

Издается с 2008 года

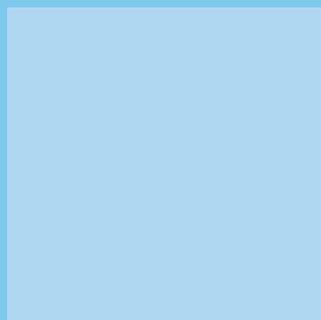
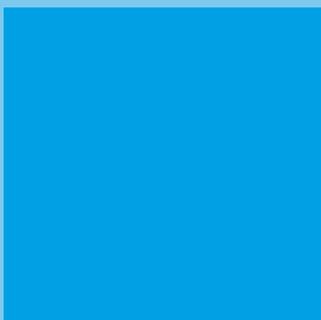
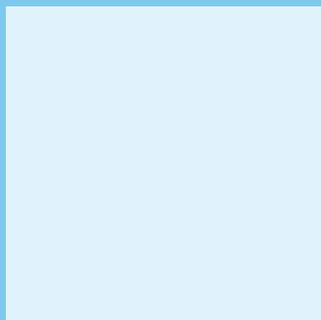
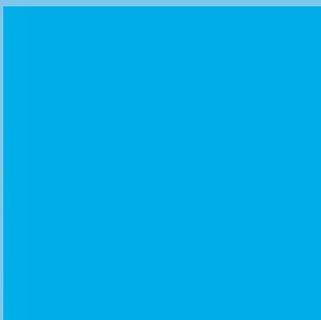
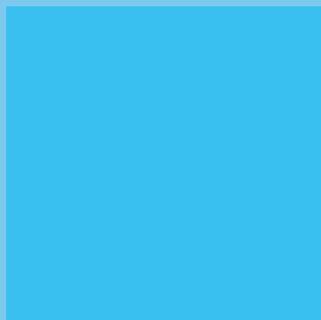
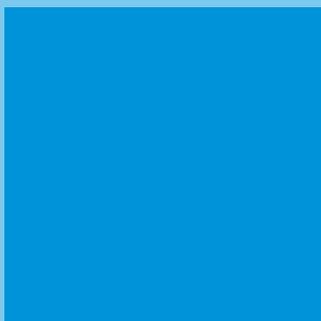
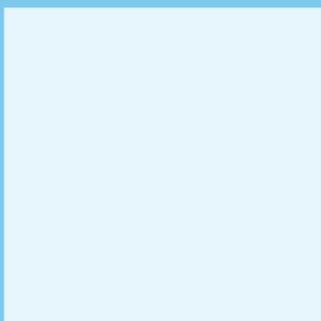
ISSN 2227-8400

# ГИДРОТЕХНИКА

Большая вода. Внутренние водные пути. Гидроэнергетика.  
Морские ГЭС. Континентальный шельф. Промышленная гидротехника.  
Строительные технологии и материалы.

**№ 4 2013**

Октябрь – декабрь



## Шпунтовые сваи ЕВРАЗ

- 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 ЕВРАЗ:

- Строительство Нововоронежской АЭС-2 – крупнейшего инвестиционного проекта на территории Центрального Черноземья. На объекте используются шпунтовые сваи Л5-УМ длиной до 20 м и VL606A 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 VL 605 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 ЕВРАЗ 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**

На правах рекламы.

## Болотоход + землесос = земснаряд!

Преимущества амфибии очевидны.



**GRAFFT**  
COMPANY

Экскаваторы-амфибии, землесосы  
Спецтехника, запасные части  
Официальный дистрибьютор

340L-1  
DOOSAN

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)

На правах рекламы.

## ГИДРОТЕХНИКА



### Раздел 1

<b>БОЛЬШАЯ ВОДА</b> .....	4-26
Волосухин В. А., Анискин Н. А. Уроки наводнения на Амуре .....	5
VII всероссийский гидрологический съезд.....	10
Истомина М. Н., Добровольский С. Г. К стратегии «управления» ущербами от наводнений в Российской Федерации .....	11
Харитонов А. Насосы THOMPSON PUMP — защита от паводков в чрезвычайных ситуациях, эффективное решение для строительных компаний и муниципальных служб.....	15
Ткаченко Ю. Ю., Волосухин В. А. Прогнозирование параметров паводков на реках Краснодарского края.....	16
Баженов В. И., Петров В. И., Божьева С. М. Насосное оборудование для «Большой воды».....	21

### Раздел 2

<b>ВНУТРЕННИЕ ВОДНЫЕ ПУТИ</b> .....	27-45
О стратегии развития внутреннего водного транспорта России .....	27
Шестов Г. Е., Власова И. В., Мельник Г. В. Общие принципы определения предельных значений некоторых критериев безопасности СГТС .....	30
Громов В. А., Андреев А. Интерферометр GEOSWATY PLUS — многолучевой эхолот для работ на экстремально малых глубинах .....	37
Беликов В. В., Чернилова Е. А., Есиновский В. А., Школьников С. Я., Мельник Г. В. О необходимости пересмотра нормативных документов по расчету размера вреда от аварий судоходных гидротехнических сооружений .....	38
Ибрагимов И. А., Исмагилов Х. А. К вопросу о коэффициенте шероховатости русел рек в условиях зарегулированности стока воды.....	42

### Раздел 3

<b>ГИДРОЭНЕРГЕТИКА</b> .....	46-64
V всероссийское совещание гидроэнергетиков.....	46
Иванченко И. П., Прокопенко А. Н. Анализ эффективности использования водотока на Красноярской ГЭС.....	48
Колесников А. А., Афанасьев А. М., Сапроненко Ю. В., Ильин С. Я. Реконструкция гидротурбины Рыбинской ГЭС. ....	58

### ЧЕЛОВЕК. СУДЬБА. ПРОФЕССИЯ

Оставляя след на Земле... Памяти В. И. Каминской.....	65
---	----

### Раздел 4

<b>ПРОМЫШЛЕННАЯ ГИДРОТЕХНИКА. СТРОИТЕЛЬСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГТС</b> .....	68-87
Пятаков В. Г., Неретин А. В. Являются ли хвостохранилища накопителями жидких отходов .....	69
Меглен Жак, Брель Бернар, Гордин Александр Использование битумной геомембраны Coletanche для гидроизоляции дамбы хвостохранилища медного рудника и ее поведение при землетрясении в 7,5 баллов .....	73
Бентоматы Bentzol® — надежная защита окружающей среды от загрязняющих фильтратов на полигонах твердых бытовых и промышленных отходов .....	76
Трегубов А. В. Берегоукрепительные работы с применением шпунтовых свай: опыт работы ООО «ГидроПромСтрой» .....	79
Богов С. Г. Применение цементных растворов для струйной технологии закрепления грунтов с учетом их реологических свойств .....	84

### Раздел 5

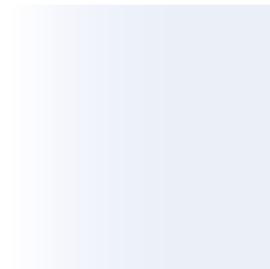
<b>МОРСКИЕ ГТС. КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ШЕЛЬФ</b> .....	88-126
Глаговский В. Б., Соснина С. А., Белкова И. Н. Оценка условий закрепления и удаления опорных блоков буровых установок на мелководном арктическом шельфе .....	90
Назаров М. М. Метод гидродинамической кавитации — инновационное решение для обеспечения подводно-технических работ.....	95
Шибакин Р. С., Шибакин С. И. Управление ледовой обстановкой при эксплуатации морских нефтегазовых сооружений на арктическом шельфе со сложными ледовыми условиями. ....	96
Дунчевская С. В. Опыт применения гидроакустического оборудования в работах по исследованию мелководного шельфа .....	101
Комаровский Ю. А. Проблемы использования спутниковых навигационных систем в зонах безопасности морских платформ и сооружений .....	104
Макаров К. Н., Дроботько С. Ю. Моделирование влияния подводных траншей на гидро- и литодинамику прибрежной зоны моря.....	110
Ерашов В. П. Экологичные технологии берегозащиты: «Строительство вместе с природой» .....	114
Гуткин Ю. М. Альтернативный способ построения эпюры отпора перед экранирующими стенками бьефов.....	116
Калугин А. И., Калинин А. Н. Кавитация как принцип очистки гидротехнических сооружений .....	120
Современные технологии сохранения исторического наследия России: опыт восстановления военной подводной лодки и пирсовых сооружений ООО «Баренц Марин Инжиниринг».....	122
Соколов В. Т. Обеспечение безопасности судоходства в портовых акваториях: проблемы, решения, опыт .....	124

<b>ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ 2014</b> .....	127
--------------------------------------	-----

Ежегодно паводки и наводнения наносят значительный ущерб экономике и социальной сфере России, нередко они заканчиваются трагической гибелью людей, как, к примеру, прошлогодние наводнения на юге России. Лето 2013 г. потрясло всю страну масштабными, продолжительными наводнениями на Дальнем Востоке. Безусловно, самоотверженная работа спасателей, строителей, военных, волонтеров, всего населения края заслуживает высочайшего уважения. Но, вместе с тем, специалисты, в том числе и в области гидротехники, неоднократно акцентировали внимание на необходимости системных профилактических мероприятий, которые способны если не предотвратить наводнения, то минимизировать нанесенный ими ущерб и однозначно избежать гибели людей.

Проблемам «большой воды» и мерам борьбы с ней будет посвящен VII гидрологический съезд, который пройдет в Петербурге в ноябре 2013 года. Роль гидротехнических сооружений в противостоянии большой воде и конкретные технологические решения представит в своем докладе доктор технических наук, профессор, ректор Академии безопасности гидротехнических сооружений, член редакционного совета журнала «Гидротехника» В. А. Волосухин.

Наш журнал всегда поддерживал и продолжает отдавать приоритет публикациям по обозначенной проблематике; современные технологии, техника и оборудование позволяют и надежно защищать зоны риска, и эффективно устранять последствия наводнений и паводков. Но нередко эти технологии и технические средства оказываются невостребованными — либо в силу незнания, либо недофинансирования, либо из-за медлительности управляющих структур. Прогнозы гидрологов, метеорологов по наводнениям на территории России неутешительны. Вода покоряет проектные отметки защитных сооружений, поэтому, вероятно, требования к проектированию защитных и других гидротехнических сооружений в зонах риска должны меняться, проекты должны основываться на самых современных технологиях, используя европейский и мировой опыт противостояния людей большой воде.



## УРОКИ НАВОДНЕНИЯ НА АМУРЕ



**Волосухин В. А.,**  
доктор техн. наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ,  
ректор Академии безопасности  
гидротехнических сооружений,  
г. Новочеркасск



**Анискин Н. А.,**  
доктор техн. наук, профессор,  
директор Института  
гидротехнического и  
энергетического строительства  
Московского государственного  
строительного университета —  
Национального исследовательского  
университета, заведующий  
кафедрой «Гидротехнические  
сооружения», г. Москва

**Аннотация.** В статье «Уроки наводнения на Амуре» представлен анализ ситуации наводнения на Дальнем Востоке РФ летом 2013 г., определены наиболее опасные для затопления зоны, показано состояние противопаводковых мер и причины недостаточной защиты от наводнения, предложены конкретные меры по снижению рисков и ущербов от наводнений на территории России.

**Ключевые слова:** наводнения, противопаводковые мероприятия, снижение ущербов от паводков.

**Abstract.** The publication "Lessons of flood on Amur river" considers evaluation of flood situation in the Far East of Russian Federation in the summer 2013. It indicates the most dangerous areas for flooding, status of anti-flood measures and causes of weak protection from flooding, they suggest practical measures for reduction of risks and damages from floods in the territory of Russia.

**Keywords:** floods, anti-flood measures, damage reduction from floods.

Численность населения мира за последние 50 лет увеличилась в 2,3 раза (1960 г. — 3,0 млрд чел., 2013 — 7,1 млрд чел.), а за последние 200 лет более чем в 7 раз (1810 г. — примерно 1 млрд чел.). В 2009 г. впервые за всю историю человечества численность городского населения сравнялась с численностью сельского населения (темпы роста городского населения значительно выше, чем населения мира в целом). За последний период существенно возросли антропогенные и техногенные нагрузки на экосистемы [1, 2].

Мировые тенденции свидетельствуют о росте ущербов от природных катастроф (наводнений, землетрясений, оползней, селей и т. д.). Так, только за первые десять лет XXI в. (2000–2010 гг.) ежегодный ущерб от природных катастроф составил 227,4 млрд долл. США, в которых погибло 996 тыс. 601 человек.

Высок мировой ущерб от наводнений. Для примера, в 2010 г. он составил 86,1% (178,9 млрд долл. США) от всех природных катастроф (207,7 млрд долл. США).

Анализ июльской (2012 г.) Крымской трагедии (в бассейне р. Адагум) и наводнения в бассейне Амура (2013 г.) свидетельствует, что количество человеческих жертв и величина ущерба могли бы быть значительно ниже, если бы были реализованы научно обоснованные предложения по борьбе с наводнениями. [5–7]

Последние три месяца население России пристально следит за наводнением на Дальнем Востоке в среднем и нижнем течении реки Амур (Амурская обл., Еврейская автономная область, Хабаровский край). Длина р. Амур 2824 км, которая по площади бассейна (1855 тыс. км<sup>2</sup>) занимает 10-е место среди рек мира и 4-е место среди рек РФ (после Енисея, Оби, Лены). Река Амур образуется слиянием рек Шилки, протекающей на территории Забайкалья (Читинская обл., РФ) (длина L = 560 км, площадь бассейна A = 206 тыс. км<sup>2</sup>, средний расход Q<sub>ср</sub> = 550 м<sup>3</sup>/с), и Аргуни, протекающей на территории Китайской

Народной Республики и Российской Федерации (длина L = 1620 км, площадь бассейна A = 164 тыс. км<sup>2</sup>, средний расход Q<sub>ср</sub> = 340 м<sup>3</sup>/с). Средним Амуром выделяется участок от г. Благовещенска (устье р. Зея) до г. Хабаровска, протяженностью около 1000 км. В пределах среднего и нижнего Амура река получает основное питание — на этом участке в нее впадают главные притоки: левые — Зея и Бурея, правые — Сунгари и Усури [13–17].

Количество рек водосборного бассейна р. Амур 172,2 тыс., суммарная протяженность рек — 558,3 тыс. км, густота речной сети — 0,56 км/км<sup>2</sup>, водообеспеченность — 185 тыс. м<sup>3</sup>/год на 1 км<sup>2</sup>. Средние расходы растут с увеличением водосборной площади соответственно, на гидропостах они равны:

- с. Покровка (A = 370 тыс. км<sup>2</sup>) Q<sub>ср</sub> = 880 м<sup>3</sup>/с;
  - с. Гродеково (A = 726 тыс. км<sup>2</sup>) Q<sub>ср</sub> = 3490 м<sup>3</sup>/с;
  - с. Помпеевка (A = 862 тыс. км<sup>2</sup>) Q<sub>ср</sub> = 4700 м<sup>3</sup>/с;
  - г. Хабаровск (A = 1630 тыс. км<sup>2</sup>) Q<sub>ср</sub> = 8480 м<sup>3</sup>/с;
  - г. Комсомальск-на-Амуре (A = 1730 тыс. км<sup>2</sup>) Q<sub>ср</sub> = 9765 м<sup>3</sup>/с;
  - с. Богородское (A = 1790 тыс. км<sup>2</sup>) Q<sub>ср</sub> = 10220 м<sup>3</sup>/с.
- Основное питание (более 2/3 стока) р. Амур — от летне-осенних муссонных дождей. Среднегодовой сток р. Амур у г. Хабаровска W=267,4 км<sup>3</sup> (Q = 8480 м<sup>3</sup>/с), в устье W=343 км<sup>3</sup> (Q = 10800 м<sup>3</sup>/с).

Наводнения на р. Амур, как правило, проходят в летне-осенний период, это достаточно частое явление. Подъем уровня над меженью в среднем течении происходит на 10–15 м, в нижнем — 6–7 м. На летние половодья (половодье — ежегодно повторяющееся в один и тот же сезон года относительно длительное и значительное увеличение водности реки, вызывающее подъем ее уровня; обычно сопровождается выходом вод из русла и затоплением поймы) накладываются 4–6 паводков (паводок — сравнительно кратковременное и неперiodичное поднятие уровня воды в реке, возникающее в результате быстрого таяния снега при оттепели, обильных



Рис. 1. Иловые острова в руслах рек: а — русло реки после паводка; б — р. Амур вблизи г. Хабаровска

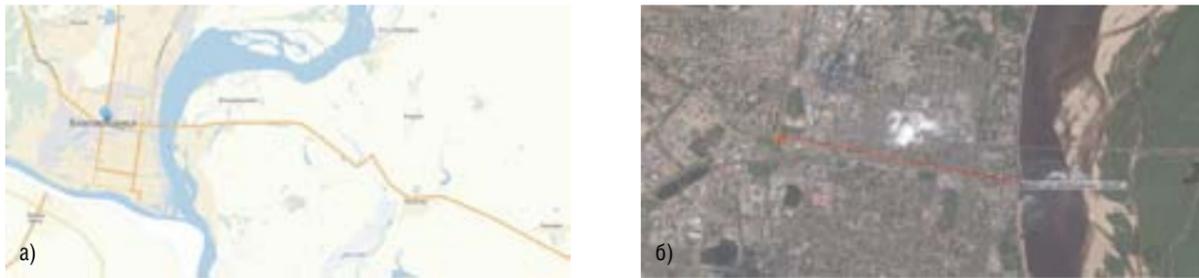


Рис. 2. Русло р. Амур возле г. Благовещенска, 3 км от устья р. Зеи: а — схема; б — космоснимок

дождей, попусков воды из водохранилищ). Наиболее значительные наводнения на Амуре проходили в 1897, 1928, 1956, 1957, 1959, 1969, 1971, 1972, 1973, 1974, 1976, 1985, 1991, 1994, 1995, 2000, 2002, 2004, 2007 гг. Только на реках Хабаровского края с 1885 по 2005 гг. зарегистрировано 221 наводнение, из них 173 дождевого и снего-дождевого питания.

Увеличение годового стока в бассейне р. Амур до 2100 г. от климатических факторов прогнозируется на 5–10%. Однако более существенный рост расходов редкой обеспеченности возможен из-за техногенных факторов (вырубка леса, прокладка газопроводов, строительство дорог и т. д.).

Общая площадь паводкоопасных районов на территории Российской Федерации достигает 400 тыс. км<sup>2</sup>, из которых ежегодно затопляются до 50 тыс. км<sup>2</sup>. Затоплению подвержены отдельные территории 746 городов, в том числе более 40 крупных, тысячи населенных пунктов с населением около 4,6 млн человек, хозяйственные объекты и более 7 млн га сельскохозяйственных угодий. Паводкоопасными районами являются Приморский и Хабаровский края, Сахалинская и Амурская обл., Забайкалье, Средний и Южный Урал, низовья р. Волги, Северный Кавказ, Краснодарский край, а также Западная и Восточная Сибирь.

Одно из стратегических направлений снижения ущербов от паводков — это не застраивать затопляемую пойму. СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» [3] регламентирует инженерную защиту от паводков однопроцентной обеспеченности ( $P = 1\%$ ). Однако положения СП 42.13330.2011, как и федерального закона № 74-ФЗ от 03.06.2006 г. «Водный кодекс РФ» [4], повсеместно нарушаются: вначале земельные участки в пойме выделяются под огороды, потом на них размещаются дачи, которые перерастают в жилые постройки.

Многочисленно предлагалось [5–12] утвердить в РФ федеральный закон об особом хозяйственном использовании

паводкоопасных территорий. За рубежом такие земли в основном используются для выпаса скота, луговых угодий. Постройки на них запрещены. Кредиты на строительство на подобных землях не выдаются. Ущерб за постройки на паводкоопасных землях не возмещаются. В РФ принято много жестких законов, но исполнение их ранжировано в зависимости от дохода ответчика. Ярким примером является водоохранная зона р. Москвы, где виллы олигархов являются неприкосновенными, а поселки простых россиян сносятся в кратчайшие сроки. Особо рьяно сносятся новые дома (г. Ростов-на-Дону, г. Краснодар и др.), построенные под ключ за счет застройщиков (рядовых россиян), но по низким ценам квадратного метра при отсутствии отдельных согласований. Возникают вопросы, где были административные органы, когда начиналось строительство домов. К домам, построенным в затопляемой зоне, особенно состоятельных лиц, мер, как правило, не предпринимается.

Нужны действенные меры в РФ по предотвращению ущербов от паводков. К сожалению, практика показывает, что средства находятся в основном на ликвидацию последствий от паводков. Среднемноголетний ущерб от наводнений в Дальневосточном федеральном округе составляет около 9,0 млрд. руб. Отмечается тенденция их роста, что связано с выпадением интенсивных продолжительных дождевых осадков и ростом коэффициента стока на водосборных территориях в связи с техногенной деятельностью.

Эффективным средством снижения ущербов при паводках на реках является расчистка русла. Однако натурные и спутниковые обследования русла р. Амур показывают наличие многочисленных намывных островов, способствующих созданию подпора в период паводков и наводнений (рис. 1–4).

Анализ технического состояния дамб инженерной защиты из грунтовых материалов в бассейне среднего и нижнего



Рис. 3. Русло р. Амур возле г. Комсомольска-на-Амуре: а — схема; б — космоснимок



Рис. 4. Русло р. Амур возле г. Николаевска-на-Амуре: а — схема; б — космоснимок

Амура (рис. 5, а, б) свидетельствует об их неудовлетворительном, а в ряде случаев опасном уровне безопасности. Используемые способы наращивания высот дамбы отличаются примитивизмом (рис. 6, а, б), низкой надежностью. В то же время инновационные технологии [5–12], например, гибкие многооборачиваемые быстровозводимые дамбы из высокопрочных композитных материалов ( $H = 3,0 \dots 4,0$  м,  $L = 500 \dots 800$  м, секции по 30–40 м) или секционные быстровозводимые устройства для наращивания высоты дамбы [7] используются в субъектах РФ очень ограниченно.

Одним из эффективных широко используемых в мире способов борьбы с паводками является строительство водохранилищ. В мире эксплуатируется более 250 тыс. водохранилищ, в которых аккумулируется более 6000 км<sup>3</sup> речного стока. В мире уже построено более 45 тыс. крупных плотин ( $H \geq 15$  м). В США водохранилища для борьбы с наводнениями строятся в основном для одноцелевого назначения. В РФ, как и ранее в СССР, такие водохранилища в подавляющем большинстве комплексного назначения. Для управления водными ресурсами в России построено (в основном в период СССР) около 30 тыс. водохранилищ объемом более 900 км<sup>3</sup>, в том числе 2290 водохранилищ с объемом более 1 млн м<sup>3</sup>, из них 110 водохранилищ объемом более 100 млн м<sup>3</sup>. В бассейне р. Амур обоснованное строительство водохранилищ началось более 80 лет назад с началом исследований гидроэнергетического потенциала. Наиболее перспективными в этом отношении явились левые притоки р. Амур — р. Бурей (длина  $L = 626$  км, площадь водосбора  $A = 70,7$  тыс. км<sup>2</sup>, объем стока  $W = 28,1$  км<sup>3</sup>, среднегодовой расход  $Q = 890$  м<sup>3</sup>/с) и р. Зея (длина  $L = 1242$  км, площадь водосбора  $A = 233$  тыс. км<sup>2</sup>, объем стока  $W = 60,2$  км<sup>3</sup>, среднегодовой расход  $Q = 1910$  м<sup>3</sup>/с).

На р. Зея построена Зейская ГЭС (начало строительства — 1965 г., ввода агрегатов — 1975–1980 гг.). Годовая выработка электроэнергии 5,037 млрд кВт\*час. Высота бетонной плоти-

ны 116 м, длина 714 м, полная и полезная емкость водохранилища 68,42 км<sup>3</sup> и 38,26 км<sup>3</sup> соответственно, площадь зеркала водохранилища при НПУ 2419 км<sup>2</sup>. Максимальный сброс через плотину в период наводнения летом 2007 г. составил 4700 м<sup>3</sup>/с.

К недостаткам Зейского гидроузла, выполняющего в основном энергетические задачи, следует отнести то, что он не позволяет производить холостые сбросы в предпаводковый период. Холостые сбросы через водослив плотины производятся, когда уровень превысит НПУ.

На р. Бурее построена Бурейская ГЭС (начало строительства — 1978 г., основные этапы строительства — 1999–2007 гг.). Высота бетонной гравитационной плотины 140 м, длина плотины 736 м, полный и полезный объем водохранилища 20,94 км<sup>3</sup> и 10,73 км<sup>3</sup> соответственно, площадь зеркала водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ) 750 км<sup>2</sup>. Годовая выработка электроэнергии Бурейской ГЭС 7,1 млрд кВт\*час. За период с 2003 по 2013 гг. Бурейская ГЭС выработала более 30 млрд кВт\*час электроэнергии.

На р. Зея проектируется каскад из девяти низконапорных Нижнезейских ГЭС с напором от 7,5 до 14,0 м. До строительства Зейской ГЭС многолетняя амплитуда колебания уровня воды достигала 9–10 м.

В 1959 г. была разработана схема каскада ГЭС на р. Бурее. В 2010 г. началось строительство Нижне-Бурейской ГЭС, расположенной в 84,6 км от устья р. Бурей. Высота плотины 47,75 м, длина 745,5 м, полный объем водохранилища 2,034 км<sup>3</sup>, длина водохранилища 90 км, средняя ширина 1,7 км, средняя глубина 13 м.

В последние месяцы не утихают споры об эффективности водохранилищ Бурейской и Зейской ГЭС в период наводнения на Амуре. Собственник — ОАО «РусГидро», эксплуатационные организации Бурейской и Зейской ГЭС, Амурское бассейновое водное управление отмечают эффективную



Рис. 5. Состояние сооружения инженерной защиты вдоль р. Амур: а — вид на дамбу; б — загрязненность водного объекта



Рис. 6. Способ подъема гребня дамбы инженерной защиты, используемый при наводнении на р. Амур в 2013 г.: а — качество укладки мешков с песком; б — протечки воды через устройство временной защиты

роль водохранилищ. В частности, Бурейское водохранилище саккумулировало 4,66 км<sup>3</sup> воды, сбросило в нижний бьеф 2,69 км<sup>3</sup>, Зейское саккумулировало 14,38 км<sup>3</sup>, сбросило в нижний бьеф 8,21 км<sup>3</sup> (данные на начало сентября 2013 г.). Население затопленных территорий Дальнего Востока задает вопросы, а насколько был эффективен режим водохранилищ в течение всего года (2013 г.), почему сбросы начали производить только в августе месяце ( $Q_{сб} = 2530 \text{ м}^3/\text{с}$ ) через Зейскую ГЭС. Холостые сбросы (через водосбросы, а не турбины) не выгодны энергетикам. Спор в этом вопросе должен разрешить по поручению Президента РФ В. В. Путина Следственный комитет. Населению следует понимать, что водохранилища и сооружения инженерной защиты осуществляют защиту при паводках обеспеченностью до 1%.

В перспективе в Дальневосточном федеральном округе можно построить 165 ГЭС, увеличить годовую выработку электроэнергии более чем в 20 раз, доведя ее до 465,6 млрд кВт\*час/год (к началу XXI в. в России построено 130 больших и малых ГЭС с годовой выработкой 160 млрд кВт\*час/год). Дополнительно построенные водохранилища смогут снизить ущерб от паводков на р. Амур.

Наводнение на р. Амур еще не завершено. По предварительным данным, от него пострадали 135 тыс. жителей Дальнего Востока, из которых 32,5 тыс. эвакуированы, пострадали

14 тыс. домов, 825 социально-значимых объектов, повреждены 174 моста, размывы 1600 км дорог.

Валовый региональный продукт, по данным Государственного доклада (2012 г.), Хабаровского края 401 млрд 456,4 млн руб., Амурской области — 223 млрд 682,8 млн руб., Еврейской автономной области — 36 млрд 533,8 млн руб. [14]. Поэтому предварительная величина ущерба от наводнения на Амуре (2013 г.), оцененная в 40 млрд руб., очень ощутима для жителей Дальнего Востока. Более полумиллиарда рублей за один день перечислили россияне на восстановление от наводнения жителям пострадавших субъектов РФ Дальнего Востока в ходе акции, проведенной через телевидение Первым каналом. Сбор средств рядовых россиян продолжается.

Средние максимумы рек Зеи, Буреи, Сунгари составляют 7–10 тыс. м<sup>3</sup>/с. В период паводка 2009 г. через Бурейский гидроузел сбрасывалось 5,2 тыс. м<sup>3</sup>/с. Однако следует отметить, что он рассчитан на пропуск расхода  $Q_p=0,1\% = 12,5 \text{ тыс. м}^3/\text{с}$ ,  $Q_p=0,01\% = 13,3 \text{ тыс. м}^3/\text{с}$ . При этом пропускная способность Амура на участке от устья р. Зеи до впадения в р. Бурею составляет около 12,0 тыс. м<sup>3</sup>/с, а между устьями р. Сунгари и р. Усури около 17,0 тыс. м<sup>3</sup>/с. Это свидетельствует о том, что нужна особая деятельность в паводкоопасных территориях бассейна р. Амур.

## Выводы

1. Летние и осенние паводки и наводнения в бассейне р. Амур являются типичным явлением, обусловленным высокой водностью преимущественно дождевого питания притоков в верхней и ее среднем (Зея ( $Q_{ср} = 1900 \text{ м}^3/\text{с}$ ), Бурея ( $Q_{ср} = 940 \text{ м}^3/\text{с}$ ), Усури ( $Q_{ср} = 1150 \text{ м}^3/\text{с}$ ), Сунгари ( $Q_{ср} = 2500 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и др.) течении. В современных условиях прогнозы подобных наводнений отличаются низкой достоверностью.

Первые гидрологические посты на Амуре открыты в 1894 г. (с. Покровка), 1896 г. (г. Хабаровск), 1898 г. (с. Екатерино-Николаевское и с. Ленинское), 1900 г. (с. Маринское).

Ныне на Амуре действует 266 гидрологических постов (по сравнению с 80-ми гг. XX в. их количество сокращено на 30–40%), из которых более половины имеют ряды менее 25 лет и только около 5% — более 50 лет. При оценке параметров паводков редкой обеспеченности используются данные по 13–15 гидрологических постам в Российской Федерации (54,07% территории бассейна р. Амур в пределах РФ) и Китайской Народной Республики (44,20%).

2. Для снижения ущерба от наводнения в бассейне р. Амур необходимо обеспечение особых условий использования пойменных земель, подверженных затоплению при паводках редкой обеспеченности ( $P < 1\%$ ).

В бассейне Амура в зону затопления от паводков 1% обеспеченности попадает 176 городов и населенных пунктов (в Читинской области — 19, в Амурской области и Еврейской автономной областях — 98, в Хабаровском крае — 35, в Приморском крае — 20). В зону затопления попадают 2,7 млн га земель, пригодных к использованию.

От паводков 10% обеспеченности в бассейне Амура попадает 60 городов и населенных пунктов; 1,9 млн га земель, пригодных к использованию, в том числе 1,5 млн га приходится на сельскохозяйственные земли и 5,5 тыс. га на земли городов и населенных пунктов.

Расчистка рек в бассейне р. Амур должна осуществляться регулярно по единому комплексному плану.

По данным Федерального агентства водных ресурсов за 2009 г., расчистка и дноуглубление в Амурской области проведены на 2 км, в Еврейской автономной области — на 2 км, в Хабаровском крае — на 7 км. Это менее 0,5% от объемов работ, проведенных в РФ (21052 км).

3. Для повышения эффективности водохранилищ в бассейне среднего и нижнего Амура в период наводнений должна быть обеспечена их комплексная сработка. Водоохранилища должны работать как на энергетический комплекс, в смысле выработки электроэнергии, так и на защиту объектов экономики и населения от паводков и наводнений.

4. Сооружения инженерной защиты, находящиеся в бассейне р. Амур, состоят в основном на балансе Минсельхоза России, который не может выделить достаточных средств для поддержания их эксплуатационного состояния. Квалификация специалистов, их обслуживающих, остается низкой. При повышении уровня гребня дамб должны использоваться новые инновационные разработки.

5. Русловые деформации в период паводков и наводнений на р. Амур достигают 10 м и более в год и угрожают существованию отдельных населенных пунктов. В берегоукреплении только в бассейне нижнего Амура нуждается, по предварительным оценкам, более 30 км (в Амурской области — более 11 км, в Еврейской автономной области — 5 км, в Хабаровском крае — более 12 км).

На протяжении 1860 км по Амуре проходит государственная граница между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой. КНР активно проводит работы по строительству дамб, укреплению правого берега Амура, устройству судоходных прорезей с использованием земснарядов, чего нельзя отметить со стороны РФ, поэтому на отдельных участках р. Амур граница смещается в сторону Российской территории.

## Литература

1. Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). М.: Россия Молодая, 1994. 367 с.
2. Экологическая безопасность в строительстве: экологическая оценка состояния бассейновых геосистем. / В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухин, В. В. Приваленко и др. Под ред. академика РААСН И. С. Румянцев. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2011. 396 с.
3. СП 42.13330.2011 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*. Москва, 2011. 114 с.
4. Федеральный закон № 74-ФЗ от 03.06.2006 г. «Водный кодекс Российской Федерации».
5. Волосухин В. А. Наводнения на Кубани. Проблемы и задачи / В. А. Волосухин, О. М. Щурский // Гидротехника. 2012. № 4 (29). С. 6–9.
6. Волосухин В. А. Наводнение в п. Новомихайловском Краснодарского края: обоснование защиты / В. А. Волосухин, Е. А. Чижов, А. Е. Чижов, С. Г. Новиков, М. Е. Чижов // Гидротехника. 2012. № 4 (29). С. 10–13.
7. Пат. 2385382 Российская Федерация, МПК E02B3/04. Устройство для предотвращения разрушений от паводков [Текст] / Волосухин В. А., Тищенко А. И., Винокуров А. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия». № 2008127433/03; заявл. 04.07.2008; опубл. 27.03.2010.
8. Пат. 2291931 Российская Федерация, МПК E02B3/04. Защитное гидротехническое сооружение [Текст] / Волосухин В. А., Малышев Б. Н., Новиков С. Г. и др.; заявитель и патентообладатель Фирма «Рассвет-К». № 2005119353/03; заявл. 21.06.2005; опубл. 20.01.2007.
9. Авакян А. Б. Водоохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарпов. М.: Мысль, 1987. 331 с.
10. Данилов-Данилян В. И., Хранович И. Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, 2010. 232 с.
11. Проблемы безопасности водохозяйственного комплекса России. РАН: ИВП. Краснодар: ООО «Авангард плюс», 2010. 479 с.
12. Таратунин А. А. Наводнения на территории Российской Федерации. 2-е изд., испр. и доп. / Под ред. Н. И. Коронкевича. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2008. 432 с.
13. Эрозионные и русловые процессы: сборник трудов / Под ред. Р. С. Чалова. М.: МАКС Пресс, 2010. Выпуск 5. 456 с.
14. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2012 году».
15. Бортин Н. Н. Бассейн Амура / Н. Н. Бортин, В. М. Минаев, А. М. Черняев. В кн. «Россия: Речные бассейны». Екатеринбург: РосНИИВХ, 1999. 520 с.
16. Добровольский С. Г. Бассейн Амура. В кн. «Глобальное изменение речного стока». М.: ГЕОС, 2011. 660 с.
17. Бассейн реки Амура. В кн. «Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2010 году (Статистический сборник)» / Под ред. Н. Г. Рыбальского и А. Д. Думнова. М.: НИИ «Природа», 2011. 372 с.

## VII ВСЕРОССИЙСКИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ СЪЕЗД 19–21 НОЯБРЯ 2013 г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, гостиница Park Inn by Radisson Прибалтийская

В программе съезда

### Опасные гидрологические явления (наводнения, маловодья, сели) — оценка, прогноз, снижение рисков

- Оценка рисков возникновения опасных гидрологических явлений.
- Развитие систем наблюдения, предупреждения, прогнозирования опасных гидрологических явлений.
- Научное обоснование мероприятий по снижению рисков и минимизации ущербов от опасных гидрологических явлений.

### Водные ресурсы и водный баланс водных объектов в условиях влияния антропогенной деятельности и климатических изменений

- Воднобалансовые и гидрологические расчеты.
- Влияние хозяйственной деятельности на гидрологический режим водных объектов.
- Моделирование гидрологического цикла.

### Проблемы качества вод, охраны водных объектов и их восстановления

- Современные методы и модели оценки качества водных объектов. Интегральные и комплексные показатели качества воды — новые подходы и решения.
- Проблемы реабилитации и восстановления водотоков и водоемов.
- Научное обоснование мероприятий по охране водных объектов от загрязнения и истощения.

### Использование и управление водными ресурсами, региональные водохозяйственные проблемы

- Научно-методическое обеспечение разработки схем комплексного использования и охраны водных объектов.
- Гидрологическое обоснование водохозяйственных мероприятий, обеспечения водными ресурсами населения и отраслей экономики.
- Водохозяйственные проблемы трансграничных водных объектов.
- Проблемы русловых процессов и наносов.

### Состояние и развитие системы гидрологических наблюдений, информационное обеспечение потребителей

### Гидрологическое образование: проблемы и перспективы

Государственный гидрологический институт

Тел.: (812) 323 01 14, 323 34 37

Факс: (812) 334 66 53, 323 10 28

e-mail: spk\_svet@mail.ru

WWW.7HYDRO.RU

### АНОНС

- В рамках пленарного заседания с докладом о причинах и средствах борьбы с паводками выступит доктор технических наук, профессор Академии безопасности ГТС, член редакционного совета журнала «ГИДРОТЕХНИКА» Виктор Алексеевич Волосухин.
- В организационном и программном комитетах съезда — ведущие специалисты Росгидромета, Росводресурсов, ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, института «Гидропроект», ВСЕГИНГЕО, РГГМУ, РАСХН, ИВП РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова, РосНИИВХ, Института озераведения РАН.
- В рамках секций состоится доклад научного сотрудника Института озераведения РАН, к. т. н., М. В. Шмаковой, посвященный расчетам твердого стока рек. Комплексный подход к рассмотрению основных сил, действующих на движущуюся частицу в системе «речной поток — донные отложения — наносы», позволил разработать метод расчета расхода наносов, основанный на формуле общего расхода наносов (Шмакова М. В., 2011). Приведенный метод расчета позволяет оценить годовые значения твердого стока для рек, не освещенных данными наблюдений за расходами наносов и при изменении параметров распределения расходов воды в результате различных антропогенных мероприятий (на водосборе или русле реки) или изменении климата.

Информационную поддержку съезда осуществляет журнал «ГИДРОТЕХНИКА», итоги съезда и ключевые доклады будут опубликованы в № 1/2014.

## К СТРАТЕГИИ «УПРАВЛЕНИЯ» УЩЕРБАМИ ОТ НАВОДНЕНИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Истомина М. Н.,  
канд. географ. наук, научный  
сотрудник Института водных  
проблем РАН



Добровольский С. Г.,  
доктор географ. наук, главный  
научный сотрудник Института  
водных проблем РАН

**Аннотация.** Анализируются природные и социально-экономические параметры по 370 наводнениям в РФ за 1998–2008 гг. Представлены географические ареалы наводнений по их основным генетическим типам, включая дождевые наводнения. Показано, что социально-экономический ущерб от наводнений, вызванный экстремальными дождями, на несколько порядков больше, чем ущерб от наиболее характерных для России наводнений вследствие снежных и ледовых явлений. Кроме того, выполнено сопоставление суммарных ущербов от наводнений в России и мире. Обсуждается стратегия управления ущербом от наводнений в России, включающая в себя общеэкономические, региональные и научно-организационные меры.

**Ключевые слова:** наводнения, генезис, географические ареалы наводнений, ущербы, паводковая стратегия.

**Abstract.** Natural and social-economic parameters of 370 floods on the territory of the Russian Federation in 1998–2008 are analyzed. Geographical flood areas of main genetic types, including rain flood areas, are presented. It is shown that in Russia financial and human damages caused by rainfall floods are several orders of magnitude greater than the damages caused by the most common spring floods. Also a comparative assessment of total flood damages in Russia and in the world is made. A strategy of flood damage management in Russia, including general economic, regional, and scientific-organizational measures is discussed.

**Keywords:** floods, flood genesis, geographical flood areas, damages, flood strategy.

Наводнения принадлежат к числу наиболее опасных природных явлений. Только за последнее десятилетие на земном шаре произошел целый ряд катастрофических затоплений, в результате которых был причинен огромный социально-экономический ущерб.

В России в разряд исторических по наибольшему числу погибших и материальному ущербу с начала столетия следует отнести событие июня 2002 г., когда дождевые паводки охватили Южный регион страны: погибли 114 чел., ущерб составил порядка 0,5 млрд долл. [1]. В июле 2012 г. во время прохождения дождевого паводка в Краснодарском крае (г. Крымск) погиб 171 чел., ущерб оценен в 0,7 млрд долл. [4]. Ущерб от недавнего наводнения 2013 г. на Дальнем Востоке еще предстоит оценить, хотя уже сейчас говорится о 135 тыс. человек пострадавших.

Наводнения — глобальное явление. Они происходят почти во всех странах и почти во всех природных зонах. Несмотря на обилие научных исследований, связанных с наводнениями (в основном посвященных конкретным наводнениям или наводнениям на конкретных реках и в конкретных регионах), до сих пор отсутствовали работы широкого географического масштаба в смысле глобального обобщения имеющихся об этом явлении данных. Такие исследования, кроме научного интереса, чрезвычайно важны и для оценок наводнений на территории России. Это определяется прежде всего тем, что:

- Достоверная статистика по наводнениям в России имеется лишь за небольшие периоды. В то же время намного более длинные ряды наводнений в других странах (прежде всего в США) позволяют проверить методы анализа этих данных и получить результаты, которые весьма полезны для применения к российским условиям.
- Теоретически возможно допущение возникновения в России наводнений больших масштабов и, соответствен-

но, с большими ущербами, по сравнению с теми, которые наблюдались за последнее время и по которым имеется сравнительно достоверная информация. Анализ данных такого рода сверхкатастрофических наводнений (прежде всего в Восточной и Юго-Восточной Азии и в США) также полезен для нашей страны.

- Изучение возможных изменений параметров наводнений вследствие глобальных изменений климата невозможно без глобального подхода к явлению наводнений.
- Наконец, важно охарактеризовать место России в общей картине социально-экономических последствий наводнений в мире — с тем, чтобы получить представление о том, насколько успешно наша страна справляется с ущербами от наводнений и каковы могут быть перспективы уменьшения этих ущербов.

В последние годы появилась возможность представить явление наводнений с учетом его глобального — в полном смысле слова — масштаба и сопоставить полученную картину с общероссийской. Информационной базой для такого подхода послужил в первую очередь Глобальный кадастр наводнений, подготовленный Дартмутской обсерваторией (США) [6]. Для России большое количество данных собрано в рамках архивов МЧС России [3], информационных материалов Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации [2] и Федерального агентства водных ресурсов [5], а также в разнообразных литературных источниках (подробнее см. в [1]).

Перечислим основные количественные параметры, вошедшие в созданную авторами электронную базу данных по наводнениям: (1) генетический тип наводнения, формализованный путем присвоения наводнениям различного происхождения соответствующих номеров (в случае смешанного генезиса выделялась ведущая причина возникновения наво-

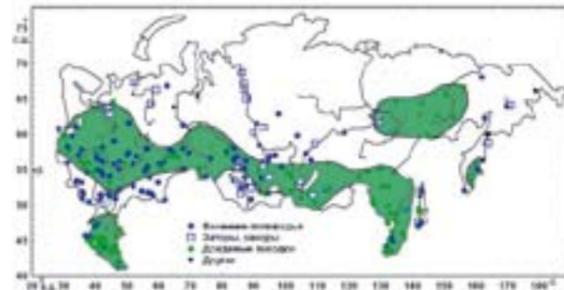
днения, давшая толчок развитию явления); (2) широта центра региона наводнения в градусах и их десятичных долях; (3) долгота центра региона наводнения в этих же единицах; (4) дата начала наводнения в календарных (полных) месяцах и их десятичных долях; (5) продолжительность наводнения в днях; (6) площадь непосредственно затопленных в результате наводнения территорий в га; (7) суммарная площадь административно-экономических регионов, затронутых явлением наводнения, в квадратных километрах; (8) население этих регионов в тыс. чел.; (9) количество зданий, подвергшихся затоплению; (10) число временно эвакуированных вследствие наводнения людей; (11) общее число пострадавших в результате наводнения людей; (12) число погибших; (13) материальный ущерб от наводнения в финансовом выражении в сопоставимых единицах — в долларах США (с учетом инфляции).

Таким образом, мы располагаем информацией по 2437 наводнениям на всех обитаемых континентах мира в период с конца 1997 г. по конец 2008 г. (немногим более 11 лет).

Перед тем, как перейти непосредственно к основным результатам нашей работы по РФ, отметим еще раз важность изучения наводнений в масштабах крупных территорий и глобальном плане. Разумеется, такой подход не дает возможности непосредственно разрабатывать хронологический прогноз возникновения и развития наводнения на конкретной реке. Однако обобщающие исследования позволяют ставить важные вопросы стратегии борьбы с наводнениями и их изучения — путем поиска общих количественных закономерностей, которые объединяют многие катастрофические явления на реках и в речных бассейнах, возникающие зачастую в совершенно разных условиях.

Вначале кратко охарактеризуем место российских наводнений в общей картине наводнений мира. В первую очередь обращает на себя внимание то, что территория России — далеко не самая уязвимая к наводнениям территория мира. РФ — одна из самых «континентальных» в мире стран, в результате чего интенсивность осадков (приходящих в основном с океанов) над ее территорией меньше, чем в среднем по миру: менее 2/3 в терминах слоя осадков. Основная часть населения и хозяйственных объектов страны сосредоточена в зоне умеренных широт европейской территории России, у этой зоны отсутствует выход широким фронтом к океанам, поэтому процент наводнений вследствие штормовых нагонов, барических волн, сейшей, цунами и т. п. крайне невелик; над Россией практически не проходят траектории тропических штормов.

За период 1998–2008 гг. нами были проанализированы 370 крупных наводнений, по которым была доступна количественная информация. Наиболее часто встречающийся тип наводнений на территории РФ — наводнения вследствие снежных и ледовых явлений: 188 наводнений, или 51% от общего числа. В свою очередь, наводнения этого типа делятся на два подтипа: наводнения вследствие снеготаяния (142 явления, или 38%) и наводнения вследствие затоплений и зажоров льда (46 явлений, или 13%). Наблюдением было охвачено 163 наводнения вследствие аномальных осадков в жидком виде (44% от общего числа). На наводнения всех остальных генетических типов, вместе взятых (нагоны, гляциальные сели, вследствие схода оползней; здесь же события, по которым нет данных), приходится всего 5% от общего числа (19 явлений). При этом следует оговориться, что ввиду сложности трактовки наводнений смешанного типа типизация наводнений проводилась по «первопричи-



**Рис. 1. Картодиаграмма расположения центров регионов крупных наводнений на территории России в период 1998–2008 гг. Условными знаками обозначены различные генетические типы наводнений. Здесь же показаны основные ареалы (обозначены зеленым цветом) крупных наводнений вследствие аномальных дождей. Данные за 1998–2008 гг. Выделяются вытянутый в широтном направлении 1 — основной ареал («ареал умеренной зоны» и Юго-Дальневосточный ареал); 2 — Северо-Кавказский ареал; 3 — Ленско-Колымский ареал и 4 — Камчатский ареал**

не» каждого наводнения, без рассматривания сопутствовавших в ряде случаев техногенных причин (ошибки управления эксплуатацией водохранилищ, повреждение/разрушение защитных дамб и плотин и др.). Наводнений чисто техногенного характера за 1998–2008 гг., произошедших в результате аварий на гидротехнических сооружениях, отмечено не было.

Обращает на себя внимание существенная разница в отношении природных параметров и параметров социально-экономических последствий наводнений различных генетических типов. Так, средняя продолжительность наводнений вследствие снеготаяния (тип 1 по нашей классификации — 13,6 суток) и вследствие затоплений и зажоров льда (тип 2 — 10,6 суток) в два и более раз превосходит среднюю продолжительность наводнений вследствие экстремальных дождей (тип 3 — 5,7 суток, что близко к характерному синоптическому периоду). Средняя площадь физических затоплений для наводнений типов 1–3 составляет соответственно 51, 13 и 32 тыс. га. Средняя площадь регионов наводнений — 44, 83 и 27 тыс. км<sup>2</sup>. Существенна и разница в среднем населении регионов наводнений: 276, 153 и 883 тыс. чел. Не очень велика разница в среднем количестве затопленных зданий: 870, 1014 и 1284. Однако весьма существенно различие в средних материальных ущербах от наводнений: соответственно 4,9; 77,5 и 39,1 млн долл. США; в абсолютных показателях ориентировочный суммарный ущерб за 1998–2008 гг. составил для 1 типа — 148, для 2 типа — 310 и для 3 типа — 1329 млн долл. США. В итоге, число эвакуированных людей (параметр, наиболее полно отражающий «гуманитарные», самые болезненные потери от наводнений) в сумме также нарастает при переходе от наводнений первого типа ко второму и к третьему: соответственно 48, 91 и 180 тыс. людей. При этом если суммарные числа по погибшим от наводнений первых двух типов сопоставимы по порядку — 28 и 21 чел. соответственно, то по наводнениям третьего типа число жертв больше в 9–12 раз — 248 чел. (77,7 % от 319 погибших за 1998–2008 гг.).

Сопоставление этих цифр показывает, что наводнения, вызванные экстремальными дождями, представляют собой намного большую опасность, чем наиболее характерные для России наводнения вследствие снежных и ледовых явлений. Имея зачастую локальный характер, дождевые паводки чаще происходят на территориях с большей плотностью на-

селения (в 3–6 раз), чем наводнения 1 и 2 типа; повреждается большее количество зданий (в 1,5 раза), переселяется значительно большее число людей (особенно по сравнению с весенними половодьями — 1 тип — разница в 4 раза). Наконец, суммарный социально-экономический ущерб по дождевым паводкам превосходит аналогичные показатели по другим наводнениям в 4–12 раз.

Географическое положение центров регионов наводнений за 1998–2008 гг. показано на рис. 1. Способом картодиаграммы здесь показаны также генетические типы соответствующих наводнений. Обращает на себя внимание прежде всего увеличенное количество наводнений в южной части страны — особенно в южной половине европейской территории России (ЕТР) и в южной части бассейнов Оби, Енисея и Лены (а также на юге Дальнего Востока) и сравнительно небольшое количество наводнений в пределах северных территорий страны. Почти полностью отсутствуют сведения о количественных параметрах наводнений в междуречье Енисея и Лены и в междуречье Лены и Колымы севернее примерно 65 градусов с. ш.

По наибольшей плотности отмеченных центров регионов наводнений для каждого генетического типа выделены основные ареалы. В качестве примера на рис. 1 изображены основные ареалы крупных наводнений вследствие аномальных осадков в жидком виде. Так же, как и в случае с ареалами половодий, существует «основной» ареал паводков, имеющий широтную направленность и расположенный в средних широтах. В отличие от основного ареала половодий, в пределах ЕТР он расположен севернее, однако в пределах Сибири занимает более южные широты и простирается непрерывно вплоть до южной части Дальнего Востока. Как и в случае половодий, выделяется сравнительно небольшой Северо-Кавказский ареал. Можно также выделить Камчатский ареал и Ленско-Колымский ареал, охватывающий регион от среднего течения Лены до верхнего течения Колымы.

Сравнительная оценка данных об ущербах от дождевых паводках для каждого из ареалов продемонстрировала уникальность Северо-Кавказского ареала в отношении абсолютных значений ущербов от каждого наводнения — соответствующие цифры по всем видам ущербов здесь значительно преобладают над цифрами для всех других ареалов. Однако картина меняется, если мы рассмотрим ущербы на душу населения региона наводнения: по этому параметру дождевые паводки Северного Кавказа ничем не выделяются на фоне других ареалов паводков. Напротив, по удельным значениям финансовых ущербов и числа погибших этот ареал уступает ареалу умеренного пояса, а по числу эвакуированных и всех пострадавших уступает как ареалу умеренной зоны в целом, так и его дальневосточной части (несмотря на то, что в расчетах участвовало и выдающееся по своим последствиям северокавказское наводнение 2002 г.). Все это показывает, что очень значительное преобладание абсолютных ущербов от наводнений на Северном Кавказе над ущербами во всех других регионах возникает почти исключительно за счет очень большой плотности населения в регионе.

Вкратце коснемся сопоставления суммарных ущербов от наводнений в России и мире. Нами был проведен анализ ущербов от наводнений в регионах мира, характеризующихся разным уровнем экономического развития, и результаты показали, что в экономически развитых странах почти все показатели финансовых удельных ущербов от наводнений выше, чем в развивающихся странах и в России. Это относится и к средним ущербам от одного наводнения,

и к ущербам на единицу территории, и к ущербам на душу населения.

Таким образом, мы можем предположить, что по мере экономического роста стран удельные материальные (финансовые) убытки от наводнений растут. Очевидно, это связано с хозяйственным освоением новых, в том числе паводкоопасных территорий, с удорожанием потенциально затопляемой инфраструктуры, зданий и имущества, с ростом страховых взносов и выплат. Обращает, однако, на себя внимание то, что доля ущербов от наводнений в ВВП в развитых странах меньше, чем в развивающихся. Это показывает, что в целом экономика развитых стран лучше справляется с ущербами от наводнений, т. к. в результате наводнений утрачивается меньшая ее доля. Иными словами, использование потенциально затопляемых территорий в развитых странах более эффективно: возникающие при этом риски меньше, чем выгоды от использования указанных территорий, и они зачастую не являются критичными для населения и хозяйствующих субъектов, т. к. распределяются посредством механизмов страхования на многих частных лиц, банки и страховые организации. При этом необходимо отметить, что и в развитых странах системы уменьшения рисков от наводнений могут давать сбои: примером является известное наводнение в Новом Орлеане в 2005 г. Местные власти, организации и частные лица не смогли справиться с бедствием такого масштаба, а федеральные власти проявили недопустимую медлительность и несогласованность в попытках предотвращения больших ущербов и в ликвидации последствий наводнения. Однако и в случае этого наиболее крупного стихийного бедствия очевидно, что гуманитарные и социальные последствия были не такими катастрофичными, как последствия сопоставимого по материальным ущербам Индоокеанского цунами 2004 г., которое пришлось на страны «третьего мира».

В связи с этим представляет интерес общее сопоставление социальных и гуманитарных ущербов от наводнений для развитого и развивающегося регионов мира. Анализ показал, что гуманитарные потери от наводнений, в сравнении с численностью населения, в развивающихся странах мира в 5–10 раз превосходят соответствующие потери в развитых странах. Еще больше разница в показателях гуманитарных потерь в расчете на одно наводнение: по числу эвакуированных на одно наводнение соотношение 27:1, по числу погибших на одно наводнение 9:1. Что касается России, то показатели относительных гуманитарных потерь в ней близки к соответствующим показателям в развитых странах мира. Таким образом, по мере экономического развития гуманитарные потери от наводнений имеют тенденцию снижаться, и есть надежда на то, что в дальнейшем и развитых, и развивающихся странах, и России удастся снизить гуманитарные потери.

