обеспечение выполнения современных требований по сейсмостойкости зданий при расчетном землетрясении 8 баллов.

Административно-бытовой корпус представляет собой монолитное железобетонное трехэтажное здание каркасно-стенной конструктивной схемы. Внешние габариты здания 27,4×12,7 м. Перекрытия и плиты покрытия ребристые. Высота сечения плит 100 мм, балок — 400–450 мм (с учетом плиты).

Расчет пространственной модели здания выполнен институтом «Мособлгидропроект». Специалистами ИПЦ «Ин-

терАква» проанализированы поля требуемого по расчету армирования и сопоставлены с фактическим, приведенном в Заключение по техническому обследованию, выполненном институтом ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. В результате был определен перечень конструктивных элементов здания, требующих усиления.

Плита перекрытия первого этажа имела дефицит несущей способности на изгибающий момент в приопорных зонах и в пролетной части. Балки перекрытий первого и второго этажей, а также покрытия имели дефицит несущей способности на отрицательный изгибающий момент в надопорных зонах. Величина дефицита несущей способности плит составляла от 26 до 110%, балок — до 83%. Кроме того, плиты перекрытий, покрытия требовали обеспечения повышения трещиностойкости. Также требовалось усиление плит перекрытий в зонах проемов под лестничные марши.

Серьезными ограничениями при выборе конструктивных решений усиления были требования по сохранению внутренних габаритов помещений без увеличения нагрузок на фундаменты.

Выбор вариантов конструктивных решений усиления конструкций на основе традиционных и современных решений показал, что усиление может выполняться следующими методами:

- усилением конструкций металлическим профилем;
- усилением изгибаемых конструкций наращиванием сечения или применением шпренгельных систем;
- усилением композиционными материалами на основе высокопрочных углеродных волокон.

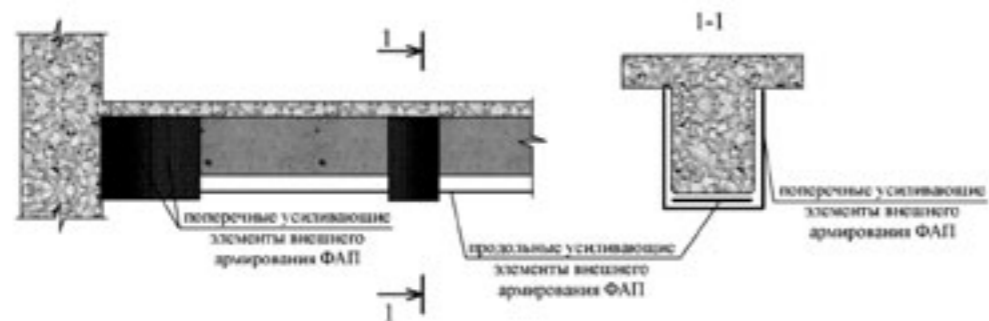


Рис. 1. Усиление балки перекрытия внешним армированием ФАП

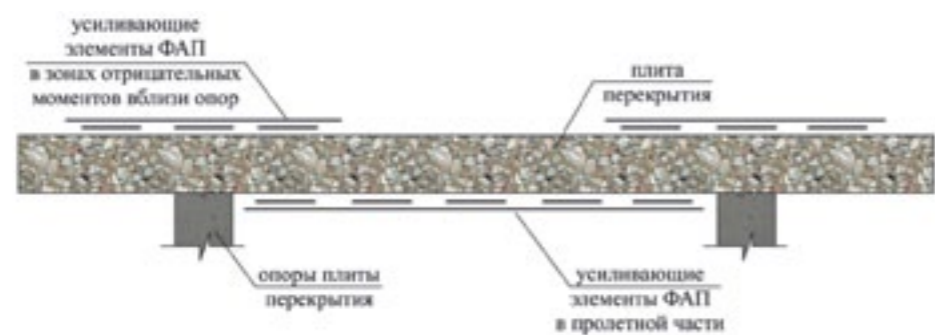


Рис. 2. Усиление плиты перекрытия внешним армированием ФАП

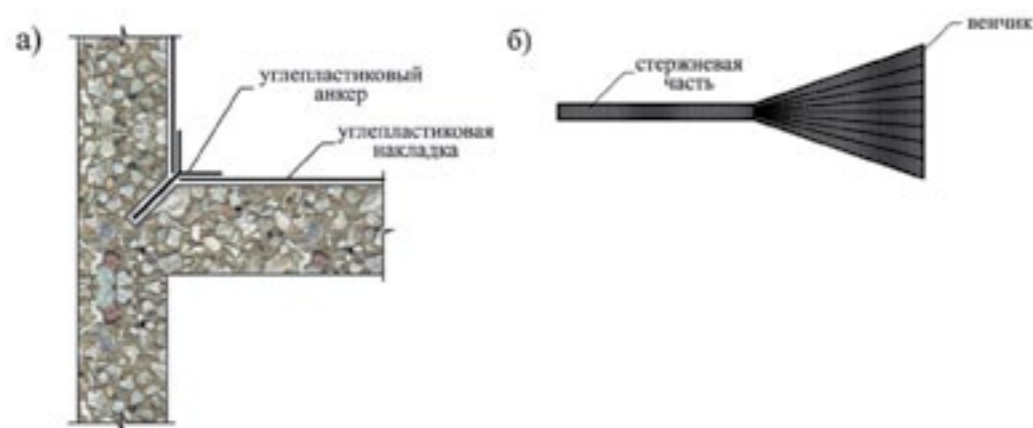


Рис. 3. Анкерка углепластиковых накладок в приопорных зонах вблизи стен, колонн:  
а — принципиальная схема расположения; б — конструкция анкера

Сравнение вариантов показало:

1. При усилении металлопрокатом для увеличения предельного изгибающего момента балок в пролете увеличивается вес конструкций и геометрические размеры, что в свою очередь вызывает дополнительные сложности при отделочных работах и необходимость применения сварочных работ и антикоррозионных мероприятий.
2. При выполнении усиления на опорных участках балок на отрицательный изгибающий момент армированной набетонкой также увеличивается вес конструкций, уменьшается полезный объем помещений из-за уменьшения высоты этажа, и требуются трудоемкие бетонные работы.
3. Устройство шпренгельных систем связано с большой трудоемкостью, также с ограничениями внутренних габаритов и дополнительными работами по защите этих систем в период монтажа оборудования и эксплуатации.

4. Применение композиционных материалов, по сравнению с вышеприведенными вариантами, имеет ряд существенных преимуществ:
  - не изменяются постоянные нагрузки (вес композита очень мал);
  - не изменяются архитектурные параметры помещений из-за малой толщины отвержденного композита;
  - высокая коррозионная стойкость элементов усиления;
  - низкая трудоемкость и сроки выполнения работ;
  - сравнение технико-экономических показателей приведенных методов усиления показало значительное преимущество применения композиционных материалов, что уже неоднократно подтверждалось и для других конструкций [2].

В этой связи было принято решение о применении композиционных материалов для усиления конструкций.

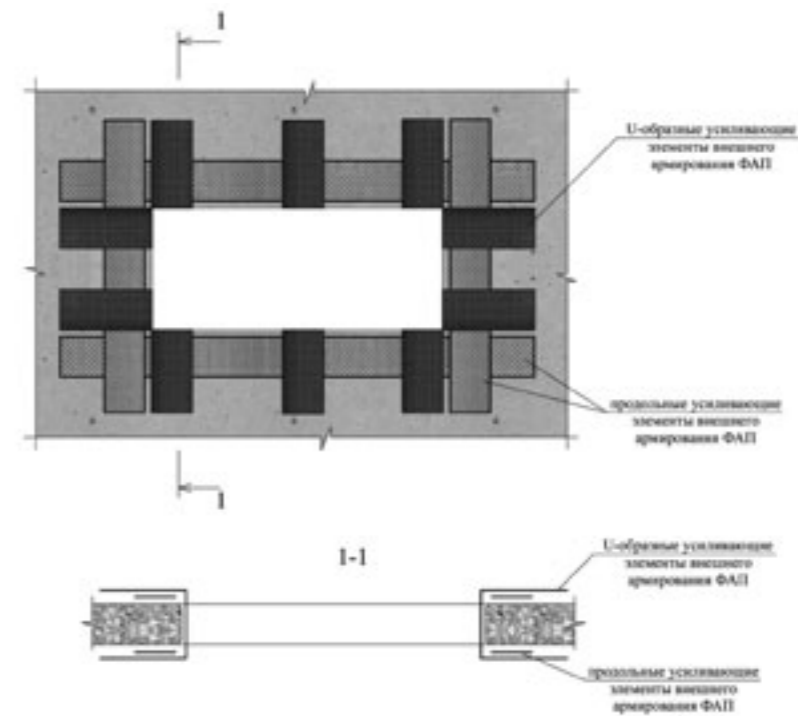


Рис. 4. Усиление плиты перекрытия в зоне проема

В разработанном проекте усиления балок и плит перекрытий на восприятие дополнительного изгибающего момента и для повышения трещиностойкости предусматривалось устройство на растянутых поверхностях усиливающих элементов из углепластика (фиберармированного пластика — ФАП). В пролетной части конструкций элементы ФАП устраивались на нижней поверхности, а в зонах отрицательных изгибающих моментов в надпорной части — на верхней. Волокна углепластиковых накладок ориентированы в направлении воспринимаемых деформаций во взаимно перпендикулярных направлениях, на балках — в продольном направлении. Для обеспечения перераспределения усилий между конструкцией и элементами усиления, дополнительной анкерки продольных усиливающих элементов, а также повышения надежности и трещиностойкости балок в приопорных зонах (на участках потенциального образования трещин) в поперечном направлении устраивались U-образные и двухсторонние вертикальные углепластиковые «хомуты» (рис. 1, 2). Включение в работу углепластиковых накладок на верхней поверхности плит, балок в приопорных зонах (вблизи стен, колонн) обеспечивалось установкой специальных углепластиковых анкеров (рис. 3).

Для усиления плит перекрытия в зоне технологических проемов по их контурам на нижней и верхней поверхности плит выполнены продольные и U-образные элементы внешнего армирования. Продольные усиливающие элементы воспринимают концентрации напряжений вблизи проема, а U-образные компенсируют перерезанную при выпиливании проемов стержневую стальную арматуру и дополнительно анкеруют продольные элементы (рис. 4).