Учитывая сказанное выше, логично сделать вывод о том, что перспектива минимизации материальных и финансовых ущербов от наводнений в масштабе всей страны и в длительной перспективе экономического, как можно надеяться, роста России — неочевидна. Скорее речь может идти освоего рода «оптимизации» управления хозяйством и в общем плане — всей жизни на потенциально затопляемых территориях. Стратегия такого управления должна учитывать следующие обстоятельства.

1. Цели стратегии должны быть реалистичными. Повидимому, материальные ущербы от наводнений в расчете на одно наводнение и на единицу площади территории будут расти (хотя, следует предпринимать все возможные меры для того, чтобы замедлить их рост). Реалистичным и дости-

жимым, однако, является уменьшение доли ущербов от наводнений в экономике страны.

2. Другой реально достижимой и важной целью является осуществление организационных мер по включению в управление ущербами от наводнений не только предприятий и частных лиц, фактически оказавшихся в зоне затопления, а также федеральных органов, случайным и непредсказуемым образом компенсирующих ущербы частных лиц, но и страхового сектора, а также (путем вовлечения в процесс страхования) предприятий и населения — пусть и не страдающих от конкретного наводнения, но находящихся в зонах потенциального затопления.

3. Как следует из наших расчетов, реальным может быть также уменьшение социальных и гуманитарных ущербов от наводнений. Помимо мер, упомянутых в пункте 2, это может быть достигнуто за счет общего повышения уровня жизни и сопровождающего его повышения мобильности населения, его осведомленности и информированности.

Можно попытаться наметить и более детальные меры, связанные с ущербами от наводнений. Их целесообразно разделить на отмеченные выше меры общеэкономического свойства, на научно-организационные меры и на меры регионального уровня.

Что касается научно-организационных мер, то прежде всего представляется необходимым **создание в РФ научного центра по изучению наводнений**, в котором по единой программе осуществлялся бы научный мониторинг наводнений, сбор и анализ информации о наводнениях в нашей стране. В какой-то степени сбор информации о наводнениях ведется в рамках Министерства по чрезвычайным ситуациям России. Вместе с тем, ввиду ориентированности МЧС именно на оперативную работу по ликвидации последствий многочисленных чрезвычайных ситуаций (в том числе стихийных бедствий разного характера) и слабости или отсутствия в МЧС соответствующих научных подразделений, информация МЧС о наводнениях не унифицирована, носит характер эпизодических сведений, которые зачастую несопоставимы друг с другом и со сведениями из других источников, и не может непосредственно служить основой для научных разработок. Примером, в определенных отношениях, центра мониторинга, сбора и анализа информации о наводнениях может служить Дартмутская обсерватория наводнений США (хотя анализ уже собранной в обсерватории информации носит самый рудиментарный характер и оставляет желать лучшего с точки зрения научной методологии такого анализа).

Очевидно, что наиболее желательным было бы создание такого рода центра в рамках РАН (института РАН либо внеинститутской структуры), в рамках одного из ведущих вузов — либо в форме межведомственного центра. Одним из результатов работы предлагаемого центра могло бы быть создание и поддержание в Интернете сайта, посвященного российским наводнениям, — с функциями обнародования первичной информации по наводнениям, публикации кадастра российских наводнений, публикации научных работ соответствующей тематики, обратной связи с заинтересованными местными органами, учебными центрами, отдельными научными сотрудниками, возможно — с функцией издания электронного журнала и т. д.

Более конкретным выводом нашего исследования является заключение об особенностях генетических типах наводнений, времени года, географической локализации зон, представляющих наибольший риск с точки зрения социально-экономических ущербов от наводнений. Наиболее опас-

ными для имущества, здоровья и жизни людей за рассматриваемый период были дождевые паводки, сезоном наиболее разрушительных наводнений — первая половина лета, наиболее уязвимым регионом — Северный Кавказ. Вместе с тем выяснено, что северокавказские наводнения не являются чем-то необычным в масштабах страны по потенциальной («природной») разрушительности: ни по одному из важнейших душевых показателей социально-экономических ущербов в регионах наводнений (количество затопленных зданий, общие финансовые ущербы, число эвакуированных, число пострадавших от наводнений, число погибших) Северный Кавказ не занимает первое место среди основных ареалов наводнений. По-видимому, большие итоговые ущербы на Северном Кавказе связаны с очень большой плотностью населения в паводкоопасных районах региона.

Особое внимание здесь, следовательно, необходимо обращать на организационные меры: анализ и выделение паводкоопасных зон, развитие страхового дела, оценку земель и разработку соответствующих кадастров — с целью дифференциации ставок страховых взносов, стоимости земельных участков и т. д. Возможно, целесообразным будет изучение вопроса об обязательном страховании зданий в паводкоопасных зонах. Названные мероприятия желательно осуществлять прежде всего в пределах основных ареалов наводнений, но в определенной степени они актуальны для всей территории страны, т. к. опыт показывает, что наводнения той или иной разрушительной силы могут происходить практически во всех природных зонах России.

Насущным является и восстановление, а затем дальнейшее развитие сети наблюдений на речных постах, количество которых за последние 17 лет, как известно, уменьшилось в стране примерно на 30%. Такое количество постов (как и ставшая более редкой сеть метеостанций) не дают возможности проводить мониторинг, научный анализ и прогноз потенциально опасных природных гидрологических явлений на достаточно детальном уровне и с необходимым уровнем обоснованности и достоверности. При планировании развития сети метеорологических станций и речных постов желательно учитывать степень рисков природных катастроф в регионах.

#### Литература

1. Добровольский С. Г., Истомина М. Н. *Наводнения мира*. М.: ГЕОС, 2006. 256 с.
2. *Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [электронный ресурс]: государственные доклады «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации»*; 2007, 2008 гг. Режим доступа на рус. яз.: <http://www.mnr.gov.ru/>.
3. *МЧС России [электронный ресурс]: оперативные сводки о чрезвычайных ситуациях*; 1998–2008 гг. Режим доступа на рус. яз.: <http://www.mchs.gov.ru/>.
4. *Свободная энциклопедия Википедия [электронный ресурс]: наводнение в Краснодарском крае (2012)*. Режим доступа на рус. яз.: <http://ru.wikipedia.org/wiki/>.
5. *Федеральное агентство водных ресурсов [электронный ресурс]: оперативная информация о водохозяйственной обстановке на территории Российской Федерации*; 2007, 2008 гг. Режим доступа на рус. яз.: <http://voda.mnr.gov.ru/>.
6. Brakenridge G. R., *Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado [электронный ресурс]: Global Active Archive of Large Flood Events*; 1998–2008. Режим доступа на англ. яз.: <http://floodobservatory.colorado.edu/Archives/index.html>.

## НАСОСЫ THOMPSON PUMP — ЗАЩИТА ОТ ПАВОДКОВ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ, ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПАНИЙ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ СЛУЖБ



Поставки насосов Thompson Pump в России и СНГ осуществляет ООО «Новатек Сервис», Санкт-Петербург  
Тел.: 8 (812) 412-02-85, 412-02-86  
[www.novatekservice.ru](http://www.novatekservice.ru)

**Харитонов А.,**  
директор по продажам ООО «Новатек Сервис»

**Аннотация.** В статье представлены опыт и продукция компании Thompson Pump Inc. (США) — производителя дизельных насосных станций для обеспечения аварийно-спасательных, гидротехнических, экологических, восстановительных, мелиоративных и различных строительных работ.

**Ключевые слова:** обезвоживание, осушение, водопонижение, байпас, дизельные насосы, насосные станции.

**Abstract.** The article presents experience and products of Thompson Pump Inc. Company (USA), manufacturer of diesel pump stations for maintenance of accident rescue, hydrotechnical, ecological, reconstructive, meliorative and various constructive works.

**Keywords:** water removal, dehydration, dewatering, bypass, diesel pumps, pump stations.

Сегодня глобальные климатические изменения в мире — это уже воплотившаяся реальность. Многие страны испытали на себе невиданные ранее снегопады, засухи, обильные осадки, выход рек из русел, а также связанные с новыми реалиями техногенные катастрофы.

Анализ и прогнозирование ситуации, меры превентивной защиты обеспечат максимально быстрое восстановление инфраструктуры, инженерных коммуникаций и стратегических сооружений, что является важнейшей и первоочередной задачей при чрезвычайных ситуациях.

Эффективным и оправданным методом для защиты, осушения и водопонижения значительных площадей является применение мощных, автономных, мобильных насосных станций. Ценный многолетний опыт производства и применения такого оборудования имеет старейшая американская компания Thompson Pump Inc. Она была основана в 1970 г. Дж. Томасом исключительно в качестве производителя и поставщика насосного оборудования. Тогда Дж. Томас и не представлял, насколько крупной и успешной станет его компания. Более 3000 постоянных крупных национальных и международных клиентов, восемь патентов, три товарных знака, Thompson Pump также является одним из очень немногих производителей насосов, успешно прошедших сертификацию ISO 9001-2008. Помимо производства, компания состоялась как крупнейший в мире арендодатель насосного оборудования.

Системное взаимодействие с потребителями оборудования и видение проблемы изнутри позволили разработать эффективные технологии и надежные решения, которые предопределили применение насосов Thompson в крупных и известных проектах, таких как: расширение Панамского канала, ликвидация разливов нефти в Мексиканском заливе и

на Аляске, масштабные ирригационные проекты в Африке, строительство атомной станции в Грузии, подъем затонувшей субмарины в Атлантике, ликвидация последствий наводнения в Нью-Йорке и мн. др.

Используя накопленный опыт и знания, компания «Томпсон» предлагает эффективные и проверенные решения для многих областей:

- Превентивная защита инженерных сооружений — самовсасывающие насосы с автоматическим запуском при появлении воды, дистанционный мониторинг и управление режимами.
- Аварийно-спасательные работы — экстренная откачка воды мобильными автономными насосами, ряд самовсасывающих насосов в открытом, закрытом и шумоизолированном исполнении.
- Осушение карьеров, котлованов, затопленных объектов и территорий — насосы, способные работать длительное время, перекачивая грязную воду с высоким содержанием абразива, камней и шламов, погружные насосы с гидравлическим приводом.
- Ремонтные и восстановительные работы на городских и магистральных трубопроводах, обеспечение байпасных схем, поддержание давления — экономичные и компактные насосные станции.
- Сбор сильно загрязненных жидкостей с большим содержанием твердой взвеси — линейка плунжерных и мембранных насосов в стационарном и мобильном исполнении.

Для применения насосов в северных широтах компания «Томпсон» выпускает арктические версии мощных дизельных насосов, которые уже десятки лет успешно используются в Северной Америке и Канаде.



Насосы Томпсон — осушение гравийных карьеров



Насосная станция T18 мощностью 2500 м³ в час



Насосы Томпсон на масштабном проекте в Миссури США

# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАВОДКОВ НА РЕКАХ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ



**Волосухин В. А.,**  
доктор техн. наук, профессор,  
заслуженный деятель науки РФ,  
ректор Академии безопасности  
гидротехнических сооружений,  
г. Новочеркасск



**Ткаченко Ю. Ю.,**  
канд. геогр. наук, начальник  
территориального центра  
мониторинга и прогнозирования  
чрезвычайных ситуаций природного  
и техногенного характера ГКУ  
Краснодарского края «Управление  
ПБ, ЧС и ГО», г. Краснодар

**Аннотация.** В статье «Прогнозирование параметров паводков на реках Краснодарского края» представлены статистика наводнений и паводков в Краснодарском крае, анализ их причин, предложены меры по профилактике наводнений, снижению наносимых ими ущербов. Дана типология паводков, обозначены научно-практические направления для развития системы прогнозирования наводнений и паводков.

**Ключевые слова:** наводнения, паводки, гидрологические явления, прогнозирование наводнений.

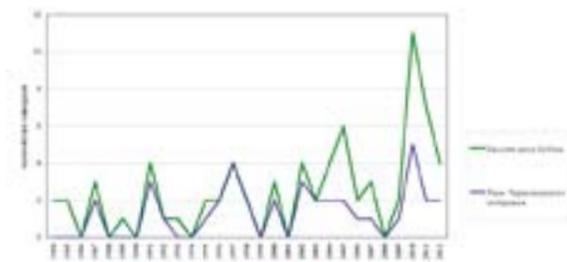
**Abstract.** The article "Forecasting of floods parameters on the Krasnodar region rivers" presents statistics of floods and high waters in the Krasnodar region, causes evaluation, measures for protection from floods and reduction of damages. There are typology of floods, research and practice courses for floods and high waters forecast system development.

**Keywords:** floods, high waters, hydrological events, flood forecasting.

За последний 25-летний период существенно возросло количество опасных гидрологических явлений на территории Краснодарского края (рис. 1), которые наносят значительный материальный ущерб, а в отдельных случаях представляют опасность для здоровья и жизни людей. Изучение и прогнозирование наводнений (затопление территории водой, является стихийным бедствием; может происходить в результате половодья или паводка, при заторе, зажоре, вследствие нагона в устье реки, а также при прорыве гидротехнических сооружений [1, п. 77]) и паводков (фаза водного режима реки, которая может многократно повторяться в различные сезоны года; характеризуется интенсивным, обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепелей; особенно высокий уровень воды в реках бывает во время паводка в фазу половодья [1, п. 73]), разработка эффективных превентивных мероприятий являются одними из главных задач отечественной науки.

Все наводнения в зависимости от причин затопления территорий можно разделить на два класса:

- наводнения, вызванные естественными природными причинами;
- наводнения, вызванные хозяйственной деятельностью человека (антропогенные наводнения).



**Рис. 1.** Количество паводков категории ОЯ на реках Краснодарского края

В Краснодарском крае основными естественными причинами наводнений являются прохождение половодий (фаза водного режима реки, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон, характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и длительным подъемом уровня воды, и вызываемая снеготаянием или совместным таянием во время оттепелей). Различают половодья весенние, весенне-летние и летние [1, п. 72]). Для Краснодарского края характерны ливневые, дождевые или снего-дождевые паводки; нагонные явления со стороны моря; заторно-зажорные явления на реках в зимний период.

Наиболее скоротечные и быстроразвивающиеся паводки, наносящие наибольший ущерб вследствие внезапности, бывают на горных реках. Их питание, как правило, дождевое, снего-дождевое (рис. 2, 3, 4, 5).

В табл. 1 приведены данные об осадках, выпавших в период с 23 по 25 сентября 2013 г. в районе Большого Сочи.

Паводки данного типа можно разделить на:

1. Локальные паводочные явления, развиваются в результате выпадения локальных осадков (50 мм/час и более, 100 мм и более, менее чем за 12 час) в границах одного водосбора, в верховьях реки. Паводки развиваются стремительно и проходят за короткий период времени.

Район метеостанции	всего/ в том числе	Ночь 22–23.09	День 23.09	Ночь 23–24.09	День 24.09	Ночь 24–25.09	День 25.09	Ночь 25–26.09
Сочи	136	3	22	17	65	14	12	5
Адлер	243	2	24	41	79	51	17	29
п. Красная Поляна	180	0,0	6	11	67	55	23	18

**Табл. 1.** Количество осадков, выпавших в период с 23 по 25 сентября 2013 г. в районе Большого Сочи, в мм



**Рис. 2.** Последствия наводнения в г. Новороссийске (август 2002 г., набережная г. Новороссийск)



**Рис. 3.** Последствия наводнения в г. Туапсе (Туапсинский и Апшеронский районы, октябрь 2010 г.)



**Рис. 4.** Последствия наводнения на р. Нечепсухо, п. Новомихайловский, 22 августа 2012 г.



2. Паводки на нескольких водосборах — связаны с фронтальными осадками. Как правило, осадки с перерывами отмечаются в течение нескольких дней. Происходит перенасыщение почвы влагой, и при дальнейшем увеличении интенсивности осадков на горных реках формируются паводочные волны. Быстротечность развития паводка определяется интенсивностью склоновых стоков, зависящих во многом от рельефа, состояния подстилающей поверхности.

3. Паводки, вызываемые смерчами. Эти наиболее разрушительные паводки, как правило, связывают именно с выходом смерчей (атмосферных вихрей, возникающих в грозовом облаке и затем распространяющихся в виде темного рукава или хобота по направлению к поверхности суши или моря; в верхней части имеют воронкообразное расширение, сливающееся с облаками. В США их называют торнадо. В течение года на территории США фиксируется до одной тысячи смерчей торнадо. В Российской Федерации за 2012 г. зафиксировано 11 смерчей) на сушу, они характерны для рек Черноморского побережья. Наиболее памятные выходы смерчей на берег: 20 июня 1988 г. — г. Новороссийск; 1 августа 1991 г. — г. Туапсе; 8 августа 2002 г. — г. Новороссийск, пос. Широкая Балка.

Дополнительный фактор, который усиливает развитие паводка во всех трех случаях, — это наличие в русле рек ка-

скада гидротехнических сооружений (водохранилищ, прудов, которые при переполнении и дальнейшем разрушении создают дополнительную паводочную волну, усугубляя последствия от паводка — к примеру, п. Дюрсо, 8 августа 2002 г.).

Антропогенные наводнения на территории Краснодарского края возникают в случае прорыва напорного фронта водохранилищ и прудов; систем обвалования рек (рис. 6); из-за стеснения речного русла инженерными сооружениями при проведении берегоукрепительных, русловыпрямительных работ; из-за сбросов воды с гидротехнических сооружений, водохранилищ, мелиоративных систем в объеме, превышающем пропускную способность русел рек и каналов; из-за отсутствия, технического несовершенства или аварий систем дренажа и водоотведения на городских территориях или территориях, защищенных сооружениями инженерной защиты; из-за захламленности речных русел и непринятия мер по их расчистке.

Паводки на территории края, вызванные естественными причинами, происходили и происходят регулярно (табл. 2).

Сведения о выдающихся наводнениях в бассейне р. Кубани за 1709–1930 гг. получены как по непосредственным наблюдениям, так и по архивным и литературным источникам. За этот период наводнения здесь отмечались в 1709, 1789, 1795, 1817, 1845, 1877, 1914, 1915 гг. [8, 9].



Рис. 5. Последствия наводнения в Сочи, сентябрь 2013 г.



Рис. 6. Разрушение напорного фронта грунтовой плотины в Новороссийском муниципальном округе (2002 г.)

В табл. 3 приведены сведения о наводнениях с 1930 по 2000 гг. на реках Краснодарского края.

Необходимо отметить, что значительные наводнения почти всегда охватывают только часть бассейна крупных рек и редко полностью гидрологический сектор или подрайон. Случаев, когда они возникали одновременно на всей территории Кавказа или даже Большого Кавказа, до 2002 г. не отмечалось.

В 2002 г. в бассейне р. Кубань 20–29 июня 2002 г. произошло выдающееся катастрофическое наводнение. Следует отметить, что в 2002 г. крупные наводнения наблюдались также в Европе, Азии, Америке.

Источником формирования катастрофических паводков на реках верхнего и среднего течения р. Кубань явились площадные дождевые осадки исключительно высокой суточной интенсивности, достигающей 100 мм/сутки.

Решающую роль в формировании катастрофического паводка сыграли осадки, выпавшие на территории бассейна 19–20.06.02 г. Предшествующие осадки периода 17–18.06.02 г. насытили почво-грунты бассейна до предельной влагоемкости и привели к исключительно высоким коэффициентам стока последующих осадков, что резко усилило катастрофичность формирования и прохождения паводка.

Наибольшему затоплению подверглись г. Невинномысск, ст. Барсуковская, с. Успенское, окраины г. Армавира, г. Новокубанска и станицы. Затоплены населенные пункты на левом берегу р. Лабы в Шовгеновском и Красногвардейском районах Адыгеи; аул Хатукай, х. Свободный, Лесной у впадения р. Лабы в р. Кубань.

По Краснодарскому краю: погибло 8 человек, затоплено 40 населенных пунктов. Эвакуированы 55 тыс. человек. Повреждены 76 мостов, разрушены — 46. Разрушены более 2500 домов, размыты 343 км дорог. Затоплено (оказалось

Опасные гидрологические явления (процессы)	Зоны (районы), подверженные опасным гидрологическим явлениям (процессам)	Среднеголетняя частота возникновения опасных гидрологических явлений (процессов) (единиц в год)
1	2	3
Высокие уровни воды в период половодья	Среднее течение р. Кубань (от г. Невинномыска до верхнего бьефа Краснодарского водохранилища)	1 случай в 15–20 лет
	Нижнее течение рек Большой и Малой Лабы и р. Лабы (от Ахметовской и Псебая до впадения в р. Кубань)	1 случай в 10–15 лет
	Нижнее течение р. Белой (г. Белореченск и Белореченский район)	1 случай в 5–10 лет
Высокие уровни воды в период паводков	Юго-западные притоки р. Кубань (рр. Абин, Адегой, Афипис, Шебш, Адагум и др.)	1 случай в 3–5 лет
	Бассейн рек Пшиш, Пшеха	1 случай в 5–10 лет
	Бассейн реки Псекупс	1 случай в 3–5 лет
	Юго-восточные притоки р. Кубань (реки Белая, Ходзь, Чамлык, Уруп)	1 случай в 5–10 лет
	Реки Черноморского побережья	1 случай в 2–3 года

Табл. 2. Повторяемость опасных гидрологических явлений на реках Краснодарского края

Бассейны рек	Годы прохождения	Факторы, вызвавшие наводнения
р. Кубань	март-апрель 1932 г.	Дождевые осадки и бурное снеготаяние при сохранившемся ледоставе в низовьях р. Кубани после суровой и снежной зимы, затопило всю левобережную пойму от устья р. Лаба до Азовского моря. Ущерб составил 45 млн руб.
реки бассейна р. Кубань	1931, 1936, 1954, 1956, 1963, 1966, 1967, 1980, 1987 гг.	Дождевые осадки, таяние ледников и снега в бассейне реки [2–9]
реки Черноморского побережья	1934, 1937, 1939, 1955, 1963, 1966, 1967, 1970, 1975, 1980, 1987 гг.	Интенсивные ливневые осадки и таяние снега [2–9]

Табл. 3. Годы прохождения наводнений на реках Краснодарского края

под водой) 15000 га пашни, погибло более 2,5 тыс. голов свиней и скота. Разрушены 13 гидростовов.

Превышения пика паводка над предпаводочным уровнем на реках верхнего течения и на р. Кубань достигали 4,0–5,7 м. Интенсивность подъема воды была исключительно высока и достигала 1,05 м/час (р. Уруп, х. Стеблицкий) при средней 30–50 см/час.

Продолжительность прохождения волны дождевого паводка изменялась от 3–5 дней в верховьях рек до 27 суток в районе впадения р. Кубань в Краснодарское водохранилище. Расчетная повторяемость максимальных расходов и уровней, наблюдавшихся на реках бассейна в период прохождения паводка, по большей части рек составила 1 раз в 50, 100, 500, 1000 и более лет.

Сформированные дождевыми осадками паводки были экстремально масштабны. Представление об экстремальности гидрологических явлений, прошедших в бассейне р. Кубань в 2002 г., возможно, могут дать следующие показатели о максимальных паводочных расходах воды (табл. 4).

6–7 июля 2012 г. в результате выпадения экстремальных осадков в бассейне р. Адагум (до 300 мм на Мархотском хребте) произошло катастрофическое наводнение, приведшее к затоплению большей части г. Крымск [2, 5, 6].

Анализ паводков на территории Краснодарского края за 1984–2010 гг. показал, что паводки категории «ОЯ» отмечаются в бассейне р. Кубань и реках Черноморского побережья синхронно, с неявно выраженной периодичностью от 2 до 6 лет. При этом только в последние 10 лет отмечается тенденция к увеличению паводков, и это связано с несколькими причинами.

Первая — продолжающееся в настоящее время потепление, которое началось в середине 70-х гг. XX в. и наблюдается на всей поверхности Земного шара, в том числе климатические изменения происходят и на территории России.

Анализируя изменение среднегодовой температуры воздуха в Краснодарском крае за 65 лет, необходимо отметить, что с 1998 г. начался «теплый» период, когда все среднегодовые температуры выше нормы с максимумом за весь период наблюдений в 2007 г., когда среднегодовые значения были на 1,9° С выше нормы. Выделенный тренд показывает устойчивую тенденцию к потеплению. Это отмечается повсеместно — на всем восточном побережье Черного и Азовского морей и бассейне р. Кубань, в степных районах края (рис. 8).

При рассмотрении изменения среднегодовых сумм осадков за 65-летний период можно выделить несколько противоположных по знаку периодов с большим и малым количеством осадков (рис. 8).

Увеличение количества осадков отмечается с середины 1980-х гг. по настоящее время. Наиболее влажными за рассматриваемый период наблюдений были 1987, 1988, 1992, 1997–1999, 2004, 2005 годы, когда среднегодовое количество осадков составляло 138–148% нормы.

Происходящие климатические изменения способствуют развитию экстремальных синоптических ситуаций нехарактерных для данного региона. В результате отмечается рост количества случаев выпадения локальных, очень сильных дождей (100 мм и более за период менее 12 часов), что приводит к формированию паводков категории «ОЯ» на отдельных реках. Если раньше осадки интенсивностью 100 мм

Створ реки	Расходы воды, м³/с	
	максимальный расход паводка	исторический максимум паводка
р. Кубань, с. им. Коста Хетагурова	2495	897
р. Кубань, г. Армавир	4760	1160
р. Уруп, х. Стеблицкий	1700	584
р. Ходзь, ст. Бесленевская	895	429
р. Белая, х. Грозный	1200	835

Табл. 4. Данные о расходах воды в июньский паводок 2002 г. в бассейне р. Кубани

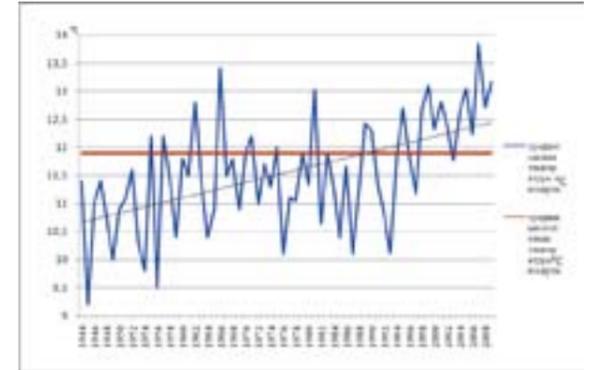


Рис. 7. Изменение среднегодовой температуры воздуха с 1944 по 2009 гг. Краснодарский край

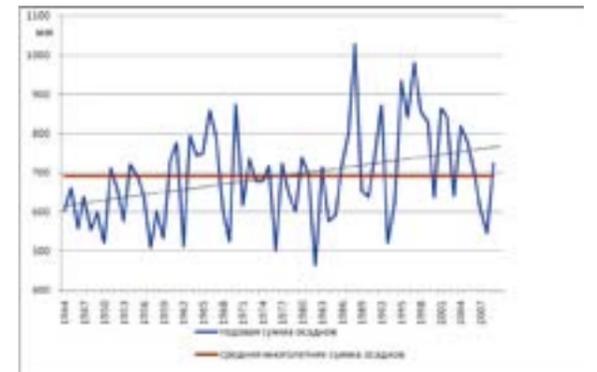


Рис. 8. Изменение годовых сумм осадков на территории Краснодарского края с 1944 по 2009 гг.

за 12 часов выпадали 1 раз 3–5 лет (табл. 5), то последние 5 лет — ежегодно, а в 2011–2013 гг. 2–4 раза в год.

Второй фактор — антропогенный. Застройка пойм, низменных мест — все это приводит к тому, что затопление жилых построек происходит уже при небольших подъемах уровня реки. Высокая засоренность русла рек, особенно малых, значительно снижает их пропускную способность, способствуя более быстрому выходу воды на пойму.

Скоротечность развития паводков в горной части Краснодарского края выдвигает очень жесткие требования к системе предупреждения и оповещения населения о надвигающемся опасном явлении погоды.

Основные трудности в прогнозировании паводков на реках бассейна р. Кубань и реках Черноморского побережья заключаются в следующем:

1. Большое количество малых рек и водотоков в бассейнах р. Кубань и рек Черноморского побережья расположены в труднодоступной горной местности, где сложно организо-

Наименование источника природной ЧС	Зоны (районы), подверженные природной ЧС	Среднеголетняя частота возникновения ЧС (единиц в год)
1	2	5
<b>Очень сильный дождь</b> (мокрый снег, дождь со снегом), т. е. более 50 мм за время менее 12 часов, на Черноморском побережье более 80 мм; на участке Туапсе — Сочи более 120 мм	Степные районы края Предгорные и горные районы края Черноморское побережье	1 случай в 5–8 лет. 1–2 случая в год. 2–3 случая в год.
<b>Продолжительные сильные дожди</b> , т. е. 100 мм за период >12, но <48 часов (от 12 до 48 часов)	Черноморское побережье Сочи — Туапсе Туапсе — Анапа	1 случай в 3–5 лет 1 случай в 5–10 лет

Табл. 5. Источники, зоны и частота природных чрезвычайных ситуаций на территории Краснодарского края



Рис. 9. Уровнемер для дистанционной передачи информации в режиме реального времени на солнечных батареях на р. Адагум (2013 г.)

вать пункты наблюдений за гидрологическим режимом всех малых водных объектов.

2. Орография данной местности такова, что в случае локальных синоптических процессов на малых реках очень быстро формируются значительные дождевые паводки. Усиливаясь заторными явлениями, они создают угрозу подтопления для расположенных ниже по течению населенных пунктов и объектов экономики. Отсутствие своевременной информации о количестве и интенсивности выпавших осадков, засоренности русел и возникновении заторов из карчи и мусора значительно снижает качество прогнозирования опасных подъемов уровней воды.

3. Данные метеорологического локатора (МРЛ) не дают точного представления о выпадении осадков в горах, в районах с максимально развитой гидрографической сетью.

Повышение точности прогнозов паводочных ситуаций на реках бассейна р. Кубань и Черноморского побережья может осуществляться по следующим направлениям:

1. Краткосрочное прогнозирование на 1–3 часа, основывающееся на расширении существующей сети гидрологических постов (ГП) за счет установки автоматических гидрологических комплексов (АГК) и автоматических осадкомерных комплексов (АОК) и непрерывном поступлении гидрометеорологической информации.

2. Разработка прогностических моделей, обеспечивающих заблаговременность более 12 часов, основывающихся

также на непрерывном поступлении гидрометеорологической информации и использующих данные доплеровских метеорологических локаторов (ДМРЛ), что позволит оценить количество осадков, выпадающих на каждый водосбор.

Учитывая сложность прогнозирования быстрых паводков на горных реках, отсутствие в ближайшей перспективе работоспособной модели, как одного из вариантов решения вопроса гидрологического освещения, и самое главное — оперативного оповещения населения о надвигающейся опасности со стороны рек и водотоков, — в крае выполнена установка в населенных пунктах на «паводкоопасных» водотоках автоматических гидрологических комплексов, полностью автономных, независимых от стационарного энергоснабжения, связанных с системой оповещения населения, включающихся автоматически при достижении неблагоприятного уровня (НЯ) в реке (водотоке).

Все данные с сети автоматизированных постов (рис. 9) измерения дождевых осадков и уровней рек в режиме реального времени поступают в единую диспетчерскую службу районов и края.

Таким образом, информация об ОЯ оперативно поступает и населению и в центр сбора данных (ЦСД), что обеспечивает возможность жителям подготовиться к ОЯ и уйти из опасной зоны, а органам власти, спасательным службам выдвинуться оперативно в зону предполагаемого ЧС.

Это позволит на этапе разработки системы прогнозирования уже сейчас решить проблему оповещения «снизу — вверх», т. е. оповещать население о паводке, что обеспечит возможность избежать человеческих жертв.

#### Литература

- ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения.
- Волосухин В. А. Проблемы селевой активности на горных реках Черноморского побережья / В. А. Волосухин, А. И. Титоренко // Изв. вузов. СКР. Технические науки. 2011. № 4. С. 103–106.
- Волосухин В. А., Щурский О. М. Наводнения на Кубани. Проблемы и задачи. // Гидротехника. 2012. № 4. С. 6–10.
- Волосухин В. А., Титаренко А. И. Селевые процессы в бассейне Мзымты. Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита: труды второй конференции, посвященной 100-летию со дня рождения С. М. Флейшмана. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2012. С. 22–23.
- Волосухин В. А., Титоренко А. И. Инженерная защита Олимпийских объектов от селевых потоков // Мелиорация и водное хозяйство. 2013. № 3. С. 22–24
- Волосухин В. А., Чижов Е. А., Чижов А. Е., Новиков С. Г., Чижов М. Е. Наводнения в п. Новомихайловском Краснодарского края: обоснование защиты // Гидротехника. № 4 (29). С. 10–11.
- Волосухин В. А., Щурский О. М. Трагедия г. Крымска: причины и последствия // Использование и охрана природных ресурсов в России: бюллетень. 2013. № 1. С. 12–18
- Лурье П. М., Панов В. Д., Ткаченко Ю. Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 498 с.
- Панов В. Д., Базелюк А. А., Лурье П. М. Реки Черноморского побережья Кавказа: гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону.: Донской издательский дом, 2012. 607 с.

## НАСОСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ «БОЛЬШОЙ ВОДЫ»

**Баженов В. И.,**  
доктор техн. наук, профессор,  
ЗАО «Водоснабжение и водоотведение»

**Петров В. И.,**  
канд. техн. наук,  
ЗАО «Водоснабжение и водоотведение»

**Божьева С. М.,**  
ведущий инженер,  
ЗАО «Водоснабжение и водоотведение»

**Аннотация.** Приводится структура использования насосного оборудования в качестве мероприятий по защите населения, территорий и ликвидации последствий затоплений: инженерная защита (стационарные комплексы) и ликвидация последствий (мобильные комплексы). Использование насосного оборудования рассматривается в контексте разработки проектов, совершенствования технологий строительства, выбора конструктивных и технологических решений.

**Ключевые слова:** ликвидация затоплений, погружной насос, мобильный насос.

**Abstract.** Is given the structure for the use of pumping equipment as measures to protect the population, territories and elimination the consequences of flooding: engineering protection (stationary systems) and elimination of the consequences (mobile systems). The use of pumping equipment is considered in the context of development projects, improving the technology of construction, choice of design and technological solutions.

**Keywords:** elimination of flooding, submersible pump, mobile pump.

Международный анализ числа жертв природных катастроф свидетельствует о том, что наводнения являются третьим по величине стихийным бедствием после циклонов, тайфунов, штормов (на первом месте) и землетрясений (на втором месте).

На явления катастрофических затоплений территорий России (г. Крымск, Амурская область, г. Хабаровск, Благовещенск, Комсомольск-на-Амуре, Еврейская автономная область, г. Биробиджан) невозможно ответить молниеносно инженерными решениями. Но в последние десятилетия наблюдается режимная тенденция роста количества осадков в средних и высоких широтах, что приводит к увеличению годового стока рек. Наблюдения за уровнем паводков последних лет в Европе, России и других странах мира подтверждают мнение ученых о том, что глобальный климат становится более экстремальным. Очевидно, что сами катастрофические затопления территорий предотвратить невозможно, но разрушительные последствия можно сократить.

Разрушительная сила стихийных бедствий огромна, но не безгранична. При соответствующих мерах по их прогнозированию, предотвращению, своевременном оповещении населения об их приближении, своевременном принятии мер защиты и решительной борьбе с ними губительных последствий можно избежать или свести их к минимуму.

Масштабы чрезвычайной ситуации с затоплением местности, вызванные авариями на гидротехнических сооружениях, зависят от его типа и класса, вида аварии (главным образом, от размера пророна), параметров водохранилища и плотины (дамбы), характеристик русла в нижнем бьефе, а также от топографических, географических и других условий местности, подвергаемой катастрофическому затоплению.

Мировая практика имеет примеры строительства уникальных инженерно-защитных сооружений. Так, например, в Нидерландах вдоль морского побережья возведены дамбы протяженностью в десятки километров, которые защищают от катастрофических морских штормов почти 50% территории страны, где проживает около 60% населения.

Не случайно именно Нидерланды являются одним из крупнейших производителей насосной техники (например, завод Nijhuis, производящий насосы с максимально дости-



Рис. 1. Структура использования насосного оборудования в мероприятиях по защите населения, территорий и ликвидации последствий затоплений

жимым КПД, до 94%). Превентивные мероприятия по защите населения и территорий в чрезвычайных ситуациях природного характера включают строительство специальных сооружений, среди которых насосная техника является функционально-исполнительным звеном. Она позволяет осуществлять мероприятия по противодействию наводнениям, к примеру, перераспределение максимального стока между водохранилищами, переброску стока между бассейнами и внутри речного бассейна и т. д., а также эффективно ликвидировать и смягчать последствия затоплений.

Использование насосного оборудования рассматривается в контексте разработки проектов, совершенствования технологий строительства, выбора соответствующих конструктивных и технологических решений, рис. 1.

При этом, по нашему мнению, наиболее современным техническим решением соответствует оборудование на базе погружных насосных агрегатов. Именно погружная насосная техника<sup>1</sup> [1] наиболее приспособлена для работы в зонах затоплений, что отвечает принципам надежности работы узлов перекачки, их работоспособности в условиях чрезвычайных ситуаций. Другим важным аспектом выбора насосного оборудования является его высокая производительность или мощность, поскольку тема охватывает катастрофические затопления и подтопления. Совершенствование конструкции мощных погружных насосных агрегатов создало основы для разработки новых проектных решений их применения в насосных станциях современного поколения.

**Насосные станции перераспределения стока** осуществляют связь между водохранилищами, переброску стока между бассейнами и внутри речного бассейна, задачи мелиорации и ирригации и т. д.

Наиболее ярким примером применения погружных осевых насосов для решения подобных задач является насосная станция на дамбе Эймейден (Голландия) с насосами производства Nijhuis, внесенными в Книгу рекордов Гиннеса в качестве насосов с самой большой подачей в мире — 60 м³/с (216000 м³/ч), рис. 2. Подобный рекорд еще долгое время будет оставаться недостижимым.

Станции перераспределения стока могут перекачивать не только воду, а ее грунтовую смесь или пульпу. Таким образом, они способны решать две задачи одновременно: экологическую реанимацию водоемов и подачу строительного материала для формирования дамб. Пожалуй, самым ярким примером служит гидронамыв в условиях морских вод — как вариант с агрессивным влиянием солей на насосную технику и повышенными требованиями к качеству изготовления электродвигателей. Важность последнего подтверждается повышенными нагрузками на электродвигатели вследствие

<sup>1</sup>Погружная насосная техника соответствует классу защиты электродвигателей насосов IP68. Это означает, что насосы с электродвигателями приспособлены для работы под водой, даже если их установка на фундамент осуществляется в традиционном «сухом» исполнении, машинный зал при этом может быть затоплен.

высокого удельного веса водопесчаных пульп (требуется запас мощностей) и конструктивных особенностей погружных электродвигателей.

Самые крупные в мире землесосные снаряды Vasco da Gamma и Leiv Eriksson принадлежат бельгийской фирме, **рис. 3**. Они сконструированы на основе погружных электродвигателей Ingeteam (Северная Испания) — одного из крупнейших производителей. Параметры двигателей: мощность 6,5 МВт; напряжение 3,1 кВ; скорость вращения 253 об/мин.

Экипированная насосным оборудованием судоводная техника предназначена для намыва дамб, но иногда выполняет уникальные задачи: например, намыв искусственных островов под строительство в Объединенных Арабских Эмиратах.

В группу Ingeteam входит производитель погружной насосной техники Indar. Уникальность этого оборудования отвечает самым высоким требованиям по производительности (до 15000 м<sup>3</sup>/ч) и напорам (до 1200 м) при установленной мощности двигателей до 2,5 МВт и выше в стандартной «линейке». Исполнение для напряжений 0,38; 0,66; 3; 6 и 10 кВ достаточно гибко соответствует потребностям объектов. Кроме того, при высоких мощностях переход на повышенное напряжение питания способствует уменьшению диаметра кабеля и его гибкости, что необходимо при работе с погружной техникой.

В качестве примера переброски стока внутри речного бассейна удачно реализован проект строительства насосной станции на дамбе для закачки воды из р. Царев в Приволжский затон и далее в канал 1 Мая и р. Кутум, **рис. 4**.

Производительность станции в летний период межени составляет 17 м<sup>3</sup>/сек (61000 м<sup>3</sup>/ч), а в весенние периоды паводка количество откачиваемой воды из водотока составляет не менее 9 м<sup>3</sup>/сек (32000 м<sup>3</sup>/ч). При этом разница напором «межень — паводок» составляет 5 м. К устройству приняты восемь погружных насосов, включая резервные агрегаты.

Для увеличения производительности, представленной на **рис. 4** станции водоотлива могут быть рекомендованы насосы Indar 6, 10 кВ, **рис. 5**. Производительность каждого агрегата до 25 000 м<sup>3</sup>/ч, при H до 7 м.

Данный тип насосов разработан для достаточно тяжелых условий эксплуатации при перекачках. На станциях перераспределения стока в Мексике сложилась критическая ситуация (**рис. 6**). Мусор и отбросы, подлежащие перекачке, блокировали работоспособность насосов. Засорам подвергались рабочие колеса и проточная часть водоподъемной колонны (намотка длинноволокнистых отложений на кабель внутри колонны). После замены агрегатов ситуация стабилизировалась. Разработка формы рабочих колес учитывала эффект самоочистки, а кабельный ввод был изготовлен совместно с водоподъемной колонной — минимально коротким. Способ компьютерного моделирования (или CFD анализ), вошедший в регулярную практику производителя, помогает предсказывать результат от конструктивных инноваций.

**Дренажные насосные станции** рассматриваются для целей общего водопонижения и обеспечения работоспособности ГЭС и других гидротехнических сооружений в штатных и экстремальных условиях.

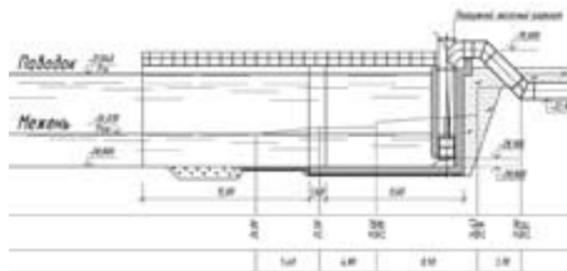
Принцип совместной работы рассредоточенных дренажных систем и насосной станции с погружными агрегатами реализован водоканалом г. Якутска, **рис. 7**. Дренажные системы выполнены трехслойно с использованием щебня фракциями 20–40 мм, 10–20 мм, 5–10 мм. Аналогичные дренажи целесообразно использовать с целью водопонижения подтопленных территорий в сборных лиманах в качестве стандартного комплекса инженерной защиты. Рядом с лиманом и его дамбой исполняется ковшовый водозабор с дренажной системой, связанной гидравлически с насосной станцией. На время строительных работ отгородительная дамба сохраняется.



**Рис. 2.** Агрегаты Nijhuis для насосной станции дамбы Эймейден



**Рис. 3.** Землесосные снаряды для намыва дамб с использованием погружных электродвигателей Ingeteam мощностью 6,5 МВт



**Рис. 4.** Проект «Технико-экономическое обоснование организации проточности и водообмена внутригородских водотоков г. Астрахани» ЗАО «ДАР/ВОДГЕО» Астраханский филиал и ООО «Эколайн», ГИП — И.А. Куксин

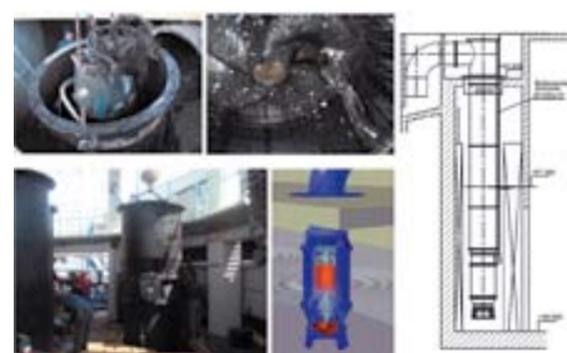


**Рис. 5.** Крупнейшие осевые погружные насосы Indar производительностью до 25 000 м<sup>3</sup>/ч

Данная насосная станция универсальна. Системы дренажей дублируются устройством высокопроизводительных оголовков руслового типа, что позволяет рассматривать данную насосную станцию и для целей перераспределения стока.

В отличие от **рис. 4** и **6**, установка погружных насосов производится на специальный напорный патрубок, а не в водоподъемные колонны (как на **рис. 4**, **6**). Тип рабочих колес насосов также изменяется с осевых на центробежные<sup>2</sup>,

<sup>2</sup> Насосная техника по типу лопастных колес классифицируется в соответствии с коэффициентом быстроходности  $n$ : осевые 600–1800, диагональные 300–600, центробежные 40–300.



**Рис. 6.** Станции перераспределения стока в Мексике (аналогичные проектные решения для Chugubusco и Rio Hondo): а) мусор и отбросы на агрегатах, подлежащих замене; б) погружные насосные агрегаты Indar незасоряемого типа, изготовленные совместно с водоподъемными колоннами; в) чертеж водоподъемной колонны с устройством погружного насоса

что приводит к изменению формы «улитки» рабочего колеса и способу ее крепления в резервуарах. Главная причина этому — предпочтительная потребность в повышенных напорах. Такое исполнение моноблочных агрегатов очень часто используется для условий канализационных насосных станций. И в данном случае производителю Indar нет равных (на единицу оборудования): Q до 10500 м<sup>3</sup>/ч, H до 140 м, P до 2,5 кВт, **рис. 8**. Водоотливы с подтопленных территорий через сборные лиманы могут быть выполнены также в виде береговых водозаборов в отсутствие дренажных систем.

Катастрофические последствия и человеческие жертвы на Саяно-Шушенской ГЭС создали импульс к использованию на гидротехнических сооружениях погружных насосных агрегатов. В проектировании систем жизнеобеспечения ГЭС (ГАЭС) стали предусматриваться системы аварийного осушения с применением мощных погружных насосов.

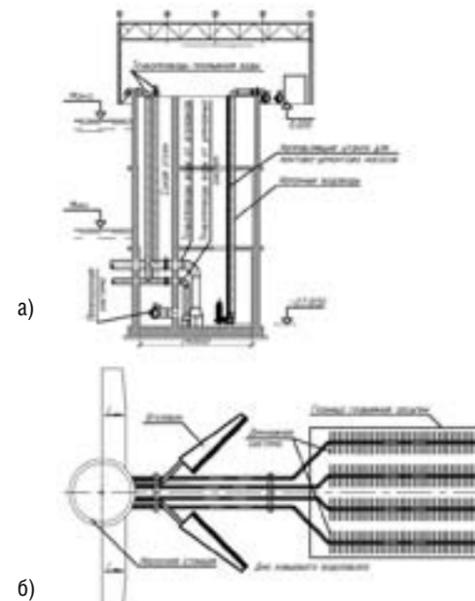
Проекты Загорской ГАЭС-2 и Рогунской ГЭС (Таджикистан), разработчик — ОАО «Институт Гидропроект» имени С. Я. Жука, используют этот новый стандарт на базе насосной техники Indar при проектировании систем общей производительностью системы до 15000 м<sup>3</sup>/ч при напорах до 55 м. Поскольку чертежи режимных объектов привести в качестве примера не представляется возможным, приведем схемное решение с аналоговыми конструктивными элементами, **рис. 9**. Простота установки насосов налицо.

Особенность агрегатов — нечувствительность к протечкам. Заполненные водой, антифризом или маслом электродвигатели с конструктивными элементами компенсации перепада давления (на погружение и/или разность температур) позволяют применять насосы на больших глубинах до 600 м.

Замена полупогружных агрегатов в насосных станциях осушения проточной части турбин на погружные не только повысила надежность системы, но и существенно сократила эксплуатационные затраты за счет увеличенного межремонтного интервала и применения энергосберегающего оборудования (короткие валы агрегатов увеличивают общий КПД агрегатов).

**Ливневые насосные станции** являются стандартным техническим решением для ЖКХ. Но, вместе с тем, следует отметить, что не всегда реализованные решения эксплуатируются в работоспособном состоянии, **рис. 10**. Поддержание сетей водостока и ливневых коллекторов в работоспособном состоянии — отдельная задача, не требующая комментариев.

Проекты ливневых станций, разработанные ЗАО «Водо-снабжение и водоотведение», рассчитаны как крупные водоотливы производительностью 40000, 70000, 100000 м<sup>3</sup>/ч, **рис. 11**. Основные конструктивные размеры для привязки аналогичного оборудования назначены в [2].



**Рис. 7.** Проект «Расширение и реконструкция водозабора г. Якутска, Гиротехническая часть, Насосная станция 1 подъема», ООО «Агроспецкомплекс», ГИП — Г. Д. Мартыненко: а) разрез насосной станции с устройством погружных насосов; б) план насосной станции с устройством рассредоточенных дренажных систем и оголовков руслового типа

Проект предусматривает водопропускные сетки, собирающие мусор и отбросы, перед дробилками фрезерного типа в погружном исполнении IP68, а также специальные зоны для равномерного распределения потоков вод между агрегатами. Данное распределение позволяет устранить негативное взаимовлияние рабочих агрегатов друг на друга, воронкообразование при условии минимального конструктивного размера приемного резервуара. Это в свою очередь позволит достичь расчетных режимов при эксплуатации, способствует минимуму капитальных затрат и поддержанию приемного резервуара в чистоте.

В качестве сравнения с техническими решениями на полупогружных агрегатах можно заметить, что использование погружных насосных агрегатов позволяет понизить объем капитальных вложений в 2 раза и сократить сроки строительства на 40%, за счет отказа от строительства капитального наземного здания. На **рис. 12** отчетливо заметно различие в геометрических размерах станции с погружными насосами (а) и полупогружными (б) традиционной компоновки. Современная насосная станция не имеет машинного зала и является необслуживаемой. Монтаж и демонтаж насосных агрегатов производится автокраном. В таком проектном решении есть и эстетическая составляющая, а именно возможность строительства в живописных местах, не отягощая пейзаж видом габаритного технологического сооружения.

Для проекта, **рис. 11** и **12**, фирмой Indar изготовлены насосные агрегаты в погружном исполнении, **рис. 13**. Параметры насосных агрегатов: Q = 15300 м<sup>3</sup>/ч, H = 18 м, P = 1,1 МВт, КПД = 91,5%, 10 кВ. Общее количество — 8 ед. Испытания<sup>3</sup> насосных агрегатов проводились в марте 2013 г. в присутствии российских специалистов (ОАО «Мосводоканал», ОАО «Институт Гидропроект», ОАО «Мособлгидропроект»). При этом в ходе испытаний насосов был зафиксирован более высокий КПД (на 0,57%), чем ранее заявленный производителем.

<sup>3</sup> Испытательный стенд Indar позволяет подключать насосное оборудование с электродвигателями мощностью до 50 МВт, напряжением до 15 кВ.



Рис. 8. Крупнейшие центробежные погружные насосы Indar (10 500 м³/ч) обладают способностью перекачки водной смеси плотностью до 1100 кг/м³

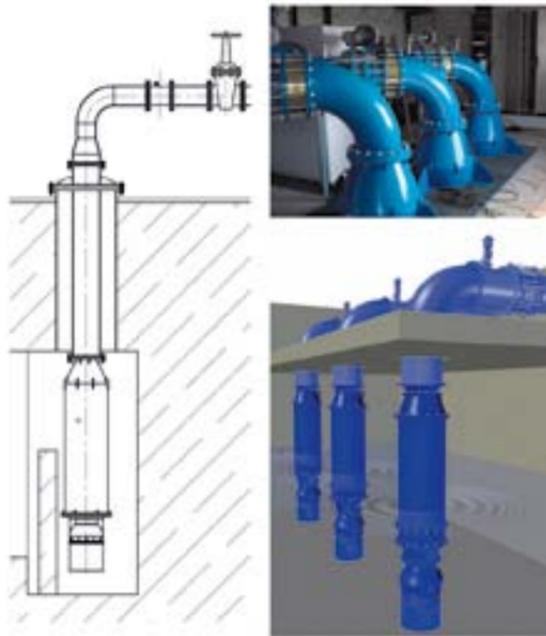


Рис. 9. а) Схема дренажного и аварийного осушения для ГЭС, ОАО «Институт Гидропроект»; б) фрагмент верхней опоры насосов и водоподъемных колонн на перекрытие; в) нижний элемент крепления насосов к водоподъемным колоннам

Оригинальное проектное решение может стать базовым для разработки проектов крупных ливневых насосных станций в РФ, в том числе в городах, готовящихся к проведению Чемпионата мира по футболу в 2018 г. [3]. Программой предусмотрены строительство и реконструкция 28 объектов теплоснабжения, водоснабжения, водоотведения, непосредственно связанных с обеспечением спортивных объектов, включая строительство насосных станций и очистных сооружений ливневого стока.

**Перекачка вод на дальние расстояния** из зон затопления требует высоких напоров.

В условиях затоплений основной задачей является быстрое введение в строй насосных станций. Возможно ли это, когда речь идет о высоковольтных насосах с мегаваттной мощностью? Обычно строительство крупных насосных станций растягивается на многие месяцы. Оказывается, да, возможно!



Рис. 10. Сеть крупного ливневого коллектора буквально забита отложениями до неработоспособного состояния

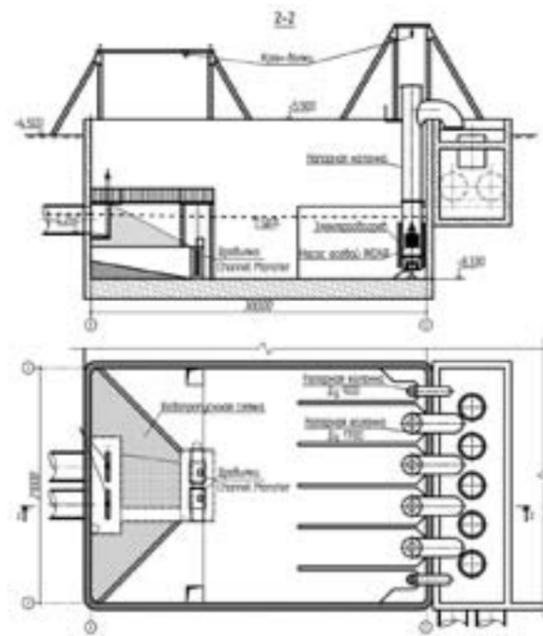


Рис. 11. Проектное решение для ливневых насосных станций производительностью 70 000 м³/ч, ЗАО «ВИБ», автор проекта С. М. Божьева

Данное условие может быть обеспечено при существенном сокращении объема и времени проведения СМР при использовании высоконапорных погружных агрегатов. Для их монтажа в рабочее положение в лиманах и нижних отметках подтопленных территорий достаточно установки направляющих рельсов (при наклонном исполнении, рис. 14) и нескольких фундаментных блоков (при горизонтальном исполнении насоса, рис. 15). Возможность исполнения погружного электродвигателя на разное питающее напряжение (0,38; 0,66; 3; 6 или 10 кВ)<sup>4</sup> позволяет обойтись без понижающих трансформаторных подстанций.

<sup>4</sup> Завод Indar является одним из немногих насосных производителей, который комплектует насосные агрегаты электродвигателями собственного производства, а не закупает их у сторонних производителей. Это отражается на конечной стоимости продукции и сравнительно коротких сроках производства. Следует заметить, что как раз передовые разработки в области магнетронного моделирования электродвигателей позволили «Индару» решить главную конструкторскую проблему при проектировании мощных (высоковольтных) погружных насосов (перегрев статора) и выйти на лидирующие мировые позиции.

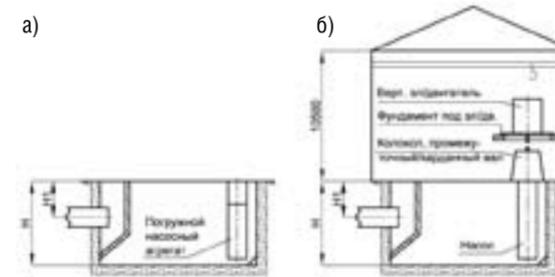


Рис. 12. Сравнение проектных решений для ливневых насосных станций по вариантам: а) с погружными насосами; б) с полупогружными насосами, ЗАО «ВИБ», автор проекта С. М. Божьева



Рис. 13. Результат изготовления погружных насосов мощностью P=1,1 МВт на заводе Indar, прошедших гидравлические испытания. Рядом с насосами автор проекта — С. М. Божьева

Использование данных типов оборудования позволяет производить перекачки рабочими напорами до 935 м, расходами до 9000 м³/ч, а также использовать их на больших глубинах погружения до 600 м. Погружные насосы монтируются краном.

**Перекачка вод на близкие расстояния** связана с необходимостью локальной откачки из зон затоплений, подвалов, аварий на сетях водопровода, канализации, теплоснабжения, а также водопонижения (при комплектации иглофильтровальными установками).

Набор инженерных решений включает использование высокопроизводительных агрегатов для вариантов комплектации автономными источниками электроэнергии, так и в их отсутствии, рис. 16. Мобильные насосные станции характеризуются следующими рабочими параметрами: Q до 9000 м³/ч, H до 130 м. Дизельные или бензиновые приводы обеспечивают работоспособность в условиях отсутствия электроснабжения.

Так, для контроля уровня воды и предотвращения наводнения на Загорской ГАЭС работают четыре дизельных насосных агрегата ВВА, общая производительность которых составляет 20000 м³/ч, рис. 17. Максимальная производительность агрегата составляет 5500 м³/ч при напоре 37 м.



Рис. 14. Наклонное размещение высоконапорных насосов Indar в лиманах и нижних отметках затопленных территорий. На откосы дамб устраиваются рельсы для упрощенной установки насосов в рабочее положение

Решающую роль при выборе насосных агрегатов сыграли такие характеристики, как КПД и широкий свободный проход 125 мм. Насосные агрегаты обеспечивают высокую производительность при минимальном расходе топлива. В летнее время данные агрегаты могут использоваться для откачки сточных вод.

Принцип насосной перекачки данных агрегатов — самовсасывающий и не требующий их заливки перед пуском — в значительной степени упрощает их использование в чрезвычайных ситуациях.

Быстровозводимые и мобильные насосные станции приспособлены к использованию и в другой чрезвычайной ситуации — при **пожаротушении**, и в полной мере могут реализовать свои преимущества при решении обратной задачи: транспортировке больших объемов воды к местам тушения крупных очагов пожара.

Основные достоинства мобильной техники — независимость от стационарных источников электропитания, позволяют применять при решении задач, не связанных с природными явлениями (откачка воды при авариях на объектах ЖКХ, устройство временных насосных станций при ремонтных работах, пожаротушение) и имеют высокий арендный потенциал для владельца техники.

**Особенности управления погружными насосами** связаны с их конструкцией, обеспечивающей эффективное охлаждение электродвигателей. Это способствует увеличению часового количества пусков в 3–5 раз (в зависимости от мощности агрегата), по сравнению с традиционной техникой «сухого» исполнения. В случаях, когда питающие сети способны выдержать пусковые токи, подобная техника легко справляется без частотного регулирования и устройств плавного пуска, что упрощает мобильность использования.



**Рис. 15.** а) Горизонтальное размещение высоконапорных насосов Indar в лиманах и нижних отметках затопленных территорий; б) погружные насосы Indar горизонтального исполнения; в) при использовании сложных схем перекачек и необходимости последовательной работы насосов вторая ступень монтируется в охлаждающей гильзе

Конструктивной особенностью погружных насосов является наличие датчиков, которые по жилам контрольного кабеля связаны со шкафами управления и выдают сведения о работоспособности оборудования для формирования информационных протоколов о состоянии:

- статора: термопары обмоток, Pt-100 — текущая температура, датчики течи воды (как в статор, так и в клеммную коробку);
- подшипников: Pt-100 — текущая температура.

Кроме того, в насос встроены антиконденсатные нагреватели для защиты полости статора и клеммной коробки.

Для силового оборудования сохраняется возможность использования традиционной для баз АСУ ТП информации: наработка моточасов, текущие токовые нагрузки и напряжение, перекося фаз.

При потребности в технологическом управлении задействуются датчики уровня (поплавкового типа или давления), реализуется стратегия поочередного включения или выключения агрегатов, включая резервные единицы.

Вместе со всеми достоинствами необходимо отметить, что мощные насосные агрегаты не являются складской продукцией для заводов-производителей. Их поставка в сроки, меньшие 8–10 недель, носит исключительный, случайный характер. Как правило, для изготовления крупного насосного агрегата может потребоваться от 15 до 45 недель и более. Поэтому их заказ, производство и поставка должны носить превентивный характер.

Представленные в статье технические решения и оборудование соответствуют также инженерному оформлению целей и задач федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах» [4].



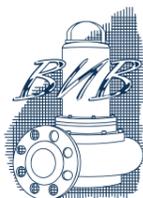
**Рис. 16.** Мобильные насосные агрегаты ВВА для предотвращения наводнений



**Рис. 17.** Дизельные насосные агрегаты ВВА для регулирования уровня воды и предотвращения наводнений на Загорской ГАЭС

#### Литература

1. Березин С. Е. Насосные станции с погружными насосами. Расчеты и конструирование. М.: Стройиздат, 2008.
2. Березин С. Е., Баженов В. И. Погружные осевые насосы в системах водоподдачи // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 6(часть 2). С. 36–38.
3. Проект программы «Подготовки к проведению Чемпионата мира по футболу в 2018 году» (подпрограмма № 6).
4. Постановление Правительства РФ от 19 апреля 2012 г. № 350 «О федеральной целевой программе «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах».



**ЗАО «Водоснабжение и водоотведение»**  
127018 г. Москва, ул. Полковая, д. 1  
Телефон (495) 641 00 41  
Факс (495) 641 00 40  
[www.pump.ru](http://www.pump.ru), [info@pump.ru](mailto:info@pump.ru)

# 2.

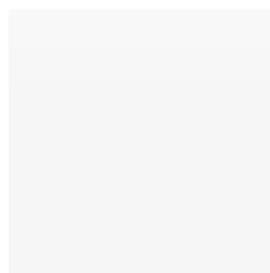
27-45

## ВНУТРЕННИЕ ВОДНЫЕ ПУТИ

Специальный раздел «Волга — исторический путь России», опубликованный в прошлом выпуске журнала (№3/2013, стр. 6-39), вызвал большой резонанс. В редакцию обратились не только специалисты, но и служащие региональных администраций, руководители промышленных предприятий, находящихся на берегах Волги, специалисты надзорных органов, экологи и даже местные партийные лидеры. Безусловно, людям, живущим на берегах Волги, близки и понятны проблемы, обозначенные нами, но в большей степени всех интересует их решение. Мы планировали продолжить разговор о Волге на страницах этого номера, но, к сожалению, так и не получили ряд материалов, содержащих конкретные меры, которые в ближайшем будущем и перспективе предполагается предпринять на федеральном и региональных уровнях для решения проблем экологического состояния Волги, судоходства, берегозащиты, водного туризма и обеспечения жизнедеятельности волжских регионов. Однако за прошедший до выхода нового номера период состоялись важные для развития внутреннего водного транспорта России события, в рамках которых обсуждались в том числе и проблемы Волги.

В августе 2013 г. в Петрозаводске состоялась научно-практическая конференция, приуроченная к 80-летию Беломорканала и собравшая более ста профессионалов, которые поделились опытом и эффективными решениями, обеспечивающими надежную эксплуатацию СГТС, предложили конкретные меры по их развитию, а также обсудили вопросы оценки состояния СГТС и рисков при авариях, — состоявшиеся по этим проблемам доклады специалистов представлены в данном разделе.

В рамках выставки «НЕВА», прошедшей в Петербурге в сентябре 2013 г., состоялась ставшая уже традиционной научно-практическая конференция «Стратегия развития внутреннего водного транспорта», и хотя она была приурочена к году Нидерландов в России, но содержательно в большей степени касалась перспектив российских внутренних водных путей. В своих докладах директор Департамента государственной политики в области морского и речного транспорта Минтранса К. Г. Пальников, президент Союза «Национальная палата судоходства» А. Ю. Клявин, начальник Управления внутреннего водного транспорта Росморречфлота Ф. В. Шишлаков акцентировали внимание на ряде проблем, решение которых и определило направления развития внутреннего водного транспорта. Прежде всего, это снижение грузооборота, перевозки некоторых типов грузов (к примеру, цветные металлы, руда, биокорма) практически полностью перешли на перевозки РЖД и автомобильным транспортом. В качестве причин обозначен ряд факторов: недофинансирование, и как следствие износ флота, портовых сооружений, СГТС (на сегодня это 723 сооружения, около 70% которых нуждаются в реконструкции и ремонте); ограниченность судоходства и сезонностью, и так называемыми «узкими» местами (лимитирующими участками) — особо выделены Нижегородский, Нижне-Свирский гидроузлы, участок Нижнего Дона от Кочетовского гидроузла до поселка Багаевский, Саралевский водный узел. Это за последние годы привело к заметному снижению



инвестиций и конкурентоспособности внутренних водных путей, которые, несмотря на проблемы, обладают рядом преимуществ: широкий географический охват территории РФ, возможность перевозок больших грузов на большие расстояния, сравнительно низкий уровень капитальных и текущих издержек по инфраструктуре, внутренний водный транспорт более экологичный и безопасный в сравнении с другими видами транспорта. Представителям Нидерландов, у которых не единожды возникал вопрос о низкой сезонности грузоперевозок ВВТ, пришлось несколько раз объяснять, что мы не можем эксплуатировать внутренние водные пути в ледовых условиях — это чревато разрушениями гидротехнических сооружений, в том числе и находящихся в структуре ГЭС, и наши речные суда в этом случае требуют усиления корпуса, что не только экономически невыгодно, но и приведет к изменению осадки.

Помимо проблем судоходства и эксплуатации гидротехнических сооружений акценты были сделаны на региональных проблемах. В частности, заместитель директора Московского речного пароходства А. А. Исаева отметила, что нередко регионы не готовы обустройства береговую зону, развивать речной туризм, усиливать сервисные услуги в области пассажироперевозок, при этом значимость речных туристических круизов для экономики регионов достаточно велика. Начальник отдела Минтранса И. В. Ориничева в сообщении о законодательстве РФ в сфере внутреннего водного транспорта указала на то, что нормативно-правовая база, действующая в России с 2001 г., нуждается в обновлении, в частности подготовлен проект о региональных водных путях, рассчитаны новые технологические нормы по их содержанию, которые на данный момент находятся на рассмотрении в Правительстве РФ. Как пример положитель-

ного регионального опыта прозвучал доклад вице-губернатора, председателя правительства Астраханской области К. А. Маркелова о проекте формирования в регионе особых экономических зон, в которых бы создавались особые условия для развития производства, необходимого для обеспечения внутреннего водного транспорта, и инвестиций.

Руководители управлений не только обозначили проблемы отдельных судоходных каналов, но внесли конкретные предложения и поделились опытом их решения. Так, руководитель Управления ВДСК О. Ю. Шахмарданов, отмечая, что грузооборот на канале растет, но лимитирующие участки приводят к многочасовому ожиданию судов, акцентировал внимание на необходимости строительства второй нитки Волго-Донского пути и кратко представил основные положения этого проекта. Руководитель Волго-Балта В. К. Николаев рассказал о системе дистанционного мониторинга плавучих знаков, которая реализована на Волго-Балтийском водном пути и обеспечивает эффективное управление судоходством и его безопасность. Конкретные технические решения по расширению подходов к каналу (на примере Беломорпути) представили специалисты компании «Акватик», в результате работы ликвидированы участки одностороннего движения судов.

В целом конференция показала нацеленность государственных структур на поддержку и развитие внутренних водных путей, наличие инновационного потенциала и профессиональных кадров, способных реализовать стратегию развития внутреннего водного транспорта, которая должна быть рассмотрена на заседании Правительства России 17 октября 2013 г. Особо важно для развития гидротехнических сооружений **Приложение 4**, где строительство гидроузлов обозначено как «крупные инвестиционные проекты»:

**Приложение № 4  
к Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года**

**Крупные инвестиционные проекты**

№ п/п	Проект	Описание	Общие затраты, млрд. руб.	Финансирование	Сроки реализации	Стадия работ*	Географическая привязка
1.	Строительство второй нитки Нижне-Свирского шлюза	Проект включает строительство второй камеры шлюза (300м x 21,5м x 5,5м), подходов каналов, направляющих пал и причальных сооружений, оснащением объектов инженерно-техническими средствами обеспечения транспортной безопасности и социальной сферы. Реализация проекта строительства второй нитки шлюза Нижне-Свирского гидроузла является одно из основных мероприятий по устранению инфраструктурных ограничений на ЕГС.	13	Федеральный бюджет	2012-2017	2,3	П. Свирьстрой Ленинградская область
2.	Строительство Багаевского гидроузла	Проект включает строительство на р. Дон гидроузла в составе однокамерного двухниточного шлюза, рыбопропускных сооружений, плотины, малой ГЭС, инженерных защитных сооружений от затопления и подтопления территорий, гидроузла-регулятора на р. Аксай, с оснащением объектов инженерно-техническими средствами обеспечения транспортной безопасности и социальной сферы.	34	Федеральный бюджет	2013-2018	2	П. Арпачин Багаевский район Ростовской области
3.	Строительство Нижегородского низконапорного гидроузла	Проект предусматривает проектирование и строительство комплексного низконапорного гидроузла на р. Волге в нижнем бьефе Городецкого гидроузла. Решение проблемы обеспечения сквозного судоходства на участке р. Волги Городец- Нижний Новгород может быть решено по двум направлениям: · наполнение Чебоксарского водохранилища до отметки 68,0 м, или · строительство Нижегородского низконапорного гидроузла в н.п. Большое Козино. Сокращение лимитирующих участков на ЕГС.	41,4	Федеральный бюджет	2016-2020	1	Н.п. Б.Козино Нижегородская область

4.	Строительство вторых ниток шлюзов Волго-Донского водного пути	Проект предусматривает строительство судоходного канала протяженностью 113 км в обход южной части г. Волгограда из затона Татьяна (р. Волга) до Варварского водохранилища; 12 судоходных шлюзов с размерами камер 300*20 м, из них 4 высоконапорных (22 м) на обходном канале (Волжский склон); водоподводящего канала протяженностью 62 км от Ерзовского залива Волгоградского водохранилища до н.п. Панышино на р. Дон (Цимлянское водохранилище) с расходом воды 50 куб м/с с водозабором, водовыпуском и перекачивающими насосными станциями; трех насосных станций, а также включает расширение судоходных трасс с 38 до 60 м; проведение капитальных дноуглубительных работ со спрямлением и расширением судоходной трассы на Цимлянском водохранилище; реконструкцию ряда объектов инфраструктуры, расположенных на трассах Волго-Донского водного пути и обходного канала.	429,0	Федеральный бюджет	2014-2020	1	Волгоградская, Ростовская области
5.	Строительство вторых ниток шлюзов Волго-Балтийского водного пути	Проект предусматривает строительство вторых ниток шлюзов судоходного канала, реконструкцию ряда объектов инфраструктуры, расположенных на трассах Волго-Балтийского водного пути, проведение капитальных дноуглубительных работ со спрямлением и расширением судоходных трасс.	246,4	ГЧП	2018-2025	1	Ленинградская, Вологодская области
6.	Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции объектов инфраструктуры канала имени Москвы	Проект включает реконструкцию 19 гидроузлов на канале имени Москвы и Москворецко-Окской системе. Реализация проекта снизит удельный вес гидроузлов с неудовлетворительным уровнем безопасности и сведет к нулю с опасным уровнем безопасности, обеспечит над жную и безаварийную работу судопропускных гидротехнических сооружений.	15,9	Федеральный бюджет	2010-2020	2,3	Участки внутренних водных путей
7.	Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции Волго-Балтийского водного пути	Проект включает реконструкцию 12 гидроузлов на Волго-Балтийском водном пути. Реализация проекта снизит удельный вес гидроузлов с неудовлетворительным уровнем безопасности и сведет к нулю с опасным уровнем безопасности, обеспечит над жную и безаварийную работу судопропускных гидротехнических сооружений.	15,3	Федеральный бюджет	2010-2020	2,3	Участки внутренних водных путей
8.	Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции Волго-Донского судоходного канала	Проект включает реконструкцию 20 объектов на Волго-Донском судоходном канале. Реализация проекта снизит удельный вес гидроузлов с неудовлетворительным уровнем безопасности и сведет к нулю с опасным уровнем безопасности, обеспечит над жную и безаварийную работу судопропускных гидротехнических сооружений.	11,6	Федеральный бюджет	2010-2020	2,3	Участки внутренних водных путей
9.	Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции гидросооружений Беломорско-Балтийского канала	Проект включает реконструкцию 20 гидроузлов на Волго-Балтийском канале. Реализация проекта снизит удельный вес гидроузлов с неудовлетворительным уровнем безопасности и сведет к нулю с опасным уровнем безопасности, обеспечит над жную и безаварийную работу судопропускных гидротехнических сооружений.	6,8	Федеральный бюджет	2010-2020	2,3	Участки внутренних водных путей
10.	Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции гидротехнических сооружений водных путей Волжского бассейна	Проект включает реконструкцию 8 гидроузлов. Реализация проекта снизит удельный вес гидроузлов с неудовлетворительным уровнем безопасности и сведет к нулю с опасным уровнем безопасности, обеспечит над жную и безаварийную работу судопропускных гидротехнических сооружений.	6,6	Федеральный бюджет	2010-2020	2,3	Участки внутренних водных путей
11.	Разработка и реализация комплексного проекта реконструкции гидротехнических сооружений Камского бассейна	Проект включает реконструкцию 4 гидроузлов на р.Каме и Белой. Реализация проекта снизит удельный вес гидроузлов с неудовлетворительным уровнем безопасности и сведет к нулю с опасным уровнем безопасности, обеспечит над жную и безаварийную работу судопропускных гидротехнических сооружений.	6,3	Федеральный бюджет	2010-2020	2,3	Участки внутренних водных путей

\*) Стадия работ: 1 — стадия перспективного планирования, 2 — стадия проектирования, 3 — стадия строительства/реконструкции.

# ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НЕКОТОРЫХ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ СГТС (по итогам доклада на конференции «Обеспечение безопасности и надежности судоходных гидротехнических сооружений», Петрозаводск, 6–8 августа 2013 г.)



**Шестов Г. Е.,**  
главный специалист отдела научных исследований и экспериментального проектирования ОАО «Гипроречтранс», почетный работник речного флота РФ



**Власова И. В.,**  
ведущий инженер отдела научных исследований и экспериментального проектирования ОАО «Гипроречтранс»



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

**Аннотация.** В статье специалистов ОАО «Гипроречтранс» изложены принципы определения предельных значений критериев безопасности судоходных гидротехнических сооружений. Детально рассмотрены 4 группы критериев оценки безопасности сооружений: уровни воды в бьефах; вертикальные перемещения сооружений; горизонтальные перемещения сооружений; положение депрессионной кривой в теле грунтовых сооружений. Кроме того, авторы обращают внимание на необходимость изменения существующего сейчас подхода, который применяется при оценке качественных признаков состояния сооружений, и дают предложение по модификации для этих признаков критериальной шкалы.

**Ключевые слова:** судоходные гидротехнические сооружения, оценка безопасности, предельные значения критериев безопасности.

**Abstract.** The article of JSC "Giprorochtrans" professionals reflects principles of limit values determination of safety criteria for navigational hydraulic structures. They regard four groups of criteria for assessing the structure safety in detail: water levels in pounds; vertical displacement of facilities; horizontal displacement of facilities; hydraulic grade line location in the soil structure. The authors point out the necessity to pay attention to one theoretic aspect of limit values assignment for safety criteria. These safety criteria are criteria with quality characteristics. A problem of limit values assignment in this case is nominal scale applying for the estimation of quality characteristics. It's impossible to assign limit values for intervals by this scale. It's possible to assign only name titles.

**Keywords:** navigational hydraulic structures, safety value of navigational hydraulic structures, safety value criteria of navigational hydraulic structures.

Когда речь заходит о критериях безопасности, то ассоциативно их соотносят с вопросами, которым сегодня уделяется неоправданно много внимания, а именно декларированию безопасности, и любимому детищу надзирающих структур — мониторингу.

А «неоправданно много» потому, что и декларирование, и мониторинг все больше становятся «ритуальными» действиями и все меньше отношения имеют к безопасности судоходных гидротехнических сооружений (СГТС). По крайней мере, утверждение, что декларирование и мониторинг объективно отражают техническое состояние и уровень безопасности СГТС, представляется слишком оптимистичным. Во многом это определяется следующими основными причинами. Первая состоит в том, что наблюдения и исследования, которые являются фундаментом контроля технического состояния и оценки безопасности СГТС, проводятся не в должном объеме и не с должным качеством. Второй причиной является проблема недостаточной обоснованности состава критериев безопасности и их предельных значений.

О первой причине довольно много говорилось в прошлом году на конференции по безопасности СГТС в Новосибирске и проходившем там же 14-м Координационном совете по инновациям в сфере внутреннего водного транспорта. Слова, правда, ушли в песок, но, по крайней мере, тема была обозначена.

Мы остановимся на второй причине — проблеме недостаточной обоснованности состава критериев безопасности и их предельных значений. Причем, учитывая нашу специализацию, будем говорить только о гидротехнической части СГТС. По проблемам механики и электрики предлагаем высказаться профильным специалистам.

Здесь существуют как организационные аспекты разработки и утверждения критериев безопасности, так и технические. На сегодня имеют место две практики разработки и утверждения критериев безопасности:

1. Эксплуатационная организация сама разрабатывает критерии безопасности, а затем передает их на утверждение в Ространснадзор.

2. Эксплуатационная организация нанимает для разработки критериев специализированную организацию, а затем передает полученные критерии на утверждение в Ространснадзор.

Общим здесь является неприемлемая практика утверждения Ространснадзором критериев безопасности, минуя экспертные центры, причем критерии утверждаются еще до разработки и утверждения самой декларации безопасности. При этом зачастую утверждаются настолько некачественные критерии, что экспертный центр, рассматривая декларацию безопасности, просто не имеет возможности ее оценить, поскольку критерии не адекватны, но уже утверждены.

Эту абсурдную ситуацию Ространснадзор обосновывает неубедительно. Объяснение следующее: «Получив уже утвержденные критерии, эксплуатационники объективно оценят техническое состояние и безопасность сооружения, поскольку не смогут подгонять предельные значения критериев безопасности под их фактические значения, что они могут делать, если будут одновременно разрабатывать критерии и декларацию». Однако это не так. Понятно, что и сейчас эксплуатационные организации при разработке критериев безопасности так или иначе ориентируются на их фактические значения. А если критерии безопасности разрабатывает специализированная организация, то заказчики могут ненавязчиво попросить войти в их положение. Борьба с этим сложно.

Конечно, можно апеллировать к чувству самосохранения эксплуатационников. Ведь подгоняя предельные значения критериев под их фактические значения, они сознательно могут завышать оценки технического состояния и безопасности, что чревато самыми негативными последствиями. Но данной апелляции явно не достаточно.

Для устранения такой порочной практики видятся два способа:

1. Организационный — возвращение к прежней практике, когда критерии безопасности вместе с декларациями попадали в экспертные центры, и в этом случае экспертиза могла проконтролировать обоснованность состава критериев и их предельных значений;

2. Технический — разработка общих принципов определения предельных значений критериев, что позволило бы избавиться от значительной доли волюнтаризма в этой области.

О возвращении к прежней практике специалисты говорят постоянно, но какого-либо движения в этом направлении не наблюдается. Поскольку это вопрос административный, отдадим его на откуп ответственному лицу. Мы же остановимся на разработке общих принципов определения предельных значений критериев.

С одной стороны вопрос может показаться надуманным. Ведь в действующих «Методических рекомендациях по контролю технического состояния и оценке безопасности СГТС» есть довольно объемное приложение «В», в котором указаны рекомендуемые предельные значения критериев безопасности. Однако, к сожалению, разработчики «Методических рекомендаций...» взяли это приложение из старой редакции, хотя ряд положений необходимо было переработать.

С другой стороны, могут сказать, что каждое сооружение уникально, и общих принципов быть не может. Но это тоже не так. Общие принципы, именно принципы, а не численные значения, в нашем случае быть могут. Ведь критерии СГТС —

это вполне осязаемые физические величины, кроме того, часть их поддается расчетам. Естественно, в каждом конкретном случае в зависимости от конструктивных особенностей сооружений и условий их эксплуатации могут быть исключения. Но это как раз тот случай, когда исключения только подтверждают правила. И такие правила нам необходимы. При этом необходимо обобщить и проанализировать существующий опыт в смежных отраслях, а также отраслевой опыт декларирования, достаточность комплектования системы контроля сооружений, программы контроля, отраслевые нормативные документы.

Если говорить об опыте в смежных отраслях, то необходимо прежде всего обратить внимание на следующие документы: «Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений РД 153-34.2-21.342-00» (ОАО «ЕЭС России», М., 2001), созданная ОАО «НИИЭС» и ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, выпущенное НИИЭС «Пособие к Методике определения критериев безопасности гидротехнических сооружений» (ОАО «ЕЭС России», М., 2001), и более ранний материал института «Гидропроект» — «Рекомендации по определению предельно допустимых значений показателей состояния и работы гидротехнических сооружений П-836-85 (Минэнерго СССР, М., 1985).

Они содержат много полезной информации, но в них не хватает конкретики, также они не учитывают некоторой специфики СГТС. Кроме того, существует и принципиальное противоречие в подходах энергетиков и отраслевых подходах речников к назначению предельных значений (у энергетиков принят термин «критериальные значения»). Два критериальных значения К1 и К2, задаваемые этими документами, позволяют различать только три эксплуатационных состояния: нормальное, потенциально опасное и предаварийное.

В нормативах Минтранса приняты пять видов технических состояний: исправное, работоспособное, ограниченно работоспособное, предаварийное, аварийное, что в целом соответствует системе стандартов, нормирующих требования по надежности и технической диагностике техники. Кроме того, в соответствии с «Административным регламентом исполнения Федеральным агентством водных ресурсов, Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору и Федеральной службой по надзору в сфере транспорта государственной функции по государственной регистрации гидротехнических сооружений и ведению Российского регистра гидротехнических сооружений», мы обязаны производить оценку сооружений по четырем уровням безопасности: нормальный, пониженный, неудовлетворительный и опасный. В связи с вышесказанным нам необходимо определить три предельных значения критериев безопасности.

Таким образом, именно анализ отраслевого опыта декларирования, нормативных документов, качества критериев безопасности, достаточности комплектования системы контроля сооружений, программ контроля и результатов наблюдений должен стать основным инструментом для решения поставленной задачи.

Здесь важно остановиться еще на одном моменте. Заказчик, как правило, поручает специализированной организации разработку критериев безопасности и 3-го раздела декларации «Анализ и оценка безопасности СГТС...» сразу на 5–10 гидроузлов, причем в сжатые сроки. Можно себе

представить, о каком анализе достаточности комплектования системы контроля сооружений, программ контроля и их результатов может идти речь.

С точки зрения здравого смысла, все эти работы должны предшествовать как разработке критериев безопасности, так и самой декларации. А сроки и стоимость выполнения такой работы должны соответствовать ее трудоемкости. И если такую работу провести на многих гидроузлах, то могут быть разработаны и общие принципы определения предельных значений критериев.

К сожалению, наши эксплуатационники не склонны тратить на это средства. Исключение, пожалуй, составляет ФБУ «Администрация «Беломорканал». По его заказу в 2011 и 2012 гг. ОАО «Гипроречтранс» выполнялась работа по теме: «Обследование гидротехнических сооружений гидроузлов для определения достаточности комплектования системы контроля за их техническим состоянием, возможности восстановления и дооснащения КИА, создание программ наблюдений». В эти годы обследование выполнено по отдельным сооружениям гидроузлов №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 16, 19. В 2013 г. работа продолжается на гидроузлах №№ 8, 9, 14, 17, 18.

В качестве исходных данных для обследования использовались:

- проектная и исполнительная документация на сооружения;
- материалы декларирования безопасности гидроузлов;
- материалы инженерного обследования сооружений;
- данные наблюдений и исследований.

В соответствии с техническим заданием, в ходе выполнения работ:

- проанализированы, обобщены и систематизированы материалы по наблюдению за гидротехнической частью гидроузлов;
- разработаны предложения по восстановлению и дооснащению сети КИА;
- разработаны программы и инструкции по проведению натурных наблюдений;
- уточнены состав критериев безопасности по гидротехнической части гидроузлов и их предельные значения.

Полученные в ходе этих работ результаты позволяют более достоверно проводить оценку технического состояния и уровня безопасности гидроузлов.

Остановимся только на последнем этапе — результатах уточнения предельных значений критериев безопасности. При этом, учитывая требования к объему статьи, ограничимся некоторыми критериями безопасности, разбив их на несколько групп.

I группа — уровни воды в бьефах.

II группа — вертикальные перемещения сооружений.

III группа — горизонтальные перемещения сооружений.

IV группа — положение депрессионной кривой в теле грунтовых сооружений.

**I группа — уровни воды в бьефах**

Если говорить об уровнях воды, то, как показывает практика проведения экспертиз деклараций безопасности, здесь нередко происходит подмена одного контролируемого параметра другим. Например, в качестве критериев рассматриваются только уровень ВБ и напор на сооружение, а уровень НБ пропускается, поскольку считается, что это производная двух указанных параметров.

При назначении критериев по этой группе имеем в виду следующее:

- оценивая напор на сооружение, мы контролируем величину нагрузки на сооружение и его фильтрационный режим;
- оценивая уровень ВБ, мы контролируем риск перелива воды через гребень сооружения, его фильтрационный режим;
- оценивая уровень НБ, мы контролируем возможность увеличения размывов в НБ, безопасность судопропуска через сооружение, фильтрационный режим.

**1. Уровень воды верхнего бьефа (с точки зрения риска перелива через сооружение).**

Для **судоходных шлюзов** предельные значения критерия безопасности — «Уровень воды верхнего бьефа» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — отметка максимального расчетного уровня (ФПУ) ВБ;
- **K2** =  $(K1+K3) / 2$ ;
- **K3** — отметка верха обшивки РДВ верхней головы;

Для **грунтовых сооружений и водоспусков с глубинными затворами** предельные значения критерия безопасности — «Уровень воды верхнего бьефа» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — отметка максимального расчетного уровня (ФПУ) ВБ;
- **K2** =  $(K1+K3) / 2$ ;
- **K3** — отметка гребня (устоя) сооружения минус  $(D + a)$ ;
- **D** = 2 см — строительный допуск отметки горизонтальной поверхности для железобетонных конструкций (СНиП 3.03.01-87);
- **D** = 5 см — строительный допуск отметки поверхности для грунтовых сооружений (СНиП 3.02.01-87);
- **a** = 50 см — минимальный нормативный запас возвышения отметки гребня грунтовых сооружений над уровнем воды в водохранилище (СНиП 2.06.05-84);
- **a** = 40 см — минимальный нормативный запас возвышения отметки устоев бетонных сооружений III-IV класса над уровнем воды в водохранилище (СНиП 2.06.06-85).

#### КОММЕНТАРИИ

При назначении величины **K3** за базу берется отметка верха сооружения, и от нее отсчитывается отметка уровня верхнего бьефа, поскольку изменяемой величиной здесь является уровень воды. Многочисленные случаи, когда за базу бралась отметка ФПУ, представляются не оправданными. Кроме того, в нашем случае (за исключением судоходных шлюзов) превышение отметки верха сооружения над **K3** составляет сумму только строительного допуска и нормативного запаса без учета высоты волны и ветрового нагона, что фактически и характеризует предаварийное состояние сооружения.

Кроме того, в работе дана следующая рекомендация. При разработке критериев безопасности, а затем и деклараций сначала необходимо определить предельные значения **K1**, **K2**, **K3** для каждого сооружения гидроузла, затем выбрать из них минимальные значения, и дальнейший расчет сценариев аварий каждого сооружения производится именно на эти минимальные значения **K1**, **K2**, **K3**.

**2. Уровень воды нижнего бьефа.**

Для **судоходных шлюзов в межшлюзовых бьефах** предельные значения критерия безопасности — «Уровень воды нижнего бьефа» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — отметка минимального навигационного уровня НБ;
- **K2** — отметка порога НГ плюс  $(h + \alpha)$ ;  $(\alpha = 0,40 \text{ м}$  — запас воды под днищем расчетного судна — «Правила пропуска судов...» п. 5);

- **K3** — отметка порога НГ плюс  $(h + \alpha^*)$ ;  $(\alpha^* = 0,25 \text{ м}$  — запас воды под днищем расчетного судна для особых случаев — «Правила пропуска судов...» п. 6).

Для **устьевого судоходного шлюза**, с учетом значительных колебаний уровня Белого моря, принято:

- **K1** — отметка уровня моря, принятая в Паспорте сооружения;
  - **K2** — отметка порога НГ плюс  $(h + \alpha)$ ;  $(\alpha = 0,40 \text{ м}$  — запас воды под днищем расчетного судна — «Правила пропуска судов...» п. 5);
  - **K3** — отметка порога НГ плюс  $(h + \alpha^*)$ ;  $(\alpha^* = 0,25 \text{ м}$  — запас воды под днищем расчетного судна для особых случаев — «Правила пропуска судов...» п. 6).
- Во всех случаях  $h$  — осадка расчетного судна.

#### КОММЕНТАРИИ

При назначении предельных значений использован отраслевой нормативный документ «Правила пропуска судов и составов через шлюзы внутренних водных путей Российской Федерации». Логика здесь такова: «Если есть уже утвержденные предельные значения, то их надо использовать и не придумывать свои».

**II группа — вертикальные перемещения сооружений**  
**1. Минимальная отметка верхней головы шлюза или прилегающей территории, устоев водоспуска, гребня грунтовой дамбы (плотины) с точки зрения риска перелива через сооружение.**

Предельные значения критерия безопасности — «Минимальная отметка...» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — проектная отметка гребня (устоя) сооружения минус  $D$ ;
- **D** = 5 см — строительный допуск отметки поверхности для грунтовых сооружений (СНиП 3.02.01-87);
- **D** = 2 см — строительный допуск отметки горизонтальной поверхности для железобетонных конструкций (СНиП 3.03.01-87);
- **K2** =  $(K1+K3) / 2$ ;
- **K3** = 1) ФПУ +  $(D + a)$ ;  
2) отметка гребня (устоя) сооружения минус  $(D + a)$ ;
- **a** = 60 см — минимальный нормативный запас возвышения отметки устоев бетонных сооружений II класса над уровнем воды в водохранилище (СНиП 2.06.06-85);
- **a** = 50 см — минимальный нормативный запас возвышения отметки гребня грунтовых сооружений над уровнем воды в водохранилище (СНиП 2.06.05-84);
- **a** = 40 см — минимальный нормативный запас возвышения отметки устоев бетонных сооружений III-IV класса над уровнем воды в водохранилище (СНиП 2.06.06-85).

#### КОММЕНТАРИИ

Здесь представлены два варианта назначения **K3**. Вариант 1) продолжает логику, принятую при назначении предельных значений **K3** отметки уровня ВБ, только за базу берутся отметки воды, поскольку изменяемой величиной здесь является отметка верха сооружения. Здесь тоже превышение отметки верха сооружения над ФПУ составляет сумму только строительного допуска и нормативного запаса без учета высоты волны и ветрового нагона, что также характеризует предаварийное состояние сооружения. Причем этот вариант хорошо работает и в том случае, когда отметка верха сооружения значительно превышает нормативные значения. А таких сооружений у нас довольно много.

Вариант 2) — это как бы «перестраховочный» вариант. Если отметка верха сооружения значительно превышает нормативные значения, то мы в этом случае можем получить такое значение **K3**, кото-

рое, с одной стороны, тоже может превышать нормативные значения, а, с другой, уже является границей между предаварийным и аварийным состояниями, что не совсем логично.

Хотя выбор того или иного варианта — это решение эксплуатационника. Возможно, здесь лучше и перестраховаться. Однако этот вариант не работает, если отметка верха сооружения меньше нормативных значений. Здесь мы можем получить **K3** ниже отметки ФПУ, что не имеет никакого смысла.

Надо обратить внимание, что при использовании первого варианта назначения **K3** (в отличие от второго) можно получить величину **K3** (отметка верха сооружения) меньше, чем величину **K3** отметки уровня ВБ.

Однако здесь нет никакого противоречия — ведь это два совершенно независимых параметра (критерия безопасности). И состояние сооружения мы контролируем по каждому из них.

**2. Вертикальные перемещения железобетонных сооружений.**

Для **сооружений, расположенных на сжимаемых основаниях**, предельные значения критерия безопасности — «Вертикальные перемещения железобетонных сооружений...» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — максимальная величина остаточной вертикальной деформации марок, зафиксированная за период наблюдений (с округлением до 5 мм);
- **K2** =  $K1 + 2\sigma$ ;
- **K3** =  $K1 + 3\sigma$ ;
- $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение вертикальной деформации марок.

Для **сооружений, наблюдения за вертикальными деформациями которых до настоящего времени не велись**, критериальные значения назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — строительный допуск отметки горизонтальной поверхности для железобетонных конструкций (СНиП 3.03.01-87);
- **K2** =  $K1 + 2\sigma$ ;
- **K3** =  $K1 + 3\sigma$ ;
- $\sigma$  = 10 мм — среднее квадратическое отклонение деформаций марок, на тех сооружениях, где наблюдения ведутся. Величина  $\sigma$  принята как максимальное значение среднего квадратического отклонения вертикальных деформаций устоев голов и стен камер шлюзов, расположенных на сжимаемых основаниях.

**Осадка массивных бетонных сооружений**, в основании которых залегают скальные грунты изверженных пород, практически невозможна. Однако данный вид наблюдений регламентируется «Инструкцией по наблюдениям и исследованиям», поэтому для массивных конструкций шлюзов, установленных на скальное основание, рекомендуется использование следующих предельных значений количественного параметра «Вертикальные перемещения железобетонных сооружений...»:

- **K1** =  $+ \sigma$ ;
- **K2** =  $+ 2\sigma$ ;
- **K3** =  $+ 3\sigma$ ;
- $\sigma$  = 2 мм — средняя квадратическая погрешность измерения вертикальных смещений зданий и сооружений, расположенных на скальных грунтах (СП 11-104-97).

**Предельные значения критерия безопасности — «Интенсивность вертикальных перемещений железобетонных сооружений...»** назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — максимальная величина интенсивности вертикальных деформаций марок, зафиксированная за период наблюдений;

- $K2 = K1 + \omega$ ;
- $K3 = K1 + 2\omega$ ;
- $\omega = 2 \text{ мм}$  — приращение предельного значения, определенное методом экспертной оценки.

**КОММЕНТАРИИ**

При назначении данных критериев возможны два крайних случая.  
1. Или мы имеем длинные временные ряды наблюдений.  
2. Или мы ничего не имеем. То есть наблюдения до настоящего времени совсем не велись.

В первом случае, когда есть достоверные статистические показатели, используется широко применяемый метод назначения предельных значений. Во втором случае для назначения предельных значений мы вынуждены в первые годы наблюдений использовать объекты-аналоги.

Для осадок сооружений на скальных основаниях, контроль которых регламентируется отраслевыми нормами, приходится привлекать данные соответствующих нормативных документов.

Особняком здесь стоит способ назначения предельных значений интенсивности деформаций. Экспертная оценка, которая использовалась в этом случае, получена по результатам обработки большого объема результатов наблюдений и обработки мнения экспертов относительно этих результатов.

**3. Вертикальные перемещения гребня грунтовых сооружений.**

Для грунтовых сооружений предельные значения критерия безопасности — «Вертикальные перемещения гребня...» назначают, исходя из следующих предпосылок.

Принимаем коэффициент пористости супесчаного грунта после длительного самоуплотнения  $e_k = 0,5$  (коэффициент уплотнения  $K_k \approx 0,9$ ).

В соответствии со СНиП 2.02.01-83, принимаем:

- для грунтов плотного сложения  $e_1 = 0,55$ ;
- для грунтов средней плотности сложения  $e_1 = 0,65$ .

Сложение тела дамбы условно считается однородным в пределах всей толщи ( $H_1$ ).

Осадка грунта за счет его самоуплотнения в процессе эксплуатации вычисляется по формуле:

$$S = H_1 \times (e_1 - e_k) / (e_1 + 1).$$

- **K1** — осадка за счет самоуплотнения, приводящего к плотному сложению тела сооружения ( $e_1 = 0,55$ ), при отсутствии суффозии грунта;
- $S(K1) = H_1 \times 0,03$ ;
- **K2** =  $(K1+K3) / 2$ ;
- **K3** — осадка за счет самоуплотнения, при суффозии грунта, приводящей к средней плотности сложению тела сооружения ( **$e_1 = 0,65$** );
- $S(K3) = H_1 \times 0,09$ .

Если значение K3 превышает разницу отметок гребня и ФПУ, то принимается  $K3^* = (\nabla \text{гребня} - \nabla \text{ФПУ})$ .

**КОММЕНТАРИИ**

Принятый здесь принцип назначения предельных значений исходит из того, что этот критерий безопасности фактически позволяет косвенно контролировать плотность сложения грунтовых сооружений, которая может изменяться под действием тех или иных неблагоприятных факторов. Например, если величина осадок какой-либо марки приближается к K3, то это может говорить о том, что в этом створ по какой-либо причине происходит снижение плотности грунта, и необходимо принимать оперативные меры по выявлению причин этого явления и их устранению.

**III группа — горизонтальные перемещения сооружений**

**1. Горизонтальные перемещения стен камер шлюза, подпорных стен водоспусков.**

Для **судоходного шлюза** предельные значения критерия безопасности — «Горизонтальные перемещения стен камер шлюза» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — максимальная величина остаточных горизонтальных перемещений секций, зафиксированная за период наблюдений по щелемерным наблюдениям;
- **K2** =  $K1 + 2\sigma$ ;
- **K3** =  $K1 + 3\sigma$ ;
- $\sigma = 3 \text{ мм}$  — среднее арифметическое средних квадратических отклонений горизонтальных перемещений секций стен камер шлюза по щелемерным наблюдениям.

Для **судоходного шлюза, где среднее арифметическое средних квадратических отклонений горизонтальных перемещений секций стен камер очень мало (1 мм)**, предельные значения критерия безопасности — «Горизонтальные перемещения стен камер шлюза» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — максимальная величина остаточных горизонтальных перемещений секций, зафиксированная за период наблюдений по щелемерным наблюдениям;
- **K2** =  $K1 + 2\sigma^*$ ;
- **K3** =  $K1 + 3\sigma^*$ ;
- $\sigma^* = 3 \text{ мм}$  — максимальное значение среднего квадратического отклонения горизонтальных перемещений секций стен камер шлюза по щелемерным наблюдениям (в данном случае используется максимальное значение параметра).

Так как подобные наблюдения до настоящего времени на шлюзах №№ 13, 16, 19 не проводились, а для получения теоретических значений требуется проведение значительных по объему изысканий и обследований, предельные значения рассчитаны как среднее арифметическое аналогичных предельных значений K1, K2 и K3 для шлюзов, где эти наблюдения велись.

Исходя из тех же предпосылок, рекомендуются предельные значения для подпорных стен водоспуска № 130. Однако, учитывая меньшую высоту подпорных стен водоспуска, по сравнению с высотой стен камер, их значения снижены.

В процессе проведения наблюдений предельные значения данного параметра подлежат обязательной корректировке.

**КОММЕНТАРИИ**

В данном случае подход к назначению предельных значений аналогичен подходу, принятому при назначении предельных значений вертикальных перемещений железобетонных сооружений гидроузлов. Необходимо, однако, обратить внимание, что в некоторых случаях при назначении предельных значений приходится учитывать фактическую величину измеряемого параметра. Так, для шлюза, где среднее арифметическое средних квадратических отклонений горизонтальных перемещений секций стен камер очень мало (1 мм), пришлось вместо среднего арифметического значения средних квадратических отклонений использовать их максимальное значение, поскольку при чрезвычайно малой средней величине горизонтальных перемещений мы за счет только фактической точности измерений будем все время переходить из работоспособного состояния в предаварийное.

Здесь надо особо отметить, что использование общих принципов назначения предельных значений никак не исключает тщательного анализа результатов фактических наблюдений и измерений. У любого правила всегда могут быть исключения. Иначе можно попасть в абсурдную ситуацию.

**2. Раскрытие шва примыкания секции нижней камеры к нижней голове.**

Для **судоходного шлюза** предельные значения критерия безопасности — «Раскрытие шва примыкания секции ниж-

ней камеры к нижней голове» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — максимальная величина раскрытия шва примыкания секции нижней камеры к нижней голове, зафиксированная за период наблюдений по щелемерным наблюдениям оси X;
- **K1** =  $15,05 \text{ мм} \approx 15 \text{ мм}$ ;
- **K2** =  $K1 + 2\sigma$ ;
- $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение раскрытия шва примыкания секции нижней камеры к нижней голове, зафиксированное за период наблюдений по щелемерным наблюдениям по оси X ( $\sigma = 1,68 \text{ мм} \approx 2 \text{ мм}$ );
- **K3** =  $25 \text{ мм}$  — величина K3 получена на основании экспертной оценки и может быть уточнена в процессе эксплуатации по материалам наблюдений и исследований.

Для судоходных шлюзов, где данные наблюдений по этому параметру отсутствуют, предельные значения рекомендованы такими же, как для шлюзов, где эти наблюдения ведутся.

**КОММЕНТАРИИ**

Здесь также применен подход, аналогичный использованному при назначении предельных значений вертикальных перемещений железобетонных сооружений гидроузлов.

**IV группа — положение депрессионной кривой в теле грунтовых сооружений**

**1. Положение депрессионной кривой в теле грунтовых сооружений.**

- **K1** — среднее многолетнее значение отметки уровня воды в пьезометре плюс  $2\sigma$ ;
- **K2** — среднее многолетнее значение отметки уровня воды в пьезометре плюс  $3\sigma$ ;
- $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение отметок воды в пьезометре;
  - а) K3 для первого пьезометра в поперечном створе — отметка НПУ верхнего бьефа;
  - б) K3 для второго пьезометра в поперечном створе — среднее арифметическое значений K3 первого и третьего пьезометров в створе;
  - в) K3 для третьего пьезометра в поперечном створе — отметка устья пьезометра.

При отсутствии данных наблюдений рассчитывается теоретическая отметка уровня воды в пьезометре. Положение полученной расчетной депрессионной кривой является ориентировочным (т. к. отсутствуют достоверные данные о кровлях и характеристиках грунтов, слагающих тело и основание дамб и плотин) и подлежит уточнению в процессе эксплуатации по материалам наблюдений и исследований.

- **K1\*** — при отсутствии данных наблюдений принята теоретическая (расчетная) отметка уровня воды в пьезометре плюс  $2\sigma^*$ ;
- **K2\*** — при отсутствии данных наблюдений принята теоретическая (расчетная) отметка уровня воды в пьезометре плюс  $3\sigma^*$ ;
- $\sigma^*$  — среднее арифметическое средних квадратических отклонений отметок воды в действующих пьезометрах рассматриваемого створа грунтового сооружения.

Принцип назначения K3 в этом случае такой же, как в п.п. а), б), в). Для пьезометров, в которых наблюдается высокая среднее многолетняя отметка или имеет место большое значение  $\sigma$ , приняты следующие предельные значения критериев:

- **K1\*\*** — среднее многолетнее значение отметки уровня воды в пьезометре плюс  $\sigma$ ;
- **K2\*\*** — среднее многолетнее значение отметки уровня воды в пьезометре плюс  $2\sigma$ ;
- **K3\*\*\*** — максимальная отметка в пьезометре за период наблюдений.

**КОММЕНТАРИИ**

Как видно, при назначении предельных значений здесь использованы те же принципы, что и ранее. Это статистическая обработка материалов наблюдений, использование объектов-аналогов и мнения экспертов. Кроме того, при отсутствии до настоящего времени результатов наблюдений, помимо использования объектов-аналогов, производился расчет теоретического положения кривой депрессии в теле грунтовых сооружений и теоретической отметки уровня воды в пьезометрах.

Надо отметить, что в этом случае способы назначения предельных значений отличались большим разнообразием, поскольку требовалось учесть специфические условия работы сооружений. Кроме того, все результаты проходили тест на «не противоречие здравому смыслу». К примеру, некоторые из них:

- отметки уровней в поперечном пьезометрическом створе должны падать от верхнего бьефа к нижнему;
- отметки уровней воды в пьезометрах не должны превышать отметок в верхнем бьефе;
- отметки уровней воды в пьезометрах не должны превышать отметок устья пьезометра.

**2. Уровни воды в пьезометрах головных секций стен камер шлюза при эксплуатационном случае.**

Для **судоходного шлюза** № 1 и нижней камеры судоходного шлюза № 3 предельные значения критерия безопасности — «Уровни воды в пьезометрах головных секций...» назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — наибольшее значение среднее многолетнее значение отметки уровня воды в пьезометрах при наполненной камере плюс  $2\sigma$ ;
- **K2** — наибольшее значение среднее многолетнее значение отметки уровня воды в пьезометрах при наполненной камере плюс  $3\sigma$ ;
- $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение отметок воды в пьезометре;
- **K3** — отметка уровня воды в засыпке камер при максимальном гидростатическом напоре ( $H_{\text{max}}$ ), рассчитанном по формуле:

$$H_{\text{max}} = \gamma_c \times G / (\gamma_n \times \gamma_{1c} \times \gamma^a \times B),$$

где  $\gamma_c$  — коэффициент условий работы,  $\gamma_c = 1,0$ ; G — вес сооружения (на 1 п. м длины камеры) без учета трения грунта обратной засыпки по боковой поверхности стен; для верхних камер шлюзов вес подсчитывается без учета веса воды в камере, т. к. возможно их полное опорожнение; для нижних камер — с учетом веса воды в камере на отметке НПУ нижнего бьефа;  $\gamma_n$  — коэффициент надежности по ответственности, для сооружений II класса  $\gamma_n = 1,2$ ;  $\gamma_{1c}$  — коэффициент сочетания нагрузок, для основного сочетания  $\gamma_{1c} = 1,0$ ;  $\gamma^a$  — объемный вес воды,  $\gamma^a = 1,0 \text{ т/м}^3$ ; B — ширина подошвы шлюза, B = 18,7 м.

Так как отметки уровней воды в пьезометрах верхней камеры судоходного шлюза № 3 имеют большой разброс показаний ( $\sigma = 0,76 \text{ м}$ ), для этой камеры приняты следующие предельные значения:

- **K1\*** — наибольшее значение среднее многолетнее значение отметки уровня воды в пьезометрах при наполненной камере плюс  $\sigma$ ;
- **K2\*** — наибольшее значение среднее многолетнее значение отметки уровня воды в пьезометрах при наполненной камере плюс  $2\sigma$ ;

- **K3\*** — максимальная отметка уровня в пьезометрах верхней камеры, зафиксированная в процессе наблюдений (данное значение K3 принято потому, что расчет по вышеприведенной формуле дает значение меньше K2, что нелогично).

Для верхней камеры судоходного шлюза № 16 предельные значения назначают, исходя из следующих предпосылок:

- **K1** — наибольшее значение среднегодовой отметки уровня воды в пьезометрах при наполненной камере плюс  $2\sigma$ ;
- **K2** — наибольшее значение среднегодовой отметки уровня воды в пьезометрах при наполненной камере плюс  $3\sigma$ ;
- $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение отметок воды в пьезометре;
- **K3** — отметка уровня воды в засыпке камер при максимальном гидростатическом напоре, рассчитанном по программе RUST-51W из условия обеспечения устойчивости отдельно стоящих стен. При этом для расчета выбрано наименее благоприятное сечение стен камер, вблизи устоев голов.

Для судоходных шлюзов № 13, 19 и нижней камеры судоходного шлюза № 16 предельные значения назначают исходя из следующих предпосылок.

Так как по этим камерам отсутствуют данные наблюдений, значение среднегодовой отметки уровня воды в засыпке стен вычислено по формуле:

$$\nabla УГВ = НПУ ВБ — А,$$

где А — среднее арифметическое разности НПУ ВБ и среднегодовой отметки уровня воды в пьезометрах для судоходных шлюзов №№ 1, 2, 3, 16.

- А = 3,5 м — для верхних камер (подсчитано как среднее арифметическое значение для верхних камер шлюзов №№ 2, 3, 16);
- А = 9,4 м — для нижних камер (подсчитано как среднее арифметическое значение для нижних камер шлюзов №№ 1, 2, 3);
- **K1** — наибольшее значение среднегодовой отметки уровня воды в пьезометрах при наполненной камере плюс  $2\sigma^*$ ;
- **K2** — наибольшее значение среднегодовой отметки уровня воды в пьезометрах при наполненной камере плюс  $3\sigma^*$ ;
- $\sigma^* = 0,44$  м — среднее арифметическое средних квадратических отклонение отметок воды в пьезометрах судоходных шлюзов №№ 1, 2, 3, 16;
- **K3** — отметка уровня воды в засыпке камер при максимальном гидростатическом напоре, рассчитанном по программе RUST-51W из условия обеспечения устойчивости отдельно стоящих стен. При этом для расчета выбрано наименее благоприятное сечение стен камер, вблизи устоев голов.

КОММЕНТАРИИ

В данном случае для назначения предельных значений K1 и K2 также использовалась статистическая обработка материалов наблюдений. Для предельных значений K3 использовались расчетные способы (расчеты на всплытие и сдвиг конструктивных элементов шлюзов). При этом опять же учитывалась фактическая величина измеряемого параметра. Так, в одном из случаев невысокая точность измерений привели к очень большому разбросу показаний (значительной величине  $\sigma$ ). Корректировка предельных значений в этом случае позволила избежать влияния точности измерений на оценку состояния сооружений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках статьи отражена лишь незначительная часть того, что можно сказать о назначении предельных значений критериев безопасности.

**Самое важное, что здесь хотелось бы подчеркнуть, это то, что то или иное решение о назначении предельных значений критериев безопасности должно иметь объяснение. Если его нет — это значит, что предельные значения критериев безопасности просто подгоняются под их фактические значения. Объяснения типа, что тот или иной контролируемый параметр имеет такое значение уже несколько лет, — это недостаточная аргументация, хотя, конечно, и это должно приниматься во внимание.**

**Кроме того, повторим: «Использование общих принципов назначения предельных значений никак не исключает тщательного анализа результатов фактических наблюдений и измерений». У любого правила всегда могут быть исключения.**

Также считаем необходимым акцентировать внимание на одном теоретическом аспекте назначения предельных значений критериев безопасности. Речь идет о критериях безопасности, которые представляют собой качественные признаки. Проблема назначения в этом случае предельных значений состоит в том, что при оценке качественных признаков используется шкала наименований. Для такой шкалы мы не имеем возможности назначать предельные значения интервалов. Здесь интервалам можно дать только наименования.