Количество слоев углеродной ленты в каждом случае определялось расчетом в соответствии с [3]. В результате выполненных ИПЦ «ИнтерАква» работ по усилению обеспечена требуемая несущая способность и трещиностойкость конструкций. Применение системы внешнего армирования

композиционными материалами позволило существенно сократить сроки выполнения работ, при усилении не были изменены внутренние габариты помещений и не увеличен собственный вес конструкции. Внешнее армирование композиционными материалами на основе высокопрочных углеродных волокон и эпоксидного связующего в очередной раз показало свою высокую эффективность для усиления строительных конструкций [2].

Более подробно о технологии внешнего армирования см. [4].

**Литература**

1. Костыря С. А. О работах ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева на Баксанской ГЭС // Гидротехника. 2013. № 2 (31). Стр. 16–17.
2. Чернявский В. Л., Сердюк А. И. Экономическая эффективность применения технологии внешнего армирования композиционными материалами для усиления строительных конструкций // Точка опоры — строительные материалы и технологии. 2013. № 1 (160). Стр. 12.
3. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами. ИнтерАква, НИИЖБ, 2006.
4. Чернявский В. Л. Система ремонта и усиления строительных конструкций // Гидротехника. 2010–2011. №№ 4 (21)–5 (22). Стр. 60–63.



ИПЦ «ИнтерАква»  
Тел. (495) 223-23-85, факс (495) 322-54-51  
112516 Москва, Севанская, 5, кор. 1  
Inter-aqua@mtu-net.ru interaqua@mail.ru  
www.interaqua.biz

# ЗАО «ОХТИНСКИЙ ЗАВОД СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН»

## ОЗСМ

### производит и поставляет:

#### ВИБРОПОГРУЖАТЕЛИ с гидравлическим и электрическим приводом

- предназначены для погружения в водонасыщенные песчаные и пластичные глинистые грунты и извлечения из них металлического шпунта, труб, свай и других свайных элементов
- рассчитаны для совместной работы с кранами, экскаваторами, копровыми направляющими и иными видами базовых машин

#### ВИБРОГРЕЙФЕРЫ

- предназначены для извлечения преимущественно плотных связных грунтов из полостей труб и свай-оболочек, а также для проходки вертикальных выработок

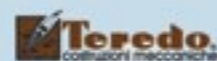
### поставляет и обслуживает:

#### Самходные буровые установки IMT International S.p.A. (Италия)



- предназначены для сооружения буронабивных и буросекущих свай

#### Малые и средние буровые установки TEREDO S.r.l. (Италия)



- предназначены для геологических изысканий, инъектирования, устройства грунтовых анкеров, разработки геотермальных источников, проходки скважин на воду

195027 г. Санкт-Петербург,  
ул. Дегтярёва, 2 А  
(812) 227-60-54  
(812) 227-27-96  
marketing@ozsm.ru  
www.ozsm.ru

На правах рекламы



## ООО «ГИДРОПРОМСТРОЙ» — СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Строительная Компания «ГидроПромСтрой» работает на российском рынке строительных услуг.

Один из основных видов выполняемых работ — специальные работы по гидроизоляции и восстановлению бетонных и каменных поверхностей, антибактериальная санация и биологическая защита строительных конструкций на базе экологически чистых материалов и технологий системы проникающей гидроизоляции «Гидропен» нового поколения, разработанных специалистами фирмы в сотрудничестве с ведущими научными центрами.

Преимущества системы гидроизоляции «Гидропен» на основе цементно-песчаного состава проникающего действия с высоким сопротивлением давлению воды и воздействию агрессивных жидкостей, восстанавливающей структуру и прочностные свойства цементного камня, бетонных и каменных строительных конструкций:

- Выдерживает свыше 12 атм. гидростатического давления через месяц после нанесения.
- Обладает высокой степенью адгезии, образуя единое целое с обрабатываемой поверхностью.
- Проникая через поры бетона вглубь конструкции, образует нерастворимые кристаллы, которые заполняют трещины и кольматируют поры, исключая возможность проникновения молекул воды через них.
- Долговечна в связи с тем, что фронт уплотнения структуры конструкций постоянно продвигается в глубину по мере контакта материала с молекулами воды, фактически — работает «пожизненно».
- Значительно повышает морозостойкость бетона.
- Не меняет воздухо- и паропроницаемости конструкций.
- Создавая защитный слой в бетоне, предохраняет металлическую арматуру от взаимодействия с агрессивным конденсатом.
- Усиливает химическую стойкость конструкций к агрессивным жидкостям.
- Обладает способностью «самозалечивания» трещин с раскрытием до 0,3 мм.
- Гидроизолированная конструкция менее чувствительна к поверхностным повреждениям, поскольку водонепроницаемость обладает и уплотненный с помощью химических добавок бетонный камень.
- Экономична, т. к. гидроизоляция может производиться изнутри, без проведения дорогостоящих работ по восстановлению внешней гидроизоляции.
- Перед применением поверхность бетонной конструкции не требует сушки, что сокращает энергетические затраты на гидроизоляционные работы.
- Значительно увеличивает межремонтный срок эксплуатации.
- Имеет высокую укрывистость.
- Удобна в работе, т. к. затворяется обычной водопроводной водой, оборудование легко очищается водой.
- Безопасна для окружающей среды: не содержит вредных веществ и растворителей, разрешена к применению на основании заключения ГСЭС РФ по г. Москве № 77.01.03.574 П.15910.07.4 от 21.07.04 г.

Объекты применения — подвалы и фундаменты, стены зданий, колодцы и подземные своды, бетонные резервуары всех типов, гидротехнические сооружения, градирни и чаши градирен, перекрытия сооружений, эксплуатирующихся в условиях агрессивных сред.

ООО «ГидроПромСтрой» производило гидроизоляционные работы с применением собственных материалов на многочисленных объектах, таких как:

- брызгальные бассейны, здания турбины, кабельные тоннели, вспомогательное здание реактора, резервуары насосной станции и т. д. Нововоронежской АЭС-2 (объем выполненных работ 350000 м<sup>2</sup>);
- Смоленская АЭС, Каширская ГРЭС № 4 филиал ОАО «Мосэнерго», ОАО АК «Якутскэнерго», сооружение ГО (бомбоубежище) ЗАО «Международный аэропорт Домодедово», реакгентные площадки Джезказганской обогатительной фабрики (объем выполненных работ 22000 м<sup>2</sup>) корпорации «Казахмыс» и т. д.

ООО «ГидроПромСтрой» выполняет полный спектр работ по погружению, извлечению шпунтовых свай различных марок (Ларсен, Арселор, трубошпунт) методом вибрационного погружения с использованием собственного парка вибропогружателей различной мощности производства Голландии, Франции, США.

Преимуществом погружения с помощью вибрации является возможность универсального применения оборудования, например, в свободно подвешенном состоянии на кране, с закреплением на стреле экскаватора или на копре. Кроме того, при специальном закреплении возможна забивка в грунт и в наклонном положении. При погружении с помощью вибрации производится очень мало шума, и профили погружаются в грунт с оптимальным усилием и в щадящем режиме.

Строительный метод с применением шпунта уменьшает объемы выемки грунта и его транспортировки, сокращает период строительства, не зависит от погодных условий, имеет повышенную безопасность, высокую несущую способность, позволяет вторичное использование шпунта.

Компания производила работы по погружению шпунтовых свай на различных объектах в т. ч. в г. Санкт-Петербурге (строительство водовода на Арсенальной набережной, снегоплавильная камера), на олимпийских объектах г. Сочи (берегоукрепление и дождевая канализация Имеретинской низменности), на строительстве Нововоронежской АЭС-2 (береговая насосная станция подпитки, водозаборный ковш, эстакада технологических трубопроводов, кабельные тоннели системы нормальной эксплуатации).

ООО «ГидроПромСтрой» производит комплекс работ нулевого цикла, включая земляные, буровые, бетонные работы, водоотвод и водопонижение, разработку котлованов, внутренние и наружные инженерные сети, устройство монолитных бетонных и железобетонных конструкций, монтаж металлических конструкций и стеновых панелей, а также монтаж трубопроводов, антикоррозийные работы, выполнение работ по огнезащите материалов, изделий и конструкций.

Штатный состав ООО «ГидроПромСтрой» насчитывает более 300 сотрудников, включая квалифицированный персонал рабочих специальностей по всем видам работ, на которые имеется свидетельство о допуске СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ».

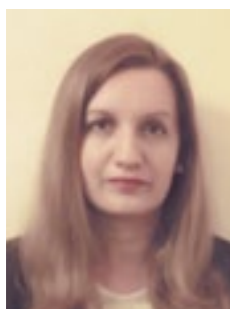
Производственную базу компании составляет достаточное количество оборудования, механизмов, инструментов, спецтехники для выполнения любых, самых сложных и ответственных задач.



ГидроПромСтрой  
www.gps-atom.ru

контакты см. на первой обложке

## ТЕХНОЛОГИИ И КОМПЛЕКСНЫЕ СИСТЕМЫ Sika® ДЛЯ ЗАЩИТЫ БЕТОНА ОБОЛОЧЕК ГРАДИРЕН



**Васильева Т. Н.,**  
инженер по направлению  
«Ремонт и защита бетона»  
ООО «Зика»



**Аннотация.** Железобетонные башенные градирни с естественной тягой, благодаря своей уникальной конструкции и предназначению, имеют огромную по площади оболочку. При этом и внутренняя, и внешняя поверхность оболочки испытывают агрессивное влияние окружающей среды. Правильный подход к ремонту подобных сооружений, применение защитных покрытий и других мер по предотвращению коррозии позволяет значительно повысить ресурс их долговечности, а также упростить и снизить затраты на проведение плановых ремонтов. Для защиты внешней оболочки новых или незначительно поврежденных сооружений рекомендуется использовать комбинированную систему, состоящую из пропитки-гидрофобизатора и защитного покрытия. При значительных повреждениях поверхностей, перед нанесением системы защитных покрытий поверхность следует надлежащим образом отремонтировать. Для внутренней поверхности оболочки рекомендуется система эпоксидного покрытия, и дополнительное финишное покрытие на основе полиуретана в зоне действия прямых солнечных лучей. В данной статье дан краткий обзор по системам защитных покрытий и несколько практических примеров.