По этой причине мы и должны назначать не предельные значения, а наименования интервалов. Необходимо это осознать и внести в нормативные рекомендации соответствующее уточнение.

P.S.

*Учитывая актуальность тематики, авторы обращаются ко всем специалистам дать свои предложения, уточнения, замечания. Причем это предложение естественно относится не только к рассмотренным группам критериев безопасности. Совместными усилиями возможно удастся создать документ, регламентирующий общие принципы назначения предельных значений критериев безопасности СГТС.*

# ИНТЕРФЕРОМЕТР GEOSWATH PLUS — МНОГОЛУЧЕВОЙ ЭХОЛОТ ДЛЯ РАБОТЫ НА ЭКСТРЕМАЛЬНО МАЛЫХ ГЛУБИНАХ



**ЗАО «МАРИМЕТР»**  
195112 г. Санкт-Петербург,  
пр. Шаумяна, 18, оф. 118  
+7 (812) 574-56-65  
[www.marimeter.ru](http://www.marimeter.ru)

**Громов В. А.,**  
генеральный директор ЗАО «МАРИМЕТР»

**Андреев А.,**  
технический директор ЗАО «МАРИМЕТР»

**Аннотация.** Интерферометр «GeoSwath Plus» — многолучевой эхолот для работы на экстремально малых глубинах, предназначенный для выполнения площадной съемки рельефа дна в соответствии с требованиями IHO SP-44, Special Order и одновременно обеспечивающий получение гидролокационной мозаики обследованного участка с целью проведения анализа поверхностного слоя донного грунта и предварительной оценки подводных объектов.

**Ключевые слова:** интерферометр, «GeoSwath Plus», IHO SP-44, гидролокационная мозаика, площадная съемка.

**Abstract.** "GeoSwath Plus" interferometer is a multibeam system designed for extremely shallow water depth. It is intended to perform hydrographic area survey according to IHO SP-44, Special Order requirements and, at the same time, provide a sidescan mosaic of the surveyed area for bottom classification and preliminary estimate of underwater objects.

**Keywords:** GeoSwath Plus, interferometer, sidescan mosaic, IHO SP-44, bottom classification.

Несмотря на все преимущества многолучевых эхолотов перед однолучевыми, при проведении промера с использованием многолучевого эхолота на экстремально малых глубинах заказчик сталкивается с очень маленькой шириной полосы обзора. Для решения данной проблемы компанией Kongsberg Geoaoustics Ltd. был разработан интерферометр GeoSwath Plus, позволяющий кардинально увеличить полосу обзора на малых глубинах.

GeoSwath Plus — это реально работающая акустическая система со сверхвысоким разрешением, предназначенная для выполнения площадной съемки рельефа дна в соответствии с требованиями IHO SP-44, Special Order и одновременно обеспечивающая получение гидролокационной мозаики обследованного участка с целью проведения анализа поверхностного слоя донного грунта и предварительной оценки подводных объектов. Система эффективна на мелководных участках и внутренних водоемах, т. к. ширина полосы обзора составляет 12 значений глубины, а количество глубин, получаемых за один «пинг», достигает 5 тыс.

GeoSwath Plus состоит из мощного процессорного устройства и двоянной гидроакустической антенны, закрепленной на V-образном металлическом кронштейне, на котором дополнительно могут быть размещены датчик скорости звука, альтиметр (трансдюсер однолучевого миниатюрного эхолота) и датчик динамических перемещений судна.

Использование одного излучающего элемента и четырех приемных в каждой гидроакустической антенне позволило существенно улучшить качество сигналов, а также обеспе-

чить фильтрацию многократных отражений и акустических шумов.

Предустановленное программное обеспечение позволяет выполнять калибровку системы, сбор и предварительную обработку данных в режиме реального времени. Также для сбора и обработки данных, возможно использование программного обеспечения QINSy.

Помимо интерферометра GeoSwath Plus существует его компактная версия — GeoSwath Plus Compact. Ее основное отличие в том, что процессорное устройство выполнено в брызгозащищенном исполнении, а двоянная гидроакустическая антенна смонтирована в обтекаемом корпусе.

Важными преимуществами интерферометра GeoSwath Plus являются:

- ширина полосы обзора — до 12 значений глубины;
- возможность одновременного получения гидролокационных и батиметрических данных в режиме реального времени;
- построение 3D модели дна без какой-либо предварительной обработки;
- комплекс может поставляться с гидроакустическими антеннами с рабочей частотой 125, 250 и 500 кГц;
- возможность использования интерферометра до глубины 200 м;
- батиметрические данные, полученные с помощью комплекса, полностью соответствуют требованиям IHO SP-44;
- компактные размеры комплекса позволяют устанавливать его даже на небольшие катера, а также на управляемые или автономные подводные аппараты.



Портативная антенна 500 кГц



Станция оператора



Антенны GeoSwath+ закрепленные на V-раме



Вариант установки на штанге

Ваши предложения, уточнения, замечания просьба передавать по эл. почте на адреса [nier2@giprt.ru](mailto:nier2@giprt.ru); [melnik@gtxpert.ru](mailto:melnik@gtxpert.ru).

# О НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕСМОТРА НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО РАСЧЕТУ РАЗМЕРА ВРЕДА ОТ АВАРИЙ СУДОХОДНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ (по итогам доклада на конференции «Обеспечение безопасности и надежности судоводных гидротехнических сооружений», Петрозаводск, 6–8 августа 2013 г.)

**Беликов В. В.,**  
доктор техн. наук, начальник  
отдела численных гидравлических  
исследований ОАО «НИИЭС»

**Есиновский В. А.,**  
канд. техн. наук, главный инженер  
ООО ГТЭ «Гидротехэкспертиза»

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

**Чернилова Е. А.,**  
главный специалист отдела  
численных гидравлических  
исследований ОАО «НИИЭС»

**Школьников С. Я.,**  
канд. техн. наук, главный  
специалист ООО ИПС  
«Гидротехпроект»

**Аннотация.** В статье «О необходимости пересмотра нормативных документов по расчету вреда от аварий судоводных гидротехнических сооружений» нашли отражения противоречия в нормативных документах РФ, на основании которых определяется размер причиненного вреда от аварии СГТС. Авторы — специалисты ведущих профильных организаций — на основе проведенного анализа документов и практики определения размера вреда обосновывают необходимость корректировки нормативной базы общими усилиями специалистов различных отраслей.

**Ключевые слова:** судоводные гидротехнические сооружения, расчет вреда от аварий СГТС.

**Abstract.** The article "About necessity of regulatory documents review concerning damage calculation from navigational hydraulic structures accidents" shows contradictions in regulatory documents of Russian Federation on the basis of which the extent of caused damage from navigational hydraulic structures is defined. The authors, professionals of leading relevant companies, justify the need to correct regulatory base on the ground of undertaken documents evaluation and practice of damage extent estimation by consolidated efforts of specialists from various fields.

**Keywords:** navigational hydraulic structures, damage calculation from navigational hydraulic structures accidents.

В настоящее время в Российской Федерации развернуты работы по массовой оценке возможного вреда от аварий гидротехнических сооружений. Результаты оценки вреда включаются в декларации безопасности гидротехнических сооружений и служат основой для определения сумм обязательного страхования гражданской ответственности владельцев или эксплуатирующих организаций за вред от возможных аварий. Для гидротехнических сооружений, аварии которых не причинят вреда третьим лицам, возможно освобождение от декларирования безопасности.

Расчеты размера вреда должны выполняться на основе требований нормативных документов, перечисленных в нижеприведенной схеме.

## Нормативы по расчету вреда

Правила определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидротехнического сооружения [1]		
Порядок определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения [2]		
Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоводных гидротехнических сооружений [3]. <i>Действие Методики распространяется на судоводные гидротехнические сооружения.</i>	Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения [4]. <i>Действие Методики распространяется на гидротехнические сооружения промышленного назначения, кроме ГТС энергетики и судоходства.</i>	Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнических сооружений предприятий топливно-энергетического комплекса [5]. <i>Действие Методики распространяется на гидротехнические сооружения энергетики.</i>

Ранее предполагалось также разработать отдельную Методику для гидротехнических сооружений водохозяйственно-го и мелиоративного назначения, но эта работа не была завершена. В настоящее время для расчета размера вреда от возможных аварий таких сооружений используют Методику для промышленных [4] или энергетических [5] ГТС.

В «Правилах ...» [1] сформулированы основные принципы расчетов вреда: то, что вред должен быть оценен в денежном виде; то, что расчет вреда необходимо согласовать с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, на территории которых может быть причинен этот вред, в порядке, устанавливаемом указанными органами в соответствии с их полномочиями; то, что величина финансового обеспечения ответственности владельца ГТС устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим в пределах своих полномочий государственный надзор за безопасностью гидротехнических сооружений (для судоводных гидротехнических сооружений таким органом является Ространснадзор).

«Порядок ...» [2] определяет требования к содержанию расчета размера вреда, основные составляющие по определению вероятного вреда, требования к оформлению результатов определения размера вероятного вреда.

Методики [3–5] конкретизируют способы расчета размера вреда; в частности, в них описаны методы расчета размера вреда, основными из которых являются:

- метод *детальной оценки*, использующий конкретные данные о стоимости объектов в зоне возможного затопления;
- метод *укрупненных показателей*, в котором конкретные объекты не выделяются вообще, стоимость собственности третьих лиц, которой может быть нанесен вред, приближенно оценивается на основе информации о количестве жителей населенных пунктов зоны возможного затопления, длине автодорог в этой зоне и других статистических

данных о регионе России, в которых предполагаются затопления;

- *планшетный метод*, основанный на использовании данных о зоне затопления, полученной на основе картографической информации, электронных баз данных, ГИС-технологий.

Необходимость пересмотра нормативов по расчету размера вреда связана в первую очередь с введением в действие федерального закона «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» [6] и детализирующих его «Правил обязательного страхования гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» [7]. Эти документы устанавливают предельные размеры страховой выплаты потерпевшему от возможной аварии, что позволяет определить социальный вред от аварии в денежном выражении (в соответствии с определением «Методики...» [3], «социальный ущерб — вред, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, в размере прогнозной оценки количества погибших и пострадавших людей от последствий аварии СГТС»). В «Методике...» [3] социальный вред определялся как сумма ряда трудноопределимых компонент, алгоритм определения которых не приводился.

Разумеется, в состав расчета размера вреда в настоящее время необходимо включать оценку страховой суммы по договору обязательного страхования, которая по существу и определяется в этом расчете. Закон «Об обязательном страховании...» [6] требует обеспечить выплату компенсации лицам, чьи условия жизнедеятельности нарушены вследствие аварии. «Порядок...» [2] и «Методика...» [3] не предусматривали такого вида вреда. По-видимому, его следует включить в состав социального вреда.

Как показывает опыт согласования расчета размера вреда от возможных аварий СГТС в органах власти субъектов Российской Федерации, требуется также в составе работы определять характер возникающей в зоне возможного разрушения чрезвычайной ситуации в соответствии с классификацией ЧС [9]. Так, в областном нормативе Московской области [10] сказано: «На основании приведенных расчетов величины вероятного вреда от возможной аварии на ГТС должна быть охарактеризована возможная чрезвычайная ситуация в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 21.05.2007 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

Действующая в настоящее время «Методика...» [3] не учитывает важнейших особенностей судоводных гидротехнических сооружений; она ориентирована в основном на оценку вреда от аварий СГТС, возникающего при затоплениях местности, но не дает рекомендаций по оценке вреда судам, попадающим в зону негативного воздействия аварии, в то время как при разрушениях судоводных шлюзов следует опасаться именно поврежденных судов при относительно небольших затоплениях [8].

«Методика...» [3] не дает способа оценки ряда необходимых составляющих общего вреда:

А) вреда лесному хозяйству («Методика...» [3] использует не действующий в настоящее время документ «Минимальные ставки платы за древесину, отпускаемую на корню», утвержденный Постановлением Правительства РФ от 19.09.97 № 1199);

Б) вреда сельскохозяйственному производству («Методика...» [3] использует не действующий в настоящее время документ «Нормативы стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд», утвержденный постановлением Правительства РФ от 27.11.1995, № 1176; кроме того

в методике отсутствуют рекомендации по определению вреда от прекращения в поливной период подачи воды в результате возможной аварии на СГТС, используемых также для нужд ирригации);

В) вреда окружающей природной среде из-за попадания в нее вредных веществ (отсутствует алгоритм расчета);

Г) вызывает сомнения рекомендованный в «Методике...» [3] способ оценки вреда рыбному хозяйству, в котором никак не учитывается возможный вред из-за повреждения нерестилищ.

Разработка этих вопросов не может быть выполнена силами специалистов по гидротехнике и водному транспорту и требует привлечения сотрудников специализированных организаций. Из-за предполагаемой дороговизны соответствующих разработок следовало бы скоординировать работы по предполагаемым изменениям «Методики...» [3] с государственными органами других отраслей, заинтересованными в аналогичных изменениях в «Методиках...» [4, 5], действующих в их отраслях.

Отметим еще ряд дефектов «Методики...» [3], затрудняющих проведение расчетов и вызывающих затруднения при их согласовании в администрациях субъектов РФ.

1. В соответствии с п. 3.4.2 «Методики...» [3], величина приходящейся на одного человека собственности (жилая, другого имущества, в сельской местности — земельного участка) составляет в городах 122 тыс. руб., в сельских населенных пунктах — 46,7 тыс. руб. Эти цифры впервые были приведены в отчетных материалах института «Гидропроект» в 2000 г. За прошедший период произошла весьма значительная инфляция, и существенно возросло благосостояние населения, и эти величины изменились в несколько раз. Ущерб жилому фонду и личной собственности граждан является одной из основных составляющих общего реального вреда, и оценка его в соответствии с такими рекомендациями чрезвычайно занижает его величину. В практике расчета размера вреда от возможных аварий ГТС рекомендованные в «Методике...» [3] цифры, определяющие величины собственности, приходящейся на одного жителя зоны возможного затопления, умножают на коэффициент, равный отношению величин основных фондов региона года, на который проводится расчет, — 1999 г. (на один год раньше того года, в котором впервые были названы эти цифры). По-видимому, целесообразно такой подход принять и в «Методике...» [3].

2. Вызывает возражения приведенный в «Методике...» [3] способ расчета вреда водоснабжению населенных пунктов верхнего бьефа, в котором смешаны два вида ущерба: ущерб водозаборным сооружениям, связанный с возможными разрушениями сооружений и порчей насосного оборудования, при резком падении уровня воды в водохранилище, и затраты на восстановление водоснабжения и организацию временного водоснабжения на период ликвидации аварии, связанные со снижением уровня водохранилища ниже отметки водозабора. В практике проведения расчетов размера вреда от возможных аварий ГТС ограничиваются определением ориентировочной стоимости организации временного водоснабжения населения. При этом приведенная в «Методике...» [3] норма аварийного водоснабжения на одного человека — 600 л/сут чрезвычайно завышена и значительно превышает реальные размеры потребления в крупных городах. По-видимому, ее следует уменьшить до рекомендованной СНиП 2.04.02-84. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» 30 л/сут на человека (минимальная норма потребления при водоснабжении из водоразборных колонок). На наш взгляд, требующие проведения изыскательских и проектных работ затраты на восстановление постоянного водоснабжения должны быть

учтены в составе прочих ущербов, определение которых затруднительно.

3. Следует пересмотреть рекомендации «Методики...» [3] по расчету вреда объектам транспорта и связи методом укрупненных показателей. В настоящее время в методике укрупненных показателей «Методики...» [3] используется подход, при котором вред объектам транспорта в зоне возможного затопления определяется по формуле:

$$H_3 = \frac{D}{L} \sum_{i=1}^3 K_i L_i, \quad (1)$$

где:  $L$  — длина автодорог региона;  $D$  — стоимость основных фондов предприятий транспорта и связи региона;  $K_i$  — степень разрушения (доля утерянной стоимости) в зонах сильных ( $i = 1, K_1 = 0,8$ ), средних ( $i = 2, K_2 = 0,8$ ) и слабых ( $i = 3, K_3 = 0,1$ ) разрушений;  $L_i$  — длина участков автодорог в этих зонах. Приведем для сравнения величину  $D/L$  для четырех соседних регионов РФ (данные за 2011 г.), находящихся в близких природных условиях [11]:

Регион	Длина автодорог общего пользования с твердым покрытием $L$ , км	Основные фонды предприятий транспорта и связи (по полной учетной стоимости) $D$ , млрд руб	$D/L$ , млн руб./км
Забайкальский край	21840	167,6	7,67
Хабаровский край	6007	183,8	30,60
Амурская область	8546	171,4	20,06
Еврейская автономная область	1830	23,8	13,01

Из данных таблицы видно, что параметр  $D/L$  может меняться от региона к региону в 4 раза. Если в зоне возможного затопления из объектов транспорта и связи окажутся только лишь автодороги, то представляется сомнительным, что их стоимость в этих регионах столь существенно различается. Поэтому существующий вариант метода укрупненных показателей для объектов транспорта и связи требует значительной детализации с введением приближенных оценок вреда различным объектам этой группы.

4. В «Методике...» [3] отсутствуют рекомендации по источнику получения необходимой для расчетов размера вреда от возможных аварий статистической информации: вместо этого в ней в качестве приложения даются статистические данные, актуальные в момент выпуска «Методики...» [3] и устаревшие в настоящее время. Федеральная служба государственной статистики выпускает ряд официальных изданий (например, Российский статистический ежегодник), содержащих информацию, необходимую для расчета вреда методом укрупненных показателей. Кроме того, эта информация располагается на официальном сайте Федеральной службы государственной статистики и открыта для общего пользования. В «Методике...» [3] следует рекомендовать использовать эти материалы.

Многие из этих проблем являются общими для расчетов вреда гидротехнических сооружений любого назначения. Возможно, следовало бы создать общую для ГТС различного назначения Методику определения расчета вреда третьим лицам от возможных аварий гидротехнических сооружений, включив в нее и те вопросы, которые в настоящее время излагаются в «Порядке...» [2]. При этом были бы объединены ресурсы из различных источников, что позволило бы повы-

сить качество документа, а его универсальность упростила бы его применение.

**Литература**

1. Правила определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидротехнического сооружения. Утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2001 г. № 876.

2. Порядок определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения. Утвержден приказом МЧС РФ, Минтранса РФ и Госгортехнадзора РФ от 18.05.2002 г. № 243/15/270/68/89. Зарегистрирован в Минюсте РФ 3 июня 2002 г. Регистрационный № 3493.

3. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений. Утверждена Приказом МЧС России и Минтранса России от 02.10.2007 г. № 528/143.

4. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения. Утверждена приказом МЧС России и Госгортехнадзора России от 15 августа 2003 г. № 482/175а.

5. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварий гидротехнических сооружений предприятий топливно-энергетического комплекса. Утверждена приказом МЧС и министерства энергетики РФ от 29 декабря 2003 года, №776/508.

6. Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте». Принят Государственной Думой 16 июля 2010 г.; одобрен Советом Федерации 19 июля 2010 г.

7. Правила обязательного страхования гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте. Утверждены Постановлением Правительства РФ от 3 ноября 2011 г. № 916.

8. Есиновский В. А., Мельник Г. В., Секисова И. А., Цветков А. И., Шестов Г. Е., Школьников С. Я. Особенности определения размера вреда жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2009. № 6.

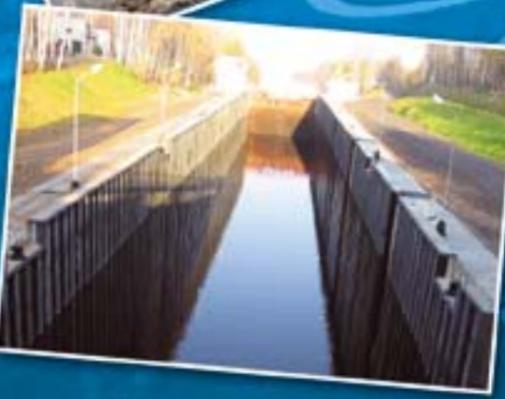
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

10. Порядок согласования расчета размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения, расположенного на территории Московской области, а также трансграничного гидротехнического сооружения, расположенного в другом субъекте Российской Федерации, вероятный вред от аварии на котором распространяется на территорию Московской области (за исключением гидротехнического сооружения, полномочия по осуществлению надзора за которым переданы органам местного самоуправления). Утвержден распоряжением министерства экологии и природопользования Московской области от 09.02.2009 г. № 05-РМ.

11. Транспорт и связь в России. Госкомстат Российской Федерации. Издание официальное. М., 2012.





ООО «Экспертный центр по безопасности гидротехнических сооружений «Гидротехэкспертиза» (ООО «ЭЦБ ГТС «Гидротехэкспертиза») создано выпускниками факультета ГС МИСИ (МГСУ) и выполняет работы по обследованию, декларированию безопасности, паспортизации и проектированию ГТС. За плечами специалистов предприятия большой опыт работы, вновь построенные и реконструированные сооружения.

По инициативе ООО «ЭЦБ ГТС «Гидротехэкспертиза» более 10 лет ведутся работы по изучению целесообразности и возможности создания нового водно-транспортного соединения между Каспийским и Азово-Черноморским бассейнами по Кумо-Манычской впадине (канала «Евразия»).

ООО «ЭЦБ ГТС «Гидротехэкспертиза» — аккредитованный при Ространснадзоре экспертный центр по безопасности СГТС. Созданные совместно со специалистами ОАО «Гипроречтранс» «Методические рекомендации по контролю технического состояния и оценке безопасности судоходных ГТС» — базовый документ декларирования их безопасности.

На правах рекламы.

**E-mail: gtextpert@mail.ru WWW.ГТЭ.РФ Тел./факс (495) 741-0254**

# К ВОПРОСУ О КОЭФФИЦИЕНТЕ ШЕРОХОВАТОСТИ РУСЕЛ РЕК В УСЛОВИЯХ ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО СТОКА ВОДЫ



**Ибрагимов И. А.,**  
докторант, ст. науч. сотр.  
НИИ Ирригации и водных  
проблем при Ташкентском  
институте ирригации и  
мелиорации



**Исмагилов Х. А.,**  
доктор техн. наук, ведущий  
науч. сотр. НИИ Ирригации и  
водных проблем  
при Ташкентском институте  
ирригации и мелиорации

**Аннотация.** В статье приводятся результаты исследования изменений коэффициентов шероховатости русел для условий зарегулированного стока воды для реки Амударья. В нижнем течении реки Амударья были выбраны многоводные годы в период с начала введения в эксплуатацию Тахиаташского и Тюямуянского гидроузлов по настоящее время, и для каждого выбранного года на основе корреляционной связи проведен анализ изменение коэффициента шероховатости.

**Ключевые слова:** коэффициент шероховатости, русло реки, зарегулированный сток воды, меандрирующие формы.

**Abstract.** In article results change of coefficients of roughness riverbeds for conditions of regulated water streams for the river Amudarya are resulted. In the bottom of Amudarya current abounding in water years during the period from the beginning of operation Tahiatash and Tuyamuyun hydrounits to present time have been chosen and for each chosen year on the basis of correlation connections the analysis change of factor of a roughness is carried out.

**Keywords:** coefficients of roughness riverbeds, water streams.

Как известно, при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений на реках производится гидравлический расчет основных параметров русла, потока и сооружений. Гидравлический расчет не представляется возможным без коэффициента шероховатости русел рек.

Изучению и определению коэффициента шероховатости посвящены работы М. Ф. Срибного [2], Г. В. Железнякова [1], В. Т. Чоу [3], Н. Б. Барышникова [5] и др. Исследования этих авторов относятся к естественным (бытовым) состояниям русла, и коэффициент шероховатости русла в условиях зарегулированного стока воды остается еще слабо изученным.

В условиях зарегулированного стока воды ниже плотины происходит резкое изменение гидрологического режима потока. Главное изменение заключается в выравнивании стока, т. е. срезается половодье, задерживаемое в водохранилище, а сбросы из нижнего бьефа приводят к увеличению межениных расходов воды. Резко уменьшается сток наносов. Благодаря этому в нижний бьеф поступает меньшее количество наносов, чем поступило до создания водохранилища. Из-за срезки расходов и уровней воды в водохранилище затопляемость пойм значительно уменьшается. Если в пойме были протоки, то это приведет к их отмиранию и переходу русла от многорукавного к однорукавному; русло из блуждающего становится меандрирующим. Ограничиваем меандрирование и регулирование русла двусторонними продольными дамбами.

Из-за длительного прохождения межениного расхода в течение года общая ширина зарегулированного русла разделяется на две части. К первой части относится ширина русла, где течение потока проходит постоянно, ко второй части — там, где ширина русла работает периодически, только во время прохождения паводка. На той части, где ширина русла работает только во время паводка, происходит обмеление,

зарастание растительностью и, как следствие, увеличение шероховатости, характеризующее сопротивление речного русла.

Разделение ширины зарегулированного русла на постоянно и периодически действующие части приводит к образованию неоднородной шероховатости дна по периметру русла. При ее наличии коэффициент шероховатости зарегулированного русла устанавливается по формуле [1]:

$$n = \frac{B_{пос} \cdot n_{пос} + B_{пер} \cdot n_{пер}}{B_{пос} + B_{пер}}, \quad (1)$$

где  $B_{пос}$ ,  $n_{пос}$  — ширина и коэффициент шероховатости постоянно действующей части русла;

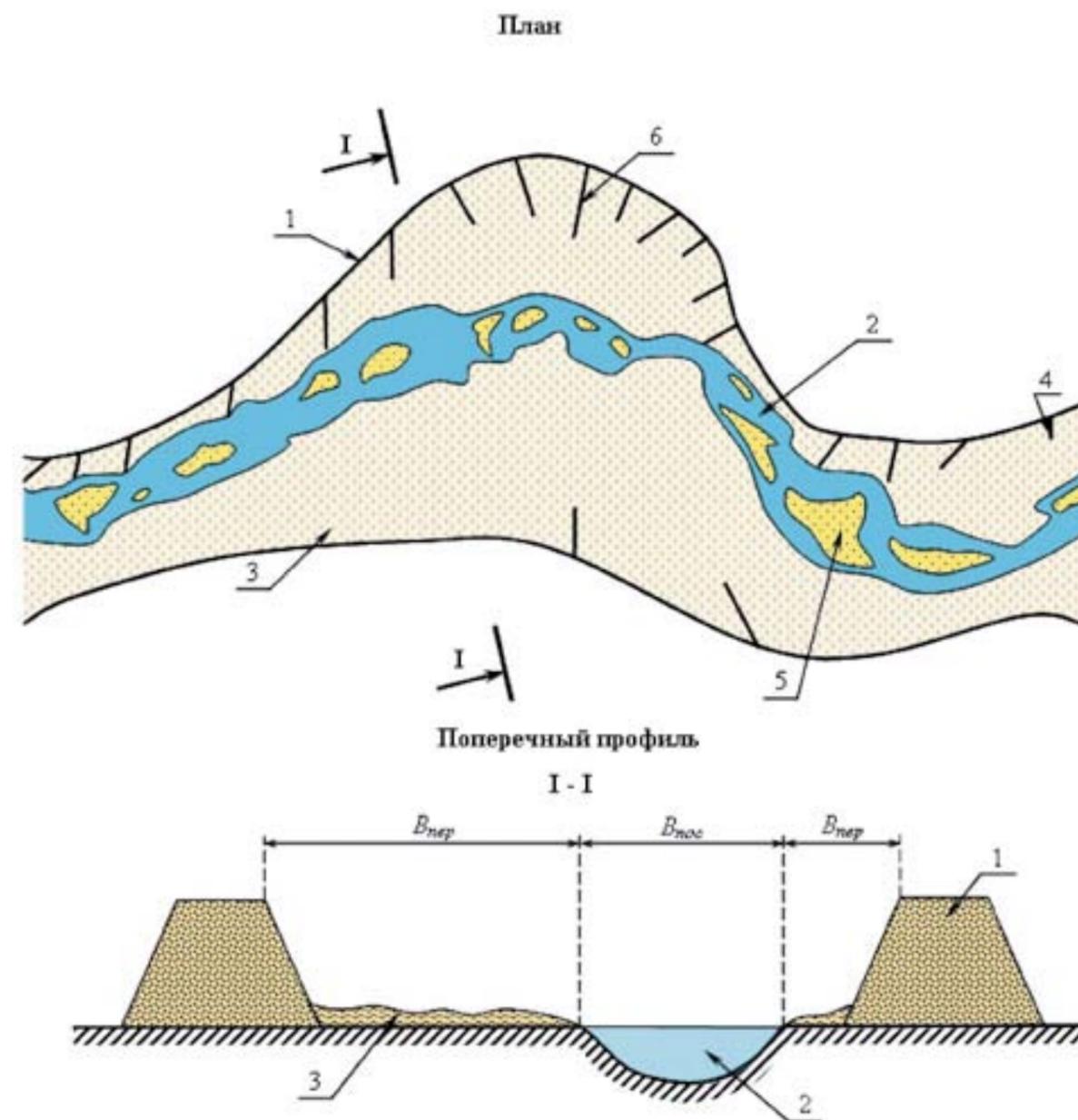
$B_{пер}$ ,  $n_{пер}$  — ширина и коэффициент шероховатости периодически действующей части русла.

Значение коэффициента шероховатости для периодически действующей части русла можно установить по существующим научным данным [1, 2, 3].

Другие значения  $B_{пос}$ ,  $B_{пер}$  и  $n_{пос}$  устанавливались на основании анализа данных р. Амударья ниже Тюямуянского водохранилища.

Как показал анализ плановых космических снимков, ширина постоянно действующей части на прямолинейном участке русла составляла 0,4–0,6 и на криволинейном участке 0,2–0,4 от полной ширины русла (рис. 1).

Изучение коэффициента шероховатости русла в условиях зарегулированного стока воды проводилось по данным нижнего течения р. Амударья. На Амударье в нижнем течении в 1974 г. были построены на 215 км выше от бывшего устья реки Тахиаташский гидроузел и на 450 км от устья — Тюямуяновское водохранилище. Строительство этих объектов



**Рис. 1.** План и поперечный профиль зарегулированного участка русла р. Амударья.

1 — продольная дамба; 2 — постоянно действующие части русла; 3 — периодически работающие части русла; 4 — шпора; 5 — остров; 6 — поперечная дамба.

привело к переформированию русла, осаждению наносов и подъему дна в верхнем бьефе, размыву и снижению дна в нижнем бьефе.

Для анализа коэффициента шероховатости были использованы данные пяти гидрометеостанций, находящихся в нижнем течении р. Амударья. Станция Тюямуянов расположена на 1,7 км ниже плотины и относится к участку общего размыва. Станция Кипчак на 185 км ниже Тюямуяновской плотины и находится в зоне понтонного моста и характеризует режим стесненного течения потока. Станция Ниетбойтас расположена на 230 км ниже Тюямуяновского водохранилища и на 12 км выше Тахиаташского гидроузла и характеризует режим подпорного течения потока. Станция Саманбой находится на 17 км

ниже Тахиаташского гидроузла и на участке общего размыва. Станция Саманбой находится под влиянием двух объектов Тюямуяновского и Тахиаташского гидроузлов. Станция Кызылджар расположена на 105 км ниже Тахиаташского гидроузла и характеризует режим свободного течения потока.

Для анализа коэффициента шероховатости были использованы данные многолетних годов р. Амударья после ввода в эксплуатацию Тюямуяновского водохранилища: 1988, 1992, 1998, 2005 и 2010 гг. В многолетние годы происходит более интенсивный русловой процесс, и активно проявляется взаимодействие потока воды и русла реки.

По гидрологическим данным р. Амударья были установлены значения коэффициентов шероховатости с использо-

ванием формулы, полученной из формулы Шези-Маннинга, в виде:

$$n = \frac{\omega \cdot H^{2/3} \cdot i^{0.5}}{Q} = \frac{H^{2/3} \cdot i^{1/2}}{V}, \quad (2)$$

где  $n$  — коэффициент шероховатости русла;  
 $\omega$  — площадь живого сечения русла, м<sup>2</sup>;  
 $H$  — глубина потока, м;  
 $i$  — уклон водной поверхности;  
 $Q$  — расход воды в реки, м<sup>3</sup>/с;  
 $V$  — скорость потока, м/с.

С использованием формулы (2) были установлены значения  $n$  для каждого измеренного расхода воды и построен график связи  $n = f(Q)$  для каждого года в отдельности по всем гидростанциям нижнего течения р. Амударьи: Тюямуюн, Кипчак, Ниетбойтас, Саманбой и Кызылджар. Всего было построено 25 графиков связи коэффициента шероховатости с расходом воды. На основе полученных графических зависимостей в табл. 1 приводятся эмпирические зависимости для определения коэффициента шероховатости.

Анализ графических связей по створу Тюямуюн показал следующее.

В 1988 г. коэффициент шероховатости изменялся интервале от 0,015 до 0,043, при расходе воды от 200 до 3000 м<sup>3</sup>/с. Связь между  $n$  и  $Q$  отсутствует. В 1992 г. коэффициент шероховатости варьировался 0,016–0,035. В этом году наблюдался рост коэффициента шероховатости, связанный с ростом расхода воды. В 1998 г. изменения коэффициента шероховатости составляли 0,018–0,058, связь между  $n$  и  $Q$  очень слабая. В 2005 г. прослеживалась удовлетворительная связь между  $n$  и  $Q$ . Коэффициент шероховатости изменялся от 0,026 до 0,04. С ростом расхода воды произошло уменьшение коэффициента шероховатости. В 2010 г. связь между  $n$  и  $Q$  улучшилась, по сравнению с 2005 г.

По створу Тюямуюн наличие неудовлетворительной связи в 1988, 1992 и 1998 гг. связано с происходящими русловыми

процессам и общим размывом. С 2005 г. русловой процесс более-менее стабилизируется по годам, и наблюдается более тесная связь между  $n$  и  $Q$ .

По створу Кипчак на графиках связи  $n = f(Q)$ , в отличие от Тюямуюна, наблюдалась тенденция уменьшения коэффициента шероховатости с ростом расхода воды в реке. Наибольшие значения коэффициента шероховатости прослеживаются при минимальном расходе воды, а наименьшие значения — при максимальном расходе воды. В 1988 г. в связи  $n = f(Q)$  наблюдались наименьшие значения коэффициента корреляции. В последующие годы улучшилась связь  $n = f(Q)$ , и значение коэффициента корреляции увеличилось до 0,6. В целом, связь  $n = f(Q)$  слабая. На улучшение связи оказывает влияние наличие понтонного моста в створе измерения, производящее сужение ширины русла и течения потока, происходящего в стесненном виде.

В створах Ниетбойтас, Саманбой и Кызылджар значения коэффициента шероховатости составляли от 0,01 до 0,1. Максимальное значение коэффициента шероховатости в этих створах наблюдается при минимальном расходе воды в реке, минимальное значения коэффициента шероховатости — при максимальном значении расхода воды в реки. Максимальный расход воды составлял 2700 м<sup>3</sup>/с.

Связь между коэффициентом шероховатости и расходом воды в реке для последующих трех створов — Ниетбойтас, Саманбой и Кызылджар — имеет следующий вид:

$$n_{\text{пос}} = \frac{K}{Q^y}, \quad (3)$$

где  $K$  — коэффициент пропорциональности;  
 $y$  — показатель степени.

Коэффициент корреляции в формуле (3) колеблется от 0,8 до 0,95. Значения  $K$  и  $y$  по годам представлены в табл. 1. Согласно табл.,  $K = 0,06–0,45$ ;  $y = 0,25–0,43$ .

Связь коэффициента пропорциональности с показателем степени представлена на рис. 2. Здесь также нанесены значе-

Год	Гидрологические посты				
	Тюямуюн	Кипчак	Ниетбойтас	Саманбой	Кызылджар
1988	$n=0,026Q^{-0,50}$	$n=0,12Q^{-0,24}$	$n=0,35Q^{-0,43}$	$n=0,27Q^{-0,44}$	$n=0,14Q^{-0,37}$
1992	$n=0,008Q^{0,17}$	$n=2E-0,93Q2^{-9E-0,60}$	$n=0,19Q^{-0,29}$	$n=0,21Q^{-0,33}$	$n=0,11Q^{-0,32}$
1998	$n=0,024Q^{0,03}$	$n=-0,011 \ln Q+0,1$	$n=0,43Q^{-0,45}$	$n=0,47Q^{-0,48}$	$n=0,17Q^{-0,35}$
2005	$n=0,063Q^{-0,10}$	$n=0,15Q^{-0,24}$	$n=1,59Q^{-0,63}$	$n=0,2Q^{-0,34}$	$n=0,22Q^{-0,39}$
2010		$n=-0,001 \ln Q+0,048$		$n=-0,011 \ln Q+0,032$	$n=0,074Q^{-0,24}$

Табл. 1. Связь коэффициента шероховатости с расходом воды в р. Амударье для нижнего течения по годам для гидрологических станций

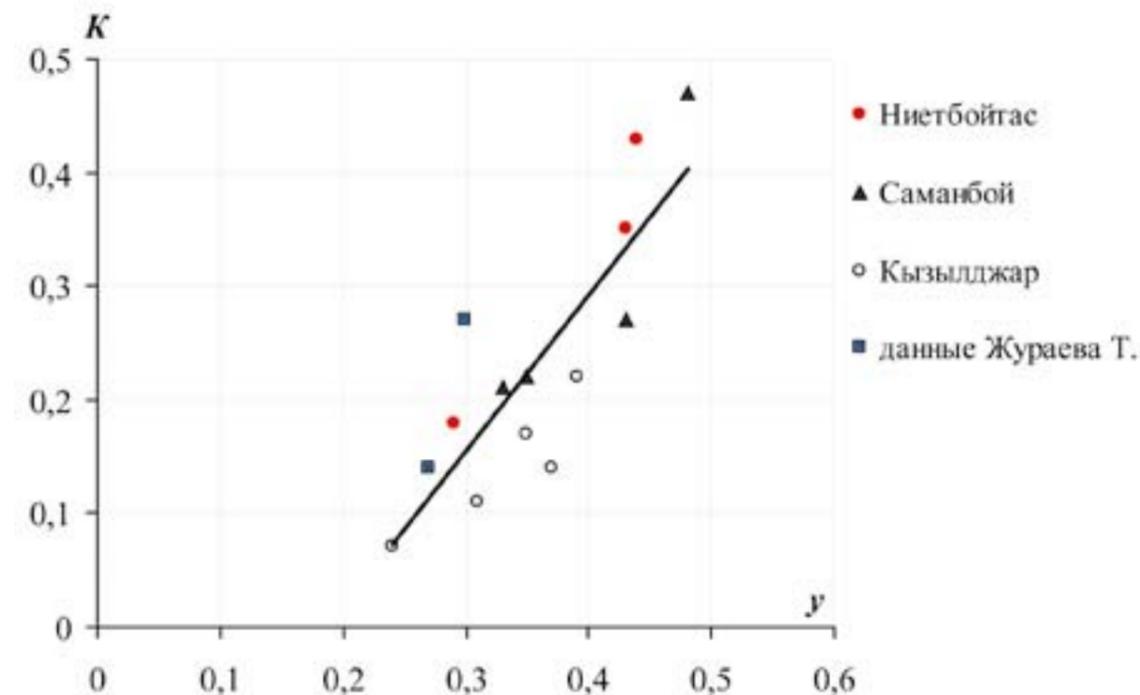


Рис. 2. График связи  $K = f(y)$  в формуле 2

ния  $K$  и  $y$ , полученные Т. Жураевым [4] для условий бытового состояния р. Амударьи. Расположение точки на графике показывает, что в условиях зарегулированного стока воды после достижения стабилизации руслового процесса значения коэффициента пропорциональности и показатель степени приближаются к значениям бытового состояния.

Таким образом, можно отметить, что при достижении стабилизации руслового процесса в условиях зарегулированного стока воды шероховатость русла соответствует шероховатости бытового состояния реки.

Как видно из рис. 2, связь между  $K$  и  $y$  хорошая, имеет линейный характер. С ростом показателя степени происходит и рост коэффициента пропорциональности.

На основании графика получена связь следующего вида:

$$K = 1,25 \cdot y - 0,37. \quad (4)$$

По формуле (4), задав значение  $y$  от 0,25 до 0,47, можно установить значение коэффициента пропорциональности ( $K$ ) к формуле (3). Зависимость (3) характеризует связь коэффициента шероховатости с расходом воды в реке, рекомендуется использовать для гидравлического расчета русел рек при проектировании гидротехнических сооружений на реках и оценке пропускной способности в условиях зарегулированного русла р. Амударьи.

В заключение можно отметить следующее.

Анализ коэффициента шероховатости русла реки в условиях зарегулированного стока воды показал, что значение коэффициента зависит от хода руслового процесса в реке. На участке, где происходит интенсивный русловой процесс в виде общего размыва, коэффициент шероховатости ко-

леблется в значительной степени и носит неустойчивый характер. На участке реки, где русловой процесс стабильный, коэффициент шероховатости также остается стабильным и носит устойчивый характер и изменяется в незначительной степени.

Следует также отметить, что минимальное значение коэффициента шероховатости в русле р. Амударьи равно  $n = 0,010$ , а нормативное значение по СНиП 11.54.74 для подобных рек равно  $n = 0,025$ , т. е. в 2,5 раза превышает фактическое значение по р. Амударье. Мелкие наносы сглаживают выступы шероховатости русла и приводят к уменьшению значения коэффициента шероховатости, что требует учета в действующих документах.

**Литература**

- Железняков Г. В. Пропускная способность русел каналов и рек. Гидрометеиздат, 1981. С. 312.
- Срибный М. Ф. Формула средней скорости течения рек и их гидравлическая классификация по сопротивлению движения. Исследование и комплексное использование водных ресурсов. М.: 1960. С. 204–220.
- Чоу В. Т. Гидравлика открытых каналов / Перев. с англ. под ред. А. И. Богомолова. М.: Гостройиздат, 1969. С. 464.
- Жураев Т. Исследования кинематических параметров потока р. Амударьи в среднем и нижнем течении. Автореферат. кан. диссер. САНИИРИ. Ташкент, 1976.
- Барышников Н. Б. Гидравлические сопротивления речных русел. Учебное пособие. Санкт-Петербург: изд. РГГМУ, 2003. С. 147.

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



## СИЛЬНОЙ РОССИИ — МОЩНУЮ ОБНОВЛЕННУЮ ГИДРОЭНЕРГЕТИКУ!

Продолжается регистрация участников и докладчиков V Всероссийского совещания гидроэнергетиков, которое пройдет 28–29 ноября 2013 г. в г. Санкт-Петербурге. В обсуждении важнейших вопросов развития гидроэнергетического комплекса примут участие представители более 200 российских компаний. Организатором мероприятия выступает НИИ «Гидроэнергетика России» при научной поддержке ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева».

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 остро встают вопросы реновации существующих ГЭС и строительства новых гидроэнергетических объектов. V Всероссийское совещание гидроэнергетиков призвано собрать вместе всех заинтересованных представителей гидроэнергетического комплекса для рассмотрения и обсуждения данных вопросов.

### Предполагаемые темы для обсуждения:

- ▶ Системные и инфраструктурные проблемы реализации проектов в гидроэнергетике РФ.
- ▶ Выстраивание системы технического регулирования в гидроэнергетике РФ: 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, современных материалов и оборудования в строительстве и эксплуатации объектов гидроэнергетики: соотношение показателей надежности (безопасности) и экономической эффективности.

Основные направления работы совещания будут обозначены в установочных докладах пленарного заседания, после чего обсуждение продолжится на заседаниях секций (круглых столов). На завершающем пленарном заседании будут подведены итоги работы V Всероссийского совещания гидроэнергетиков и приняты решения, которые станут руководством к действию по развитию отрасли на ближайшие четыре года.

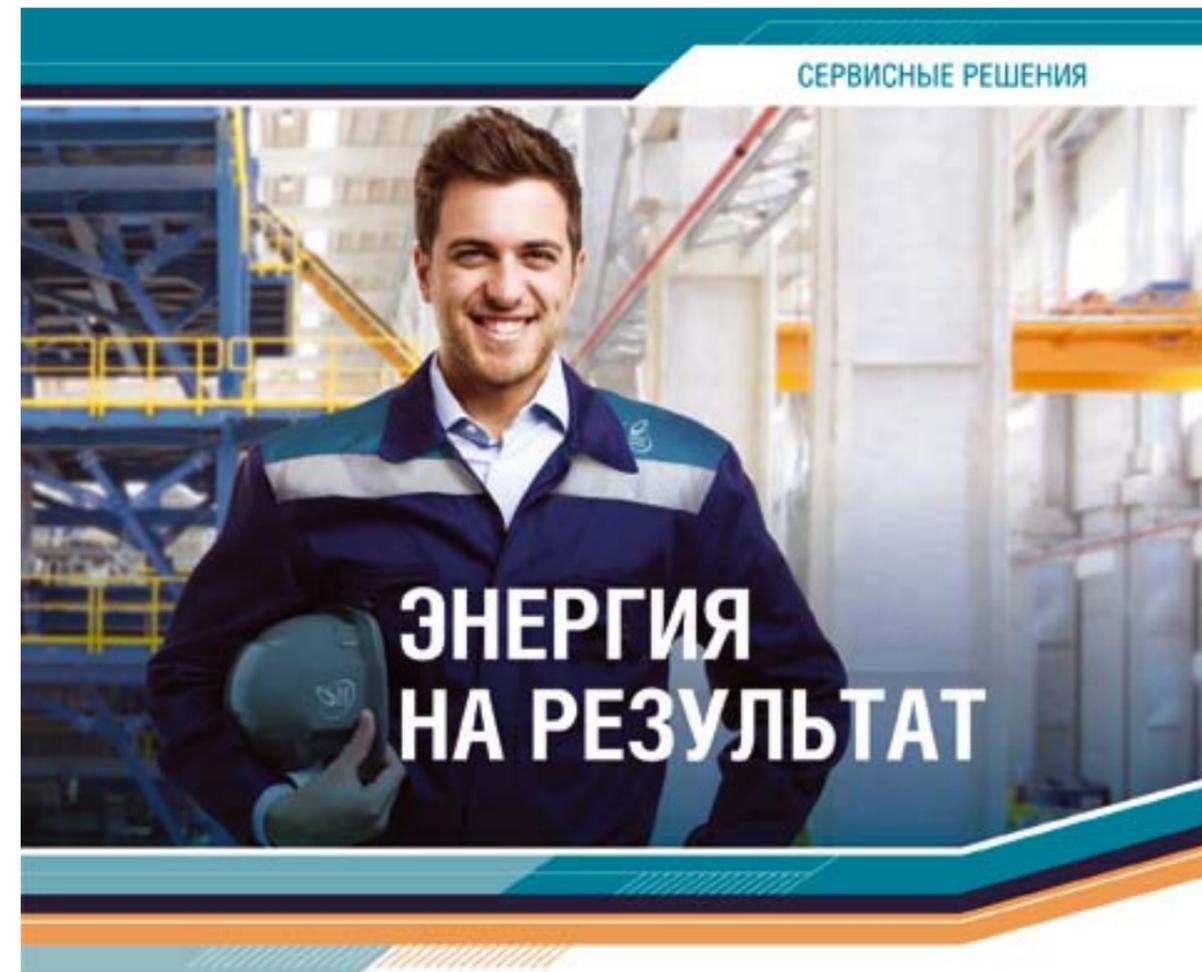
Более подробная информация о V Всероссийском совещании гидроэнергетиков размещена на сайте <http://hydropower.ru/> в соответствующем разделе.  
Телефон для справок 8 (499) 133-97-53.

# 3.

46-64

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

СЕРВИСНЫЕ РЕШЕНИЯ



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 (LTSA).

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

На правах рекламы.

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОТОКА НА 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.** В статье И. П. Иванченко и А. Н. Прокопенко — специалистов НПО ЦКТИ им. И. И. Ползунова рассматривается эффективность использования водотока действующим оборудованием и пути ее повышения. Представлены водно-энергетические данные по Красноярской ГЭС, изменение объема притока воды и максимальной отметки водохранилища по годам, зависимость выработки электроэнергии от объема воды через турбины Красноярской ГЭС, режимы работы и энергетические показатели гидротурбин, мощностные характеристики агрегатов Красноярской ГЭС.

**Ключевые слова:** гидроэлектростанция, гидротурбина, водоток ГЭС, эффективность использования водотока, Красноярская ГЭС.

**Abstract.** The article by I. P. Ivanchenko and A. N. Prokopenko — professionals of I. I. Polzunov Scientific and Development Association on Research and Design of Power Equipment regards efficiency of water course by operating equipment and ways of its increase. They present water and power data of Krasnoyarskaya HPP, inflow volume change and maximum water reservoir marks by years, power dependence on water volume of Krasnoyarskaya HPP turbines, work schedules and power data of hydro turbines, power properties of Krasnoyarskaya HPP aggregates.

**Keywords:** hydro power plant, hydro turbine, HPP water course, efficiency of water course, Krasnoyarskaya HPP.

В нашей предыдущей статье [1] было рассмотрено техническое состояние гидротурбин Красноярской ГЭС и показано, что рабочее колесо не выработало своего ресурса, хотя срок службы оборудования превысил нормативный. В настоящей работе рассматривается эффективность использования водотока действующим оборудованием и пути ее повышения.

### Режимы работы ГЭС

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

Станционные данные о водно-энергетических показателях Красноярской ГЭС за 36 лет эксплуатации (с 1970 по 2006 гг. включительно) показаны в **табл. 1**. Для оценки эффективности использования водотока в таблице приведен показатель удельной выработки  $q_{гэс}$ , представляющий собой отношение суммарной выработки энергии за год  $W_{гэс}$  к общему объему воды, прошедшей через турбины,  $V_{гэс}$ . Наименьшие значения  $q_{гэс}$  имели место в первые годы эксплуатации Красноярской ГЭС, когда агрегаты работали основную часть времени на частичных мощностях с низким уровнем КПД. Эти годы (1970 и 1971) не будут приниматься во внимание при дальнейшем анализе.

Водохозяйственный режим работы ГЭС существенно изменился после 1988 г. Изменение связано прежде всего с характером наполнения и сработки водохранилища Красноярской ГЭС, вызванного вводом в постоянную эксплуатацию Саяно-Шушенской ГЭС (**рис. 1**). До 1989 г. водохранилище всегда (за исключением маловодных 1974 и 1981 гг.) заполнялось до отметки верхнего бьефа 240–243 м, что обеспечивало турбинам максимальный напор. С 1989 г. водохра-

нилище заполняется до максимальных отметок лишь эпизодически (в многоводные годы).

В соответствии с проектом, полезный объем водохранилища заключен в пределах отметок 243–225 м. Однако в реальности сработка водохранилища происходила в некоторые годы до более низких отметок (222–223 м). Сегодня отмечается не только снижение отметки заполнения водохранилища, но и уменьшение глубины его сработки.

Осредненные по годам водно-энергетические показатели ГЭС для рассматриваемых периодов и за всю эксплуатацию с 1972 г. представлены в **табл. 2**.

Фактическая среднемноголетняя выработка энергии ( $W_{гэс} = 18,14 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}$ ) на Красноярской ГЭС оказалась на 10% ниже проектной величины ( $W_{гэс,пр} = 20,4 \text{ млрд кВт}\cdot\text{ч}$ ). Проектная выработка достигается только в многоводные годы. Из-за снижения в последние годы отметки наполнения водохранилища выработка энергии уменьшилась от того же объема воды, проходящего через турбины (**рис. 2**).

Холостые сбросы воды за исследованный эксплуатационный период (с 1972 по 2006 гг. включительно) наблюдались девять раз при следующих по водности условиях (**табл. 3**).

Непонятная ситуация наблюдалась на ГЭС в 1985 г. Через гидротурбины пропускался сниженный объем воды, по сравнению с реально возможным, а более 10% от общего объема через гидроузел составил холостой сброс. Несмотря на высокую водность, выработка энергии оказалась в этот год близкой к среднемноголетней. Видимо, упущениями в прогнозах водности паводка можно объяснить холостые сбросы в годы, отмеченные звездочками в **табл. 3**. Приток воды оказался здесь меньше объема, сброшенного из водохранилища.