**Ключевые слова:** башенные градирни, внутренняя и внешняя оболочка, защита, системы покрытий, сервис.

**Abstract.** Natural draught cooling towers constructed in reinforced concrete, due to their design and function, have a very much larger surface area. Both the internal and external concrete surfaces of cooling towers are exposed to aggressive influences. The successful repair, protection and corrosion management of reinforced concrete helps to prolong the durability and makes the service maintaining easy and cost effectiveness. For the outside of new-build cooling towers or if the concrete surface is not too damaged, combined system of hydrophobic impregnation and protective coating shall be used. If the concrete is too damaged, then the surface shall be made good first and then protective coating shall be applied. For the internal shell, epoxy coating shall be used and in the zone accessible by the UV radiation, a final coat of PU coating shall be applied to provide the UV protection to the epoxy coating. This paper will give an overview of the protection coating systems for internal and exterior shells of cooling towers and will give some practical examples.

**Keywords:** cooling Tower, interior and exterior shell, protection, coating system, service Sika.

История компании Sika берет свое начало в 1910 г., когда возникла необходимость в электрификации и надежной гидроизоляции железнодорожного тоннеля Готтхард (Gotthard) в Швейцарских Альпах. Именно тогда был разработан и предложен новый подход к химической гидроизоляции. С тех пор и по настоящее время компания держит курс на развитие инновационных решений в области строительных материалов и технологий в соответствии с потребностями рынка и специфическими требованиями объектов.

Особый подход к ремонту и защите таких важнейших и уникальных сооружений, как гигантские башенные градирни с естественной тягой, связан с их назначением. При значительной высоте и огромной площади поверхности масса самой конструкции достаточно мала. Конструкции имеют тонкостенную оболочку. При этом и внутренняя, и наружная поверхность оболочки подвергаются значительному агрессивному воздействию среды.

Агрессивные факторы окружающей среды активно воздействуют на наружную поверхность градирни и разрушают бетон оболочки. В связи с особенностями конструкции (большая высота, тонкие стенки), из-за колебаний толщины и под действием агрессивных факторов окружающей среды существует риск трещинообразования. Перепады температур, замораживание/оттаивание, эрозия и др. физические факторы также вызывают разрушение бетона. Часто бывает, что башенные градирни и дымовые трубы расположены близко друг к другу. В этом случае, в соответствии с требованиями стандарта EN 1504, они нуждаются в более надежной защите.

Внутренняя поверхность оболочки, такая же огромная, как и наружная, в еще большей степени подвергается агрессивному воздействию. Сочетание высокой температу-

ры, влажности и УФ облучения, а также перепады температур ускоряют процессы карбонизации, развития микроорганизмов (плесень, водоросли, лишайники) и других видов разрушения бетона. В Европе многие градирни оснащены системой подачи дымовых газов, что является очень значительным агрессивным фактором. Также нельзя забывать, что градирни имеют достаточно большое открытое пространство сверху, поэтому часть их внутренней поверхности подвергается воздействию прямого солнечного света. Ультрафиолетовое излучение очень агрессивно по отношению к большинству покрытий на эпоксидной основе, которые, в свою очередь, идеально подходят для защиты в затененных местах. В связи с этим для защиты внутренней поверхности от УФ лучей применяют специальные системы.

Анализ наступавших ранее разрушений показал необходимость поиска и оптимизации в вопросах составов бетона, обеспечения необходимой толщины защитного слоя, дополнительной защиты поверхности, ограничения раскрытия трещин и т. п. Сегодня можно считать, что обеспечение достаточной толщины защитного слоя бетона, уплотнение бетона, применение защитных покрытий стало нормой для проектировщиков и строителей. Немецкие нормы, например, предписывают толщину защитного слоя 30+5 мм и допускают толщину стенки минимум 16 см. Известны случаи, когда, только принимая во внимание необходимость качественной укладки и уплотнения бетона, принималось решение увеличить толщину стенки. Высокотехнологичные и удобные в применении добавки для бетона серии Sika® Plastiment®, SikaPlast®, Sika® ViscoCrete® позволяют получать бетоны с заданными технологическими характеристиками: сохраняемостью подвижности, связанностью, пластической вязкостью, а также высококачественные

гидротехнические бетоны и самоуплотняющиеся бетоны. Высокие пластифицирующие и водоредуцирующие свойства добавок позволяют повысить прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и долговечность бетонов.

В настоящее время наиболее актуальной задачей стала необходимость продления ресурса долговечности как ремонтируемых, так и вновь возводимых сооружений. В данных условиях особая роль отводится использованию методов так называемой вторичной защиты конструкций путем нанесения защитных покрытий. Опираясь на многолетний опыт и научные исследования, компания Sika предлагает комплексные системы ремонтных составов и защитных покрытий, предназначенные специально для этих специфических объектов. Данные системы широко применяются не только в Европе, но и в России на таких крупных сооружениях, как Калининская АЭС, Ленинградская АЭС-2 и др. В случае ремонта подобных сооружений применение конкретных технологий и ремонтных систем зависит от множества факторов: особенностей самой конструкции, видов дефектов, условий и сроков работ и пр. Здесь, как правило, требуется высокая надежность, совместимость материалов между собой, удобство в работе. Наша компания предлагает широкую линейку материалов для ремонта, с которыми можно ознакомиться на сайте или обратиться в офисы нашей компании. Понятно, что только отремонтированная и полностью восстановленная конструкция подлежит защите с использованием окрасочных покрытий.

Для нашей страны, где климатические условия более суровые, требования к материалам, в т. ч. по морозостойкости, особенно высокие. В этом случае качество производства работ, погодные условия, состояние поверхности основания (по влажности, шероховатости, доступности капилляров и пор) могут оказать определяющее влияние на стойкость покрытия. При определенных погодных условиях поднимающийся из градирен пар может тут же опускаться вниз, воздействуя на наружную оболочку градирни. Именно поэтому для окраски наружной части оболочки мы рекомендуем использовать «дышащие» полимерные составы в сочетании с гидрофобизирующими составами на основе силиконовых эмульсий. Такие однокомпонентные составы дешевле двухкомпонентных, проще и удобнее в работе. Пары воды пропускаются ими из бетона, а гидроизолирующий и гидрофобизирующий эффект препятствует насыщению бетона влагой, не допускает критической, с т. з. замораживания, концентрации влаги в бетоне.

Состав типовой системы приведен ниже:

- 2xSikagard® 700 S (органический растворитель) или 1xSikagard® 740 W (водная эмульсия);
- 2xSikagard® 680 S Betoncolor (колеруется, выбор цвета по системе RAL).

Применяемые для защиты внутренней поверхности оболочки специальные двухкомпонентные эпоксидные покрытия Sika имеют высокую стойкость к агрессивному воздействию и при этом не хрупкие. Это особенно важно, т. к. бетон в силу своей природы в зависимости от влажности набухает или дает усадку, под воздействием температур расширяется либо сокращается. В этом случае важно обеспечить совместную работу бетона и защитного полимерного покрытия. Т. к. коэффициент температурного расширения полимерного покрытия заметно отличается от бетона, при изменении температур в контактной зоне возникают напряжения, приводящие к отслоению покрытия и прилегающего бетона. Специально разработанные для данных целей эластичные полимерные составы способны следовать расширению/сокращению бетона и обеспечивать долгосрочную защиту поверхности.

Состав типовой системы:

- 1xSika® Icosit®-2406 primer;
- 1-2xSika® Icosit®-2406;
- Sikagard®-363.

Sikagard®-363 рекомендуется в зоне оголовка, где на внутреннюю поверхность оболочки попадает прямой солнечный свет, для дополнительной защиты эпоксидного покрытия от ультрафиолетового излучения.

Системы покрытий соответствуют требованиям РД ЭО 1.1.2.05.0697-2006 в отношении защитных покрытий и европейского стандарта VGB-R 612 U «Меры, принимаемые для защиты башенных градирен из железобетона от влияния эксплуатации и окружающей среды». Покрытия обеспечивают требуемые показатели по контролю диффузии водяного пара и углекислого газа, водонепроницаемости, ограничению карбонизации, химической и механической устойчивости.

В заключение следует упомянуть некоторые важные требования к основаниям при работе с полимерными покрытиями: основание должно быть чистым, ровным, сухим, свободным от веществ, препятствующих адгезии полимерного покрытия. Подготовка поверхности достигается промывкой, пескоструйной обработкой и др. Прочность поверхности на отрыв должна быть выше 1,5 МПа, температура основания к моменту нанесения покрытий должна быть выше температуры точки росы. Также важно учитывать рекомендации производителя для каждого конкретного материала.

Компания Sika активно работает в различных областях энергетики: теплоэнергетике, гидроэнергетике, атомной энергетике. Мы предлагаем современные технические решения для производства бетона, ремонта и защиты бетона, структурного усиления конструкций, гидроизоляции конструкций, антикоррозионные покрытия и специальные защитные покрытия для гидротехнических сооружений, а также системы материалов для устройства промышленных полов и кровли.

Благодаря высокому качеству материалов, передовым технологиям, всесторонней сервисной поддержке, богатому опыту, многочисленным успешно выполненным проектам по всему миру, компания Sika известна своими надежными и современными решениями. Предлагаемые технические решения выдерживают самые современные требования и соответствуют действующим отраслевым стандартам и нормативам. Специалисты Sika принимают участие в поддержке наших клиентов на всех стадиях строительного процесса: консультирование на этапе исходного планирования и разработки чертежей, обучение в тренинг-центре и на месте фактического производства работ, контроль качества и сдача в эксплуатацию, планирование технического обслуживания на протяжении расчетного срока службы и т. п. Достигнутый в настоящее время высокий технический уровень решений в области строительства градирен позволяет до минимума снизить расходы на ремонты и связанные с этим потери прибыли.

### Литература

1. Техническая документация, референс-листы, рекламные-информационные материалы Sika, стандарт VGB Guideline® 612 e, 2010, European Standard EN 1504-9.



### BUILDING TRUST

ООО «Зика»

Центральный офис:

141730 Московская обл., г. Лобня, ул. Гагарина, д. 14

Тел. +7 (495) 5-777-333

e-mail: info@ru.sika.com

www.sika.ru

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ФИРМЫ STEELPAINT GMBH

**Аннотация.** Описан опыт компании STEELPAINT GmbH в производстве лакокрасочных материалов, которые применяются для защиты от коррозии гидротехнических и портовых сооружений, автомобильных и железнодорожных мостов, речных и морских судов и других объектов.

**Ключевые слова:** антикоррозионные покрытия, защита металлоконструкций, агрессивная среда, защитные системы, лакокрасочные материалы.

**Abstract.** It is described the experience of company STEELPAINT GmbH in producing of paintwork materials applying to protect against corrosion for hydraulic technical and port facilities, road and railway bridges, river and seagoing vessels and others.