Установленная мощность Красноярской ГЭС никогда не использовалась полностью, даже при пропуске холостых сбросов воды через гидроузел. Иллюстрацией сказанному служат

Годы	Объем притока в водохранилище, км³	Объем воды через гидроузел, км³			Отметка ВБ, м		Напор, м		Выработка энергии, млрд кВт·ч			Уд. выработка, кВт·ч/м³	Число часов работы в генераторном режиме, ч·10³		
		Всего	Через турбину	Холостой сброс	Макс.	Мин.	Макс.	Мин.	Всего	Агр. 1–6	Агр. 7–12		Всего	Агр. 1–6	Агр. 7–12
2006	117,2	115,5	97,90	17,6	242,83	230,75	94	83	21,7	13,2	8,5	0,222	50262	35001	15261
2005	83,58	81,95	81,95		238,44	231,13			17,8	13,1	4,8	0,217	42321	30647	11674
2004	96,53	97,84	96,04	1,80	242,39	231,59			21,3	13,1	8,2	0,222	48993	30253	18740
2003	87,82	78,91	78,91		237,89	227,42	91	81	16,7	12,2	4,5	0,212	41513	30111	11402
2002	75,79	84,08	84,08		235,88	230,98	89	84	17,9	11,8	6,1	0,213	44538	28834	15704
2001	100,03	96,15	95,87	0,28	241,12	228,28	93	81	21,0	13,0	8,0	0,219	49825	30612	19212
2000	84,27	78,58	78,58		238,58	227,19	92	80	16,8	12,8	4,0	0,214	41996	31892	10105
1999	77,31	75,77	75,77		235,79	226,21			15,6	13,3	2,3	0,206	41448	34988	6460
1998	69,38	73,75	73,75		232,87	227,44			14,9	12,9	2,0	0,202	40816	34950	5866
1997	91,77	90,37	90,37		234,74	224,43			18,5			0,205	47482	35719	11764
1996	77,65	87,59	87,59		232,59	226,80			17,8			0,203	47860	34851	13009
1995	99,57	100,44	97,84	2,60	242,74	232,07			21,5	14,3	7,2	0,220	55156	35509	19647
1994	90,15	84,44	84,44		239,25	228,96			18,1	14,3	3,8	0,214	46422	35717	10705
1993	83,76	91,87	91,87		236,84	229,39			19,6			0,213	50042	35393	14649
1992	96,79	95,06	93,86	1,20	242,90	230,72			20,6			0,219	54496	37468	17028
1991	85,63	72,85	72,85		238,37	227,87			15,4			0,211	40962	35073	5889
1990	73,26	70,33	70,33		230,79	223,39	85	77	13,7			0,195	39860	34948	4912
1989	63,70	78,69	78,69		235,84	228,02			16,5			0,210	44845	35309	9537
1988	94,87	100,58	93,48	7,10	242,67	230,46	96	83	20,7			0,221	52239	36412	15827
1987	82,85	85,19	85,19		242,90	231,43	96	84	19,7			0,231	49457	36532	12925
1986	81,66	80,36	80,36		242,96	232,49	97	86	17,9			0,223	47389	36348	11041
1985	97,23	96,30	85,60	10,70	243,13	231,04	97	84	18,9			0,221	50530	30066	20463
1984	90,92	93,14	91,32	1,87	243,26	230,83			20,5			0,224	52012	24850	27163
1983	84,86	80,69	80,69		242,88	226,50			17,8			0,221	51270	27772	23498
1982	84,01	67,71	67,81		240,12	222,50			14,1			0,213	38113	20318	17795
1981	73,22	87,26	87,26		230,92	223,88			17,5			0,201	47630	28600	19030
1980	93,43	92,64	92,64		243,16	222,65			20,4			0,220	60651	31427	29223
1979	76,40	70,60	70,60		240,84	223,68			15,4			0,218	39719	28357	11362
1978	73,02	84,27	84,27		240,18	226,50	99	80	18,4			0,218	62269	33413	28855
1977	85,35	83,03	83,03		243,19	225,62			18,6			0,224	45255	31348	13907
1976	75,68	75,11	75,11		242,90	227,84			16,9			0,225	41479	29125	12354
1975	84,70	74,56	74,56		242,74	224,03	99	75	16,4			0,220	41689	25663	16026
1974	63,98	71,93	71,93		237,85	226,64			15,5			0,215			
1973	97,72	100,52	100,52		242,49	223,62			21,5			0,214			
1972	92,46	89,74	87,67	2,07	243,40	228,28	99	80	19,1			0,218			
1971	78,65	80,51	80,51		242,27	226,55	99	62	16,7			0,207			
1970	108,19	97,60	90,28	7,32	243,06	221,97			18,1			0,200			
Среднее многолетнее значение	<b>85,77</b>	<b>85,57</b>	<b>84,15</b>						<b>18,1</b>			<b>0,215</b>			

**Табл. 1. Водно-энергетические данные по Красноярской ГЭС**

Период работы ГЭС	Объем притока в год $V_{прит}$ , км³	Объем воды через турбины в год $V_{турб}$ , км³	Годовая выработка энергии $W_{гэс}$ , млрд кВт·ч	Удельная выработка $q$ , кВт·ч/м³
1972–1988 гг.	84,26	83,06	18,21	0,219
1989–2006 гг.	86,34	85,04	18,08	0,212
1972–2006 гг.	85,33	84,08	18,14	0,216

**Табл. 2. Осредненные водно-энергетические показатели Красноярской ГЭС**

Год	Объем притока в водохранилище, км³	Объем воды, км³			Продолжительность холостого сброса, час	Расход через водослив, км³/час	Выработка энергии на ГЭС, млрд кВт·ч
		всего	через турбины	холостой сброс			
2006	117,20	115,50	97,90	17,6		21,7	
2004*	96,53	97,84	96,04	1,8	408	21,3	
2001	100,03	96,15	95,87	0,28	120	21,0	
1995*	99,57	100,44	97,84	2,6	528	21,5	
1992	96,79	95,06	93,86	1,2	288	20,6	
1988*	94,87	100,58	93,48	7,1	600	20,7	
1985	97,23	96,30	85,60	10,7	1656	18,9	
1984*	90,92	93,14	91,32	1,82	408	20,5	

Примечание: \* объем воды через гидроузел превышал приток в водохранилище.

**Табл. 3. Холостые сбросы воды на Красноярской ГЭС**

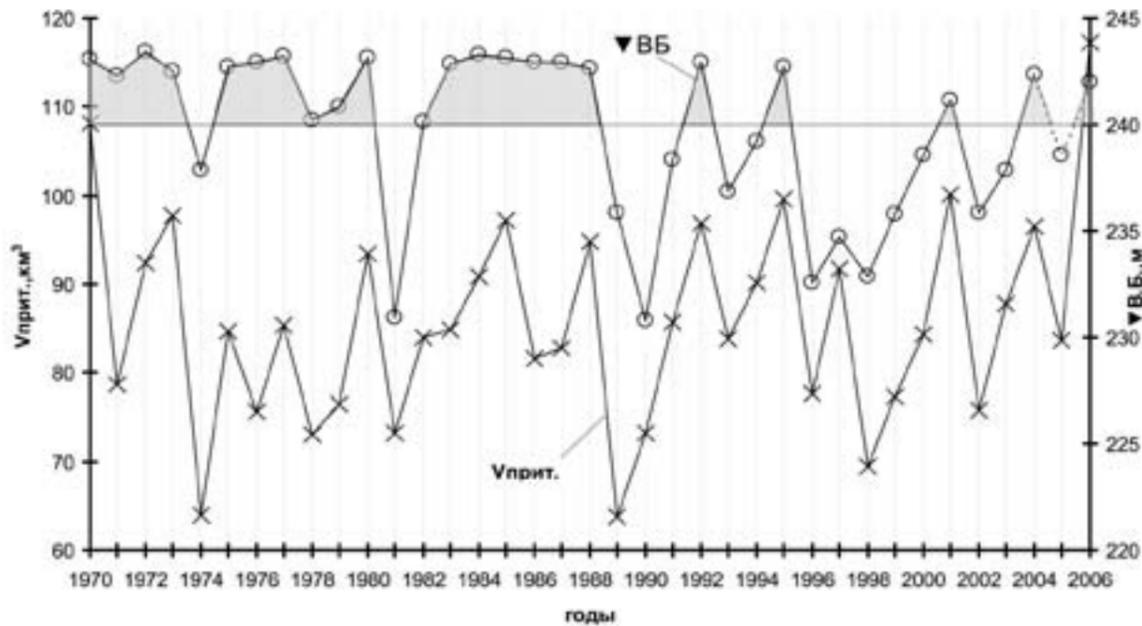


Рис. 1. Изменение объема притока воды  $V_{\text{прит}}$  и максимальной отметки ВБ по годам

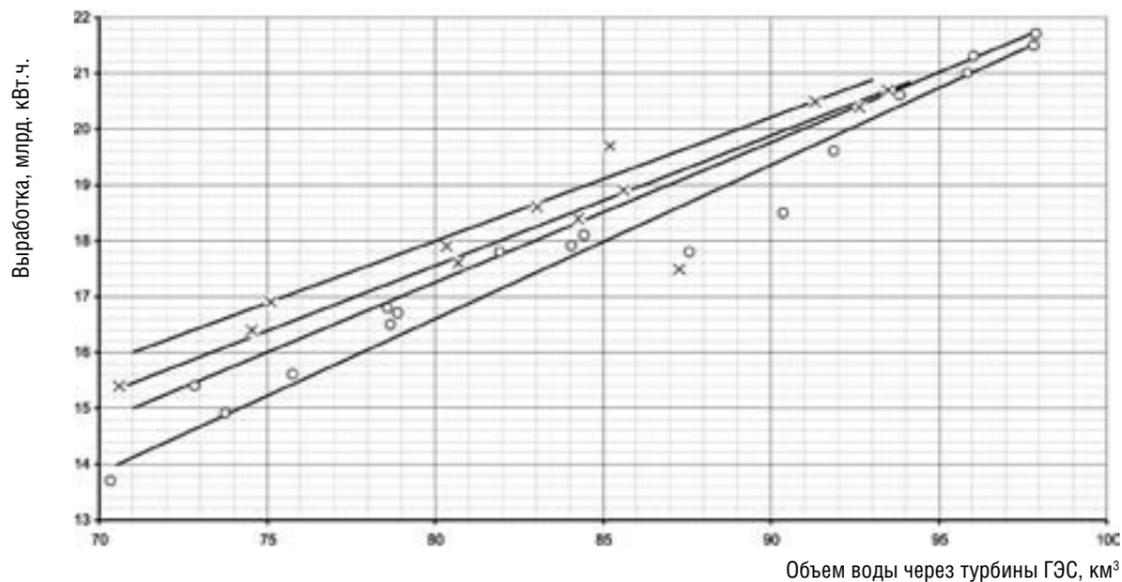


Рис. 2. Зависимость выработки электроэнергии от объема воды через турбины Красноярской ГЭС (1972–1988 и 1989–2006 гг.)

топограммы  $H-N_{\text{гэс}}$ , построенные для многолетних условий на рис. 3. В клетках топограмм проставлена продолжительность (в часах за год) различных сочетаний  $H$  и  $N_{\text{гэс}}$ . Топограммы отражают условия работы ГЭС в советское время и в послеперестроечный период в экономике страны.

По информации специалистов ГЭС, причинами ограничения проектной максимальной мощности являются недостаточная пропускная способность электрической сети (мощность, отвечающая длительному допустимому току по нагреву проводов ВП 220 кВ, составляет порядка 2400 МВт) и плохое планирование выработки энергии по тепловым и гидравлическим станциям. Кроме того, имеются ограничения на максимальную отметку нижнего бьефа, что также снижает возможности использования установленной мощности ГЭС.

**Режимы работы гидротурбин**

Подробнее изучение режимов самих турбин с учетом точного регулирования выполнялось по агрегатам 2 и 3 по методике, изложенной в работе [2]. Обследование режимов выполнялось выборочно по отдельным годам из советского периода эксплуатации (1985, 1986, 1987, 1988 гг.) и после перестроечного периода (1990, 2001, 2002, 2003, 2006 гг.). Пример топограмм распределения режимных параметров в поле эксплуатационной характеристики агрегата 2 дан на рис. 4. Из представленных материалов следует, что гидроагрегаты всегда работали в оптимальных по КПД режимах. Такая эксплуатация обеспечивает получение максимальной выработки энергии от проходящего через турбину объема воды.

По каждой из топограмм были рассчитаны объемы воды, прошедшие через турбину при различных напорах  $V_T(H)$ . На-

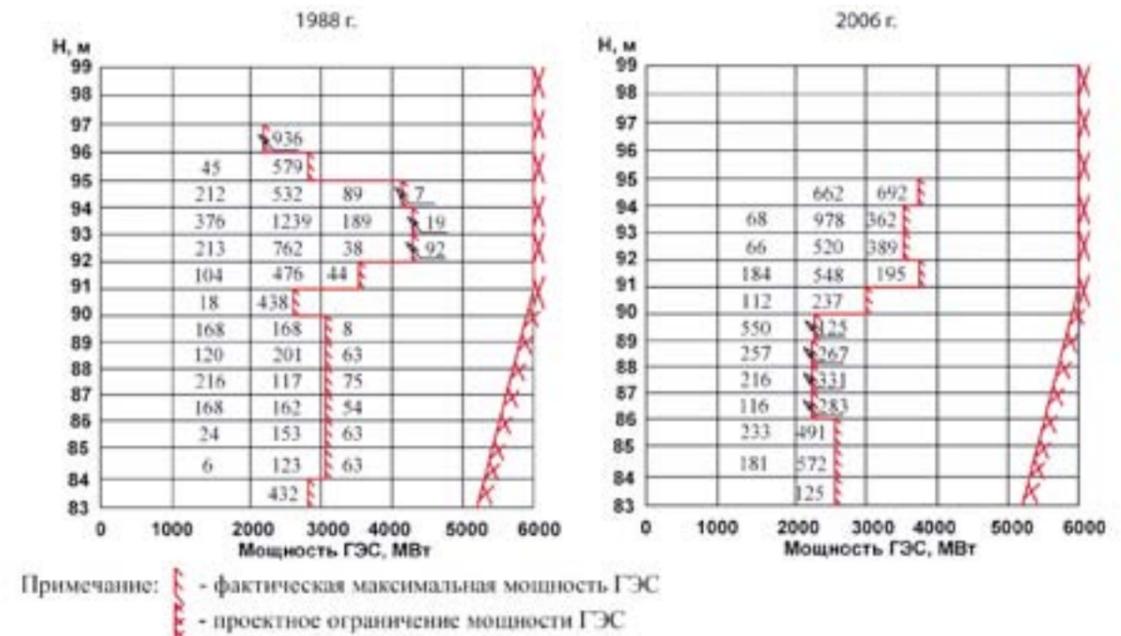


Рис. 3. Топограммы режимов работы Красноярской ГЭС в многолетнем году

хождение объемов воды осуществлялось на основе значений КПД, указанных на эксплуатационной характеристике агрегата, и сведений о продолжительности его работы в различных клетках топограммы  $H-N_a$ . В расчетах использовалась эксплуатационная характеристика, разработанная Ленгидропроектом по данным натурных испытаний. Объем воды, прошедший через турбину при напоре  $H_j$ , равен:

$$V_T(H_j) = \frac{1}{9,81 \cdot H_j} \cdot \sum_i \frac{N_{ai}}{\eta_{ai}(H_j, N_{ai})} \cdot t(H_j, N_{ai}),$$

где:  $N_{ai}$ ,  $\eta_{ai}(H_j, N_{ai})$  — соответственно мощность и КПД агрегата для  $i$ -го интервала мощности при напоре;  $t(H_j, N_{ai})$  — длительность работы агрегата в  $i$ -том интервале мощности при напоре  $H_j$ .

Суммированием объемов воды при разных напорах находится общий объем воды через турбину  $\Sigma V_T(H)$ .

В обобщенном виде эти сведения представлены в табл. 4. Если в советские годы большая часть объемов воды проходила через турбину при напорах  $H = 92-97$  м, то в последние 20 лет максимальные напоры снизились в среднем на 3–4 м. Особенно низкие напоры имели место в 1990 г. (максимальное значение напора в этот год не превышало 86 м). Снижение напора произошло в результате того, что в последние годы водохранилище не стало заполняться до проектной максимальной отметки. Обращает на себя внимание также факт более глубокой сработки водохранилища в советские годы (колебания напора достигали 14 м).

Смещение работы агрегатов Красноярской ГЭС в область пониженных напоров привело, естественно, к снижению эффективности использования водотока. Если в советские годы удельная выработка энергии составляла  $q = 0,22-0,23 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ , то теперь она равна  $q = 0,20-0,22 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$  (табл. 5). Чем до меньшей отметки заполняется водохранилище (меньше максимальное значение напора), тем ниже при прочих равных условиях эффективность использования водотока (величина  $q$ ).

Обработка топограмм в соответствии с изложенной в работе [2] методикой позволила получить вероятностную за-

кономерность использования нормированной мощности агрегата в энергосистеме. Под нормированной мощностью  $N_i$  понимается отношение мощности агрегата  $N_{ai}$  к максимальной для данного напора эксплуатационной мощности ( $N_i = N_{ai} / N_{amax}$ ).

Вероятность нормированной мощности  $P(N_i)$  представляет собой отношение продолжительности работы агрегата с мощностью  $N_{ai}$  к общему времени наработки машины в генераторном режиме обследуемого года.

Вероятностные распределения нормированной мощности для агрегатов 2 и 3 приведены в табл. 6.

Основную часть времени агрегаты, как видим, используются в интервале 0,80–0,95 от максимально возможной мощности для данного напора ( $H = const$ ). Такой характер использования мощности агрегата является нетипичным для отечественной гидроэнергетики. Преобладающую часть времени турбины работают обычно на предельных или близких к ним мощностным нагрузкам (0,85–1,00)• $N$ .

Характеристика кавитационных условий работы турбин отражена в данных табл. 7. Приведенные в таблице сочетания  $H$  и  $H_s$  относятся к самым неблагоприятным, которые могут встречаться на ГЭС при работе с большой суммарной нагрузкой  $N_{\text{гэс}} \geq 3100 \text{ МВт}$ .

Как видим, существующие на ГЭС отметки нижнего бьефа гарантируют турбинам практически всегда высоты отсасывания  $H_s = -6,5$  м и ниже при всех возможных значениях напора.

Приведенные режимные данные (см. табл. 4, 6, 7) являются основой для выбора типа и параметров новой турбины с улучшенными энергетическими показателями.

Изложенные выше данные по режимам характеризуют условия работы первой группы машин (агрегаты 1–6), связанной с линией электропередачи 220 кВ. Аналогичный анализ режимов агрегата 7, работающего на сеть напряжением 500 кВ, показал, что машины этой группы также эксплуатируются на оптимальных по КПД режимах. Основное отличие

Год	Агрегат	Напор на ГЭС, м																	Σ Vt (H)									
		77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94		94-95	95-96	96-97	97-98					
1985	A-2								0,56	1,78	1,26	0,54	0,80	0,27	0,35	0,31	0,81	0,35	1,37	1,11	1,72	0,33	11,56					
	A-3								0,53	0,45	1,82	0,07	0,15	0,37	0,32	0,87	0,40	0,63	1,01	1,79	1,87		10,31					
1986	A-2													1,15	1,10	0,84	0,44	1,25	0,68	0,76	0,54	1,10	0,71	4,09	0,39	13,04		
	A-3													0,44	0,76	0,38	0,45	0,87	0,09	0,82	0,71	0,78	1,19	4,63	0,22	11,35		
1987	A-2													0,37	0,90	0,46	0,25	0,72	0,89	0,30	0,04	0,41	0,28	0,99	3,74	0,30	9,65	
	A-3													0,45	0,61	0,38	0,19	0,31	0,73	0,35	0,10	0,49	0,47	2,40	2,74	0,35	9,57	
1988	A-2													0,85	0,37	0,45	0,65	0,77	0,71	0,63	0,84	0,95	1,46	1,60	1,39	1,08	1,64	13,40
	A-3														0,02	0,30	0,19	0,48	0,59	0,85	0,50	1,47	1,89	0,66	1,04	1,50	9,49	
1990	A-2	0,62	0,42	0,78	1,92	4,04	0,75	0,52	1,44	1,13																	11,62	
	A-3	0,73	1,52	1,09	0,84	1,70	0,98	0,74	1,34	0,23																	9,18	
2000	A-2				0,33	2,16	1,43	0,86	0,00	0,28	0,18	0,33	0,83	0,97	1,65	4,60											13,62	
	A-3					0,55	1,86	0,87	0,26	0,02	0,10	0,53	1,26	0,71	1,18	4,32	0,35										12,01	
2001	A-2					0,56	1,30	0,98	0,29	0,84	0,78	0,09	1,15	1,09	0,61	1,38	1,61	4,90									14,59	
	A-3					0,45	0,45	0,79	0,39	0,24	0,30	0,00	0,11	0,58	1,01	0,56	0,72	3,71									9,33	
2002	A-2													1,50	0,81	1,58	2,20	4,12	0,85								11,06	
	A-3													1,04	1,87	1,59	2,99	3,40	1,60								12,49	
2003	A-2					1,71	1,28	1,27	0,23	0,04	0,00	0,42	1,07	0,34	2,90	1,93											11,19	
	A-3					1,42	1,08	1,06	0,28	0,22	0,18	0,59	1,60	0,00	2,45	2,74											11,62	
2006	A-2								0,19	1,16	1,31	0,68	0,50	0,43	0,79	0,11	1,40	4,51	2,15	1,23							14,47	
	A-3									0,89	0,44	0,67	0,76	0,80	0,97	0,52	1,24	0,91	0,52	0,79							8,51	

Табл. 4. Объемы воды, прошедшие через турбины 2 и 3 Красноярской ГЭС при различных напорах V<sub>г</sub>, км<sup>3</sup>

№ агр.	Параметр	1985	1986	1987	1988	1990	2000	2001	2002	2003	2006
A-2	H <sub>max</sub> , м	97-98	97-98	96-97	96-97	85-86	91-92	93-94	89-90	91-92	94-95
	Σt, час	6272	7269	5228	7212	6500	7279	7422	5756	5879	5880
	ΣV, км <sup>3</sup>	11,56	13,04	9,65	13,40	11,62	13,62	14,59	11,06	11,19	14,47
	ΣW, млрд кВт*ч	2,56	2,95	2,17	3,01	2,28	2,90	3,17	2,33	2,37	2,57
	q, кВт*ч/м <sup>3</sup>	0,22	0,23	0,23	0,22	0,20	0,21	0,22	0,21	0,21	0,18
A-3	H <sub>max</sub> , м	96-97	97-98	96-97	96-97	85-86	92-93	93-94	89-90	91-92	94-95
	Σt, час	5776	6414	5333	5187	5057	6386	4761	6420	6125	4278
	ΣV, км <sup>3</sup>	10,31	11,35	9,57	9,49	9,18	12,01	9,33	12,49	11,62	8,51
	ΣW, млрд кВт*ч	2,29	2,59	2,14	2,16	1,80	2,57	2,01	2,63	2,47	1,85
	q, кВт*ч/м <sup>3</sup>	0,22	0,23	0,22	0,23	0,20	0,21	0,22	0,21	0,21	0,22

Табл. 5. Водно-энергетические показатели агрегатов 2 и 3 по годам

в работе машин 7-12 от агрегатов первой группы заключается в том, что они существенно меньше используются в генераторном режиме. Особенно большая разница по числу часов работы в генераторном режиме (более чем в три раза) имела место в период с 1986 по 2000 гг. Сказанное иллюстрируется данными табл. 8, в которой показана относительная продолжительность работы турбин ГЭС в разные годы.

Относительная продолжительность работы турбин в генераторном режиме K<sub>ГЕН</sub> есть:

$$K_{ГЕН} = \frac{t_{ГЕН}}{t_K}$$

где: t<sub>ГЕН</sub> — число часов работы машины в генераторном режиме в году; t<sub>К</sub> — календарное число часов в году.

Зато относительная продолжительность работы в режиме синхронного компенсатора для агрегатов 7-12 на порядок выше, чем агрегатов 1-6. Относительная продолжительность работы агрегатов в режиме синхронного компенсатора K<sub>СК</sub> равна:

$$K_{СК} = \frac{t_{СК}}{t_K}$$

где t<sub>СК</sub> — число часов работы машины в режиме синхронного компенсатора.

Дополнительный расход активной электроэнергии, необходимой для работы агрегатов ГЭС в режиме синхронно-

го компенсатора, оценивается, в среднем, в 70-80 млн кВт\*ч, что составляет ≈0,4% от среднееголетней выработки энергии Красноярской ГЭС.

Время нахождения в резерве у агрегатов первой группы в два раза меньше, чем у машин 7-12. Относительная продолжительность нахождения агрегатов в резерве K<sub>рез</sub> находится по формуле:

$$K_{рез} = \frac{t_{рез}}{t_K}$$

где t<sub>рез</sub> — число часов нахождения машины в резерве в течение года.

Относительная продолжительность нахождения агрегатов ГЭС в простоях (в ремонте или реконструкции) есть:

$$K_{пр} = \frac{t_{пр}}{t_K}$$

где t<sub>пр</sub> — время нахождения агрегата в простое (в ремонте или реконструкции) в течение года.

Как показывают статистические данные, агрегаты 1-6 находились за период с 1975 по 2005 гг. в простоях на 30% дольше по времени, чем агрегаты 7-12.

**Энергетические характеристики гидротурбин**

Энергетические испытания выполнялись индексным (относительным) методом. В таких испытаниях вместо абсолютного расхода воды через турбину измеряется та или иная величина, пропорциональная расходу воды. Обычно в качестве

$$\eta_{ai} = \frac{\eta_{a макс}}{A \cdot \eta_{a макс}} \cdot A \cdot \eta_{ai} = \frac{90}{A \cdot \eta_{a макс}} \cdot A \cdot \eta_{ai}$$

где: η<sub>ai</sub> — абсолютное значение КПД агрегата на i-м режиме; A·η<sub>ai</sub> — индексное значение КПД агрегата на i-м режиме.

На агрегатах Красноярской ГЭС расходомерные створы вышли из строя, и поэтому провести энергетические испытания индексным методом в классической форме невозможно. Вместо перепада Δh в энергетических испытаниях ЦКТИ регистрировалась скорость потока вертушкой, установленной на входе в трубопровод перед сороудерживающей решеткой. Для установки вертушки сороудерживающей решетки поднимались, и, при необходимости, выполнялась их очистка от мусора. В этом случае расход воды Q пропорционален скорости вращения вертушки (Q = k...n), а формула для определения индексного КПД имеет вид:

$$A \cdot \eta_a = \frac{N_a}{n \cdot H}$$

Для повышения достоверности замеров на входе в трубопровод устанавливались две вертушки, т. е. их показания дублировались. При расчетах индексного КПД использовались среднестатистические показания вертушек п.

Мощность агрегатов измерялась приборами класса 0,5, а напор регистрировался по разности уровней верхнего и нижнего бьефов, т. е. измерялся напор блока H<sub>бл</sub>.

Энергетические испытания выполнялись на всех агрегатах Красноярской ГЭС, кроме агрегата 11, который находился в ремонте. Напор блока во время испытаний практически оставался неизменным H<sub>бл</sub> = 91,3-91,7 м.

Максимальное значение индексного КПД по агрегатам ГЭС оказалось следующим:

- A·η<sub>а макс</sub> = 0,094 — агрегат 3;
- A·η<sub>а макс</sub> = 0,093 — агрегаты 2, 4, 8, 10;
- A·η<sub>а макс</sub> = 0,0926 — агрегат 6;
- A·η<sub>а макс</sub> = 0,092 — агрегаты 1, 7, 12;
- A·η<sub>а макс</sub> = 0,091 — агрегат 5;
- A·η<sub>а макс</sub> = 0,088 — агрегат 9.

Полагалось, что разница в индексных значениях КПД A·η<sub>а макс</sub> = 0,091-0,094 связана с измерительными погрешностями и во всех случаях должна приравниваться к одному и тому же абсолютному уровню КПД η<sub>а макс</sub> = 90% (это значение КПД получено Ленгидропроектом в натурных испытаниях с замером абсолютного расхода воды через турбину).

Что касается агрегата 9, то низкое значение индексного КПД (A·η<sub>а макс</sub> = 0,088) не случайно. Даже при самой оптимистической оценке, абсолютный уровень КПД этой машины не может быть выше η<sub>а макс</sub> = 87%, а при пессимистической оценке он равен η<sub>а макс</sub> = 84%.

В соответствии с принятыми допущениями, построены рабочие характеристики агрегатов Красноярской ГЭС η<sub>а</sub> = f(N<sub>а</sub>) при H<sub>бл</sub> = const, пример которых показан на рис. 5.

Агрегаты имеют индивидуальные отличия по местоположению оптимальной зоны по КПД и протяженности этой зоны. В табл. 9 приведены значения КПД агрегатов на различных мощностных нагрузках.

Основываясь на данных испытаний, было сделано ранжирование агрегатов по их энергетическим качествам. Лучшими считались такие машины, которые имели наиболее широкий интервал мощностных нагрузок ΔN с уровнем η<sub>а</sub> ≥ 89% (при таком значении КПД надежно определяются по рабочим характеристикам η<sub>а</sub> = f(N<sub>а</sub>) границы интервала ΔN). Результаты

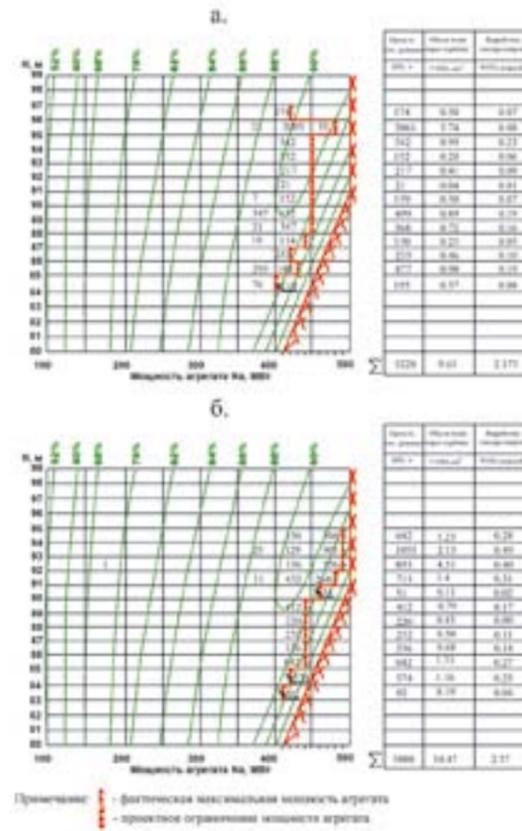


Рис. 4. Топограммы режимов работы агрегата 2: а — 1987 г.; б — 2006 г.

такой величины выступает перепад давления в расходомерном створе спирали Δh. Между абсолютным расходом воды Q и перепадом давления Δh существует следующая зависимость: Q = k√Δh, где k — неизвестный постоянный коэффициент.

Значение КПД агрегата находится из выражения:

$$\eta = \frac{N_a}{9,81 \cdot Q \cdot H}$$

где: N<sub>а</sub> — мощность агрегата; Q — расход воды через турбину; H — напор.

Подставляя вместо Q значение k√Δh, получаем

$$A \cdot \eta_a = \frac{N_a}{\sqrt{\Delta h} \cdot H}$$

где: A — постоянный неизвестный коэффициент (A = 9,81·k).

Измеряя указанные в формуле величины, можно получить индексные значения КПД на различных режимах и определить тем самым оптимальную зону режимов турбины по КПД. Однако абсолютное значение КПД агрегата остается в этих испытаниях неизвестным, т. к. не регистрируется абсолютный расход воды.

Чтобы перейти от индексных значений КПД к абсолютным, делается следующее допущение. Полагается, что максимальному индексному КПД A·η<sub>а макс</sub> соответствует максимальный КПД агрегата η<sub>а макс</sub>, полученный в натурных испытаниях с измерением абсолютного расхода воды. По данным испытаний Ленгидропроекта, максимальное значение КПД агрегата составляет η<sub>а макс</sub> = 90%. Формула пересчета индексных значений КПД в абсолютные принимает в этом случае вид:

Год	Агрегат	Интервалы нормированной мощности N															
		0,2-0,25	0,25-0,3	0,3-0,35	0,35-0,4	0,4-0,45	0,45-0,5	0,5-0,55	0,55-0,6	0,6-0,65	0,65-0,7	0,7-0,75	0,75-0,8	0,8-0,85	0,85-0,9	0,9-0,95	0,95-1,0
1985	A-2			0,0005	0,001	0,001				0,002	0,013	0,071	0,085	0,274	0,44	0,106	0,007
	A-3	0,005	0,006	0,002	0,0003	0,003	0,004	0,001		0,008	0,029	0,097	0,101	0,394	0,283	0,068	
1986	A-2					0,003	0,003	0,0001				0,111	0,155	0,339	0,307	0,072	0,010
	A-3	0,003	0,003	0,001	0,001	0,007	0,006			0,004	0,074	0,090	0,434	0,320	0,057	0,003	
1987	A-2											0,022	0,055	0,392	0,441	0,090	
	A-3			0,016	0,016							0,056	0,11	0,382	0,389	0,030	0,001
1988	A-2											0,023	0,052	0,404	0,389	0,132	
	A-3			0,003	0,003	0,0004	0,001	0,001				0,029	0,055	0,487	0,375	0,046	
1990	A-2										0,045	0,110	0,141	0,256	0,374	0,070	0,004
	A-3	0,0002	0,0004	0,0002							0,016	0,081	0,128	0,232	0,351	0,175	0,017
2000	A-2									0,003	0,007	0,036	0,072	0,328	0,395	0,155	0,005
	A-3									0,003	0,003	0,025	0,066	0,378	0,398	0,127	0,0003
2001	A-2										0,006	0,023	0,194	0,256	0,401	0,120	
	A-3										0,005	0,024	0,214	0,239	0,425	0,093	
2002	A-2					0,0002	0,0002			0,0003	0,001	0,033	0,165	0,202	0,242	0,321	0,036
	A-3	0,0002	0,0003	0,0002						0,0002	0,0003	0,026	0,13	0,172	0,251	0,315	0,105
2003	A-2										0,0003	0,028	0,034	0,251	0,412	0,265	0,010
	A-3							0,002	0,003	0,001	0,0005	0,026	0,045	0,291	0,408	0,212	0,011
2006	A-2											0,003	0,003	0,119	0,19	0,453	0,232
	A-3				0,0002	0,014						0,002	0,003	0,135	0,274	0,449	0,123

Табл. 6. Распределение нормированной мощности агрегатов 2 и 3 Красноярской ГЭС по годам

Год	Параметры	Напор, м											
		84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96
1987	H <sub>с</sub> , м	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-5,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5
	t, час	91	174	74	104	28	40		10	49	8		32
	N <sub>ГЭС</sub> , МВт	3300	3600	3500	3500	3600	3500		3300	3500	3200		3200
1988	H <sub>с</sub> , м	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5	-6,5		-6,5	-9,5	-7,5	-7,5	
	t, час	63	63	54	75	63	8		44	92	19	7	
	N <sub>ГЭС</sub> , МВт	3100	3100	3100	3100	3100	3100		3600	4400	4400	4200	
2006	H <sub>с</sub> , м								-9,5	-9,5	-8,5	-6,5	
	t, час								195	385	362	692	
									3700	3500	3500	3700	

Табл. 7. Кавитационные условия работы турбины при суммарной нагрузке НГЭС ≥ 3100 МВт

Период эксплуатации	Группа агрегатов	Относительная продолжительность различных состояний			
		K <sub>ген</sub>	K <sub>ск</sub>	K <sub>рез</sub>	K <sub>пр</sub> (ремонт и реконструкция)
2001-2005	1-6	0,572	0,008	0,253	0,166
	7-12	0,292	0,147	0,402	0,160
1996-2000	1-6	0,655	0,001	0,128	0,216
	7-12	0,179	0,183	0,553	0,085
1991-1995	1-6	0,685	0,002	0,213	0,100
	7-12	0,252	0,212	0,459	0,077
1986-1990	1-6	0,682	0,006	0,243	0,069
	7-12	0,205	0,190	0,524	0,081
1981-1985	1-6	0,537	0,015	0,374	0,074
	7-12	0,348	0,086	0,493	0,073
1975-1980	1-6	0,580	0,022	0,271	0,127
	7-12	0,263	0,077	0,565	0,095
Среднее значение за весь период эксплуатации	1-6	0,617	0,009	0,248	0,126
	7-12	0,257	0,147	0,501	0,095

Табл. 8. Относительная продолжительность нахождения агрегатов Красноярской ГЭС в различных состояниях по годам

ранжирования (в порядке снижения энергетических качеств турбин) показаны в табл. 9.

По такому ранжированию некоторые агрегаты попали в одну группу. Для их разграничения было выполнено дополнительное ранжирование по критерию ширины мощностного интервала с оптимальными (максимальными) значениями КПД  $\eta_{a \text{ макс}} = 90\%$ . В окончательном виде распределение агрегатов Красноярской ГЭС по их энергетическим качествам представлено в табл. 10.

В более наглядной форме агрегаты располагаются в порядке снижения энергетических качеств следующим образом:

Место в ранжировании	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер агрегата	2	8	7	12	6	5	10	1	3	4	9

Причина низких энергетических качеств турбины 9 (по ранжированию она занимает последнее место) пока не ясна. Но сам факт низкого уровня КПД этой машины не вызывает сомнения. На рабочих открытиях направляющего аппарата эта турбина развивает меньшую мощность по сравнению с остальными машинами, причем разница увеличивается с ростом открытия направляющего аппарата (табл. 11). Причины неудовлетворительных энергетических качеств турбины 9 остаются пока невыясненными.

Энергетические испытания агрегатов выявили режимы с низкочастотными пульсациями потока «жгутового» происхождения. Эти режимы приходится на следующие мощности при  $H_{\text{он}} = 91,5$  м:

- агрегат 1 — N<sub>a</sub> = 305-385 МВт;
- агрегат 2 — N<sub>a</sub> = 185-320 МВт;
- агрегат 3 — N<sub>a</sub> = 235-385 МВт;
- агрегат 4 — N<sub>a</sub> = 255-375 МВт;
- агрегат 5 — N<sub>a</sub> = 225-310 МВт;
- агрегат 6 — N<sub>a</sub> = 235-350 МВт;
- агрегат 7 — N<sub>a</sub> = 185-255 МВт;
- агрегат 8 — N<sub>a</sub> = 265-385 МВт;
- агрегат 9 — N<sub>a</sub> = 260-375 МВт;
- агрегат 10 — N<sub>a</sub> = 235-315 МВт;
- агрегат 12 — N<sub>a</sub> = 190-315 МВт.

Более точно неблагоприятная зона режимов с низкочастотными пульсациями потока может быть установлена по материалам вибрационных испытаний машин. Справедливо ради отметим, что эксплуатация Красноярской ГЭС не допускает работу гидроагрегатов в указанных неблагоприятных режимах.

Выполненная при напоре  $H_0 = 91,5$  м оценка энергетических качеств гидромашин показала, что они имеют индивидуальный характер. Принимая во внимание это обстоятельство, желательно уточнить для каждого агрегата оптимальную по КПД зону режимов в поле эксплуатационной характеристики  $H_0-N_a$ . Для этого необходимо провести аналогичные энергетические испытания всех гидротурбин при двух-трех других напорах (например, минимальном и максимальном).

Пересчет относительных значений КПД в абсолютные производился нами в предположении, что гидроагрегаты после 35 лет эксплуатации имеют максимальный КПД такой же, что был зафиксирован в испытаниях Ленгидропроекта ( $\eta_{a \text{ макс}} = 90\%$ ). В действительности абсолютный КПД машин должен быть сегодня ниже. Причины снижения КПД турбины могут быть разными: искажение профиля лопасти вследствие большого объема восстановительных ремонтных ра-

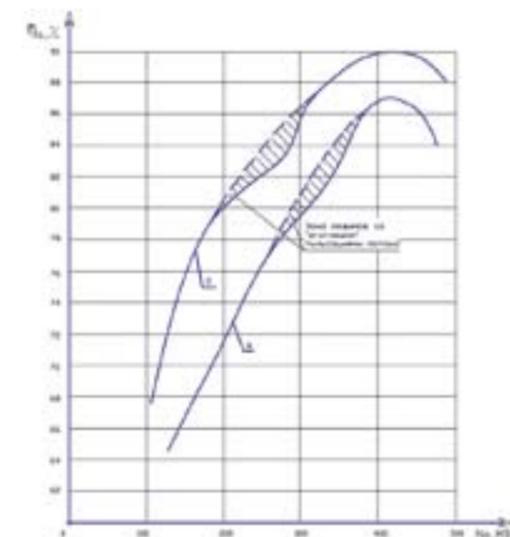


Рис. 5. Рабочие характеристики агрегатов 2 и 9  $\eta_a = f(N_a)$  при  $H_{\text{он}} = 91,5$  м

бот на колесе; увеличение шероховатости стенок спиральной камеры из-за коррозии металла; большие зазоры в лабиринтных уплотнениях. По опыту эксплуатации гидротурбин с большим сроком службы снижение КПД по сравнению с первоначальным уровнем достигает 2-3%. Чтобы оценить фактический уровень КПД гидротурбин Красноярской ГЭС после 35 лет эксплуатации, необходимо выполнить на одной из машин энергетические испытания с измерением абсолютного расхода воды вертушками.

**ВЫВОДЫ**

1. Гидротурбины Красноярской ГЭС эксплуатируются в оптимальных по КПД режимах, что обеспечивает максимальную выработку энергии от проходящего через них объема воды. Среднемноголетняя фактическая выработка энергии на ГЭС за период с 1972 по 2006 гг. ( $W_{\text{сп}} = 18,1$  млрд кВт\*ч) на 10% ниже проектной величины ( $W_{\text{пр}} = 20,4$  млрд кВт\*ч). Проектная выработка энергии достигается только в многоводные годы. Фактическая максимальная мощность ГЭС не превышает 4500 МВт.

После ввода в постоянную эксплуатацию Саяно-Шушенской ГЭС (1988 г.) водохранилище Красноярской ГЭС заполняется, как правило, до более низких отметок, чем в предыдущий эксплуатационный период. В результате снижения напора выработка энергии уменьшилась от того же объема воды, проходящего через турбины (см. рис. 2).

2. Получены исходные данные для выбора нового оборудования Красноярской ГЭС, а именно:

- распределение проходящих через турбину объемов воды при различных напорах (см. табл. 4);
- закономерности использования мощности агрегата в энергосистеме (см. табл. 6);
- характеристика кавитационных условий работы гидротурбины на ГЭС (см. табл. 7).

3. Выполнена оценка энергетических качеств всех гидроагрегатов ГЭС (за исключением агрегата 11, который находился в ремонте) при напоре блока  $H_{\text{он}} = 91,5$  м. Установлены индивидуальные отличия гидромашин. Гидроагре-

№ агр.	Мощность агрегата, МВт								Зона режимов по мощности с уровнем КПД $\eta_a \geq 89\%$		Ранжирование агрегатов по величине $\Delta N$
	150	200	250	300	350	400	450	490	ширина мощностного интервала $\Delta N$ , МВт	границы мощностного интервала, МВт	
1	71,0	77,5	80,5	83,5	85,5	89,0	90,0	88,0	75,0	400–475	6
2	75,5	80,0	82,0	85,0	88,5	90,0	90,0	88,0	110,0	360–470	1
3	72,0	78,0	81,8	82,5	87,0	89,6	89,6	87,0	75,0	385–460	6
4	72,5	79,0	82,0	83,3	87,0	90,0	88,5	86,5	70,0	370–440	7
5	70,0	78,0	82,3	85,3	87,8	90,0	89,6	86,0	85,0	375–460	4
6	69,4	78,5	84,0	85,8	88,4	89,8	90,0	84,5	95,0	370–465	3
7	74,0	78,5	82,0	84,0	86,8	89,4	90,0	90,0	95,0	395–490	3
8	70,0	77,7	83,6	83,2	85,6	89,5	90,0	88,6	100,0	385–485	2
9*	66,8	71,8	76,8	79,6	83,0	87,0	86,3	-	80,0	375–455	8
10	73,4	78,0	80,8	84,0	87,3	89,5	90,0	85,0	80,0	385–465	5
12	73,7	80,4	82,4	85,5	87,8	90,0	90,0	87,0	95,0	375–470	3

Примечание: \* для агрегата 9 оптимальная зона режимов по мощности указана для  $\eta_a \geq 87\%$ .

Табл. 9. Значения КПД агрегатов Красноярской ГЭС на различных мощностных нагрузках при напоре  $H_{\text{н}} = 91,5$  м, в %

Номер ранжировки по $\Delta N$ для $\eta_a \geq 89\%$	№ агрегата	Зона режимов с максимальным уровнем КПД $\eta_a \text{ макс} = 90\%$		Окончательное место агрегата в ранжировке
		ширина мощностного интервала $\Delta N$ , МВт	границы мощностного интервала $\Delta N$	
1	2	50	400–450	1
2	8	50	415–465	2
3	6	40	410–450	5
	7	80	410–490	3
4	12	50	400–450	4
	5	45	400–445	6
5	10	40	410–450	7
6	1	35	415–450	8
	3	30	410–440	9
7	4	20	390–410	10
8	9			11

Табл. 9. Значения КПД агрегатов Красноярской ГЭС на различных мощностных нагрузках при напоре  $H_{\text{н}} = 91,5$  м, в %

№ агр.	Открытие направляющего аппарата $S_{\text{шт}}$ (в мм)										
	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
1	24	65	113	165	221	272	328	381	430	466	490
2	26	70	121	170	221	275	331	385	432	468	490
3	21	66	126	168	221	275	331	384	431	467	489
4	20	63	107	165	220	275	326	374	424	466	485
5	22	63	112	166	221	274	327	377	425	464	486
6	26	67	120	170	223	272	328	380	428	466	486
7	26	69	121	169	222	273	325	378	426	462	487
8	27	71	119	171	223	273	327	378	429	467	491
9	23	65	112	164	222	274	320	369	414	446	468
10	25	68	119	169	220	268	323	376	423	457	480
12	22	70	121	170	227	280	325	376	421	454	478

Табл. 11. Мощностные характеристики агрегатов Красноярской ГЭС при  $H_{\text{н}} = 91,5$  м, в МВт

гаты ранжированы в порядке ухудшения их энергетических качеств (см. табл. 10). Наиболее низкие энергетические качества свойственны агрегату 9. При одинаковых открытиях направляющего аппарата эта турбина развивает меньшую мощность, по сравнению с остальными машинами, причем разница увеличивается с ростом открытия направляющего аппарата (см. табл. 11).

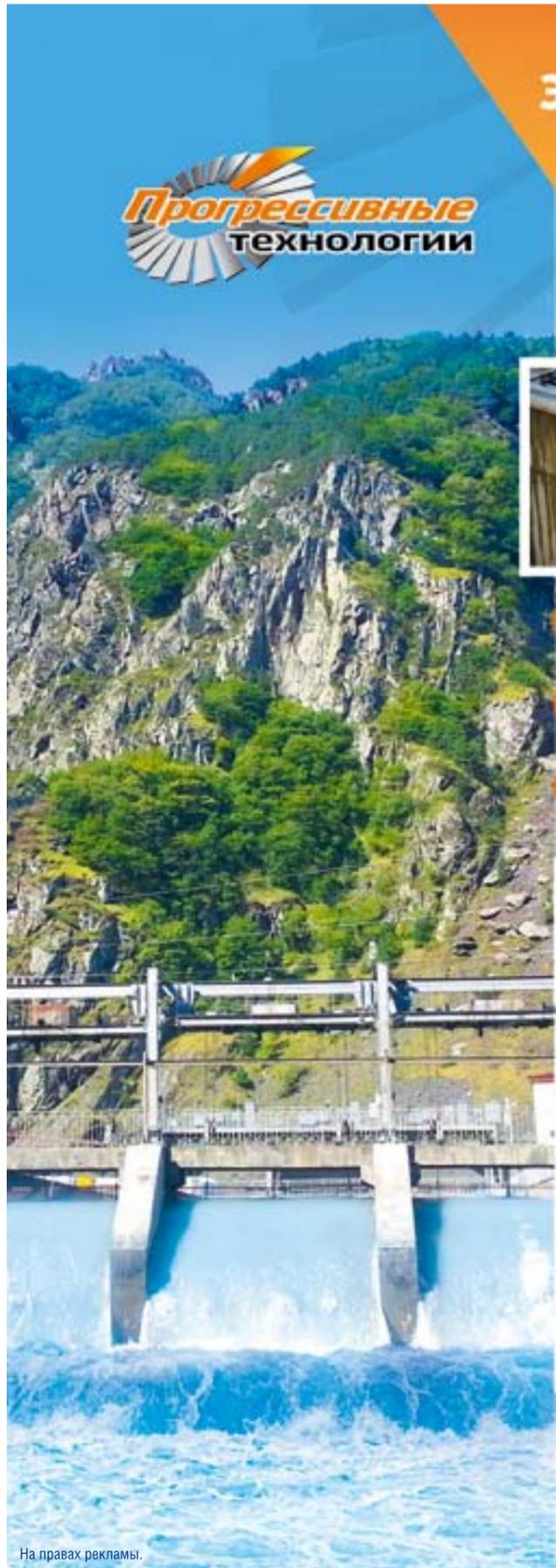
**ЛИТЕРАТУРА**

1. Иванченко И. П., Прокопенко А. Н. Анализ технического состояния действующего гидроэнергетического оборудования Красноярской ГЭС // Гидротехника. 2013. № 3.
2. Иванченко И. П., Абубакиров Ш. И. Методология реконструкции гидротурбинного оборудования действующих ГЭС // Гидротехническое строительство. 2010. № 9.

# ЭЛЕКТРОЦИЛИНДРЫ

для ГЭС, ГТС, СГТС







- Надежное и неприхотливое решение для водосбросных затворов и щитов.
- Высокоэффективный привод направляющих аппаратов.
- Лучшее решение для судоходных шлюзов.



Минимальное обслуживание

Низкое энергопотребление

Ручное дублирование



Быстрый ввод в эксплуатацию

Ход штока до 7 метров

Номинальные усилия до 1600 кН



Срок службы не менее 30 лет

Контроль усилия, скорости и положения в любой момент времени.

**Группа компаний «Прогрессивные Технологии»**

Россия, 109428, Москва, ул. Стахановская, 20  
Тел/факс: (495) 741-60-85 | info@p-techno.ru  
www.p-techno.ru




На правах рекламы.

# РЕКОНСТРУКЦИЯ ГИДРОТУРБИНЫ РЫБИНСКОЙ ГЭС

СКБ «Гидротурбомаш» ОАО «Силовые машины» (Санкт-Петербург)

**Колесников А. А.,**  
главный конструктор  
гидротурбин, начальник  
СКБ «Гидротурбомаш»

**Афанасьев А. М.,**  
зам. главного  
конструктора  
по регуляторному  
оборудованию

**Сапроненко Ю. В.,**  
начальник сектора  
поворотно-лопастных  
гидротурбин  
и насос-турбин

**Ильин С. Я.,**  
начальник сектора  
натурных испытаний  
и материалов

**Аннотация.** В настоящее время проводится реконструкция гидротурбин Рыбинской ГЭС, проработавших более 60 лет. Цель реконструкции: повышение мощности, КПД и обеспечение экологичности. Реконструкция включает механический и гидравлический проекты, обоснование прочности, модельные испытания и поставку. Рабочее колесо — экологически чистое, без масла в корпусе. В статье специалистов конструкторского бюро «Гидротурбомаш» ОАО «Силовые машины» отражены этапы реконструкции, параметры гидротурбины до и после реконструкции.

**Ключевые слова:** Рыбинская ГЭС, гидротурбина, реконструкция ГЭС, мощность, КПД, экологически чистое рабочее колесо.

**Abstract.** At the present moment the hydraulic turbines installed at Rybinskaya HPP that has been operating for more than 60 years is being refurbished. Purpose of refurbishment: to increase output and efficiency and to ensure environmental safety.

Refurbishment includes: mechanical and hydraulic design, strength analysis, model tests and delivery. The runner is environmentally safe, without oil in the runner hub.

**Keywords:** Rybinskaya HPP, hydraulic turbine, refurbishment, output, efficiency, environmentally safe runner.

Рыбинская ГЭС на реке Волге оборудована шестью вертикальными поворотно-лопастными гидротурбинами, которые были сданы в эксплуатацию в 50-х гг. прошлого столетия и к настоящему времени отработали более 60 лет. Модернизация первых двух турбин была проведена в 1990-х гг., модернизация третьего агрегата запланирована на 2013 г. Целью данной реконструкции является комплексная замена гидротурбинного оборудования на более современное, с повышением КПД гидротурбины, увеличением мощности и обеспечением экологической чистоты.

В процессе проектирования были проведены гидравлические исследования и расчеты, приемочные модельные испытания и прочностное обоснование конструкции.

Еще в конце 1970-х гг. ЛМЗ приступил к реализации программы создания экологически чистых поворотно-лопастных рабочих колес, т. е. колес, в корпусе которых отсутствует масло. С этой целью программой были предусмотрены разработка и исследование на стендах лабораторий и в натуральных условиях композитных материалов различной структуры и состава компонентов. В результате реализации программы были разработаны перспективные материалы для подшипников экологически-чистых рабочих колес гидротурбин: бронзофторопласт и углепластики с различными армирующими наполнителями и антифрикционными добавками. В настоящее время турбины с экологически чистыми рабочими колесами диаметром до 10,0 м успешно работают на Цимлянкой, Волжской, Жигулевской, Чебоксарской и других ГЭС.

Для гидротурбин Рыбинской ГЭС в конструкции антифрикционных втулок механизма поворота лопастей рабочего колеса принята углестеклоэпоксидная композиция.

## Основные параметры и характеристики гидротурбины

При реконструкции сохраняются:

• Количество агрегатов на ГЭС, шт. 6

• Напоры нетто, м:

максимальный	18;
расчетный	15;
минимальный	10.

- Диаметр рабочего колеса, м 9
- Высота отсасывания, м — 1,3
- Параметры турбины после реконструкции:
- Частота вращения, мин — 1
- номинальная 62,5
- Мощность гидротурбины, МВт
- максимальная при  $H_{\text{макс}} = 18$  м 70
- номинальная при  $H_p = 15$  м 70
- минимальная 45,8

## Проточная часть гидротурбины

Сложность реконструкции в первую очередь заключается в том, что, как правило, подлежат замене рабочие механизмы: колесо рабочее, вал турбины, штанги колеса рабочего, маслоприемник, подшипник направляющий, аппарат направляющий, сервомоторы аппарата направляющего и камера рабочего колеса при условии сохранения существующих спиральной камеры, статора и отсасывающей трубы. Это условие не позволяет реализовать возможности современной комплексной оптимизации формы проточной части для целей повышения энергокавитационных показателей.

Габариты проточного тракта гидротурбины показаны на рис. 1.

Проектирование заменяемых элементов проточной части, в частности лопастных систем рабочих колес, проводится с использованием современных методов математического моделирования, расчета и анализа трехмерного пространственного потока в проточной части гидротурбины. Применение этих расчетов позволяет более достоверно определить параметры потока: скорости и давления в любой точке проточного тракта, а также их интегральные значения. При этом производится согласование существующих (не изменяемых) элементов с новыми (проектируемыми) элементами проточной части гидротурбины. Для расчета и анализа трехмерного пространственного потока в проточной части гидротурбины были использованы 3D модели идеальной и вязкой жидкости в нестационарной постановке. Комплекс программ для реализации этих задач и программа математического моделиро-

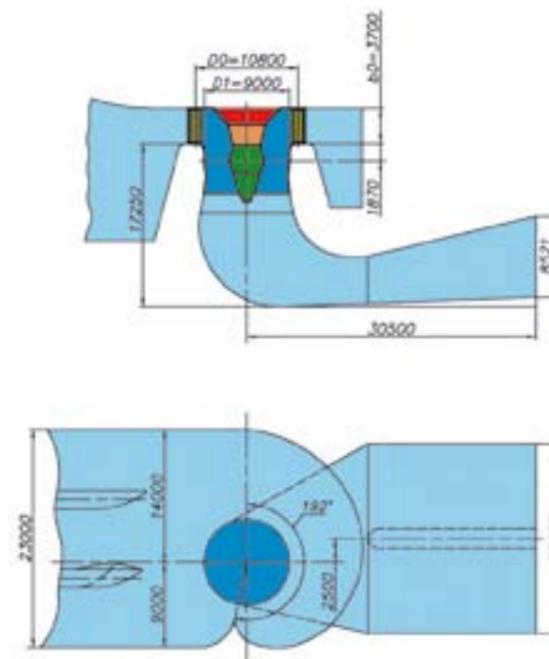


Рис. 1. Габариты проточного тракта гидротурбин Рыбинской ГЭС

вания элементов проточной части разработаны совместно с Институтом математики и Институтом вычислительных технологий Сибирского отделения РАН. Результаты сравнительных расчетов характеристик существующей и новой гидротурбины приведены на рис. 2.

В соответствии с техническим заданием, на ЛМЗ были проведены модельные гарантийные испытания гидротурбины Рыбинской ГЭС. Испытания проведены в соответствии со стандартом Международной электротехнической комиссии (МЭК, Публикация 60193) в присутствии представителей заказчика. Полученная максимальная мощность и максимальный КПД соответствуют гарантированным значениям. Разгонная частота вращения и максимальное осевое гидравлическое усилие не превосходят предельно допустимых значений, указанных в технических требованиях контракта.

## Устройство и работа гидротурбины

Гидротурбинная установка состоит из собственно поворотно-лопастной (ПЛ) турбины и системы автоматического управления и обеспечивает работу без постоянного присутствия персонала. Исполнение гидроагрегата вертикальное с опорой подпятника на нижнюю крестовину генератора (рис. 3).

Все узлы и механизмы гидротурбины подразделяются на три основные группы: облицовки и закладные части, рабочие и вспомогательные механизмы.

## Облицовки и закладные части

При проведении модернизации гидротурбинного оборудования используются существующие облицовки спиральной камеры в зоне статорных поясов, колонны статора и облицовка конуса отсасывающей трубы. К реконструируемым закладным частям относятся камера рабочего колеса и сопрягающий пояс.

Камера рабочего колеса представляет собой кольцевую конструкцию, формирующую конфигурацию проточной части турбины от нижнего кольца направляющего аппарата до конуса отсасывающей трубы, с которым она соединяется со-

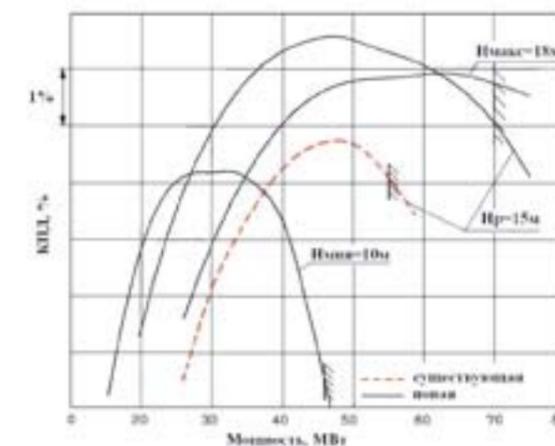


Рис. 2. Рабочие характеристики гидротурбины для напоров нетто 10, 15, 18 м

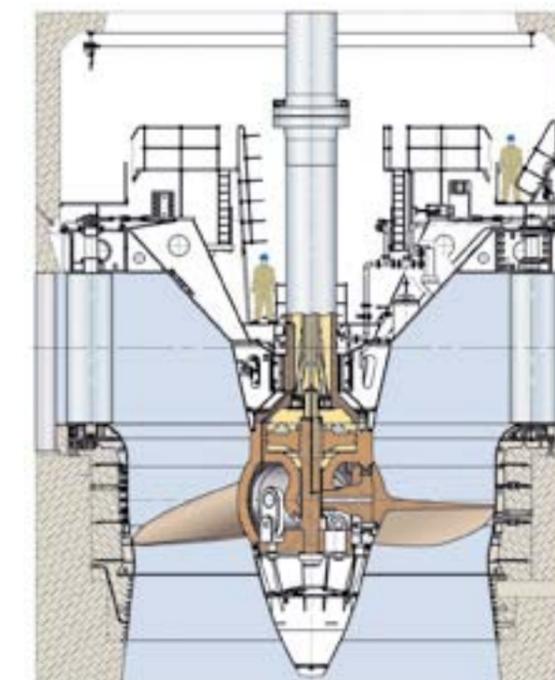


Рис. 3. Турбина гидравлическая

прягающим поясом. Конструкция камеры позволяет в процессе монтажа при помощи домкратов и талрепов выставить ее с большой точностью по чертежным размерам. Камера рабочего колеса воспринимает полную гидравлическую нагрузку, конструкция камеры обеспечивает ее надежную эксплуатацию без учета совместной работы с бетоном.

Сопрягающий пояс состоит из двенадцати частей, выполненных из кавитационно-стойкого материала с припуском для подгонки на монтаже, и связан с бетоном анкерами.

## Устройство и работа рабочих механизмов

К рабочим механизмам относятся: колесо рабочее (РК), вал турбины, штанги колеса рабочего, маслоприемник, подшипник направляющий, аппарат направляющий (НА), сервомоторы аппарата направляющего.

## Колесо рабочее

Колесо рабочее является основным органом гидротурбины, преобразующим энергию потока воды в механическую

Срок службы узлов трения, лет не более	20
Путь трения, км не более	30
Удельное давление, МПа не более	40
Скорость скольжения, м/с не более	0,05
Коэффициент трения в сухую и со смазкой	не более 0,1
Интенсивность изнашивания, мкм/км не более	21
Материал контртела	нержавеющая сталь
Твердость поверхности, НВ	не менее 230
Шероховатость поверхности, мкм	0,8

Табл. 1. Характеристики антифрикционного материала УСЭК

энергию вращения ротора генератора. Рабочее колесо имеет диаметр  $D1 = 9000$  мм и состоит из корпуса с диаметром сферы, равным  $0,4D1$ , четырех лопастей из кавитационно-стойкой нержавеющей стали, механизма поворота лопастей, сервомотора, расположенного в верхней части корпуса, днища и обтекателя. Материал, из которого изготовлены лопасти, допускает устранение повреждений заваркой без предварительного подогрева.

Разработанная конструкция экологически чистого рабочего колеса предусматривает работу механизма поворота лопастей при полном отсутствии смазки.

Механизм поворота лопастей расположен внутри корпуса и состоит из цапф, рычагов, серег, проушин и крестовины. Внутри цилиндра сервомотора при подаче масла под давлением в одну из его полостей перемещается чугунный поршень, закрепленный на штоке при помощи закладного кольца. Вместе с поршнем перемещается крестовина, закрепленная на нижнем конце штока специальной гайкой. Для уменьшения протечек масла между полостями открытия и закрытия по периферии поршня в двух пазах размещены поршневые кольца из чугуна. Для предотвращения возможности попадания масла из сервомотора в корпус рабочего колеса шток уплотняется пакетом уплотнительных манжет.

Лопастей с цапфами и рычагами посредством серег и проушин соединены с крестовиной, перемещение которой разворачивает их в заданное положение. Повороту поршня сервомотора и крестовины вокруг оси под действием касательных усилий при вертикальных перемещениях препятствуют четыре направляющие шпонки, крепящиеся к нижнему торцу корпуса рабочего колеса. Цапфы лопастей своими опорными поверхностями вращаются во втулках и упорных кольцах, расположенных в наружных и внутренних отверстиях корпуса рабочего колеса. В подшипниках скольжения и упорных кольцах механизма поворота лопастей используются вкладыши, выполненные из углестеклооксидной композиции (УСЭК) и не требующие смазки. Работоспособность узла без замены и ремонта — не менее 20 лет. Для предотвращения попадания твердых частиц и воды из проточного тракта в зону расположения механизма поворота лопастей и протечек из корпуса рабочего колеса в проточную часть по цилиндрической поверхности фланцев лопастей установлены съемные уплотнения с четырьмя кольцевыми манжетами двойного действия производства фирмы Garlock.

Конструкцией предусмотрена при необходимости замена манжетного уплотнения на штоке, а также уплотнений лопа-

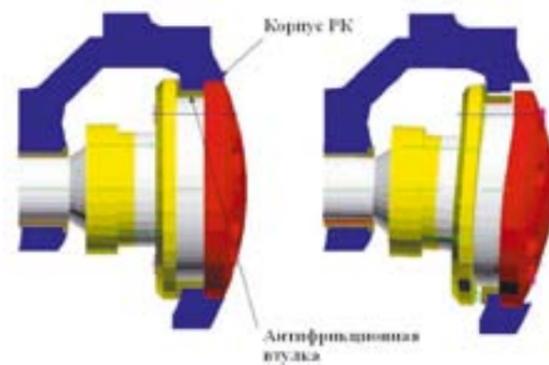


Рис. 4. Деформация деталей механизма поворота лопастей в процессе нагружения

стей без разборки рабочего колеса. Корпус рабочего колеса снизу закрыт днищем, в котором имеется два люка  $\varnothing 450$  мм и сливной клапан. Наружные и внутренние поверхности деталей рабочего колеса, выполненные из углеродистой стали, защищены надежными антикоррозионными покрытиями. Конструкцией предусмотрена возможность контроля работы уплотнительных элементов рабочего колеса.

Основные проблемы экологически чистых рабочих колес (отсутствие масла в механизме) состоят в создании надежных антифрикционных материалов для больших удельных давлений и обеспечении коррозионно-усталостной прочности механизма поворота лопастей. Проблема коррозионно-усталостной прочности решается путем выполнения деталей механизма поворота лопастей из нержавеющей стали.

Проблема создания антифрикционных материалов решалась на протяжении длительного срока. В течение последних сорока лет в лаборатории водяных турбин ЛМЗ и специализированных институтах, а также на ряде ГЭС были испытаны и опробованы в промышленной эксплуатации различные антифрикционные материалы, работающие без масляной смазки:

- СЭК (стеклооксидная композиция). Надежно работает в подшипниках лопаток НА и механизме их поворота. Однако для подшипников механизма поворота лопастей материал оказался непригоден.
- БФ (бронзофторопласт). Используется в судостроении и авиации; недостаточно надежен для рабочих колес диаметром больше 6 м. Работает без замечаний в механизмах поворота лопастей гидротурбин Нижне-Свирской, Цимлянской ГЭС и ГЭС Утанен (Финляндия).
- УСЭК (углестеклооксидная композиция) — изготовитель ОАО «ЦНИИСМ». На сегодняшний день наилучший материал для узлов трения механизма поворота лопастей экологически чистых рабочих колес; в настоящее время надежно работает на Волжской, Жигулевской, Нижне-Камской, Чебоксарской и Нижне-Свирской ГЭС.

Основные характеристики материала УСЭК приведены в табл. 1.

Результаты исследований и опыт эксплуатации экологически чистых безмасляных рабочих колес показали, что при выборе антифрикционных материалов недостаточно основываться на результатах классического лабораторного исследования (коэффициент трения, износ, водопоглощение и др.). Необходимо также учитывать реально действующие нагрузки, деформацию деталей механизма поворота и условия натурной эксплуатации (рис. 4).

Как показали структурные исследования, материал УСЭК имеет сложное слоистое строение. Благодаря этому он обладает уникальным комплексом трибологических свойств и по совокупным показателям превосходит существующие аналоги. В частности, для материала УСЭК перекосы механизма поворота не приводят к увеличению коэффициента трения.

#### Вал турбины

Вал турбины предназначен для передачи крутящего момента от рабочего колеса ротору генератора. Вал выполнен из двух частей, скрепленных между собой болтами. Диаметр вала — 1220 мм при толщине стенки 120 мм и общей длине 14900 мм. Нижний фланец вала является одновременно крышкой рабочего колеса. В месте установки направляющего подшипника вал имеет наплавку из нержавеющей стали для предохранения от коррозии.

#### Штанги

Штанги служат для подвода масла из маслоприемника в сервомотор рабочего колеса и отвода протечек масла из сервомотора в маслоприемник. Они расположены в центральном отверстии вала турбины. Внутренняя штанга, кроме того, является элементом обратной связи от поршня рабочего колеса.

Штанги выполнены в виде сварной конструкции из трех труб, проходящих одна внутри другой; по длине состоят из трех частей, соединенных между собой при помощи фланцев и шпилек. Штанги, подводящие масло под давлением к полостям сервомотора, нижним фланцем крепятся к валу турбины через основание, во втулке которого перемещается надставка штока рабочего колеса. Верхними фланцами штанги крепятся к штангам маслоприемника.

Общая длина штанг — 19300 мм.

При развороте лопастей рабочего колеса на открытие масло из маслоприемника под давлением поступает в нижнюю часть сервомотора (под поршень). При развороте лопастей рабочего колеса на закрытие масло из маслоприемника под давлением поступает в верхнюю часть сервомотора (над поршнем).

#### Маслоприемник

Маслоприемник предназначен для распределения подвода масла под давлением к полостям сервомотора рабочего колеса от главного золотника рабочего колеса регулятора и слива масла в сливной бак МНУ.

Маслоприемник состоит из следующих основных частей: неподвижных — основания, корпуса и крышки, и вращающихся — маслоотражателя и штанг. Корпус маслоприемника разделен на две напорные ванны, каждая из которых соединена трубопроводом с главным золотником рабочего колеса. Маслоотражатель закрепляется на торце надставки генератора, а штанги маслоприемника соединяются через фланец со штангами рабочего колеса. Каждая из штанг вращается в двух опорных подшипниках скольжения.

#### Подшипник направляющий

Направляющий подшипник резиновый на водяной смазке предназначен для фиксации положения вала турбины. В процессе работы он воспринимает радиальные нагрузки, возникающие от механического, гидравлического и электрического дисбаланса ротора.

Направляющий подшипник выполнен с двенадцатью обрешинными вкладышами, заключенными в кольцевой

корпус подшипника. Диаметр вкладышей по поверхности трения — 1340 мм. Уплотнение подшипника осуществляется с помощью сальника.

Основная подача воды для питания подшипника производится от трубопровода техводоснабжения ГЭС, резервная — от спиральной камеры. Подаваемая вода очищается от примесей посредством фильтра тонкой очистки. Регулировку необходимого зазора между валом и подшипником производят установкой прокладок между корпусом и обрешинным вкладышем с шабровкой торцов последнего.

Предусмотрено ремонтное уплотнение, которое представляет собой резиновое кольцо, закрепленное на нижнем фланце турбинного вала и перекрывающее рабочий зазор путем подъема агрегата на тормозах ротора генератора.

#### Аппарат направляющий

Направляющий аппарат регулирует расход воды через турбину при изменении нагрузки агрегата, а также прекращает доступ воды к рабочему колесу при остановке агрегата или при работе агрегата в режиме синхронного компенсатора.

Конструктивно направляющий аппарат выполнен цилиндрического типа с поворотными лопатками. Высота направляющего аппарата  $b0 = 3700$  мм. Диаметр окружности расположения осей лопаток  $D0 = 10800$  мм. Число лопаток направляющего аппарата — 32. В состав направляющего аппарата входят: крышка турбины (из четырех частей), нижнее кольцо (из четырех частей), верхнее кольцо (из четырех частей), регулирующее кольцо (из двух частей), механизм поворота лопаток.

Верхнее и нижнее кольца являются основными несущими элементами направляющего аппарата. Они воспринимают радиальные и вертикальные усилия, действующие как на них самих, так и на направляющие лопатки. Крышка, верхнее и нижнее кольца выполнены сварными из листовой углеродистой стали.

Лопатки — сварные из листового проката с коваными цапфами, облицованными нержавеющей сталью в местах установки опорных втулок. Трущиеся поверхности опорных втулок лопаток выполнены из полимерных материалов, не требующих смазки. От проникновения абразивных частиц подшипники цапф лопаток защищены резиновыми манжетными уплотнениями. Для уменьшения протечек через закрытый направляющий аппарат поверхности касания смежных лопаток и торцы лопаток уплотняются резиновыми шнурами.

Поворот лопаток на открытие и закрытие осуществляется двумя прямоосными сервомоторами, установленными в нишах шахты турбины, через регулирующее кольцо — серги — накладки — рычаги. Втулки в механизме поворота, а также опорные и упорные планки регулирующего кольца — полимерные и при эксплуатации не требуют смазки.

Для фиксации направляющего аппарата в закрытом и открытом положении на регулирующем кольце предусмотрены два стопора, предотвращающие открытие направляющего аппарата и его закрытие во время проведения осмотров и ремонтов при снятии давления масла в сервомоторах. Стопора рассчитаны на максимальное усилие сервомоторов.

#### Вспомогательные механизмы

Вспомогательные механизмы турбины обеспечивают нормальную работу рабочих механизмов и облегчают работу обслуживающего персонала. К ним относятся: трубопровод системы регулирования, водяной и воздушный трубопровод,

Деталь	Напряжения, МПа
Лопатка направляющего аппарата	82
Накладка	34
Крышка турбины	15
Регулирующее кольцо	40

Табл. 2. Напряжения в основных деталях

установка щитов аппаратуры автоматики, электропроводка в шахте турбины, прочее вспомогательное оборудование.

**Прочность конструкции гидротурбины**

При выполнении рабочего проекта был проведен расчет всех основных деталей и узлов гидротурбины.

1. Расчет направляющего аппарата включает в себя расчеты потребного давления в сервомоторах направляющего аппарата, расчет на прочность деталей механизма поворота лопаток, расчет лопатки, крышки турбины, верхнего кольца и регулирующего кольца направляющего аппарата. Расчеты деталей проводились методом конечных элементов с применением объемных элементов. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Величины напряжений в деталях НА не превышают допустимых величин.

2. Проведен анализ вибраций ротора агрегата.

В рамках расчета определены податливости направляющего турбинного подшипника и расчет критических скоростей вращения агрегата. Запас по разгонной скорости вращения составляет:

- для осевых колебаний — 2,97;
- для крутильных колебаний — 1,74;
- для изгибных колебаний — 1,72.

Ротор агрегата удовлетворяет условиям вибрационной надежности.

3. Расчет рабочего колеса включает в себя расчеты потребного давления в сервомоторе рабочего колеса, расчет на прочность и вибрационную надежность лопасти рабочего колеса, расчет на прочность деталей механизма поворота лопастей рабочего колеса.

Расчет напряженного состояния лопасти выполнен методом конечных элементов с помощью Интегрированной системы прочностного анализа (ИСПА). В качестве конечного элемента используется трехмерный восьмиузловой элемент с аппроксимацией напряжений. Нагрузки, действующие на лопасть от потока воды, определяются по программе расчета трехмерного обтекания для идеальной жидкости.

Величины напряжений в лопасти рабочего колеса и в деталях механизма поворота лопастей не превышают допустимых величин (табл. 3). Величина отстройки от лопаточной частоты составляет 10%, этого достаточно для обеспечения вибрационной надежности лопаточной системы рабочего колеса.

**Система автоматического управления** (гидромеханическая часть)

Оборудование системы управления турбины является составной частью системы автоматизированного управления

Деталь	Напряжения, МПа
Лопасть	115
Корпус рабочего колеса	189
Рычаг	83
Серьга	132
Проушина	146
Цапфа	92
Поршень	82

Табл. 3. Напряжения в основных деталях рабочего колеса гидротурбины

гидроагрегатом (САУ ГА) и обеспечивают работу ПЛ гидротурбины без вмешательства оперативного персонала.

В состав поставляемого оборудования входят:

- Гидромеханическая часть электрогидравлического регулятора.
- Система аварийного закрытия и устройство противоразгонной защиты.
- Гидромеханическая часть маслonaпорной установки.
- Аппаратура автоматики турбины.

Оборудование совместно с электронной частью САУ ГА обеспечивает выполнение технологических операций управления и работы гидротурбины и агрегата в целом.

**Колонка управления**

При проектировании решалась задача замены применявшейся электрогидравлической следящей системы с несколькими каскадами гидравлического и механического усиления с использованием рычажных передач на электрогидравлическую без использования рычагов и механических обратных связей. Модернизированная САУ ГА основана на следящем гидравлическом приводе с дроссельным регулированием и электрическими обратными связями. Колонка управления преобразует электрические сигналы от панели управления и станционной автоматики в поступательное движение сервомоторов НА и РК гидротурбины.

**Аварийный золотник**

Система аварийного закрытия представляет собой комплект электрических и гидравлических устройств, предназначенных для защиты гидроагрегата от разгона путем закрытия сервомоторов НА. При увеличении частоты вращения до 115% и отсутствии максимального смещения главного золотника НА «на закрытие» закрытие НА обеспечивается аварийным золотником после подачи электрического сигнала с верхнего уровня управления.

**Устройство противоразгонной защиты**

Устройство противоразгонной защиты представляет собой комплект гидромеханических устройств и предназначено для защиты гидроагрегата от разгона при одновременном откате всех независимых электрогидравлических защит.

В связи с повышением единичной мощности гидроагрегатов проведены расчеты переходных гидродинамических режимов, определяющих максимальные величины повышения частоты вращения, повышения давления в спиральной камере, а также вакуум под рабочим колесом.

На основании этих расчетов определены законы закрытия и открытия направляющего аппарата, рабочего колеса, как при работе регулятора, так и при закрытии направляющего аппарата действием золотника аварийного закрытия и центробежного противоразгонного устройства.

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/мм². 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 бетона применяют молотки Шмидта. Существующие типы N, L, NR и LR позволяют измерять прочность по ГОСТ 22690 в диапазоне от 10 до 70 Н/мм². 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.



**Equotip3**  
Динамический твердомер для металла с выносным датчиком

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



**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 Государственный 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 D/DL. Результаты измерений отображаются во всех общепринятых шкалах твердости: HV, HB, HRC, HRB, HS. Высокая точность с автоматической коррекцией пространственного положения датчика. Внесен в Государственный 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

На правах рекламы.



Made in Switzerland

... more than 50 years of know-how you can measure!

# HydroVision®

## R U S S I A

Выставка и конференция

4 – 6 марта 2014 года | Экспоцентр, Москва, Россия

## Поддерживая модернизацию эффективность и инновации

**НЕ ПРОПУСТИТЕ** 4-я выставка и конференция HydroVision Russia  
возвращается в Экспоцентр, Москва 4 - 6 марта 2014 года.

HydroVision Russia, проходящая совместно с Russia Power, предоставляет идеальные условия для исследования возможностей ведения бизнеса и встреч с новыми партнерами и наиболее влиятельными руководителями отрасли в динамичной обстановке.

Трехдневное мероприятие включает в себя конференцию, программа которой составлена профессионалами отрасли для отрасли и всегда вызывает живые дискуссии, а также активную выставку, представляющую ведущие компании российского и международного гидроэнергетического сектора.

### Три ключевых направления HydroVision Russia:

- **Модернизация** - Определение решений, которые помогут удовлетворить потребность в модернизации и увеличении существующей мощности генерации.
- **Эффективность** - Пропаганда идей и возможностей, повышающих энергоэффективность и безопасность работы гидроэлектростанций и связанных с ними плотин и гражданских сооружений.
- **Инновации** - Освещение последних технических новшеств и решений, обеспечивающих безопасную и надежную энергетическую инфраструктуру.

Присоединяйтесь к ведущим специалистам России и всего мира в гидроэнергетической отрасли на выставке-конференции HydroVision Russia и примите участие в завоевавшем прочную репутацию мероприятии, которое продолжает активное влияние на гидроэнергетическую отрасль.

Собственник и организатор:



Представлено:



При поддержке:



[www.hydrovision-russia.com](http://www.hydrovision-russia.com)

Co-located with:



На правах рекламы.

## ОСТАВЛЯЯ СЛЕД НА ЗЕМЛЕ... ПАМЯТИ В. И. КАМИНСКОЙ



Пусть простят уважаемые читатели стиль и жанр этой публикации, вероятно, не вполне приемлемый для научно-практического журнала. Но это особая — человеческая — рубрика, и говорить в ней хочется языком не цифр и фактов, а чувств и отношений. Потому что об этом человеке хочется говорить светло и искренне, не втискивая долгую насыщенную жизнь и профессиональную судьбу в жанр некролога. Саму идею этой рубрики когда-то Валентина Ивановна очень приветствовала, потом сетовала, что мало пишем о людях («за машинами у вас людей не видно»), но наотрез отказывалась, чтобы в каком-то из номеров эту рубрику мы посвятили ей: «Вот меня не будет, тогда и напишите». И все же ее удалось убедить в том, что о людях надо помнить, когда они живы, оценивать их труд и заслуги при жизни, перенимать опыт и спрашивать мудрого совета на этом свете — только так не прекращается профессия, переходят по наследству идеи. Но все получилось так, как задумала сама Валентина Ивановна... После... У нее всегда все получалось так, как она хотела, потому что сама строила свою судьбу.

Помню знакомство с ней, навсегда отпечатавшее в душе внутреннюю силу Валентины Ивановны, которая проявлялась во всем — взгляде, жестах, речи, всем ее облике. Тогда наш журнал только начинал свое становление, и нам нужен был консультант по вопросам гидромеханизации. Специализи-

сты из разных городов сходу называли одну фамилию — Каминская. Да и далеко ходить не надо — живет и работает в Петербурге. Еще тогда подумалось: такая непростая, скорее мужская профессия, требующая не только профессионализма, но и чисто физической выносливости, — разве по силам женщине? Нам удалось познакомиться только в Москве, куда мы приехали на очередной съезд гидромеханизаторов. Валентина Ивановна, невысокая, хрупкая, немолодая, но статная и выглядящая настоящей леди, никак не увязывалась в моем сознании с гидромеханизацией. Она была среди участников съезда единственной женщиной, и после доклада мужчины приветствовали ее стоя. Почему-то подумалось: у нас все получится. Ее пылкий взгляд выражал поддержку, и какая-то особая энергетика давала ощущение внутреннего родства.

Это уже потом в ее кабинете во ВНИИГС я выслушала в адрес журнала море критики, выплеснутое Валентиной Ивановной после изучения одного из выпусков, при этом весь номер был буквально испещрен карандашом — прочла его полностью, не формально, вдумчиво. Растерявшись, я собралась было уходить, и вдруг: «А теперь о хорошем». И этого хорошего в понимании Каминской оказалось в два раза больше, и стало понятно, что ранее сказанное «плохое» — это не главное, а повод думать, двигаться дальше, и устра-





нимое, если «работать, работать и работать вместе». С тех пор журнал стал для Валентины Ивановны значимым делом, а она стала для нас — не просто автором, а советчиком, другом, вдохновителем многих идей. В том, что журнал наращивал качество, огромная заслуга В. И. Каминской. И больше не боялись ее критики, которая никогда не была для Валентины Ивановны самоцелью, ей важно было, чтобы человек понял, где и как можно сделать лучше. В ее критике всегда было множество идей — в этом и был смысл ее замечаний.

Пристальный, наверное, даже критический взгляд был у нее на все — не в плане отрицания и неприятия чего-то, а, наоборот, этот критический взгляд был внутренней конструктивной установкой совершенствовать все, что можно совершенствовать. И ее изобретения и патенты, которых более двух десятков, — это результат постоянного думания, как облегчить труд гидромеханизатора, как сделать процесс быстрее, эффективнее, как обеспечить долговечность намытой территории. Бесконечное число вопросов она задавала сама себе, так устроена была ее голова, ее душа и характер. Она не могла смотреть спокойно на работу, которую делали с ошибками, нарушениями, медлительно, лениво, не думая об ответственности и последствиях, не представляя результат, или на работу, которая не оснащена, плохо организована. Наверное, с ней трудно было многим людям, потому что Валентина Ивановна задавала высочайшую планку — и человеческую, и профессиональную, и прежде всего самой себе. Но когда нужно было получить совершенно независимую экспертную оценку, когда профессионалы были настроены на поиск самых оптимальных решений, когда объекты были высочайшей сложности — обращались прежде всего к Каминской, зная, что не слухавит, не отнесется формально, не будет «подыгрывать из политических соображений». Принципиальной, бескомпромиссной порой до жесткости, совершенно бескорыстной и очень скромной была во всем, не терпела фальши, угадывала ее под любым прикрытием, подлых людей жалела, считала, что подлость всегда от глупости — «несчастные, если ничего более умного не придумали». Никогда не ставила цель «делать себе имя», не строила лестницу для карьеры, встречая свои идеи и тексты в разных современных «научных разработках» без ссылок, радовалась, что дело живет, «а кто его затеял — не суть».

За годы общения с ней много раз убеждалась, что есть в этом человеке, в этой маленькой женщине какой-то негибкий стержень, сила, которой подвластны любые испыта-



ния, и при этом необыкновенная вера в добро и справедливость. Может быть, это заложенное генетически, от семьи. Она часто вспоминала книгу и фильм «Даурия» — «это все про меня, про нашу семью». Отец Валентины Ивановны и его братья — потомственные казаки — были дважды раскулачены. Сначала с харбинских земель были сосланы в Казахстан, где не только не сломались, но научили местное население трудиться не покладая рук, снова «поднялись», обзавелись скотом, — и вновь были раскулачены и сосланы второй раз, уже в далекий Магадан. Отец окончил институт и всю жизнь проработал горным инженером, по его стопам пошли и все его три дочери, которые с детства познали трудность, но и романтику этой профессии. Для каждого члена семьи главным было понятие чести, ему они следовали во всем — в профессии, в семейных отношениях, в общении, в отношении к окружающей действительности. Этот нравственный принцип словно с кровью передавался из поколения в поколение. Понятие чести не позволяло сгибаться, прогибаться, обманывать, лениться, халатно относиться к делу. Они жили всегда с высоко поднятой головой, несмотря ни на какие тяготы, зная, что ни в чем не виноваты ни перед Родиной, ни перед обществом, ни перед друг другом.

Помню, спросила Валентину Ивановну: «Неужели не мечтали о какой-то другой профессии?» Она задумалась, ведь могла бы стать профессиональным художником, ее даже приняли в Ленинградскую художественную академию, в которой она не смогла учиться из-за маленького сына. Но горная профессия стала не только делом, переданным по наследству от отца и старших сестер, это была определенная свобода, несмотря на высочайшую ответственность, которой Валентина Ивановна никогда не боялась, это была и романтика, созданная таинствами природы, и в то же время эта работа требовала особо пытливого ума, логического мышления, решения задач повышенной сложности, что всегда привлекало Каминскую. «Нет, мы легких путей не искали» — это про нее. Какой-нибудь монотонной, сидячей, механической работой, лишенной творческого начала и не требующей особых умственных усилий, она не смогла бы заниматься никогда.

Поступила в Иркутский горный институт, но когда туда эвакуировали из блокады Ленинградский горный, перевелась не задумываясь. Ленинград был ее мечтой, а она всегда воплощала свои мечты в жизнь. В Сибирь вернулась, но уже вместе с мужем и сыном. Здесь молодая чета Каминских проработала 10 лет, оба увлеклись наукой, защитили

диссертации, Валентина Ивановна получила ученое звание в Сибирском отделении РАН и подготовила несколько аспирантов. Они были увлечены профессией, но счастливы в своей дружной семье, построенной исключительно на любви и взаимоподдержке, мечтали о дочери и воплотили мечту в жизнь. И муж, и жена часто буквально «мотались по объектам», Валентина Ивановна за рулем исколесила сотни тысяч километров, когда невозможно было проехать на машине, добиралась верхом на лошади. Всегда в мужском окружении, мужчины ее уважали и некоторые побаивались, но и влюбленные взгляды и попытки ухаживания случались нередко, но никогда у нее и мысли не возникло даже о легком флирте. Муж уйдет из жизни очень рано, но Валентина Ивановна останется ему верной до самых своих последних дней, и упокоится ее душа рядом с Дмитрием Михайловичем.

Всем, кто занимался сооружением гидроотвалов, намывных территорий, разработкой карьеров, хорошо знакомо это имя. Более 60 лет отдала В. И. Каминская профессии, которая забрасывала ее в разные уголки земного шара, более 30 лет ее трудовой деятельности связано с ВНИИГС. Трудно перечислить все объекты и сооружения, где навсегда остался ее профессиональный след, — Челябинский металлургический комбинат, калининградские янтарные карьеры, озеро Севаш, буровые платформы на Каспии под Баку, Курская магнитная аномалия, химический завод в Сургуте, Золотые пески Болгарии, металлургический комбинат в Нигерии, газопровод в Эстонии, многочисленные дамбы, переходы, плотины. За проект обустройства береговой зоны Днепра В. И. Каминская была удостоена премии Совета министров Украины. Но главным городом для нее стал Ленинград, всегда с гордостью говорила Валентина Ивановна о масштабных стройках — огромные площади намывных территорий, где сейчас располагаются Выборгский, Красносельский районы, Комплекс защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений, в сооружении которого она участвовала на всех этапах этой затянувшейся стройки. Но главной своей гордостью и достойным результатом считала «Морской фасад» — морской пассажирский порт, торговый морской порт Усть-Луга, порт Бронка. Автор двадцати только запатентованных изобретений, многие из которых до сих пор реализуются и стали классикой гидромеханизации, автор более ста печатных работ, основную часть которых составили разработки технологий намыыва, устройства оснований, гидроотвалов. Она легко вошла в XXI век, пристально отслеживая самые современные разработки и сотрудничая с ведущими мировыми производителями земснарядов, с ходу могла найти причину проблемы и предложить решение, в секунды сделав расчет «по старинке» — карандашом на бумаге. Ни дня не сидела без работы — самый последний, еще не заверченный проект намывных территорий под гражданское строительство на Васильевском острове, как обычно, делала профессионально, тщательно, придираясь к самым казалось бы несущественным мелочам, но жила и работала по принципу «мелочей в профессии не бывает, любая мелочь может обернуться трагедией».

В большой скорбной процессии, провожающей Валентину Ивановну в последний путь, было много мужчин — дань уважения и памяти ей пришли отдать руководители, строители, проектировщики портов, ее бывшие и нынешние коллеги, которых она никогда не считала заказчиками, работодателями. Для нее они всегда были коллегами и людьми, которым



нужна была ее помощь. Она часто сетовала, что профессиональное сообщество разрушается, «разбредается по маленьким компаниям», что надо чаще встречаться, объединяться, обсуждать проблемы сообща. И даже в этом ее желании за Валентиной Ивановной осталось последнее слово — собрала всех вместе, как и мечтала.

В самую последнюю нашу встречу за неделю до ее ухода говорили о том, кто какой след оставляет на этой земле. От кого-то и пылинки не остается, а без кого-то не состоялись бы и города. Спросила ее о том, что она считает главным в своей жизни, каким «следом» гордится. Она не задумалась ни на секунду: «Мои дети». И этим расставила все точки в своей долгой жизни.

После нее остались книги, последней, которую сделала, по ее же выражению, «на одном дыхании», очень гордилась, потому что в книгу вошли самые новые технические решения по сложнейшим объектам (*Оптимизация проектных решений и технологии возведения намывных сооружений. Стройиздат, 2011. — Прим. ред.*).

Ее очень не хватает — не только как советчика, просто как старшего товарища, как друга. Мы потеряли Профессионала и Человека с большой буквы. И очень хочется верить, что не сотрется это имя в анналах инженерных профессий, не только методы, но и принципы Каминской будут продолжать в профессиональной деятельности следующие поколения.

Татьяна Ильина

Уважаемые читатели!

Редакция журнала «ГИДРОТЕХНИКА» при поддержке Ростехнадзора, МЧС, Росприроднадзора начинает на страницах журнала обсуждение состояния хвостохранилищ и других гидротехнических сооружений промышленных комплексов. Указанные ведомства, в чьи задачи входит нормативно-правовое регулирование и обеспечение безаварийной эксплуатации промышленных ГТС, готовы принять мнения специалистов и по итогам обсуждения предпринять меры для решения обозначенных проблем.

Ключевые темы (которые можно расширять, дополнять, корректировать):

**1. Аварийность объектов.** Какие факторы чаще всего приводят к аварийным ситуациям. Каковы меры, условия и современные технологии, необходимые на этапах проектирования, строительства и эксплуатации, а также условия нормативно-правового регулирования для максимального обеспечения надежной эксплуатации объектов промышленной гидротехники.

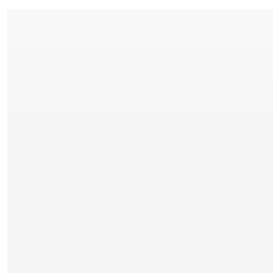
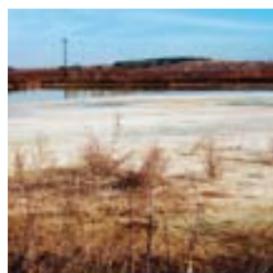
**2. Нормативно-правовое сопровождение объектов промышленной гидротехники.** Является ли действующая в РФ нормативно-правовая база для проектирования, строительства и эксплуатации объектов промышленной гидротехники, а также для определения меры ответственности в аварийных ситуациях достаточной по содержанию и качеству. Что конкретно из нормативной базы нуждается в доработке, дифференциации и/или аннулировании/введении новых нормативных актов.

**3. Экологическая безопасность.** Каковы условия и технологии обеспечения экологической безопасности на старых (отработанных), эксплуатируемых и строящихся объектах промышленной гидротехники (при необходимости можно дать ссылки на публикации и подробные описания).

**4. Научное, научно-методическое обеспечение.** Что необходимо на государственном уровне для поддержки научных изысканий и разработок в области промышленной гидротехники, для объединения научного сообщества, для внедрения достижений науки в практику различных отраслей промышленности.

В отдельных публикациях нашего журнала специалисты, занимающиеся проектированием и строительством хвостохранилищ, поднимают вопросы, связанные с нормативной базой, автоматизацией, экологической безопасностью этих объектов. В этом номере в рамках обозначенной тематики мы представляем разработки и опыт российских и зарубежных компаний, чьи объекты выдержали проверку временем, а профессиональная компетентность подтверждается многолетней надежностью объектов.

В редакции уже собраны мнения организаций и отдельных специалистов, которые обязательно будут опубликованы в дальнейших выпусках журнала. Мы выражаем признательность всем откликнувшимся ученым и практикам. Проблемы промышленных ГТС выходят далеко за рамки гидротехники, любая авария может стать настоящей бедой не только регионального, но национального масштаба. От решения обозначенных вопросов во многом зависит будущее не только промышленных предприятий, но и будущее экономики регионов и страны в целом, безопасность хозяйственной деятельности и жизни людей.



## ЯВЛЯЮТСЯ ЛИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА НАКОПИТЕЛЯМИ ЖИДКИХ ОТХОДОВ



**Пятаков В. Г.,**  
доктор техн. наук, нач. отд.  
ГТС и разработки россыпных  
месторождений ОАО «Иргиредмет»



**Неретин А. В.,**  
зав. сектором ГТС, отдела ГТС и РРМ  
ОАО «Иргиредмет»

Иркутский научно-исследовательский институт благородных и редких металлов и алмазов (ОАО «Иргиредмет»)

**Аннотация.** В статье рассмотрен вопрос, следует ли относить хвостохранилища, шламохранилища, золошлакохранилища и др. к накопителям жидких отходов.

Приводится обоснование, что сооружения промышленной гидротехники являются накопителями не жидких отходов, а твердых. Единственным жидким веществом в них является оборотная вода в прудке-отстойнике. Рассматриваются два случая аварий на хвостохранилищах, произошедших именно из-за наличия в них воды.

На обсуждение поставлен вопрос о пересмотре действующей нормативной документации в плане требований к сооружениям промышленной гидротехники (хвостохранилищ, шламохранилищ, золошлакохранилищ и др.).

**Ключевые слова:** хвостохранилище, накопитель жидких отходов, дамба, пульпа, нормативная документация.

COULD WE ASSIGN TAILINGS STORAGE FACILITIES A CLASS OF LIQUID WASTE STORAGE FACILITIES?

Victor G. Pyatakov, Alexander V. Neretin

Irkutsk Research Institute of Precious and Rare Metals and Diamonds (OAO "Irgiredmet")

**Abstract.** The present paper addresses a problem of assignment of tailings storage facilities (TSF), sulfide-bearing material disposals, ash/slug disposals, etc. to a class of liquid waste storage facilities.

It is argued that waste storage facilities are intended to store solid rather than liquid wastes as retained liquor is the only liquid stored in the impoundment. Two TSF failures caused due to presence of water in the facilities are reviewed.

It is suggested to revise the existing tailings codes and standards (TSF, sulfide-bearing material disposals, ash/slug disposals, etc.).

**Keywords:** tailings storage facility (TSF), liquid waste storage facility, TSF embankment, tailings slurry, RF codes and standards.

Проектирование хвостохранилищ обогатительных фабрик горно-металлургических предприятий жестко регламентируется рядом нормативных документов. Главным из них является федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» с изменениями от 2000–2012 гг. В ст. 3 этого закона «Основные понятия» указано, что к гидротехническим сооружениям, среди плотин, каналов, туннелей и проч., отнесены «сооружения (дамбы), ограждающие хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций» [1]. Следует заметить, что в № 117-ФЗ не дано определение понятия «жидкие отходы».

Госгортехнадзор РФ 28.01.2002 г. утверждает «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов» (ПБ 03-438-02). В п. 1.1 заявляется, что «настоящие Правила разработаны в соответствии с требованиями федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ и распространяются на гидротехнические сооружения (ГТС) хранилища жидких отходов промышленности (хвостохранилища, шламохранилища, шламонакопители, гидроотвалы, накопители промышленных стоков, водохранилища) [2]. Но в № 117-ФЗ нет указанных в скобках сооружений. Надо полагать, этот перечень составлен в Госгортехнадзоре РФ. Согласно этому перечню в хранилища жидких отходов попали и хвостохранилища, и водохранилища.

При проектировании далее следует руководствоваться рядом сопутствующих документов, относящихся к безопасности гидротехнических сооружений с обязательным упоминанием хвостохранилищ:

- «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов» РД 03-418-01 [3];
- «Инструкция о порядке определения критериев безопасности и оценки состояния гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов на поднадзорных Госгортехнадзору РФ производствах, объектах и в организациях» РД 03-443-02 [4];
- «Методические рекомендации по расчету развития гидродинамических аварий на накопителях жидких промышленных отходов» РД 03-607-03 [5];
- «Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнических сооружений» РД 03-626-03 (документ утратил силу в связи с приказом МЧС РФ/Ростехнадзора РФ от 18.07.2013 г. № 473/317) [6].

Во всех перечисленных документах хвостохранилища рассматриваются как накопители жидких отходов, склонных к прорыву ограждающих дамб, к размыву проранов и пляжной зоны. Чем выше ограждающая дамба, тем выше класс гидротехнического сооружения и тем жестче требования

Сооружения	Тип грунтов основания	Высота сооружений, м, при их классе			
		I	II	III	IV
Плотины из грунтовых материалов	A	Более 80	От 50 до 80	От 20 до 50	Менее 20
	Б	Более 65	От 35 до 65	От 15 до 35	Менее 15
	В	Более 50	От 25 до 50	От 15 до 25	Менее 15
Ограждающие сооружения хранилищ жидких отходов (золошлакохранилищ, хвостохранилищ и др.)	A, Б, В	Более 50	От 20 до 50	От 10 до 20	10 и менее

Примечание: Грунты: А — скальные; Б — песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии; В — глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии.

**Табл. 1. Б.1 (выписка из СНиП 33-01-2003) Класс основных гидротехнических сооружений в зависимости от их высоты и типа грунтов оснований [7]**

к нему. Так, согласно СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения», водохранилища с плотинами из грунтовых материалов отнесены к менее высоким классам, чем хвостохранилища с такой же высотой грунтовых ограждающих сооружений (см. выписку из данного СНиП 33-01-2003) [7].

Из приведенной **табл. Б.1** [7], к примеру, грунтовая плотина Иркутской ГЭС высотой 44 м, хорошо знакомая авторам и удерживающая более 2,5 км<sup>3</sup> воды (ангарская часть водохранилища [8]), относится к III классу, а хвостохранилище Самартинской ЗИФ в Республике Бурятия с высотой дамбы 23 м и глубиной прудка-отстойника 5–6 м — ко II классу. Безусловно, потенциальные последствия прорыва плотины в первом случае и дамбы во втором несопоставимы. Правда, Ростехнадзор РФ направил в свои региональные управления письмо № 10-04/643 от 24.04.2006 г. [9], в котором рекомендовал при определении класса хвостохранилищ руководствоваться п. 1 **табл. Б.1** СНиПа 33-01-2003 (плотины из грунтовых материалов).

Чем же в действительности являются хвостохранилища обогатительных фабрик с позиции их опасности для народного хозяйства и природной среды? На **рис. 1** представлены типичные схемы состояния хвостохранилища с пляжным участком (а) и без него (б). Хвостохранилища с пляжем обычно эксплуатируются в теплом и умеренном климате, где отсутствует опасность намораживания выпускаемых хвостов на лед. В варианте (б) представлено состояние хвостохранилища в осенний период для зон с холодным климатом при выпуске хвостов под лед по всей ее площади. Так, при высоте дамбы 20–25 м глубина прудка-отстойника в варианте (а) со-

ставляет 5–6 м, а глубина подтопления для складирования хвостов под лед (вариант б) — 3–4 м. Остальной объем хвостохранилища занят консолидированными хвостами с плотностью 1,4–1,6 т/м<sup>3</sup> [10], что близко по свойствам к природной супеси.

Таким образом, в хвостохранилище в жидком виде находится либо некоторый объем воды в прудке-отстойнике (вариант а), либо слой воды глубиной 3–4 м при складировании хвостов под лед (вариант б). В варианте (б) возможны разрушение дамбы фильтрационными потоками и уход воды. Авторы знакомы с такими фактами. На **рис. 2 и 3** показаны последствия ухода воды на двух хвостохранилищах, что произошло из-за нарушения технологии строительства дамб. На представленных фотографиях хорошо видно, что по проранам практически ушла только вода, а слежавшиеся хвосты благодаря их хорошей консолидации не претерпели никаких перемещений.

В работах [10, 11] приведен анализ случаев разрушения дамб хвостохранилищ. При этом отмечено, что в СССР, несмотря на большое число построенных, законсервированных и эксплуатируемых хвостохранилищ, золошлакохранилищ и грунтохранилищ (гидроотвалов), катастрофических разрушений не было, хотя были случаи разрушения с растеканием грунтохранилищ и хвостохранилищ. Чаще всего отмечаются местные выходы на низовой откос фильтрационного потока, что сопровождается оплывами откоса. Были случаи разрушения дамб из-за перелива воды прудка-отстойника через гребень дамбы. Причина этих разрушений — неправильная эксплуатация, допустившая перелив воды через плотину. Во всех случаях разрушения дамб из хвостохранилища ухо-



**Рис. 1. Типичное состояние хвостохранилища с пляжем (а) и без пляжа (б) при обратном водоснабжении с насосными станциями**



**Рис. 2. Вид придамбового участка хвостохранилища после ухода воды в образовавшийся в дамбе проран, возникший после оттайки высокольдистых пород, заложенных в тело дамбы**



**Рис. 3. Последствия оползания ограждающей дамбы из-за сульфидионных процессов. При вытекании оборотной воды образовался овраг глубиной 1,0–1,5 м при мощности слоя хвостов около 12–15 м**

дят обратная вода и небольшая часть хвостов, увлекаемых движущейся водой. Основная масса консолидированных хвостов остается на месте.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Хвостохранилища обогатительных фабрик не являются «накопителями жидких промышленных отходов» по двум причинам. Во-первых, основной объем чаши хвостохранилища на 80–90% заполнен твердыми консолидированными хвостами, не склонными к растеканию в случае разрушения ограждающей дамбы. Кроме того, хвосты являются потенциальным сырьем и все чаще вовлекаются в повторную переработку либо для доизвлечения по новым технологиям основного полезного ископаемого, либо для извлечения попутного, ранее не востребованного компонента. По этой причине нельзя считать хвосты отходами. Во-вторых, жидкая фаза представлена оборотной водой, которая не является отходами.

2. При определении класса хвостохранилища и расчете развития гидродинамических аварий и размера вреда в результате аварии на хвостохранилище следует исходить не из высоты дамбы, а из высоты напора оборотной воды и ее объема в чаше.

3. Рекомендуется исключить из перечня «накопителей жидких промышленных отходов» нормативных документов, относящихся к проектированию гидротехнических сооружений, хвостохранилища и шламохранилища обогатительных фабрик и подобные хранилища, содержащие консолидированный не растекающийся материал.

4. Необходима корректировка существующих нормативных документов или разработка новых для проектирования хвостохранилищ и им подобных накопителей.

**Литература:**

1. «О безопасности гидротехнических сооружений» № 117-ФЗ от 21 июля 1997 г.  
 2. «Правила безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов» ПБ 03-438-02 (утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 28.01.2002 № 6).

3. «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов» РД 03-418-01 (утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 10.07.2001 г. № 30).

4. «Инструкция о порядке определения критериев безопасности и оценки состояния гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов на поднадзорных Госгортехнадзору РФ производствах, объектах и в организациях» РД 03-443-02 (утверждена постановлением Госгортехнадзора РФ от 04.02.2002 г. № 10).

5. «Методические рекомендации по расчету развития гидродинамических аварий на накопителях жидких промышленных отходов» РД 03-607-03 (утверждены постановлением Госгортехнадзора РФ от 05.06.2003 г. № 51)

6. «Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнических сооружений» РД 03-626-03 (утверждена постановлением МЧС РФ/Госгортехнадзора РФ от 15.08.03 № 482/175а).

7. СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения.

8. <http://ru.wikipedia.org/>.

9. Письмо Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 10-04/643 от 24.04.2006 г. «Об использовании СНиПа 33-01-2003».

10. Евдокимов П. Д., Сазонов Г. Т. Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик, М.: Недра, 1978.

11. Гузенков С. Н., Стефанишин Д. В. и др. Надежность хвостовых хозяйств обогатительных фабрик. Белгород: Везелица, 2007.

664025 г. Иркутск, бульвар Гагарина, 38  
 Тел. (3952) 25-51-58  
 Факс: (3952) 33-08-95, 33-08-33  
[www.irgiredmet.ru](http://www.irgiredmet.ru)

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.

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

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИТУМНОЙ ГЕОМЕМБРАНЫ COLETANCHE ДЛЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИИ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА МЕДНОГО РУДНИКА И ЕЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ В 7,5 БАЛЛОВ



**Меглен Жак,**  
директор по экспорту  
Coletanche, Вост. и Центр.  
Европа, СНГ



**Брель Бернар,**  
инженер-строитель,  
технический директор  
битумных геомембран  
Coletanche



**Гордин Александр,**  
директор ЗАО «Голдер  
Консалтинг», российское  
отделение Golder Associates

**Аннотация.** В данной статье представлена информация о опыт применения битумной геомембраны (БГМ) для гидроизоляции дамбы хвостохранилища на медном руднике Черро Линдо вблизи пос. Чинча (Перу), дано описание работ и заключение проверки устойчивости дамбы и БГМ при землетрясении в 7,5 баллов, проведенной независимым экспертом (Golder).

**Ключевые слова:** битумная геомембрана, геосинтетические материалы, каменно-земляная насыпная дамба, хвостохранилище.

**Abstract.** This article presents an experience of bituminous geomembrane (BGM) application for tailings dam waterproofing at copper mine Cerro Lindo near province Chinchá (Peru), description of works, dam and BGM stability report during earthquake measuring 7.5, provided by an independent expert (Golder).

**Keywords:** bituminous geomembrane, geosynthetic materials, earth-and-rock-fill embankment, tailings.

### ВВЕДЕНИЕ

Черро Линдо — 30-метровая каменно-земляная насыпная дамба, создающая чашу вместительностью 67000 м<sup>3</sup> и построенная с целью контроля стока с хранилища обезвоженных (фильтрованных) хвостов. Дамба находится на высоте приблизительно 2000 м, в зоне шквалистых ветров. Гидроизоляционный экран этой дамбы выполнен битумной геомембраной (БМГ) Coletanche. Экспертизу устойчивости дамбы и БГМ при землетрясении выполнял Golder.

### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

#### Общие сведения

Со стороны верхнего бьефа дамба сложена из утрамбованного гравийно-глиняного грунта. Боковой уклон верхового откоса дамбы составляет 1(В):2(Г).

В средней части дамбы заложен переходный слой из гравия строго определенного гранулометрического состава, с боковым уклоном 1(В):0,5(Г). Этот слой шириной 2 м проходит от основания до вершины дамбы.

Со стороны нижнего бьефа дамба сложена утрамбованной каменной отсыпкой также определенного гранулометрического состава. Уклон низового откоса дамбы составляет 1(В):1,6(Г).

В основании верхового откоса дамбы, вдоль всей насыпи и до верхних отметок природных возвышенностей, между которыми дамба была построена, установлено противотфильтрационное устройство из цементного раствора. Зуб дамбы, соединяющий

противотфильтрационное устройство и БГМ, установлен в специальной траншее таким образом, чтобы обеспечить эффективный контроль фильтрации через тело и основание дамбы.

У основания низового откоса дамбы были установлены сборник фильтрационных вод и наблюдательные скважины, позволяющие следить за качеством и уровнем воды.

В основе фундамента дамбы лежат прочные скальные породы, которые были обнажены при неглубокой экскавации вышележащих почв и грунтов.

#### Поперечный разрез

Типичный поперечный разрез дамбы и ее вышеупомянутые структурные составляющие представлены на **схеме 1**.

#### ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Подготовка поверхности верхового откоса дамбы была проста и экономична и заключалась в выравнивании утрамбованного гравийно-глинистого грунта с помощью обычной строительной техники.

Бетонное основание в области зуба дамбы имеет закругленную форму, обеспечивающую плавную стыковку между уплотненными глиняно-гравийными поверхностями. Закругленная форма обеспечивает плавный изгиб экрана БГМ и отсутствие в нем изломов.

На **фото 2** показан верховой откос дамбы до и после монтажа БГМ. **Фото 2а** показывает выровненный верховой откос дамбы, подготовленный для установки экрана из БГМ, и часть зуба дамбы, к которому экран из БГМ прикреплен.

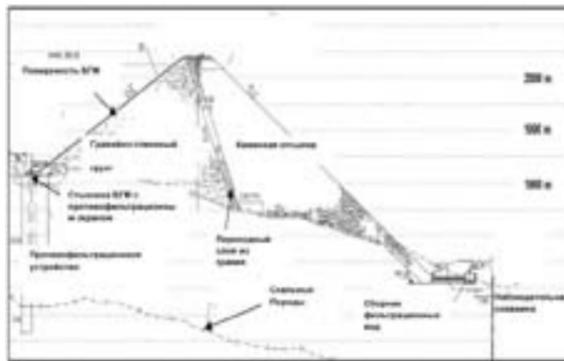


Схема 1. Поперечный разрез дамбы

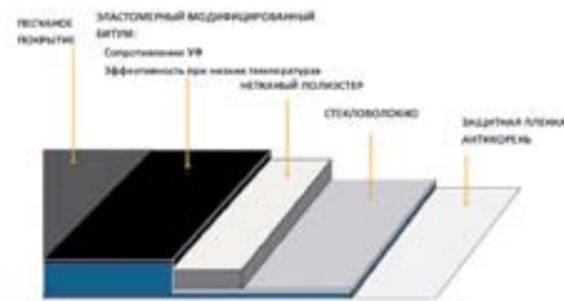


Схема 2. Структура геомембраны

УСТАНОВКА

Типовая геомембрана

В проекте была использована битумная геомембрана COLETANCHE типа ES3.

Основные конструктивные особенности этого типа геомембран представлены ниже.

Укладка, сварка и монтаж БГМ

Необходимо отметить две важные особенности установки экрана из БГМ. Первой является то, что для крепления БГМ к бетонному основанию зуба дамбы по краям дамбы были использованы планки из нержавеющей стали, зафиксированные стальными болтами (фото 3).

Второй особенностью крепления БГМ является очень пологий переход от бетонного основания зуба дамбы к грунтовой поверхности отсыпки самой дамбы, в результате чего угол изгиба БГМ и напряжения деформации в БГМ сведены к минимуму (схема 3).

БГМ была установлена непосредственно на утрамбованный грунт, после чего ее поверхность была механически разглажена.

На гребне дамбы БГМ закреплена в траншее шириной 1 м и глубиной 0,6 м, впоследствии заполненной утрамбованным грунтом.

Швы были сварены обычной горелкой. Использование простого оборудования при монтаже БГМ позволяет легко контролировать процесс установки.

Обучение рабочих было проведено заблаговременно, до начала монтажных работ, что во время самой установки позволило ограничиться присутствием лишь одного квалифицированного инструктора-монтажника. Обучить установке БГМ можно обычных строителей-монтажников из подрядной организации либо непосредственно рабочих рудника.