**Keywords:** anti-corrosive coatings, protection of steel structures, corrosive environment, protective systems, paintwork materials.

Основной причиной выхода из строя металлоконструкций в процессе их эксплуатации в агрессивных внутренних и внешних средах является коррозия, усталостные и коррозионно-усталостные разрушения металла.

Чтобы предотвратить развитие коррозионных процессов, необходимо изолировать металл от воздействия агрессивной среды. На сегодняшний день одним из основных способов повышения срока службы металлоконструкций является их окрашивание высокоэффективными изолирующими защитными материалами.

Компания STEELPAINT GmbH (Германия) более 20 лет поставляет на российский рынок высококачественные антикоррозионные покрытия для защиты от коррозии внутренних и наружных поверхностей стальных и железобетонных резервуаров, гидротехнических и портовых сооружений, автомобильных и железнодорожных мостов, речных и морских судов и других объектов.

Лакокрасочные материалы фирмы STEELPAINT GmbH используются в виде защитных систем, что позволяет обеспечить высокое качество покрытия, его эксплуатационную надеж-



Рис. 1. Сваи и пролетные строения причала комплекса перевалки СУГ в порту Железный Рог



Рис. 2. Состояние металлоконструкций на берегу в зоне действия морской атмосферы (более 20 лет эксплуатации)

ность и долговечность, необходимые декоративные свойства, оптимальное соотношение цена/качество/срок службы.

В основе большинства систем АКЗ STELPANT лежит нанесение цинкнаполненной грунтовки Stelpant-PU-Zinc толщиной 80–100 мкм, которая содержит до 96% по массе порошкового цинка, является протектором коррозионных процессов и обеспечивает возможность нанесения последующего и финишного слоев в течение 2–3 лет без дополнительной подготовки поверхности и снижения срока службы всего покрытия.

Промежуточные и покрывные слои STELPANT на основе полиуретанового связующего имеют высокую плотность пространственной решетки, что обеспечивает их водо- и влагопроницаемость. За счет сетчатой объемной структуры покрытия обладают высокой эластичностью.

Материалы STELPANT могут быть использованы для защиты металлоконструкций и бетонных поверхностей в таких отраслях промышленности, как:

- гидротехническое строительство (шпунтовые и причальные стены, свайные основания, шлюзы, оборудование гидроэлектростанций);
- судостроение и судоремонт (надводная и подводная части бортов, топливные и нефтяные танки, внутренняя и наружная поверхности палуб и надстроек);
- промышленное и гражданское строительство (металлоконструкции различного назначения);
- нефтегазовая промышленность (стальные резервуары различного назначения, трубопроводы наземной прокладки, металлоконструкции объектов подготовки, переработки, транспорта и хранения нефти и газа).

Немаловажным фактором широкого применения материалов STELPANT в России и странах СНГ послужило то, что они испытаны в ведущих институтах и лабораториях и включены в ряд российских отраслевых нормативных документов:

- РД по антикоррозионной защите портовых сооружений (АК «Транснефть», 2005 г.);
- РД 31.28.10-97 «Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии», руководящий документ ЦНИИМФ (Санкт-Петербург);
- РД по защите от коррозии механического оборудования и гидротехнических сооружений (Трест «Гидромонтаж», 2002 г.)

В 1980–1990-х гг. фирма применила свои материалы на объектах гидротехники в Европе:

- контейнерный терминал в порту Бремерхафен (Германия);
- шпунтовые стенки причала судов типа го-го в порту Куксхафен (Германия);
- шпунтовые стенки в порту Булонь (Франция).

**В России антикоррозионные покрытия Stelpant применяются в портовом строительстве, начиная с 1997 г.**

- 1997 г.: материалами фирмы была выполнена антикоррозионная защита шпунтовой стенки на р. Сайме в г. Сургуте;
- 1999 г.: был окрашен причал гавани вспомогательных судов в пос. Озереевка на Черноморском побережье Краснодарского края;
- 2003 г.: в порту Высоцк (Ленинградская обл.) материалами Stelpant выполнена антикоррозионная защита гидротехнических сооружений (сваи, эстакады) морской части нефтяного терминала РПКН «ЛУКОЙЛ-II», в 2005 г. — двух РВС объемом 20000 м<sup>3</sup> резервуарного парка на этом же терминале;
- 2005–2006 гг.: в г. Приморске (Ленинградская обл.) выполнена окраска трубных свай и шпунта терминалов по перевалке нефти и нефтепродуктов АК «Транснефть» и АК «Транснефтепродукт»;
- 2007 г.: закончены работы по защите от коррозии свайных оснований и эстакадной части терминала по перевалке сжиженного газа в порту Железный Рог на Черном море в районе г. Тамани;
- 2007–2008 гг.: металлоконструкции причала Туапсинского балкерного терминала;
- с 2008 г. — по настоящее время: материалами Stelpant ведутся работы на оградительном моле в Новороссийске;
- 2011–2012 гг.: материалы фирмы использованы при строительстве причалов №№ 49 и 50 в рамках проекта развития терминала ОАО «Петролеспорт» (Санкт-Петербург);
- 2012 г.: причал в Североморске и др.