Фото 1. Подготовка поверхности дамбы



Фото 2. Верховой откос дамбы



Фото 3. Детали системы экрана из БГМ



а) Стыковка слоев БГМ б) Затирка стыковочного шва БГМ — визуальный контроль

Фото 4. Работы по сварке панелей БГМ

На фото 4 представлены работы по сварке панелей БГМ. На первом этапе установки края панели БГМ разогреваются сварочной горелкой. Впоследствии шов разглаживается ручным валиком для окончательного сцепления панелей лайнера (фото 4, а). Излишки расплавленного битума после сварки двух панелей снова разогреваются газовой горелкой и вручную разглаживаются шпателем, оставляя покрывающий шов в 6 мм вдоль основного шва (фото 4, б).

Для обеспечения качества работ квалифицированный специалист-монтажник и инженеры провели подготовку всей бригады рабочих перед началом установочных работ.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Строительство дамбы заняло 19 календарных месяцев без перерывов по причине сложных метеорологических условий (низкие температуры, шквалистый ветер, осадки). В среднем суточная производительность шахты составляет до 7000 т руды, содержащей цинк, медь и свинец. Черро Линдо использует технологию фильтрации хвостов шахты для переработки отходов производства. Вода, полученная в процессе фильтрации хвостов, используется в производстве для оборотного водоснабжения. Эта вода хранится в резервуаре, отделенном дамбой, о которой идет речь в этой статье.

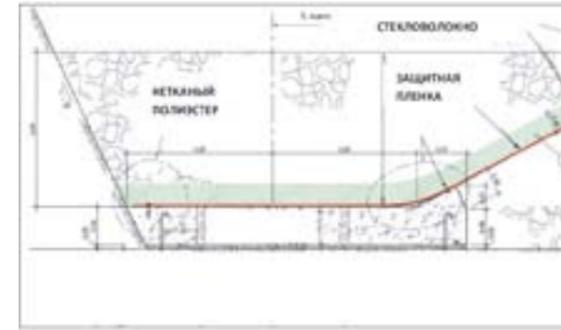


Схема 3. Переход от бетонного зуба дамбы к утрамбованному грунту

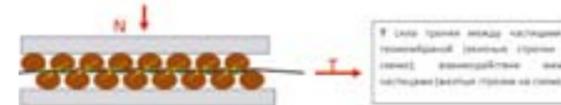


Схема 4. Взаимодействие грунта и БГМ Coletanche во время теста на поверхностное поперечное давление

ПОВЕДЕНИЕ БГМ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

15 августа 2007 г. на центральном побережье Перу в районе г. Чинча произошло землетрясение, сила которого достигала местами 8 баллов по шкале Рихтера. Землетрясение длилось 3 минуты.

Эпицентр землетрясения был расположен примерно в 36 км от шахты Черро Линдо. Максимальное ускорение грунта было зафиксировано на отметке 0,27g. Работы в руднике были временно приостановлены в связи с перебоями энергии. Никаких видимых повреждений непосредственно после окончания землетрясения обнаружено не было.

В 2012-м Golder Associates провел комплексную проверку состояния дамбы хвостохранилища. По результатам проверки никаких изменений в состоянии дамбы, и геомембраны Coletanche в частности, обнаружено не было.

Положительное поведение Coletanche в условиях сейсмической нагрузки объясняется исключительной прочностью геомембраны, а также ее устойчивостью к поперечным нагрузкам, которая характеризует взаимодействие геомембраны с прилегающим к ней материалом. Эта характеристика была наглядно продемонстрирована в лабораторных исследованиях, проведенных департаментом водо- и энергопользования г. Лос-Анджелеса. Результаты этого исследования были опубликованы в журнале Geosynthetics 2013, статья Поннабоина. Результат исследования когезионной прочности зафиксирован на уровне 33 кН/м<sup>2</sup>, угол трения — 36 градусов.

Высокие результаты тестов объясняются большей прочностью БГМ на прокол — по сравнению с геомембранами из других материалов (ПВП и ЛПЭН). Эта прочность достигается за счет присутствия нетканого геотекстиля в структуре геомембраны. Высокая прочность на прокол позволяет геомембране деформироваться и принимать форму частиц, находящихся с ней в контакте, как во время нормальной нагрузки, так и в случае поперечного давления на поверхность (схема 4). В результате этого, поверхность сопряжения не остается ровной, а деформируется, и частицы над и под поверхностью

Свойства	Метод испытания	Величина
Толщина (мм)	ГОСТ	4,80
Масса единичной поверхности (кг/м <sup>2</sup> )	ГОСТ	5,80
Макс. сила продольного растяжения (Н/50 мм)	ГОСТ	1400
Макс. сила поперечного растяжения (Н/50 мм)	ГОСТ	1200
Прочность при продавлении (кН)	ГОСТ /СТО	3,9
Ломкость при низ. температурах (brittleness)	ASTM D 746	< -70 °C
Эластичность при низких температурах (монтаж)	ГОСТ	-40 °C
Коэффициент теплового расширения		0

Табл. 1. Свойства COLETANCHE ES3

геомембраны могут взаимодействовать между собой. Благодаря этому геомембрана не поддается разрывам или проколам.

ВЫВОДЫ

Заказчик и независимые эксперты из компании Golder остались удовлетворены результатами работы, выполненной в срок, без задержек из-за неблагоприятных метеорологических условий.

С 2007 г., несмотря на перенесенное сильнейшее землетрясение, БГМ Coletanche, выполненная из нетканого геотекстиля с покрытием из битума, сохраняет устойчивые характеристики и исправно выполняет свою основную функцию — обеспечение водонепроницаемости.

Для дополнительной информации посетите наш сайт [www.coletanche.com](http://www.coletanche.com) и [www.golder.com](http://www.golder.com).

ССЫЛКИ

Ponnaboyina, H; Lew, M., Davis, C.; and Perez, A. (2013) "Interface Friction Testing Between Soil and a Bituminous Geomembrane", *Geosynthetics 2103, Long Beach, April 1-4*.

Контакты

**Жак МЕГЛЕН**, директор по экспорту (Axter Coletanche, Париж) тел. (+33)661388017 [meoglen@coletanche.com](mailto:meoglen@coletanche.com)  
**Бернар БРЕЛЬ**, технический директор (Axter Coletanche, Париж) тел. (+33)662530708 [bernardbreul@coletanche.com](mailto:bernardbreul@coletanche.com)  
**Александр ГОРДИН**, директор («Голдер Консалтинг», Санкт-Петербург) тел. +7(812)3521335 [Alex\\_Gordine@golder.com](mailto:Alex_Gordine@golder.com)



## БЕНТОМАТЫ BentIzol® — НАДЕЖНАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ФИЛЬТРАТОВ НА ПОЛИгонах ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

**Аннотация.** В статье рассматривается технология строительства полигонов с применением бентоматов, которая гарантирует надежную защиту от фильтратов и попадания вредных веществ в почву и грунтовые воды.

**Ключевые слова:** бентоматы, геотекстильные материалы, полигон захоронения отходов.

**Abstract.** This article is about construction technology of waste landfills with application of GCL (Geosynthetic clay lines) which ensures reliable protection from filtration and transfer of hazardous substances in the soil and ground waters.

**Keywords:** GCL (Geosynthetic clay lines), geotextile materials, waste landfill.



Бентоматы **BentIzol®** выпускаются на первом в России заводе ООО «БентИзол», построенном в соответствии с мировыми стандартами и с применением опыта лучших европейских производителей. **BentIzol®** — композиционный материал, представляющий собой иглопробивной каркас из полипропиленовых волокон, внутри которого помещены гранулы активированного или природного натриевого бентонита. Настил из матов толщиной всего 1 см заменяет метровый слой глины.

**Бентоматы** — единственный материал, способный обеспечить все важнейшие при строительстве, эксплуатации и рекультивации полигонов ТБО параметры:

- низкая водопроницаемость (коэффициент фильтрации  $<1 \times 10^{-11}$  м/сек) и ее неизменность в условиях эксплуатации;
- способность «самозалечиваться» — бентонит увеличивается в объеме при гидратации, заполняя образующиеся проколы и трещины;
- долговечность, обусловленная неизменностью свойств материалов со временем;
- устойчивость к гидратации — дегидратации, замораживанию — оттаиванию;
- экологичность;
- экономичность — применение бентоматов позволяет существенно снизить капиталовложения при строительстве и содержании объектов;
- технологичность: быстрая и простая установка в любых погодных условиях (от +60 до -60 °С), низкие требования к квалификации рабочих; минимум подготовительных работ.

Новые технологии, благодаря использованию высококачественных бентоматов **BentIzol®**, помогают превратить свалки в цивилизованные природоохранные предприятия с эффективной системой контроля.

ООО «БентИзол»  
125009 г. Москва, ул. Тверская 12, стр. 1, оф. 19  
Тел./факс +7495 626 51 49  
info@bentizol.ru, www.bentizol.ru

Полигоны для обезвреживания и захоронения отходов устраиваются в природоохранных целях, поэтому роль противофильтрационных экранов основания и поверхности полигона в обеспечении безопасности чрезвычайно велика, и к их устройству предъявляются высокие требования.

Использование традиционных экранов, естественных (глины, суглинки) и искусственных (пленочные покрытия, геомембраны), не предотвращает на 100% загрязнения земли и подземных вод по следующим причинам:

- глинистые экраны не дают полную защиту подземных вод от эмиссии растворенных веществ в составе фильтрата;
- наличие зон дефекта геомембран и пленочных покрытий, связанных с возникновением повреждений в результате укладки и эксплуатации: проколов, царапин, трещин и плохо сваренных швов, от воздействия внешних элементов (химикаты, кислород, микроорганизмы, температура, излучения высокой энергии и механического воздействия).

Устройство противофильтрационных экранов с использованием **геотекстильных материалов с бентонитом (бентоматов)** — самый надежный и широко применяемый в мире способ.



производство геосинтетических бентонитовых материалов

# techtextil

RUSSIA

Международная выставка материалов на волокнистой основе  
Сырье, оборудование, продукция

## На пути к Вашему успеху!

Геотекстиль для дорожного строительства, земельных и ландшафтных работ

# Russia

# MOSCOW

Ждем Вас с 11 по 13 марта 2014

в ЦВК «Экспоцентр»

www.techtextil.ru



messe frankfurt

На правах рекламы.

# 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.

## БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ШПУНТОВЫХ СВАЙ: ОПЫТ ООО «ГИДРОПРОМСТРОЙ»



**Трегубов А. В.,**  
технический директор  
ООО «ГидроПромСтрой»

**Аннотация.** Рассматривается специфика берегоукрепительных работ с применением шпунта, которые компания «ГидроПромСтрой» проводила в акватории реки Невы (Санкт-Петербург) и на берегу реки Дон (г. Нововоронеж). Отмечается, что в современном строительстве при производстве работ по созданию водо- и грунтопроницаемых преград применение шпунтового ограждения остается актуальным и самым технологичным решением, при этом основным способом погружения и извлечения шпунта является вибрационный метод, характеризующийся высокой производительностью и эффективностью.

**Ключевые слова:** шпунтовые ограждения, шпунтовые работы, берегоукрепление, строительные работы.

**Abstract.** It is considered the specificity of shore-protection works with use of sheet pile, which "GidroPromStroy" company carried out in the Neva river basin (Saint-Petersburg) and on the Don river (Novovoronezh). It is noted that using of sheet pile walls is still actual and the most high-tech solution in the present construction during waterproof and soil-proof barriers forming works. Herewith the main displacement and removal of sheet pile method is vibratory method with high-capacity and efficiency.

**Keywords:** sheet pile walls, sheet piling, shore-protection, construction works.

При производстве различных видов работ нулевого цикла широкое распространение получило оборудование шпунтового ограждения с применением стальных и полимерных шпунтов различных марок. Такое проектное решение является достаточно эффективным, т. к. шпунт обладает хорошей оборачиваемостью (от 5 до 10 циклов) и обладает достаточной жесткостью сечения для удержания стенок котлована. Особенно актуальным применение шпунтов становится при проведении комплекса берегоукрепительных мероприятий и выполнении работ в водных акваториях, где шпунтовые ограждения активно используются для создания систем противодействия эрозии берегов рек, стоков и водоемов, а также возведения водо-, грунтопроницаемых преград.

Для производства шпунтовых работ применяют различные методы, выбор которых зависит от многих факторов: геологические условия в районе производства работ, наличие существующих зданий и коммуникаций, наличие подъездных путей и транспортной инфраструктуры и др. На практике наибольшее применение получил метод вибрационного погружения. Достоинствами этого метода являются:

- сравнительно высокая производительность работ (согласно нормам времени ЕНиР сборника 12 «Свайные работы», с учетом производительности современного вибрационного и грузоподъемного оборудования погружение шпунта может составлять 15 т за смену);
- высокая несущая способность шпунтовых свай;
- долговечность конструкций;

- невысокие затраты на содержание и ремонт конструкций;
- сравнительно невысокие затраты на производство работ (по сравнению с методом статического вдавливания шпунта затраты на вибрационное погружение уменьшаются до двух раз);
- экологическая безопасность шпунта.

К недостаткам же метода можно отнести производимый при производстве работ шум и относительно высокий уровень колебаний, что ограничивает возможности применения вибропогружения вблизи существующих строений и затрудняет строительные работы в период нереста рыб.

ООО «ГидроПромСтрой» освоило весь комплекс строительных работ нулевого цикла на различных объектах и имеет богатый опыт по устройству шпунтового ограждения при проведении берегоукрепительных работ — как с земли, так и с плавучих средств. С учетом фактических условий производства работ и особенностей проектов строительства компанией выбираются и предлагаются заказчикам оптимальные и экономически обоснованные методы производства работ. Для этого в ООО «ГидроПромСтрой» имеется широкий спектр строительного оборудования: гусеничные монтажные краны грузоподъемностью 50–100 т, навесные вибропогружатели с постоянным моментом и высокочастотные с переменной амплитудой различных производителей, автономные дизельные силовые агрегаты, гидромолоты с массой ударной части до 7 т, экскаваторы с гидравлическим приводом и комплектом вибропогружателя и т. д.



**Рис. 1.** Собственный парк строительной техники для проведения шпунтовых работ

Несмотря на узкую специализацию рассматриваемого комплекса строительных работ, обустройство шпунтового ограждения в акватории рек и вдоль их берегов имеет свои особенности, которые следует учитывать при подготовке и в ходе их производства. На опыте ООО «ГидроПромСтрой» покажем специфику берегоукрепительных работ с применением шпунта, которые компания проводила в акватории реки Невы (Санкт-Петербург) и на берегу реки Дон (г. Нововоронеж).

При строительстве водовода в Санкт-Петербурге шпунтовое ограждение применялось для оборудования стартового и приемного котлованов в акватории р. Невы. Котлованы представляли собой замкнутую конструкцию прямоугольной формы и в последующем осушались с целью размещения



**Рис. 2.** Строительство водозаборного ковша Нововоронежской-2 в акватории реки Дон-2

оборудования горизонтально-наклонного бурения, при помощи которого прокладывались футляры для трубы водовода под дном Невы. Для этого использовался шпунт PU-28-1 немецкого производства длиной 22–28 м и металлические трубы диаметром 820 мм и длиной 18 м. Общий объем погружаемых элементов составил 1800 т.

Работы выполнялись с использованием плавучего крана «Черноморец-31» и буксируемых барж, которые использовались под технологические площадки для стыковки труб, подачи шпунта к месту производства работ, изготовления направляющих конструкций и угловых свай. Важно отметить следующие особенности производства работ в акватории Невы: низкие отрицательные температуры в зимний период и

весенний ледоход, что потребовало оборудовать ледовую защиту для обеспечения безопасной эксплуатации плавсредств и конструкции шпунтового ряда, а также использовать ледокольный флот для обеспечения маневра плавкрана и барж; частое и довольно значительное изменение уровня реки из-за встречного ветра с Финского залива; довольно большая глубина в месте строительства до 14 м и высокая скорость течения Невы до 1,1 м/с; невозможность проведения работ круглые сутки из-за расположения места работ рядом с жилыми домами; особенности проведения геодезических привязок на водной акватории. С учетом обозначенных особенностей для погружения шпунта и труб использовались гидравлические вибропогружатели стандартной частоты Allpicks 46 и Allpicks 52 производства Нидерландов.

Все это привело к некоторому удорожанию стоимости работ, но другая технология в сложившихся условиях была бы менее эффективна и могла привести к срыву и без того жестких сроков строительства.

В отличие от невыхских условий, шпунтовые работы по берегоукреплению и строительству водозаборного ковша Нововоронежской АЭС-2 в акватории реки Дон производились с берега. Шпунт здесь применялся для сооружения водонепроницаемой преграды, ограждающей конструкции водозаборного ковша на период паводка в весенний период. В это время уровень р. Дон может подниматься до 6–8 м. Спецификой производства работ явились: сложные геологические условия (общий модуль деформации грунта более 30 МПа); сжатые сроки производства работ, обусловленные плохо предсказуемой паводковой ситуацией; необходимость проведения работ по водопонижению грунтовых вод.

С учетом обозначенных условий было принято решение производить работы пионерным способом с отсыпкой в р. Дон (до 50 м от существующего уреза воды) для оборудования площадок для размещения строительной техники и оборудования, мест складирования шпунта. При строительстве применялся шпунт отечественного производства Л-5УМ длиной 10–20,7 м, обладающий повышенными прочностными свойствами. Общий объем составил более 2500 т.

Сложные геологические условия и строгие временные рамки потребовали круглосуточной организации работ тремя установками с комбинированным использованием тяжелых вибропогружателей ICE 66 (США), РТС 34HFV (Франция), Allpicks 86 (Нидерланды), гидромолота с массой ударной части 7 т, буровой установки для лидерного бурения.

Работы на объекте ведутся и по сегодняшний день. Следующий этап производства работ — это сооружение берегоукрепления вблизи водозаборного ковша вверх по течению Дона на расстояние до 200 м. Рассматриваются два варианта производства работ — это укладка габионов и погружение шпунта.

С нашей точки зрения, берегоукрепление с использованием шпунта более интересно как по стоимости, так и по срокам производства работ.

Многолетний опыт компании «ГидроПромСтрой» показывает, что в современном строительстве при производстве работ по созданию водо- и грунто непроницаемых преград применение шпунтового ограждения по-прежнему остается актуальным и самым технологичным решением, при этом основным способом погружения и извлечения шпунта является вибрационный метод, характеризующийся высокой производительностью и эффективностью.



**Рис. 3.** Строительство водовода на Арсенальной набережной, г. Санкт-Петербург



**ГидроПромСтрой**

ООО «ГидроПромСтрой»  
119134 Москва, ул. Б. Якиманка, д. 24, офис 405  
Тел. +7 (499) 238-63-96  
Тел./факс +7(499) 238-66-57  
e-mail: gps-atom@mail.ru  
www.gps-atom.ru

**МАНТА ГРУНТОВЫЕ АНКЕРЫ**

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

Грунтовые анкерные системы!

**ЗА 30 МИНУТ**

**УСТАНОВКА АНКЕРА**

**ПРЕИМУЩЕСТВА АНКЕРОВ МАНТА RAY:**

- быстрая и простая установка за 30 минут
- немедленная проверка несущей способности
- высокая стойкость по сравнению с традиционными применяемыми видами анкеров

На правах рекламы.



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

10-11 апреля  
**2014**  
Санкт-Петербург

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Международная научно-практическая конференция

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И СТРОИТЕЛЬСТВА  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

(в рамках выставки Интерстройэкспо-2014, Санкт-Петербург, Ленэкспо)

Регистрация на конференцию открыта! Количество мест ограничено!  
За дополнительной информацией обращайтесь по тел.: +7 (495) 66-55-014

125362, Москва, Водников 2, офис 25  
info@fc-union.com тел./факс: +7 (495) 66-55-014,  
www.fc-union.com моб. +7 916-36-857-36, +7 925-86-101-81

На правах рекламы.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ СТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ С УЧЕТОМ ИХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ



**Богов С. Г.,**  
инженер ООО «ИСП Георекострукция»  
(Санкт-Петербург)

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований реологических свойств цементных растворов с различным водоцементным соотношением и различными химическими добавками. Ясное понимание физических процессов, происходящих в грунте при струйной цементации, позволяет произвести бездефектное формирование закрепленного массива с известными прочностными свойствами, без гидравлических разрывов грунта и подъемов поверхности, включения в закрепляемую область фрагментов незакрепленного грунта и т. д.

**Ключевые слова:** струйная цементация, закрепление грунтов, реология цементных растворов.

**Abstract.** There are research results of cement mortars rheological properties with various water and cement ratio and various chemical admixtures in the article. Clear understanding of physical processes occurring in the soil under cement grout jetting lets do defectless forming of stabilized soil body with known mechanical strength characteristics but without soil hydraulic fracturing and surface risings, fragments of unsupported soil in the stabilized body and etc.

**Keywords:** cement grout jetting, soil stabilization, soil rheological properties.

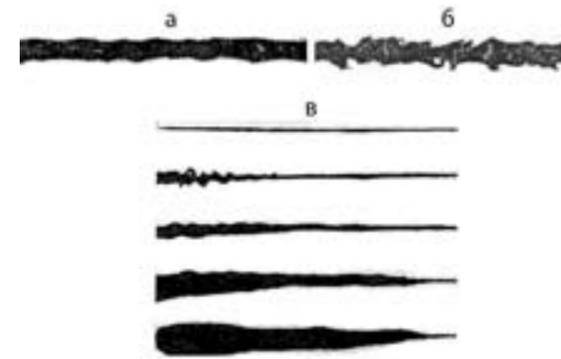
Достоинством струйной цементации является возможность с ее помощью осуществить закрепление практически всех грунтов — от песков до глин, выполнить как ограждение котлована, так и усиление отдельного ленточного или свайного фундамента. В комплекс работ по закреплению грунтов по технологии jet grouting — струйной цементации — входят следующие основные операции: бурение, размыв грунта цементным раствором, перемешивание и создание массива проектного размера, обладающего необходимыми свойствами, и, если необходимо, армирование. При этом еще до этапа создания конструкции в грунте той или иной прочности при проектировании необходимо решить несколько вопросов по формированию компактной струи цементного раствора, позволяющей разрушать грунт, задать расход для гидравлического транспортирования в затрубном пространстве нужного размера частиц закрепляемого грунта. Таким образом, для успешного применения струйной технологии в проекте необходимо превентивное решение комплекса задач из области строительных материалов, гидравлики бурения, механики грунтов и оснований и др.

### Формирование струй цементного раствора

Струя цементного раствора, выходящая из гидромонитора, формируется при истечении из специальных сопел. Конструкция струйного гидромонитора для закрепления грунтов должна обеспечивать сохранность формы и компактности струи на возможно большем расстоянии от сопла. Качество струи, истекаемой из сопел монитора, и полнота преобразования потенциальной энергии жидкости в кинетическую энергию во многом зависят от свойств сопел. Проходя через монитор, цементный раствор приобретает большую скорость и дробится по числу сопел на отдельные струи. Сопла в мониторе выполняются, как правило, коноидальными с диаметром на выходе до 5 мм. На компактность струи, ха-

рактер распределения потока существенное влияние оказывает выбор профиля сопел. Коноидальные насадки лучше сохраняют кинетическую энергию струи на выходе и имеют по всей длине самые высокие динамические давления. Сопла с углом конусности, равным 13°, и цилиндрической направляющей частью, на конце равной четырем диаметрам, которая служит для уменьшения сжатия и разбрызгивания струи на вылете. При размыве давление струи на контакте с грунтом, превышая прочность грунта на растяжение, обеспечивает разрушение забоя и отделение частиц грунта. В зависимости от плотности раствора струи  $\rho_{ст}$  и окружающей среды  $\rho_{ср}$  струи подразделяются [2, 3] на свободные затопленные, когда  $\rho_{ст} > \rho_{ср}$ ; свободные затопленные, когда  $\rho_{ст} = \rho_{ср}$ , и несвободные затопленные, когда  $\rho_{ст} < \rho_{ср}$ . Струя цементного раствора, достигая стенки скважины, интенсивно промывает грунт, увлекая за собой все разрушаемые частицы. Давление жидкости на выходе из сопел монитора практически равно ее скоростному напору.

При этом струя раствора на протяжении полета в воздушной среде претерпевает ряд изменений. На выходе из сопла струя имеет плотную структуру и цилиндрическую форму, по мере удаления от сопла струя, испытывая сопротивление окружающей среды, начинает распыляться, увеличиваясь в поперечном сечении. В результате чего давление по оси струи снижается. На рис. 1 и фотографиях, приведенных в [1, 2], истечения струи жидкости диаметром 5 мм под давлением 0,19 МПа и 3 МПа. На рис. 1, в приведены фото истечения струи в воздушную среду без избыточного давления и в среде, находящуюся под избыточным давлением от 0,0021 МПа до 1,45 МПа. На фото рис. 1, б хорошо видно образование «вихрей» и разрывов на поверхности струи, а на рис. 1, в хорошо видно постепенное увеличение расширения струи при увеличении плотности среды [1, 2].



**Рис. 1.** Истечение в воздушной среде струй диаметром 5 мм под давлением: а) 0,19 МПа, б) 3 МПа; в) в среде с избыточным давлением от 0,0021 МПа до 1,45 МПа

### Исследование реологических свойств цементных растворов

Для определения реологических параметров и тиксотропных свойств цементных растворов были проведены исследования на вискозиметре Fann 35SA рис. 2 [3].

В гидравлических расчетах для Бингамовских жидкостей, к которым относятся цементные и глинистые растворы, используются пластическая вязкость и величина динамического предельного напряжения сдвига. Величина пластической вязкости  $\eta_p$  определялась по формуле:

$$\eta_p = \varphi_{600} - \varphi_{300}, \text{ мПа}\cdot\text{с}, (1)$$

где  $\varphi_{300}$  и  $\varphi_{600}$  — углы закручивания в градусах при частотах вращения соответственно 3000 и 600 об/мин.

Величина динамического предельного напряжения сдвига  $\tau_0$  определялась по формуле:

$$\tau_0 = 0,4789 \cdot (2\varphi_{600} - \varphi_{300}), \text{ Па}. (2)$$

Для описания течения жидкостей, когда предельное напряжение сдвига  $\tau_0 = 0$ , используется степенная модель Освальда де Ваала с двумя реологическими параметрами  $\tau = k(\dot{\gamma})^n$ ,

где  $k$  — индекс консистенции, Па·с<sup>n</sup>;  $n$  — показатель степени неньютоновского поведения жидкости;  $\dot{\gamma}$  — скорость сдвига, с<sup>-1</sup>.

Для определения реологической модели цементного раствора, а также для определения параметров  $k$  и  $n$  используются формулы:

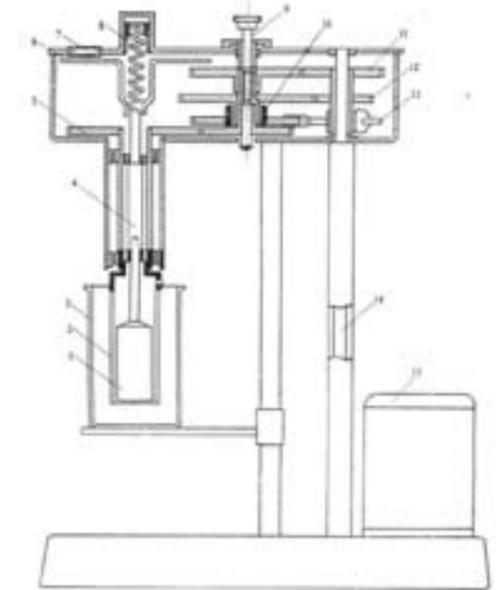
$$n = 3,32 \cdot \lg \frac{\varphi_{600}}{\varphi_{300}}, (3)$$

$$k = 511^{(1-n)} \cdot 10^{-3} \cdot \varphi_{300}, \text{ Па}\cdot\text{с}^n. (4)$$

Значение кажущейся вязкости для степенной жидкости определялось по формуле

$$\eta = k \cdot (\dot{\gamma})^{n-1}. (5)$$

Оценка тиксотропии цементных растворов производится по скорости и степени гелеобразования в состоянии покоя. Эти свойства характеризуются значениями напряжения сдвига, необходимого для разрушения структуры цементного раствора. Исследовались цементные растворы на основе портландцемента М400 (ЦЕМ II/A-Ш32,5 Б) с В/Ц = 1; 0,75 и 0,5 с различным содержанием добавок суперпластификатора С-3, жидкого стекла, хлористого кальция и без добавок [3]. Показания снимались для шести значений вращения цилиндра 600, 300, 200, 100, 6 и 3 об/мин при температуре воздуха 20 °С.



**Рис. 2.** Принципиальная схема вискозиметра Fann 35SA: 1 — измерительный цилиндр; 2 — наружный вращающийся цилиндр; 3 — стакан с испытуемой жидкостью; 4 — вал подвески измерительного цилиндра; 5 — привод наружного цилиндра; 6 — градуированный диск; 7 — реперный визир; 8 — динамометрическая пружина; 9 — переключатель скоростей; 10 — пружинное сцепление; 11 — шестерня привода для частот вращения 300 и 600 об/мин; 12 — шестерня привода для частот вращения 100 и 200 об/мин; 13 — червячное зацепление для частот вращения 3 и 6 об/мин; 14 — промежуточный вал; 15 — двухскоростной (750 и 1500 об/мин) синхронный двигатель

№ состава п/п	В/Ц раствора, хим. добавка % от веса цемента		
	В/Ц = 0,5	В/Ц = 0,75	В/Ц = 1
1	без добавок	- «-» -	- «-» -
2	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> — 1%	- «-» -	- «-» -
3	С-3 — 0,17% + Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> — 1%	- «-» -	- «-» -
4	CaCl <sub>2</sub> — 2%	- «-» -	- «-» -

**Табл. 1.** Составы цементных растворов

№ п/п состав	В/Ц цементного раствора	n	k, Па·с	Статическое напряжение сдвига, $\tau_0$ , Па		Пластическая вязкость $\eta_p$ , мПа·с	Динамическое предельное сопротивление сдвига $\tau_0$ , Па
				10	600		
1	В/Ц = 0,5	0,64	0,468	5,267	7,66	28	10,534
	В/Ц = 0,75	0,73	0,08	1,915	4,31	9,5	2,394
	В/Ц = 1	0,83	0,026	0,718	2,87	7	0,958
2	- «-» -	0,66	0,541	6,703	13,41	38,5	13,167
	- «-» -	0,65	0,246	3,83	7,661	16	5,746
	- «-» -	0,88	0,027	2,394	6,703	11	0,958
3	- «-» -	0,65	0,541	6,703	13,41	34	12,445
	- «-» -	0,86	0,039	1,676	5,746	13	1,436
	- «-» -	1,1	0,005	0,958	6,703	10,3	0
4	- «-» -	0,7	0,256	4,549	8,14	25,5	7,182
	- «-» -	0,85	0,032	1,197	3,83	10	1,197
	- «-» -	0,95	0,011	0,958	2,872	7,5	0

**Табл. 2.** Реологические характеристики цементных растворов

Исследованные цементные растворы можно отнести к жидкостям Освальда де Ваала. На графиках в логарифмических осях **рис. 3** практически все экспериментальные точки располагаются на прямых линиях. Для анализа реологических свойств растворов при течении растворов в кольцевом пространстве рекомендуется использовать показания для частот вращения 3 и 6 об/мин.

Для технологии закрепления jet-1, как правило, используются штанги диаметром 76 мм, а долото 93 мм или 112 мм, при технологии jet-2 применяются штанги диаметром 89 мм и долото 112 или 132 мм. Таким образом, через кольцевое пространство которое имеет зазор, в данном случае от 8,5 мм до 18 мм, необходимо транспортировать весь избыточный в скважине грунтоцемент. Средняя скорость жидкости в кольцевом пространстве определяется по формуле:

$$v_n = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)} \text{ м/с, (5)}$$

где Q — расход жидкости, м³, D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub> — диаметры труб и скважины соответственно, м. Скорость осаждения v<sub>ос</sub> частиц выбуренного шлама с диаметром D, движущегося со скоростью v<sub>сп</sub> в потоке с плотностью ρ<sub>ш</sub>, по данным [5], можно рассчитать по формуле

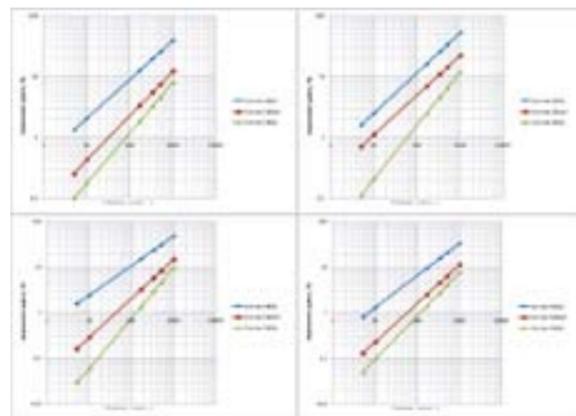
$$v_{ос} = \frac{69,12 \cdot (\rho_{ш} - \rho) \cdot Dv_{сп}^2}{1,07\tau_0 \cdot (R_2 - R_1) + 3,33\eta \cdot v_{сп}} \text{ м/с. (6)}$$

Очевидно, что для прокачивания и транспортирования цементного раствора, обогащенного разрушенной породой в затрубном пространстве, нужны значительные расход и давление цементного раствора. Для слоя грунта, подвергаемого закреплению, известен гранулометрический состав и процентное содержание частиц. При размыве грунта частицы диаметром, большим D, останутся в скважине и будут являться «инертным» наполнителем цементогрунта, а частицы диаметром, меньшим D, будут транспортироваться из скважины на поверхность в виде излива, **рис. 5** [6]. Массив цементогрунта будет состоять из частиц закрепляемого объема грунта, частиц цементного раствора, со своим водотвердым отношением В/Т. В грунте будет создаваться композитный материал с известным грансоставом. Оценку прочностных свойств получаемого цементогрунтового материала можно произвести по следующим исходным данным: первоначальному В/Ц отношению подаваемого цементного раствора, влажности и гранулометрическому составу слоя закрепляемого грунта, плотности и прочности изливов цементогрунта из скважин.

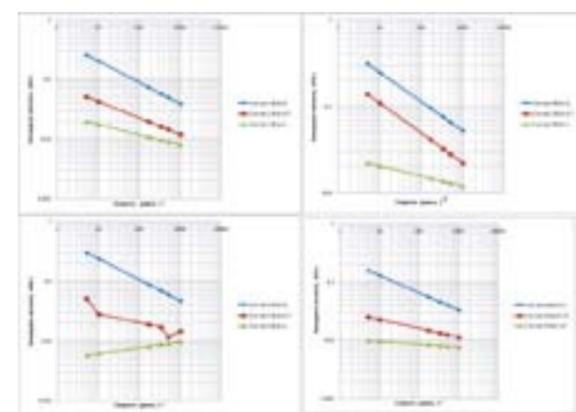
Если скорость восходящего потока раствора в затрубном пространстве будет ниже скорости осаждения частиц заданного размера D, плотность изливающегося раствора близка к плотности исходного цементного раствора, в скважине можно ожидать явления клаважа, роста давления на стенке скважины и гидроразрыва пласта, а закрепление заданного массива может и не состояться.

**Литература**

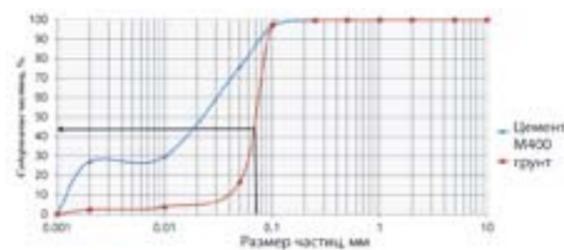
1. Асатур К. Г. Исследование кинематики свободной не затопленной струи // Записки Лен. горн. ин-та. Т. XLI. Вып. 1. 1959. С. 52–61.  
 2. Цяпко Н. Ф., Чапка А. М. Гидроотбойка угля на подземных работах. М.: Госгортехиздат, 1960. 308 с.



**Рис. 3. Реограммы исследованных цементных растворов в логарифмических осях**



**Рис. 4. Изменение кажущейся вязкости растворов от скорости сдвига в логарифмических осях**



**Рис. 5. Интегральные кривые гранулометрического состава закрепляемого грунта и цемента**

3. Богов С. Г., Запелалов И. А. Исследование свойств инъекционных растворов на основе цемента для качественного закрепления грунтов. Реконструкция и строительство на слабых грунтах // Ин-нет журнал. № 2. ГРФ. СПб., 2000.  
 5. Булатов А. И., Проселков Ю. М., Рябченко В. И. Технология промывки скважин. М.: Недра. 1981. 301 с.  
 6. Ulitsky V. M. & Bogov S. G. Formation of piles with set strength characteristics / Grouting and deep mixing. Balkema / Rotterdam/ Broorfield / 1996. p. 773–776.

## 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.



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

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

[www.new-ground.ru](http://www.new-ground.ru), [info@new-ground.ru](mailto:info@new-ground.ru)

## МОРСКИЕ ГТС. КОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ШЕЛЬФ

В сентябре 2013 г. состоялись важные международные мероприятия, на которых обсуждались вопросы развития морских портов и разработки континентального шельфа России, — выставка RAO/ CIS OFFSHORE, выставка NEBA, международный Арктический форум, которые еще раз подтвердили приоритет обозначенных направлений для социально-экономического развития России. Прошедшие выставки продемонстрировали высокие технологии, новые научные разработки и практический опыт освоения арктического шельфа, строительства портов, при этом российские достижения не уступают зарубежным. Большое внимание на конференциях, состоявшихся в рамках RAO/ CIS OFFSHORE, уделялось вопросам, связанным с гидротехническими работами и сооружениями. Особый интерес вызвали разработки завода «Севмаш», представившего буровые и добывающие платформы нового поколения, а также уникальную технологию подводной сварки; опыт ЦКБ «Монолит», которое представило проекты ледостойких островов для добычи газа; разработки Крыловского центра для проведения работ на мелководном шельфе, а также активно обсуждалась проблема устойчивости буровых и добывающих платформ, снижения риска их аварийности — в этом направлении заслуживают внимания разработки специалистов ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», представленные в докладе С. А. Сошниной и вызвавшие активный интерес участников конференции. Основные положения этих разработок представлены в статье авторского коллектива ВНИИГ.

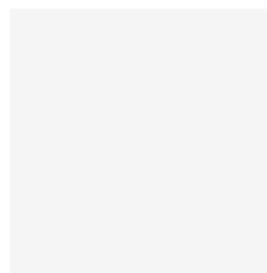
Новым технологиям, технике и оборудованию для освоения океана и шельфа была посвящена специальная конференция в рамках выставки NEBA, на которой было отмечено, что арктические порты и перегрузочные комплексы не выполняют в полной мере поставленные перед ними задачи: экспорт углеводородов и продукции горнодобывающей промышленности, обеспечение освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений; обеспечение арктического транзита и обслуживание судов, работающих на трассах Северного морского пути; обеспечение жизнедеятельности и развития арктических субъектов РФ, их внешнеторговых связей и туризма. В связи с резким сокращением грузооборота ряд северных порто-моногородов практически прекратил свою деятельность. Как следствие — разрушаются гидротехнические, причальные сооружения, повсеместно требуются дноуглубительные работы для обеспечения приема судов нового поколения. Остро стоит проблема утилизации судовых отходов,

нехватки средств ликвидации аварийных разливов нефти. К примеру, с 2008 г., по сути, не действуют порты Амдерма, Диксон, Хатанга, Зеленый Мыс. Порт Тикси, являющийся базовым портом Республики Саха, ранее перегружавший свыше 800 тыс. т. грузов, в 2010 г. переработал всего 8 тыс. т и сократил численность персонала до 18 человек.

Специалисты отметили, что для нормального обеспечения функционирования Севморпути необходимо детальное обследование состояния, восстановление и модернизация арктических портов, строительство береговых и шельфовых терминалов, создание базовых портов-хабов, транспортно-логистических узлов, предприятий аварийного ремонта проходящих судов. Участниками конференции было предложено Минтрансу совместно с субъектами РФ и заинтересованными бизнес-единицами: разработать программу развития арктических портов, которая будет включена в государственную Программу развития Арктической зоны РФ; рассмотреть целесообразность создания контейнерных терминалов и портовых особых экономических зон в отдельных базовых портах АМТС на примере Мурманского порта и глубоководного района Архангельского морского порта с возможным привлечением инвестиций и контейнерного транзитного потока стран АТР; принимая во внимание строительство широтной железной дороги «Белкамур» (Архангельск — Сыктывкар — Соликамск), предусмотреть создание базового порта-хаба в северной части губы Сухое море; создать в северных регионах РФ, тяготеющих к Севморпути, транспортно-логистические узлы — Кольский (Мурманск, Териберка), Урало-Западно-Сибирский (Архангельск, Индига), Ямальский нефтегазовый (Харасавэй, Сабетта, Новый порт), Норильско-Туруханский и Нижне-Енисейский (Игарка, Дудинка, Диксон), Ленский (Якутск, Тикси), Чукотско-Камчатский (Певек, Провидения, Петропавловск-Камчатский). Было особое акцентирование на привлечение инвестиций и отмечено, что на сегодня инициатива бизнеса в развитии специализированных арктических портов опережает инициативу исполнительной власти. В качестве положительных примеров были приведены компании «Лукойл» (строительство и эксплуатация нефтяного терминала «Варандей» в Баренцевом море), «Газпром» (завершает строительство нефтяного терминала «Приразломное»),

«Новатек» (строительство в Обской губе порта Сабетта). Специалисты ОАО «Газпром» рассказали о технологиях строительства морского участка газопровода «Южный поток», который в техническом отношении является уникально сложным объектом — прежде всего в силу необходимости укладки труб диаметром 32 дюйма на глубину 2250 м. Такая комбинация глубины укладки и внешнего диаметра является рекордной для индустрии глубоководного трубопроводного транспорта. При этом специалисты «Газпрома» акцентировали внимание на особо продуманном выборе площадок для временного хранения труб (общая протяженность укладки ваемых труб 3700 км, для строительства одной нитки газопровода потребуется более 77 тыс. труб, общий вес которых около 700 тыс. т), в качестве которых сегодня рассматриваются российские, болгарские и турецкие порты и территории, но на данный момент российский вариант проигрывает в силу большой загруженности портов или ограниченности их территории.

В целом прошедшие масштабные мероприятия показали, что развитие шельфа и портов России нельзя рассматривать только в рамках транспортной системы страны, необходимо решать в комплексе задачи развития энергетического комплекса, экономики ближайших регионов и внешнеэкономических связей, развития инфраструктуры, экологии. И здесь Россия имеет перспективные разработки, которые, наряду с развитием морских транспортных путей, позволят реализовать экономически и социально выгодные проекты. К примеру, одна из ведущих российских компаний НПО «Гидроэнергострой» на организованном ею в рамках выставки NEBA научно-практическом семинаре представила опыт освоения прибрежных морских акваторий с использованием инновационных технологий преобразования волновой энергии — перспективного направления для России. Крыловский научный центр поделился своими разработками по обеспечению экологической безопасности на шельфе и представил новейшие технические средства для работы в Арктике. В рамках круглого стола, посвященного проблемам рыбохозяйственного комплекса России, были представлены эффективные технологические решения, в том числе и гидротехнические сооружения.



# ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ЗАКРЕПЛЕНИЯ И УДАЛЕНИЯ ОПОРНЫХ БЛОКОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК НА МЕЛКОВОДНОМ АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ



**Глаговский В. Б.,**  
доктор техн. наук, научный  
руководитель — первый  
заместитель генерального  
директора ОАО «ВНИИГ  
им. Б. Е. Веденеева»



**Соснина С. А.,**  
канд. техн. наук, старший научный  
сотрудник ОАО «ВНИИГ  
им. Б. Е. Веденеева»



**Белкова И. Н.,**  
старший научный сотрудник  
ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»

**Аннотация.** В статье «Оценка условий закрепления и удаления опорных блоков буровых установок на мелководном арктическом шельфе» рассмотрены вопросы взаимодействия опорного блока с грунтовым основанием на основных этапах цикла работы сооружения: установки на место эксплуатации, периода эксплуатации, подъема для эвакуации. Обозначены варианты фундирования; представлены расчеты осадки при гравитационном варианте фундирования, оценка устойчивости буровой установки в период эксплуатации, расчеты взаимодействия фундаментного блока сооружения с основанием при проведении операции подъема.

**Ключевые слова:** мобильная буровая установка, арктический шельф, свайное закрепление, консолидация грунтов, осадка, устойчивость, подъем опорного блока.

**Abstract.** The article "Evaluation of drilling rigs substructures anchoring and removal conditions on the shallow Arctic shelf" considers questions of interaction of substructure with soil-structure during the main phases of structure operation period: installation, operation period, raising for evacuation. It presents foundation variants; settlement computations of gravitation variant of foundation, stability calculation of drilling dig during its operation, estimated interactions of foundation block structure with soil-structure.

**Keywords:** smobile offshore drilling unit, Arctic shelf, pile anchoring, soil consolidation, settlement, stability, substructure raising.

В последние годы в мире широко используются мобильные буровые установки, осуществляющие бурение или его сопровождение на точке эксплуатации в течение некоторого времени (обычно 1–2 года) с последующим подъемом и эвакуацией на новое местоположение. Однако опыт использования сооружений такого типа для обеспечения круглогодичного бурения на мелководных акваториях в суровых климатических условиях и при наличии «слабых» грунтов основания, характерных для арктического шельфа России, крайне ограничен. В связи со сменой нескольких точек эксплуатации за жизненный срок опорные блоки мобильных буровых установок в таких условиях должны быть достаточно универсальными, чтобы обеспечить:

- 1) надежность и безопасность круглогодичной эксплуатации (устойчивость и эксплуатационную пригодность при воздействии максимальных природных нагрузок);
- 2) мобильность (возможность буксировки и установки на дно при различных глубинах моря в заданном диапазоне);
- 3) адаптивность к различным геотехническим, гидрометеорологическим и другим условиям мест эксплуатации (возможность модификации / комплектации в зависимости от конкретных условий);
- 4) минимальное время установки и ввода в эксплуатацию (с учетом непродолжительного безледного периода);

5) возможность эвакуации с места эксплуатации.

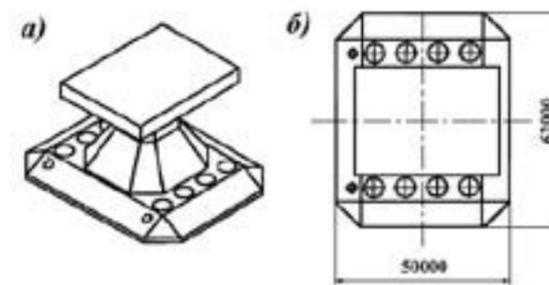
На примере опорного блока буровой установки, предназначенной для осуществления бурения на мелководном арктическом шельфе, рассмотрим вопросы взаимодействия опорного блока с грунтовым основанием на основных этапах цикла работы сооружения: установки на место эксплуатации, периода эксплуатации, подъема для эвакуации.

Рассматриваемое сооружение представляет собой стальную платформу с поднимаемым центральным понтоном. Установленная на донные грунты акватории, платформа опирается на две колонны; в период эксплуатации понтон, расположенный между колоннами, поднят над поверхностью воды. При удалении с точки подъем сооружения осуществляется путем увеличения плавучести за счет погружения понтона в воду и снятия балласта. Подводная часть каждой колонны состоит из прямоугольной опорной плиты (со скошенными углами) и восьмигранного конуса. В опорной плите предусмотрены отверстия для установки свай. Общий вид колонны представлен на **рис. 1**.

Глубина акватории в месте установки сооружения составляет 8–10 м.

### Инженерно-геологические условия

Для оценки взаимодействия опорного блока с грунтовым основанием были выбраны инженерно-геологические усло-



**Рис. 1.** Опорная колонна: а) общий вид; б) вид в плане

вия одной из площадок, являющиеся довольно характерными для арктического шельфа России. Характеристики грунтов принимались следующими:

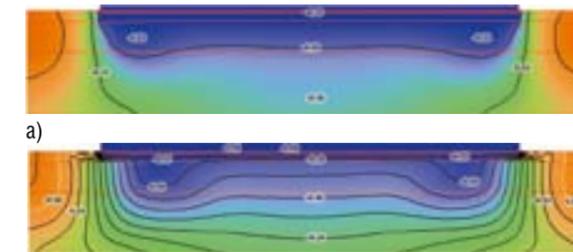
- ил глинистый: мощность слоя  $h_{сн}=1$  м, удельный вес грунта с учетом взвешивающего действия воды  $\gamma_{взв}=6,0$  кН/м<sup>3</sup>, недренированная прочность  $c_u=1$  кПа, угол внутреннего трения равен  $\varphi=3^\circ$ , сцепление  $c=3$  кПа, показатель текучести  $I_L=1,5$ , модуль деформации  $E=0,5$  МПа;
- суглинок тугопластичный:  $h_{сн}=3$  м,  $\gamma_{взв}=9$  кН/м<sup>3</sup>,  $\varphi=31^\circ$ ,  $c_u=50$  кПа,  $c=10$  кПа,  $I_L=0,3$ ,  $E=4$  МПа;
- суглинок текучий:  $h_{сн}=6$  м,  $\gamma_{взв}=8$  кН/м<sup>3</sup>,  $\varphi=11^\circ$ ,  $c_u=15$  кПа,  $c=1$  кПа,  $I_L=1,1$ ,  $E=18$  МПа;
- песок средней плотности средней крупности:  $h_{сн}=20$  м,  $\gamma_{взв}=10$  кН/м<sup>3</sup>,  $\varphi=26^\circ$ ,  $c=30$  кПа,  $E=18$  МПа;
- суглинок твердый:  $h_{сн}=25$  м,  $\gamma_{взв}=11$  кН/м<sup>3</sup>,  $\varphi=25^\circ$ ,  $c_u=170$  кПа,  $c=120$  кПа,  $I_L=0,07$ ,  $E=22$  МПа.

### Варианты фундирования

Конструкция опорного блока предполагает два возможных варианта фундирования сооружения: гравитационный вариант и свайное закрепление. Выбор варианта фиксации сооружения зависит от возможности обеспечить его устойчивость при максимальных сдвигающих нагрузках в конкретных инженерно-геологических, гидрометеорологических и ледовых условиях площадки размещения. Для условий рассмотренной площадки результаты расчетов показали, что устойчивость гравитационного варианта при максимальных ледовых нагрузках не обеспечена. Устройство «юбочных» конструкций для повышения устойчивости нецелесообразно, поскольку они увеличат осадку сооружения при буксировке и, следовательно, ограничат возможность использования буровой установки на мелководных участках. Таким образом, для обеспечения надежности сооружения при круглогодичной эксплуатации на данной площадке необходимо использовать свайное закрепление. Гравитационный способ фундирования данного сооружения возможен лишь при эксплуатации в безледный период, а также в «переходные» моменты, т. е. до закрепления сваями после установки опорного блока на дно или, наоборот, после удаления свайного закрепления до начала операции подъема.

### Осадки при гравитационном варианте фундирования

Для оценки диапазона возможных осадок опорного блока до установки свайного закрепления или в случае отказа от него (эксплуатация в безледный период) были выполнены расчетные исследования с использованием разработанного в ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» программного комплекса «Диск-Геомеханика» [1, 2]. С этой целью методом конечных элементов решалась задача консолидации с учетом упру-



**Рис. 2.** Осадки в системе,  $U_y$  (м), при установке на дно без заглабления: а) к моменту завершения установки; б) две недели спустя

го-пластических свойств грунтов. Рассматривалось слоистое основание с субгоризонтальным строением.

В силу симметрии сооружения анализ поведения системы выполнялся для одной опорной ноги. При постановке задачи считалось, что давление, передаваемое на грунты основания от каждой опорной ноги, составляло величину  $P$ , при этом моделировалось, что при установке в течение первых суток давление на донные грунты от сооружения увеличивалось от 0 до 100%  $P$ . После чего консолидация грунтов основания проходила в стационарном режиме.

Результаты расчета показали, что при принятых инженерно-геологических условиях время консолидации составит около двух недель после завершения установки сооружения. По истечении этого срока в условиях стационарного нагружения системы осадки не меняются. Максимальная расчетная осадка блока, установленного непосредственно на донный грунт, не превысит 0,58 м.

Для варианта установки опорного блока непосредственно на донные отложения на **рис. 2** приведены поля интенсивности и изолинии вертикальных смещений  $U_y$  для двух характерных состояний — для момента завершения установки (и полной передачи нагрузки от сооружения на грунт) и по прошествии двух недель после установки.

Кроме того, были рассмотрены случаи установки сооружения с заглаблением в грунты донных отложений.

В случае, когда производится снятие поверхностного илистого слоя мощностью 1 м и установка конструкции осуществляется непосредственно на кровлю суглинистых грунтов, процесс рассеивания избыточного порового давления и консолидации грунтов основания будет продолжаться также не более полумесяца, что наглядно видно по **рис. 3 и 4**. Полная осадка сооружения  $U_y$  по окончании консолидации грунта в этом случае составит 0,43 м (**рис. 5, а**).

При установке блока на суглинки тугопластичные с заглаблением подошвы на 1,5 м ниже поверхности дна (**рис. 5, б**) вертикальные перемещения конструкции имеют наименьшие величины по сравнению с менее заглабленными фундаментами, осадка  $U_y = 0,38$  м.

### Устойчивость буровой установки в период эксплуатации

Как отмечалось выше, устойчивость сооружения при максимальных ледовых нагрузках может быть обеспечена при использовании свайного закрепления. Рассматривался фундамент, состоящий из 16 свай диаметром 3,048 м (по восемь свай на каждой опорной ноге.)

При выполнении расчетов принималось, что сваи изготовлены из стали с пределом текучести  $\sigma_T = 355$  МПа. С учетом коэффициентов надежности по материалу ( $\gamma_m = 1,1$ ) и по ответ-

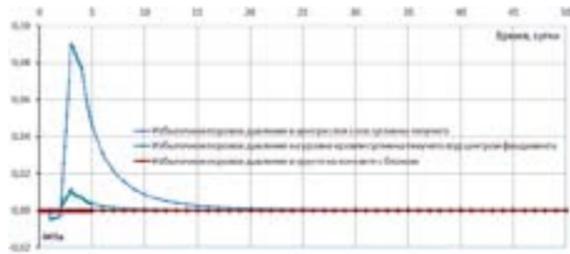


Рис. 3. Изменение порового давления в основании в процессе консолидации

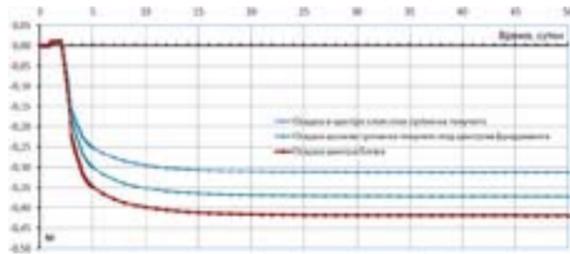


Рис. 4. Изменение осадок в период установки блока на дно в процессе консолидации основания

ственности для гидротехнического сооружения I класса при расчете по предельному состоянию первой группы ( $\gamma_n = 1,25$ ), допустимые напряжения в свае, изготовленной из стали с  $\sigma_T = 355$  МПа, принимались равными  $[\sigma] = 258$  МПа.

Глобальные ледовые нагрузки на сооружение составляли (нормативные величины): 80 МН — горизонтальная составляющая, 80 МН — вертикальная составляющая. Прижимная сила при осадке 8 м (сила тяжести за вычетом силы плавучести), действующая на одну опорную колонну, — 125 МН. Нагрузки передавались на сваю на 2,8 м выше уровня морского дна.