Приоритетом в деятельности фирмы STEELPAINT GmbH является обеспечение качества на всех этапах производства ЛКМ и нанесения антикоррозионного покрытия. Для производства материалов тщательно выбираются наиболее качественные связующие, наполнители, пигменты и добавки, изготовление красок производится на самом современном оборудовании, осуществляется техническая поддержка и сопровождение клиента в процессе выполнения антикоррозионной защиты и при последующей эксплуатации объектов.

Большой опыт компании STEELPAINT GmbH в производстве лакокрасочных материалов, практические знания и навыки, приобретенные за время работы на рынках Германии, Франции, Польши, России и других стран, гарантируют поставку высококачественных материалов, соответствующих высоким требованиям заказчика.

### Представительство

**ООО «СтилПейнт ГмбХ Лакокрасочная Продукция»**

121069 Москва, Мерзляковский пер., д. 15, офис 2

Тел./факс: +7 (495) 697-15-66, 935-89-21

Представительство в Санкт-Петербурге

196158 С.-Петербург, ул. Космонавтов, д. 61, к. 1, пом. 59-Н

Тел./факс. +7 (812) 382-57-43

## ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ «ГИДРОТЕХНИКА» В 2014 ГОДУ

«ГИДРОТЕХНИКА» — полноцветное издание формата А4, объем от 104 страниц, периодичность 4 раза в год.

Подписка в ЛЮБОМ почтовой отделении России (1 полугодие — 2 номера)

- Каталог «ПОЧТА РОССИИ» — индекс **83737**
- Каталог «ПРЕССА РОССИИ» — индекс **29240**

Подписка в ЛЮБОМ отделении агентства «УРАЛ-ПРЕСС» (1 полугодие — 2 номера)

- Номер в электронном каталоге — **ВН002560**

### ПОДПИСКА В РЕДАКЦИИ

**Безналичная оплата** подписки в редакции производится по договору-счету, для физических лиц — через Сбербанк (распечатать бланк можно на [www.hydroteh.ru](http://www.hydroteh.ru) в разделе Подписка/наличный расчет). Бухгалтерские документы предоставляются по адресу получателя журнала. Доставка осуществляется бандеролью через Почту России. **Стоимость доставки** входит в стоимость подписки.

**Стоимость подписки (НДС не облагается):**

- 1 номер — **820** • 2 номера — **1600**
- 3 номера — **2340** • 4 номера — **3000**

**Организатор подписки** — Издательский дом «ГИДРОТЕХНИКА» (ООО). Бланки подписки и копии платежных поручений принимаются по факсу (812) 712-90-66, а также по e-mail: [dostavka@hydroteh.ru](mailto:dostavka@hydroteh.ru) — начальник отдела доставки Ольга Вадимовна Кудрявцева, (812) 640-03-34.

Авторам и рекламодателям бесплатно предоставляются два экземпляра номера и электронная версия в формате PDF.

**Пожалуйста, впишите количество экземпляров в нужные вам номера:**

Нужные номера	№ 1 (январь)	№ 2 (апрель)	№ 3 (июль)	№ 4 (октябрь)
Количество экземпляров каждого номера				

Наименование компании/организации	
Юридический адрес с индексом	
Сфера деятельности компании	
Ф.И.О., наименование должности руководителя	
ИНН/КПП	
Расчетный счет	
Наименование и место нахождения банка	
Кор. счет банка	
БИК	
Ф.И.О., должность получателя	
Почтовый адрес доставки	Улица, дом, номер офиса (по необходимости), город, район/область/край/республика, почтовый индекс
Телефоны для связи с получателем	(код города)
Факс для отправки счета	(код города)
E-mail для отправки счета	

### Возможные формы сотрудничества

Отметьте, пожалуйста, возможные для вас формы сотрудничества с журналом

- Публикация статьи на тему \_\_\_\_\_
- Размещение рекламы
- Участие в распространении журнала

# СТРОЙ ТРАНС СЕРВИС

Спецтехника, грузовые автомобили, запчасти.  
Оборудование для погружения различных типов свай.  
Продажа, аренда, сервис.

[kovan.sts@gmail.com](mailto:kovan.sts@gmail.com) 7918 147 9461



На правах рекламы.





## Восточный оградительный мол г. Новороссийск

Высокая влажность. Морской климат.

Идеальные условия для полиуретановых покрытий  
фирмы Стиппейнт

Большинство покрытий не могут наноситься при высокой влажности воздуха в условиях морского климата.

С этой проблемой справляются однокомпонентные полиуретановые краски фирмы СТИППЕЙНТ, отверждающиеся при взаимодействии с влагой воздуха!

Покрытия фирмы Стиппейнт применяются для защиты мостов, портовых и причальных сооружений, шпунтовых стенок, для обработки внутренних и наружных поверхностей нефтяных резервуаров, в судостроении, а также в сочетании с катодной защитой.

# STEELPAINT

Steelpaint GmbH - P.O.Box 231 - D-97305 Kitzingen  
Am Dreistock 9 - D-97318 Kitzingen - Germany  
phone 0049 (0)9321/3704-0 - fax 0049 (0)9321/3704-40  
www.steelpaint.com - Email: mail@steelpaint.com

Офис в Москве: 121069 Мещинский пер. 15 оф. II  
Телефон: (495) 697 15 66, 833 28 46 Факс: (495) 835 89 21  
E-mail: steelpaint@co.ru