Расчет свай по несущей способности грунтов основания производился с учетом требований Правил классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ Российского морского регистра судоходства [3] и СНиП «Свайные фундаменты» [4]. Следует заметить, что в 2011 г. был утвержден Свод правил СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты», являющийся актуализированной редакцией СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты». При этом область применения Свода правил не распространяется на проектирование свайных фундаментов опор морских нефтепромысловых и других сооружений, возводимых на континентальном шельфе. Однако СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты» не был отменен. Таким образом, вопрос о российском нормативном документе, регламентирующем расчет свайных фундаментов сооружений на шельфе, является несколько неопределенным.

При расчете несущей способности свай на осевую нагрузку в соответствии с [4] учитывалось сопротивление по внешней боковой поверхности и сопротивление под нижним концом сваи по площади сечения нетто, т. е. по кольцевому сечению сваи-оболочки (при расчете на сжатие). Такой подход для расчета тонкостенных стальных сваи-оболочек большого диаметра можно считать достаточно консервативным.

По результатам расчета для обеспечения требуемой несущей способности необходима свая, заглубленная в грунт на 60 м (предельная несущая способность  $F_d = 51,3$  МН; допустимая нагрузка на сваю  $N_{доп} = 34,7$  МН).

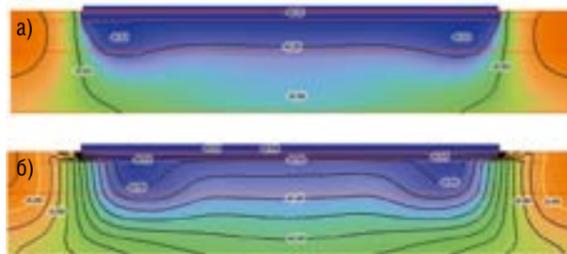


Рис. 5. Осадки  $U_y$  (м) по завершении консолидации в условиях установки на суглинки с заглублением подошвы фундамента на: а)  $\nabla - 1,0$  м; б) на  $\nabla - 1,5$  м

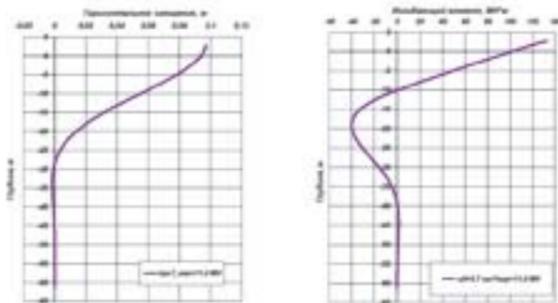


Рис. 6. Изогнутая ось сваи и эпюра изгибающих моментов по длине сваи при  $f_{top} = 11,0$  МН

Для определения напряженно-деформированного состояния свай фундамента при совместном действии нагрузок применялся метод, основанный на использовании кривых нелинейного деформирования, отражающих мобилизацию сопротивления грунта по мере развития смещений (кривые “t-z” для сопротивления по боковой поверхности, “Q-z” для сопротивления под нижним концом, “p-y” для бокового отпора). Кривые нелинейного деформирования определялись в соответствии с рекомендациями API, DNV [5, 6], получившими наибольшее распространение в мировой практике при проектировании свайных фундаментов сооружений на шельфе.

Расчет производился по программе “DOLPHIN”, разработанной в ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева» и реализующей данный метод. Расчет основан на основе решения системы нелинейных дифференциальных уравнений шестого порядка для каждой сваи. Сваи моделировались упругими балками с параметрами, изменяющимися по глубине. По результатам расчета оценивались горизонтальные и вертикальные перемещения оголовка и прочность ствола сваи. Допустимые горизонтальные перемещения для шельфовых сооружений, как правило, определяются технологическими требованиями к эксплуатации имеющегося оборудования. На стадии концептуальных проработок конструкции чрезмерными считались горизонтальные перемещения оголовка свыше 0,2 м.

Расчет деформаций производился для наиболее нагруженной сваи при воздействии глобальной ледовой нагрузки. Для выбора толщины стенки сваи были выполнены предварительные расчеты деформаций и усилий, возникающих в свае при действии максимальных нагрузок. Для выполнения окончательных расчетов была принята переменная по длине толщина стенки сваи (от 8 см до 5 см).

На рис. 6 представлены изогнутая ось сваи и эпюра изгибающих моментов по длине сваи, полученные по результатам расчета.

Таким образом, горизонтальные смещения оголовка сваи при действии максимальной ледовой нагрузки составляют  $u_0 = 9,7$  см на уровне заделки сваи ( $\nabla 2,8$  м), что удовлетворяет принятому ограничению по допустимым смещениям (20 см). По результатам расчета, осадка наиболее нагруженной сваи составляет 1,9 см (при сжимающей нагрузке  $F_{сж} = 34,7$  МН). Вертикальное перемещение противоположной сваи равно 0,8 см (при сжимающей нагрузке  $F_{сж} = 20,1$  МН). Таким образом, разность осадок противоположных свай составит 1,1 см.

Расчет максимальных напряжений, возникающих в сечении заделки сваи, показал, что напряжения в верхней части сваи наиболее нагруженной сваи составляют 293,3 МПа, что несколько превышает допустимые. Этот участок рекомендуется изготовить из стали с более высоким пределом текучести, например  $\sigma_T = 500$  МПа ( $[\sigma] = 363,6$  МПа).

**Подъем опорного блока буровой установки**

Для оценки усилий, необходимых для отрыва от грунта и поднятия буровой установки с точки эксплуатации, были выполнены расчетные исследования взаимодействия фундаментного блока сооружения с основанием. Время проведения операции варьировалось. Сценарии подъема рассматривались для двух вариантов заглубления блока относительно дна акватории:

- Вариант А. Отметка подошвы заглублена в грунты донных отложений на  $-1,0$  м.
- Вариант Б. Отметка подошвы опорного блока ниже поверхности дна на  $-1,5$  м.

Предполагалось, что после установки на точку сооружения находилось в эксплуатации в течение двух календарных лет. По окончании эксплуатационного периода запланирована операция по подъему конструкции.

Состояние системы в процессе проведения операции оценивалось путем численного моделирования подъема жесткого блока, установленного на упруго-пластическом основании. Моделирование проводилось методом конечных элементов с использованием программного комплекса «Диск-Геомеханика», решалась задача консолидации.

Численное моделирование подъема сооружения при вариации отметки подошвы (варианты А и Б) выполнялось в условиях трех различных темпов проведения операции, характеризующихся расчетным интервалом  $\Delta T$ . Интервал  $\Delta T$  — это расчетное время, в течение которого на первом этапе нагружения системы давление сооружения весом  $P$  на грунт постепенно компенсировалось подъемной силой  $F$ ,  $0 \leq F \leq 100\% P$ . Далее за такой же промежуток времени  $\Delta T$  подъемная сила  $F$  ступенчато увеличивалась от 100% до 150%  $P$ .

Таким образом, нагружение системы осуществлялось в два равных по времени ( $\Delta T$ ) этапа: первого периода приложения подъемного усилия, снимающего давление конструкции на дно и второго, на котором скорость роста выдергивающей нагрузки была снижена вдвое.

Прогноз состояния системы в каждом расчетном случае выполнялся для определенных интервалов времени выполнения этапов операции, а именно:

- Варианты 1-А и 1-Б.  $\Delta T_1 = 10$  мин. Шаг по нагрузке составлял 0,5% и 0,25%  $P$ .
- Варианты 2-А и 2-Б.  $\Delta T_2 = 1$  час. Шаг по нагрузке — 0,83% и 0,42%  $P$ .
- Варианты 3-А и 3-Б.  $\Delta T_3 = 10$  часов. Шаг по нагрузке — 0,083% и 0,042%  $P$ .

На модели подъемная сила задавалась в виде двух равных составляющих вертикальных усилий, которые прикладывались к противоположным краям блока.

*Трактовка условий отрыва и результаты расчетов*

Понятно, что поднятие базового корпуса и, в особенности, его первичный отрыв будут происходить вместе с частью грунтов, прилипших к плоскости дна сооружения. В отсутствие полного комплекса исследований, включающих определение липкости и вязкости грунтов, свойств адгезии в отношении материалов днища конструкции, выполнялась приближенная оценка, основанная на имеющихся физико-механических данных.

Фиксация момента отрыва проводилась по следующим характерным признакам:

1. По полям смещений в системе — по резкому нарастанию перемещений самой недеформируемой конструкции и перемещений в грунтовой толще в зоне подошвы. Считалось, что отрыв состоялся, когда в контактной области регистрировалось интенсивное сгущение изолиний вертикальной компоненты  $U_y$ , полностью отсекающее контур модуля от нижележащего основания.

2. По полю распределения интенсивности тензора пластических деформаций. Принималось, что отрыв конструкции от грунта в полной мере происходит в тот момент, когда в слое, непосредственно прилегающем к опорной плоскости, зоны пластического деформирования грунтов, очерченные по контуру изолинией (II-го инварианта девиатора) со значением 0,01, сливаются в единую область и отделяют подошву от остального основания.

3. По области распространения разрушения в грунтах основания (грунты, перешедшие в предельное состояние). За реализацию отрыва считался момент, в который отдельные зоны разрушения сливаются в единую область под подошвой.

Некоторые результаты расчетов на численной модели проиллюстрированы на рис. 7-8. Они дают возможность с определенными допущениями прогнозировать состояние системы при проведении операции подъема. На рисунках подъемная сила  $F$  указана в процентах от величины давления на дно акватории  $P$ .

На рис. 7 представлена зависимость вертикальных смещений конструкции от величины подъемной силы для всех рассмотренных вариантов темпа проведения операции подъема и заглубления подошвы сооружения.

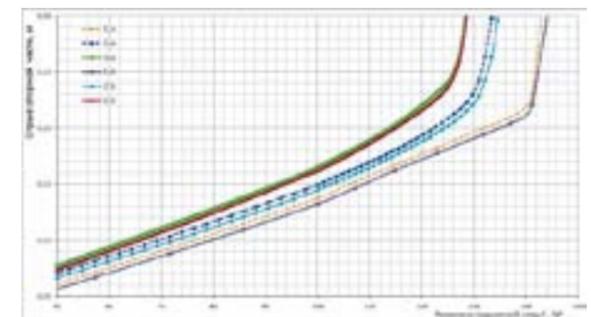


Рис. 7. Величина подъемного усилия для трех темпов проведения операции подъема



а) Вертикальные смещения  $U_y$ , м



б) Контур области интенсивного пластического деформирования грунтов (по II-му инварианту девиатора) по изолинии со значением 0,01



в) Контур области грунтов в предельном состоянии

Рис. 8. Фиксация отрыва по трем условиям для варианта 2-Б ( $\Delta T_2 = 1$  час, заглубление 1,5 м)

Вариант			Усилие (в % Р) и время отрыва в соответствии с критерием			Время операции
№	заглублен	$\Delta T$	$U_y$	II инвариант	Пред. состояние	
1-А	1,0 м	10 мин	140	135-140	132	0,3
2-А		1 час	130	127.5	127	1,6
3-А		10 часов	126	126	125.5	15,3
1-Б	1,5 м	10 мин	156	158	157-162	0,35-0,37
2-Б		1 час	139	142-143	141,7-142	1,85
3-Б		10 часов	133,5	137	136-137	17,3

Табл. 1. Усилие и время отрыва при различном темпе проведения операции подъема

Для иллюстрации фиксации отрыва по трем различным признакам на рис. 8 для варианта 2-Б приведены: а) изолинии вертикальных смещений  $U_y$ ; б) поля распределения тензора пластических деформаций в грунтах (области деформирования построены по II инварианту девиатора, ограниченному изолинией 0,01); в) области грунтов основания, перешедших в предельное состояние.

Результаты определения необходимого усилия и времени отрыва для всех рассмотренных вариантов приведены в табл. 1.

По результатам расчетов смещений и по распределению пластических деформаций в грунтах, выполненных при указанных допущениях, можно сделать следующее заключение:

- Для случая заглубления подошвы конструкции в основание на 1 м отрыв блока и подъем со дна может быть обеспечен при нагрузках, составляющих от 126% до 140% от величины полного давления на грунт. Величина подъемной силы, необходимой для обеспечения отрыва, зависит от скорости ее приложения. Чем быстрее осуществляется операция, тем большее усилие требуется для формирования разрыва между грунтами и подошвой фундаментного блока.
- Для обеспечения подъема более заглубленного опорного блока (подошва ниже поверхности грунта на 1,5 м) необ-

ходимо приложение подъемного усилия  $F$  величиной от 133% до 162% от веса сооружения  $P$ , в зависимости от скорости проведения операции.

**Литература**

1. Беллендир Е. Н., Глаговский В. Б., Готлиф А. А., Прокопович В. С. Математическое моделирование грунтовых сооружений и оснований. Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. Т. 231. 1996. С. 272-286.
2. Мишин Д. В. Программная архитектура и интерактивная среда конечно-элементного расчетного комплекса ДИСК-Геомеханика // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 2002. Т. 241. С. 193-196.
3. Российский морской регистр судоходства — Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ Российского морского регистра судоходства, изд. 2010 г.
4. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты. М: Минстрой России, 1995. 46 с.
5. API RP 2A-WSD "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms — Working Stress Design", 21 ed., 2000.
6. DNV Classification Notes No. 30.4 "Foundations"; February, 1992.

# МЕТОД ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ — ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

**Гидравлик Про**  
HYDRAULIC PRO

Назаров М. М., технический директор ООО «ГИДРАВЛИК ПРО»

Длительное нахождение любого объекта под водой приводит к его обрастанию биологическими и минеральными образованиями — морскими водорослями, моллюсками, ракушками и т. п. Этот процесс неизбежен, и ему в той или иной степени подвержены все объекты, вне зависимости от материала, из которого они выполнены. Даже специальные покрытия, которые предназначены защищать конструкции, к примеру, от коррозии, в данном случае бессильны. Из-за этого понижаются эксплуатационные качества оборудования, увеличивается расход топлива судна, увеличивается риск аварийности. Безусловно, способы борьбы с таким явлением существуют, но одним из самых эффективных, а главное — безопасных для водолаза и окружающей среды, является **метод гидродинамической кавитации**.

Кавитация — это образование в жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью (так называемых кавитационных пузырьков, или каверн). Кавитационные пузырьки образуются в тех местах, где давление жидкости достигает критического значения. Образовавшиеся кавитационные пузырьки, пройдя фазу низкого давления, резко схлопываются со сверхзвуковой скоростью, порождая мощную ударную волну. При схлопывании пузырьков давление достигает тысяч атмосфер, а температура газа внутри пузырьков может достигать нескольких сот градусов по Цельсию. На этом явлении основана разработка российскими и американскими специалистами уникального оборудования для подводно-технических работ, которое уже запущено в серийное производство. Установки **CaviBlaster**, работа которых основана на принципе гидродинамической кавитации, разработаны специально для качественного и высокоскоростного разрушения и удаления минерального или биологического обрастания любого состава и толщины, а также ржавчины и отслоившейся краски, при этом без нарушения основного лакокрасочного, антиобрастающего и антикоррозионного покрытия очищаемой поверхности.

Установки **CaviBlaster** предназначены для эффективной очистки любых типов объектов и конструкций, постоянно на-

ходящихся под водой, с использованием либо кавитационного пистолета, либо кавитационной дисковой насадки **CaviDome** для больших плоских поверхностей:

- пирсы, причалы, молы;
- водозаборные и ограничительные решетки;
- рыболовецкие сети, буи;
- яхтенные стоянки и системы дрейфования;
- трубопроводы и системы заправки;
- портовые сооружения и постройки;
- корпуса судов, гребные винты;
- мосты, опоры любой конфигурации и из любого материала.

Преимущество **CaviBlaster** перед аналогичными системами — в сочетании высокой производительности и безопасности при проведении подводных работ. Поток воды при случайном попадании не нанесет травмы водолазу. Это особенно важно при работе на сложных геометрических поверхностях, когда высока вероятность попадания человека под струю. Безопасность объясняется направлением схлопывания, внутрь каверн. Тем не менее водолаз должен в обязательном порядке пользоваться неопревыми или прочными резиновыми перчатками для защиты рук и ногтей. Перчатки будут поглощать большую часть энергии, произведенных при разрыве кавитационных пузырьков, и препятствовать тому, чтобы они попадали на руки операторов.

Установки **CaviBlaster** эффективно используются в зарубежной и российской практике проведения подводно-технических работ. К примеру, ЗАО «МИДО», оказывающее услуги ремонта и строительства гидротехнических сооружений, а также водолазных работ, в течение трех лет регулярно использует **CaviBlaster 1222** в своей работе. Один из успешно реализованных проектов — подготовка 130 стальных свай диаметром 4 м под бетонирование. Необходимо было произвести подводную очистку от биологического обрастания и ржавчины свай на пирсе № 5 портового терминала «Ванино». «Нам удалось качественно и быстро обработать до шести колонн, находящихся на глубине 4 м, за один световой день. Технология гидродинамической кавитации применялась нами впервые, и она открыла для компании новые перспективы», — отмечает начальник водолазной службы ЗАО «МИДО» В. В. Икорский.

109147 Москва, ул. Марксистская, дом 34, корпус 10  
Тел. +7 (495) 748-3736  
E-mail: cavi@h-pro.ru  
www.h-pro.ru



Пример комплектации самой младшей модели **CaviBlaster 1222**: 1 — насос высокого давления; 2 — привод; 3 — рукав высокого давления с «нулевой» плавучестью; 4 — кавитационный пистолет

# УПРАВЛЕНИЕ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКОЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ СО СЛОЖНЫМИ ЛЕДОВЫМИ УСЛОВИЯМИ



**Шибакин Р. С.,**  
ведущий инженер  
ООО «Газпром добыча шельф»



**Шибакин С. И.,**  
доктор техн. наук,  
заместитель начальника  
департамента  
ООО «Газпром добыча шельф»

**Аннотация.** При освоении морских месторождений на арктическом шельфе в сложных ледовых условиях может возникать необходимость в управлении ледовой обстановкой в районе морского нефтегазового сооружения с целью снижения ледовых воздействий.

**Ключевые слова:** морские месторождения, арктический шельф, ледовые условия, морская платформа.

**Abstract.** Developing offshore fields on the Arctic shelf in the ice-bound conditions it can be necessary to manage ice situation in the area of offshore oil and gas structure to reduce ice loads.

**Keywords:** offshore fields, arctic shelf, ice conditions, offshore platform.

Система управления ледовой обстановкой (УЛО) может использоваться для снижения как частоты ледовых воздействий, так и уровня ледовых нагрузок на морские нефтегазовые сооружения (МНГС), эксплуатирующиеся в ледовых условиях, посредством изменения сценариев ледовых воздействий.

Это может достигаться путем разрушения ледяных образований с помощью ледокола (-ов) до состояния крупно- и мелкобитого льда. При взаимодействии МНГС с разрушенным льдом существенно снижаются уровень ледовой нагрузки и риски при выполнении различных морских и технологических операций.

Традиционный тактический прием, применяемый ледоколами в этом случае, заключается в следующем. Ледокол совершает циркуляции перед защищаемым объектом, формируя фрагменты льда меньших размеров [1]. При использовании двух ледоколов более мощный совершает циркуляции с большим радиусом и на большем расстоянии от защищаемого объекта (рис. 1).

На эффективность использования ледоколов для снижения ледовой нагрузки на защищаемый объект оказывают влияние следующие факторы:

- геометрические характеристики ледяных образований;
- скорость дрейфа ледяных образований;
- характеристики ледовой ходкости ледоколов.

Скорость дрейфа льда и характеристики его неравномерности определяют размеры зоны, в которой ледоколу необходимо разрушать ледяной покров для обеспечения безопасности сооружения.

Для того чтобы с помощью одного ледокола защитить сооружение от воздействия опасных ледяных образований, необходимо выполнение ряда условий. Во-первых, ширина части ледяного поля, разрушаемой ледоколом, должна быть больше, чем ширина охраняемого объекта. Во-вторых, между маневрирующим ледоколом и защищаемым объектом долж-

на существовать некоторая безопасная дистанция, т. е. расстояние, ближе которого ледокол не может приближаться к нему, чтобы исключить возможность столкновения.

Однако для эффективной работы ледокола необходимо, чтобы он мог выполнять циркуляционные движения. Установлено, что с ростом толщины ледяного поля значения величин радиусов существенно увеличиваются. Следует отметить, что вопрос о влиянии толщины льда на величину радиуса циркуляции судна является довольно сложным, однако для большинства ледоколов радиус возрастает при увеличении толщины льда, а также резко падает скорость движения судна на циркуляции. Все это приводит к увеличению времени на выполнение маневра и величины ледяного фрагмента, отсекаемого от поля ледоколом. Таким образом, с увеличением толщины льда падает эффективность разрушения льда ледоколом по данной схеме. В этой связи был предложен другой тактический прием по разрушению льда перед сооружением. В соответствии с ним ледокол движется галсами перед защищаемым объектом, совершая попеременно движение то носом, то кормой вперед [1]. На рис. 3 представлена такая схема движения ледокола.

Скорость движения ледокола на чистой воде в значительной мере зависит от проектных характеристик самого судна и мощности энергетических установок. Обычно она составляет около 20 узлов. Способность ледокола совершать непрерывное движение определяется его предельной ледопроеходимостью, которая характеризуется толщиной сплошного ровного льда, преодолеваемой судном с минимальной устойчивой скоростью при работе энергетической установки на полную мощность. В качестве минимальной устойчивой скорости обычно принимается скорость движения, равная  $v_{min}=1,5-2$  узла [1].

Ледокол выполняет галсы, двигаясь попеременно то носом, то кормой вперед. При этом будем считать, что ледопроежимость ледокола при движении кормой вперед не хуже,

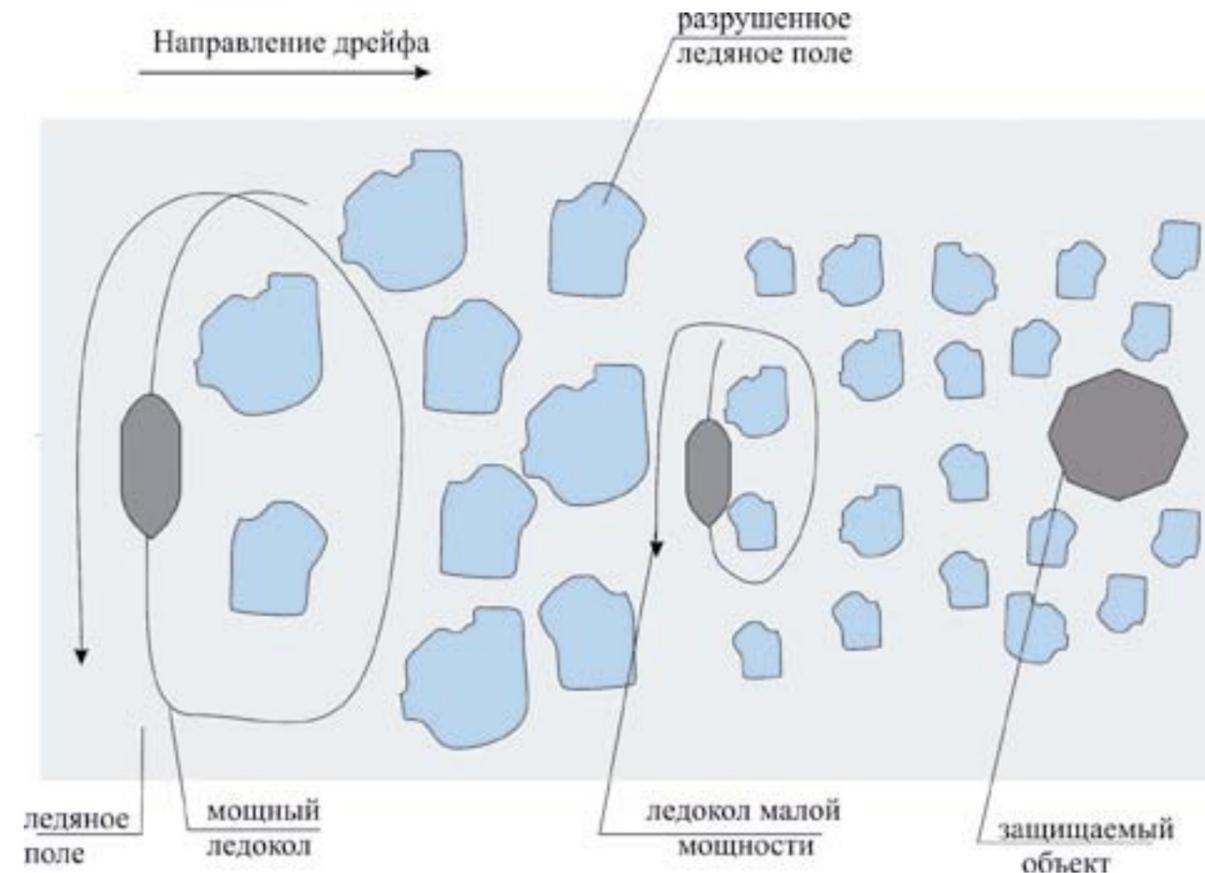


Рис. 1. Схема работы двух ледоколов по разрушению ледяного поля перед МНГС

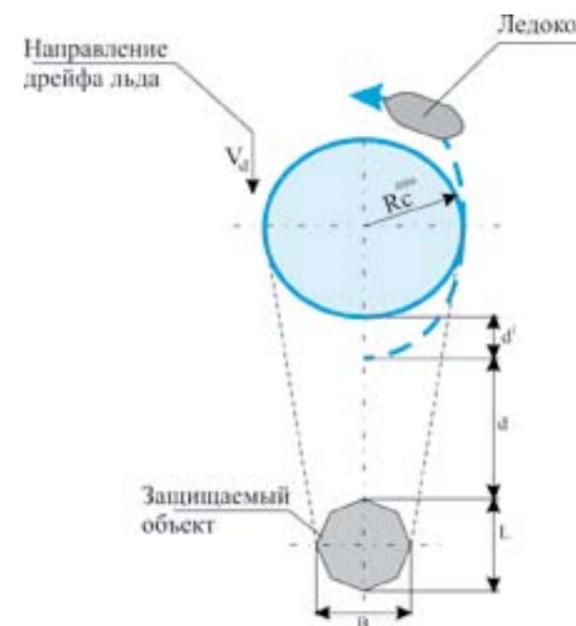


Рис. 2. Разрушение ровного ледяного поля при циркуляционной схеме движения ледоколов

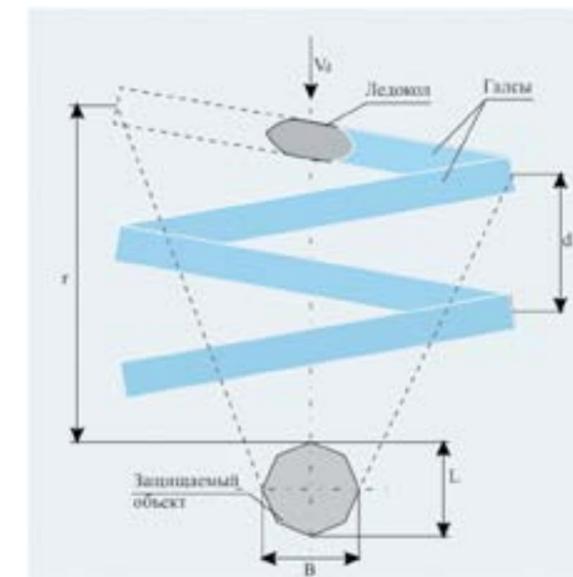


Рис. 3. Схема разрушения ледяного поля галсами

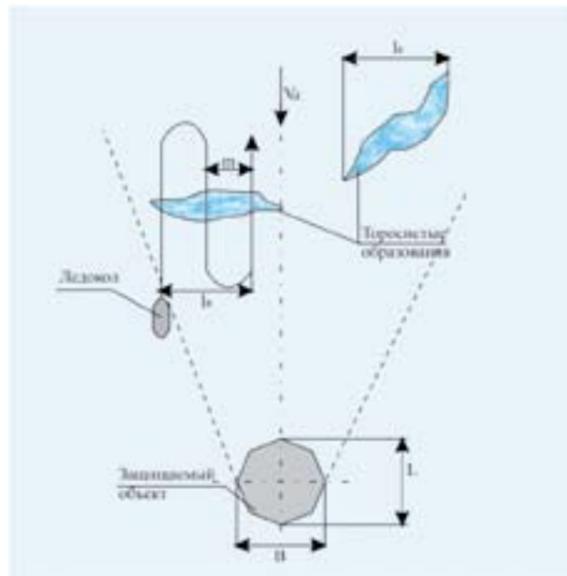


Рис. 4. Схема разрушения торосов

чем передним ходом. Необходимо отметить, что современные ледоколы обладают одинаковыми характеристиками работы как на переднем, так и на заднем ходу.

Выполняя движения галсами, ледокол прокладывает расходящиеся каналы, разрушая окружающий лед. Однако для того чтобы получить наибольший эффект по разрушению ледяного покрова, необходимо, чтобы расстояние между этими каналами не превышало некоторой величины  $d$  с целью формирования разбитых льдин определенного размера.

Эффективность данной технологии возрастает при использовании ледоколов, обладающих повышенными характеристиками ледовой ходкости. К факторам, снижающим эффективность, относятся большие размеры защищаемого сооружения, увеличение скорости дрейфа ледяного поля и минимального безопасного от сооружения расстояния.

Известно, что важнейшим характеризующим применение данной технологии показателем является дрейф ледяного покрова. С увеличением скорости дрейфа ледокол способен разрушать ледяное поле с толщинами значительно ниже своей ледопроеходимости. В этой связи для повышения эффективности работ по разрушению ледяных полей с целью снижения ледовых нагрузок на сооружение целесообразно использовать несколько ледоколов, минимум два, которые могут обладать разной ледопроеходимостью. Один из них, более мощный, обладающий повышенной ледопроеходимостью, разрушает сплошные поля на большие льдины на большем расстоянии от защищаемого сооружения. Другой ледокол, с меньшей ледопроеходимостью, будет разрушать уже эти льдины на более мелкие, находясь на меньшем расстоянии от объекта. В этом случае первый ледокол может работать с большими расстояниями  $d$  между каналами (галсами).

При работе ледоколов во льдах, толщина которых близка или превышает предельную, ледокол вынужден переходить на другую технологию разрушения ледяного покрова, используя схему набегов. В этом случае резко падает эффективность разрушения ледяного поля, что приводит к существенным временным затратам. Это делает ее мало применимой для решения вопросов УЛО.

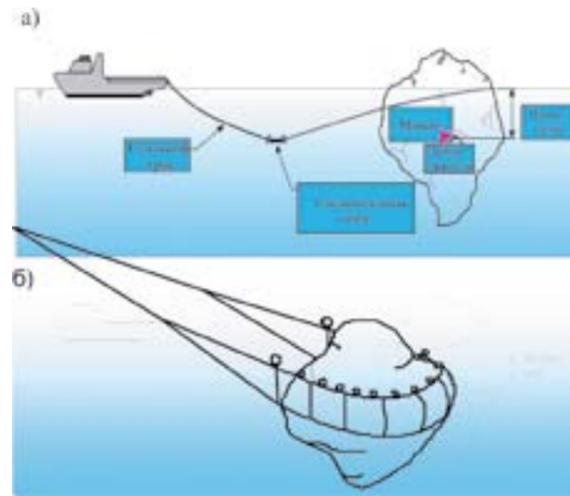


Рис. 5. Транспортировка айсберга  
а) с помощью каната  
б) с помощью сетей

В инженерной практике довольно редко встречаются ровные ледяные поля. Они, как правило, чередуются с полями торосения, которые очень часто создают определяющее воздействие ледяных образований на МНГС. В этой связи одной из задач УЛО является борьба с торосистыми образованиями, их разрушение до взаимодействия с сооружением. Из практики известно, что ледоколы очень часто разрушают торос набегам. Однако на сегодня отсутствуют рекомендации по оценке временных затрат на преодоление тяжелых торосов с мощной консолидированной и килевой частями. Отсутствие рекомендаций вызывает необходимость проведения специальных исследований в ледовом бассейне по отработке технологии борьбы с торосистой опасностью. На рис. 4 показана принципиальная схема разрушения ледоколом торосов перед сооружением.

При освоении морских месторождений арктического бассейна, в том числе и Баренцева моря, существует вероятность воздействия айсбергов на МНГС. Айсберговая опасность для того или иного региона Арктики будет определяться в период инженерных изысканий. И, в общем-то, на сегодня определены основные районы возможного появления айсбергов и их воздействия на МНГС [1]. Наибольшую опасность айсберги представляют для стационарных сооружений, которые в период эксплуатации не могут отсоединиться с точки установки и уйти в безопасное место. В этой связи в последние годы разработаны методы борьбы с айсберговой опасностью. Основной целью этих методов является изменение траектории движения айсбергов таким образом, чтобы избежать столкновения его с МНГС.

В настоящее время существуют следующие апробированные решения по управлению движением айсбергов [1]:

- буксировка судном;
- воздействие струями винтов судна;
- воздействие струей гидропушки.

Метод буксировки айсберга судном с помощью синтетического каната используется довольно широко и достаточно давно. С помощью этого метода удавалось отбуксировать маленькие и средние айсберги массой до 100000 т. В случае



Рис. 5. Изменение траектории движения айсберга с помощью струи воды

с большими айсбергами удавалось лишь изменить траекторию их движения. Этот метод получил широкое распространение из-за своей простоты. Он заключается в том, что синтетический плавающий канат диаметром 15–20 см и длиной до 1500 м постепенно опускают с судна, которое обходит айсберг, не приближаясь к нему. Затем судно подходит к концу каната, который помечен бумом. Соединяются два конца каната, к которому подсоединяется стальной буксировочный трос диаметром 100 мм и длиной около 100 м, и производится буксировка айсберга на безопасное расстояние (рис. 5).

Для более надежного захвата айсберга в последнее время стали использоваться специальные сети, которые позволяют более надежно захватить айсберг, независимо от его формы, и оттранспортировать на безопасное расстояние (рис. 5). Существенными ограничениями этого метода являются волнение и наличие битого льда — то и другое резко увеличивают силы транспортировки айсбергов, которые в первую очередь ограничены прочностью канатов и тяговым усилием используемых судов.

Небольшие осколки айсбергов могут быть отклонены струями гребных винтов. При этом судно медленно кормой вперед приближается к айсбергу, а затем резко реверсирует движитель и ускоряется в обратном направлении. В этом случае винты отбрасывают в сторону айсберга большой объем вод, который изменяет направление движения айсберга. Иногда приходится делать несколько попыток, что-

бы достичь запланированного результата. Однако этот метод достаточно трудоемок и бывает малоэффективен, особенно при волнении моря. Кроме этого, необходимо учитывать определенный риск изменения пространственного положения айсберга при подходе судна, что может привести к аварийной ситуации.

Для изменения траектории движения небольших айсбергов были проведены эксперименты по применению водяных пушек. Была использована пожарная пушка производительностью 1 м³/с при скорости воды в струе 54 м/с (рис. 6). Эксперимент показал, что данный метод может быть использован для небольших айсбергов и в условиях волнения моря с высотой волны менее 5–6 м. Существенной помехой использования данного метода является сильный ветер, который разрушает струю воды и тем самым снижает эффект воздействия на айсберг по изменению траектории движения.

Таким образом, мероприятия УЛО позволяют снижать уровень воздействий ледяных образований на МНГС, а главное — повышается уровень безопасности эксплуатации объектов обустройства месторождения.

**Литература**

1. Сазонов К. Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. Монография. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. СПб., 2010.

# Новинка: RIEGL VMS-250



Инновации в 3D

Компания RIEGL представляет новую разработку для рынка мобильной съёмки — малогабаритную мобильную сканирующую систему VMS-250.

Система VMS-250 состоит из лазерного сканера RIEGL VQ-250 и дополнительно заказываемых камер.



## Новая малогабаритная сканирующая система

### Области применения

- Гидрографические работы
- Топографическая съёмка уреза воды
- Съёмка и контроль портовых сооружений
- Съёмка и контроль мостов
- Работы по укреплению берегов
- Моделирование и предсказание устойчивости портовых сооружений
- Мобильная картография с движущихся платформ
- Картография транспортной инфраструктуры
- Городское планирование



Искусство создавать точность

### Официальный эксклюзивный дистрибьютор

Россия, 119334, Москва, ул. Вавилова, д. 5, корп. 3, офис 116  
 Телефон: +7 (495) 781 7888  
 E-mail: info@art-geo.ru  
 www.art-geo.ru, www.riegl.ru

На правах рекламы.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РАБОТАХ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МЕЛКОВОДНОГО ШЕЛЬФА



**Дунчевская С. В.,**  
 генеральный директор научно-производственного предприятия «Форт XXI»

**Аннотация.** В данной статье представлены возможности, которые дает использование современного гидроакустического оборудования при выполнении обследования дна шельфа и расположенных на нем объектов. Приводятся данные, полученные с использованием различных типов оборудования, при выполнении работ в Охотском море, на Каспийском море, на озере Байкал.

**Ключевые слова:** гидроакустическое оборудование, обследование шельфа, морские платформы, подводные трубопроводы, инженерные изыскания на шельфе.

**Abstract.** The following article describes opportunities, that are becoming available with using of modern hydroacoustic equipment for offshore and marine constructions survey. There is a some data from different types of equipment which was obtained during works in the Okhotsk sea, in the Caspian sea, in lake Baikal.

**Keywords:** hydroacoustic equipment, seabed exploration, seabed survey, offshore platform, offshore pipelines.

В настоящее время квалифицированным пользователям доступно большое количество разнообразных видов и моделей оборудования для обследования шельфа и внутренних водоемов. Выбор комплекта оборудования и программного обеспечения, как правило, определяется поставленной задачей и условиями выполнения работ.

Для выполнения площадного обследования поверхности дна, поиска и исследования объектов, находящихся на дне, определения положения подводных трубопроводов, проходящих по поверхности дна, оконтуривания участков дна, имеющих однотипную структуру поверхности, как правило, используются гидролокаторы бокового обзора (ГБО). Современные ГБО обычно имеют несколько рабочих частот. При выполнении обзорной съемки на более низкой частоте имеется возможность использовать большую ширину полосы обзора, но при этом мы получаем гидроакустическое изображение не очень высокого разрешения. Когда необходимо получить максимально подробное изображение обследуемого объекта, используется более высокая частота, минимально возможная ширина полосы обзора и, при необходимости, съемка производится только с одного борта. При этом реализуется максимально возможное для данного гидролокатора разрешение. Но при этом нужно учитывать, что диаграмма направленности ГБО на высокой частоте сужается не только в направлении движения, но и в вертикальном направлении. Это накладывает более высокие требования к направлению съемочного галса относительно объекта с учетом наклона дна, положения объекта на дне и глубины. Наиболее подробные и качественные изображения находящихся на дне объектов получаются, как правило, при попадании объекта в середину полосы обзора и направлении галса под некоторым углом к направлению расположения объекта. Даже достаточно простой ГБО, типа SportScan при соблюдении данных требований позволяет получить разрешение по дальности 3 м.

Детальное гидроакустическое изображение находящегося в воде дерева, полученное при съемке на высокой частоте, показано на **рис. 1**. Съемка с ГБО является самым простым и производительным методом площадного обследования дна.

Но съемка с ГБО дает возможность получения только гидроакустического изображения дна. Для получения цифровой модели рельефа дна используются либо однолучевые, либо многолучевые эхолоты (МЛЭ). При использовании однолучевых эхолотов съемка выполняется по сетке галсов с межгалсовым расстоянием, определяемым решаемой задачей. Более современным инструментом, позволяющим получить цифровую модель рельефа дна, причем, видеть ее в режиме реального времени, являются многолучевые эхолоты. Ширина полосы обзора многолучевых эхолотов в зависимости от моделей, как правило, составляет 4-7 глубин, количество лучей достигает 256. При использовании многолучевых эхолотов существенно более жесткие требования предъявляются к точному измерению и постоянству взаимного расположения датчиков, обязательному измерению вертикального профиля скорости звука в воде, измерению скорости звука в непосредственной близости от датчика МЛЭ в процессе выполнения съемки, точности определения курса судна и его координат. Наиболее современные модели МЛЭ имеют возможность программного изменения ширины сектора обзора, при этом количество лучей в секторе остается максимально возможным. Например, используемый нами МЛЭ R2Sonic 2024 с опцией «сверхвысокого разрешения» (UHR 700 kHz) имеет 256 фокусированных лучей шириной 0.5°x1.0° на частоте 400 кГц и шириной 0.3°x0.6° на частоте 700 кГц. При этом ширина сектора обзора может изменяться в диапазоне 10°-160° и направление центрального луча может отклоняться на угол до 70°. Все это позволяет получить цифровую модель и, одновременно, гидроакустическое изображение объектов с максимально возможной детальностью. Фрагмент записи МЛЭ с трехмерным изобра-

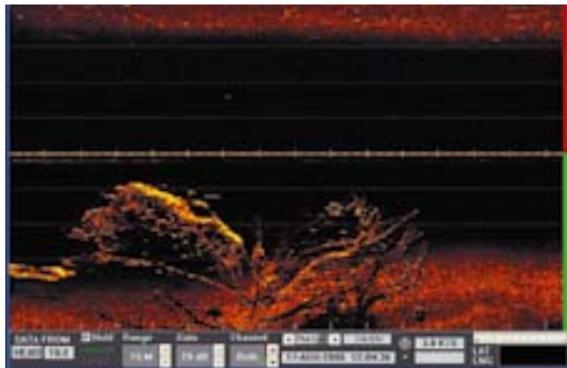


Рис. 1. Дерево в воде, Москва-река (частота 800 кГц, ширина полосы обзора 15 м)

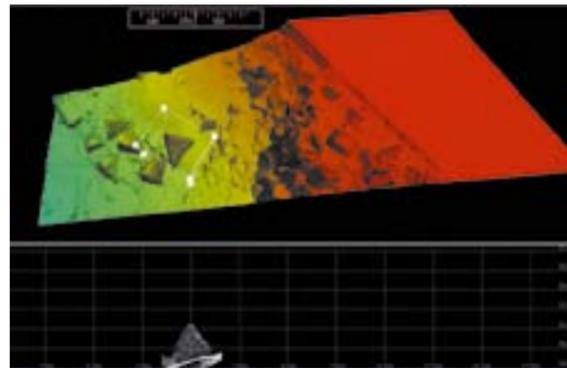


Рис. 2. Данные МЛЭ. Нижний бьеф ГЭС

жением участка дна нижнего бьефа ГЭС, демонстрирующий разрешающую способность и плотность данных, получаемых с использованием МЛЭ, показан на рис. 2. Справа находятся наклонные бетонные плиты, в средней части — хаотически набросанные бетонные блоки и валуны различных размеров, слева — железобетонные тетраэдры, использованные для укрепления участка размыва. В нижней части рисунка показано «облако точек», соответствующее выделенному тетраэдру. Кроме того, с использованием МЛЭ с изменяемым углом сектора обзора, появляется возможность обследовать участки дна, находящиеся под горизонтальными поверхностями, под стоящими у причалов судами, под платформами, установленными на дне и в других местах, недоступных для съемки обычными способами. При использовании МЛЭ непосредственно в процессе съемки определяются точные координаты объектов, что весьма проблематично при работе с ГБО, особенно при большой ширине полосы обзора. Но при всех своих высоких технических параметрах, съемка с МЛЭ имеет высокую себестоимость, требует достаточно высокой квалификации специалистов, использования комплекта дорогих дополнительных датчиков и специальной подготовки судна.

При необходимости определения стратификации верхнего слоя донных отложений используются акустические профилографы (АП) или выполняется сейсмопрофилирование. Для обследования первых метров донных отложений мы используем простой и компактный геофизический профилограф StrataBox, который может быть установлен на обычной моторной лодке. Он работает на частоте 10 кГц и позволяет за-

фиксировать границы слоев с разрешением до 7 см на глубине до 40 м в зависимости от типа грунта, его существенным достоинством является то, что он имеет короткий излучающий импульс и может работать на глубинах от 1.2-1.5 м. Фрагмент записи АП StrataBox, полученной на проливе Невельского, Охотское море, показан на рис. 3. На данной записи галс пересекает траншею с расположенным в ней трубопроводом, находящуюся под слоем песка, активно перемещаемого по дну сильным течением. На рис. 6 АП фиксирует границу твердого дна, состоящего из валунов различного размера, находящихся на глубине 0.8-1.0 м под слоем песка.

Для работы, требующей высокого разрешения по толщине слоев, большой глубины проникновения в грунт и проводимой в большом диапазоне глубин (от 1 м до 5000 м) мы используем Акустический профилограф с ЛЧМ-модуляцией сигнала Bathy 2010PC CHIRP, работающий на частотах 2-10 кГц. Его антенная решетка из 4 излучателей весит более 50 кг и требует для своей установки судна соответствующих размеров. Но при этом результаты, которые были получены на озере Байкал на участках с глубинами 1400 м, 400 м и 100 м, позволили нам убедиться, что реальное разрешение по толщине слоев действительно составляет 8 см и достигнуть проникновения в грунт до 75 м. Фрагмент записи АП с участка горизонтального дна с глубиной 100 м показан на рис. 4.

Для максимально детального обследования находящихся на дне объектов обычно используются подводные телеуправляемые аппараты (ПТА) различного класса или водолазные фото-видео комплексы.

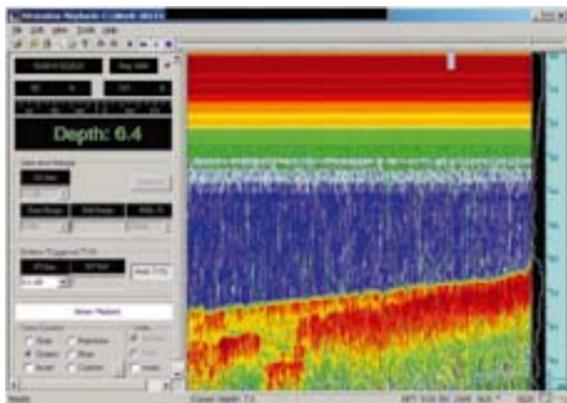


Рис. 3. Данные АП. Траншея с трубой под слоем песка

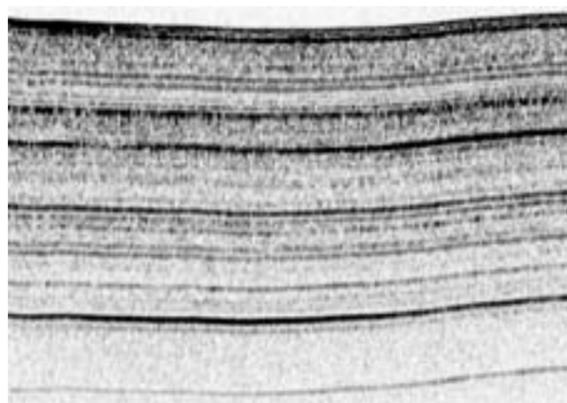


Рис. 4. Запись ЛЧМ-АП CHIRP. Донные отложения на оз. Байкал

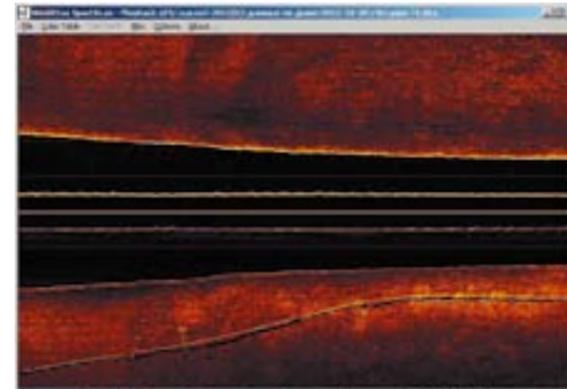


Рис. 5. Запись ГБО. Подводный трубопровод на опорах

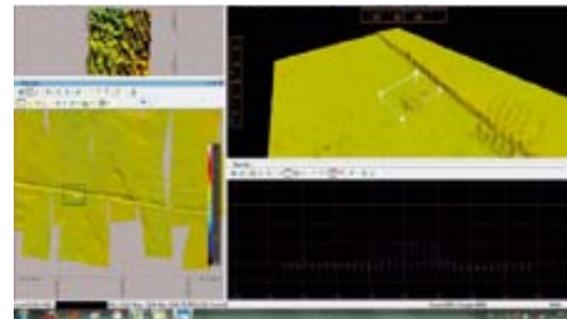


Рис. 6. Данные МЛЭ. Подводный трубопровод на дне

Навигационное обеспечение данных видов работ производится с использованием GPS/ГЛОНАСС приемников, работающих либо в режиме RTK (при работах на удалении от базовых станций до 30 км), либо в режиме DGPS с получением дифференциальных поправок с береговых базовых станций или со спутников.

При выполнении больших объемов работ по детальному сплошному площадному обследованию участков шельфа и находящихся на них объектов наиболее рационально использовать комбинацию из МЛЭ, ГБО, АП, ПТА в зависимости от решаемой задачи.

Выполняя работы по сплошному обследованию дна, и объектов одного из месторождений нефти на шельфе Каспия комплектом из МЛЭ, ГБО, ПТА, мы убедились в том, что наиболее полная информация об объектах может быть получена только с использованием комплекса приборов. Отдельные объекты более отчетливо фиксировались на МЛЭ, другие — на записях ГБО. Перед детальным обследованием объектов ПТА или водолазами их наличие обязательно подтверждалось ГБО и МЛЭ.

Далее приводятся изображения, объектов, которые были зафиксированы на Каспийском шельфе с помощью ГБО и МЛЭ. На рис. 5 показан фрагмент записи ГБО при прохождении судна вдоль трубопровода, установленного на опорах. На всем протяжении записи видна «гидроакустическая тень» от трубопровода, позволяющая определить его высоту над дном. На рис. 6 — данные МЛЭ, полученные при прохождении над трубопроводом, лежащим на поверхности дна.

На рис. 7 приводится запись ГБО, полученная при прохождении над затопленной нефтедобывающей платформой. На записи видны опоры платформы и подходящие к ней трубопроводы. На рис. 8 показаны данные МЛЭ, полученные при

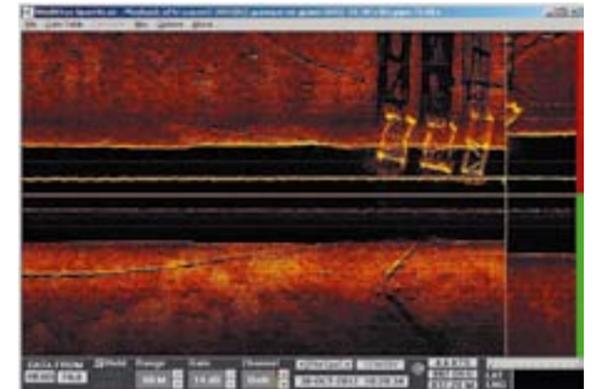


Рис. 7. Затопленная платформа и трубопроводы

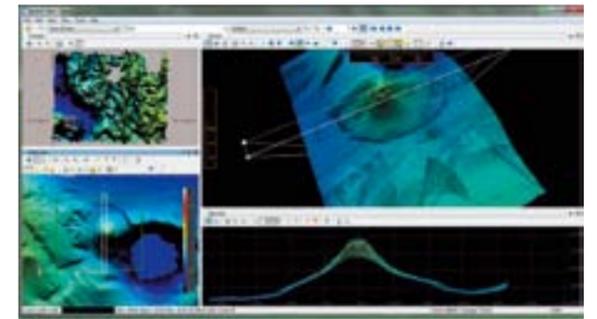


Рис. 8. Данные МЛЭ. Грязевой вулкан

прохождении рядом с грязевым вулканом и кратером, образовавшимся при разгрузке соседнего вулкана

Из приведенных данных видно, что разные типы объектов с различной детальностью и информативностью фиксируются при использовании различного оборудования. Знание возможностей каждого типа оборудования позволяет оптимальным образом планировать выполнение работ, определять последовательность работ, выбирать межгалсовое расстояние и направление рабочих галсов, строить последовательность обработки данных.

Хотелось бы подчеркнуть, что существующие современные гидроакустические средства исследования шельфа позволяют получить большой объем подробной информации о наличии объектов на дне, о строении поверхности дна и донных отложений. Но для получения качественной информации с точной привязкой данных необходимо при выполнении данных работ и при постобработке данных использовать специалистов с достаточным уровнем квалификации, проводить контроль качества и полноты получаемых данных.



ООО «Научно-производственное предприятие «Форт XXI»  
141074 Московская обл., г. Королев, ул. Пионерская, д. 4  
Тел./факс +7 (495) 789-9019,  
Тел. (495) 513-24-63  
E-mail: mail@fort21.ru  
<http://www.fort21.ru>

# ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЗОНАХ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ И СООРУЖЕНИЙ



**Комаровский Ю. А.,**  
канд. техн. наук, доцент  
кафедры судовождения  
Морского государственного  
университета  
им. адм. Г. И. Невельского  
(г. Владивосток)

**Аннотация.** Увеличение числа морских сооружений, устанавливаемых на шельфе морей, вызывает необходимость оценки точности координат судов на акваториях 500-метровых зон безопасности вокруг морских платформ. В данной статье рассмотрена ситуация, когда судно находится к юго-востоку от причально-посадочного устройства морской платформы. Обработка статистического материала, полученного в такой ситуации с помощью DGPS-приемника GP-37, показала, что размах варьирования получаемых координат в дифференциальном режиме достигал 961 м по меридиану и 545 м по параллели. При этом величина случайных погрешностей увеличивается в 14 раз и достигает 22 м. Предложено приступить к разработке специализированных локальных высокоточных радионавигационных систем, предназначенных для обеспечения безопасного плавания специализированных судов вблизи искусственных островов, установок и сооружений.

**Ключевые слова:** безопасность судоходства на шельфе, высокоточные навигационные системы.

**Abstract.** The rise of the number of installations placed on the continental shelf at sea necessitates an evaluation of the precision of measuring the ship's coordinates in 500-meter safety zones around sea-based platforms. This article considers a case of a vessel located to the South-West of the landing port of a platform. Our analysis of the statistical data obtained in this case using a DGPS Receiver GP-37 showed variations in the measured coordinates obtained in the differential mode of the receiver reaching 961 meters in longitude and 545 meters in latitude. At the same time, the magnitude of random errors increased by a factor of 14 and reached 22 meters. The article suggests development of specialized on-board high-precision systems using radio-navigation for safe operations in the vicinity of artificial islands, installations and platforms at sea.

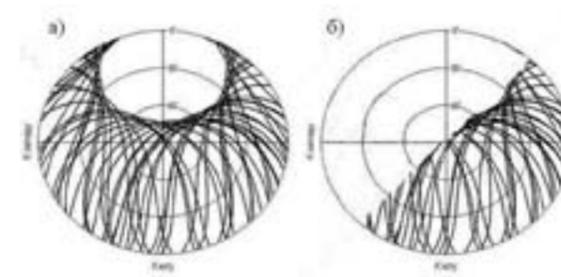
**Keywords:** safety of navigation on the shelf, high precision navigational systems.

Широкое внедрение технологий, основанных на применении спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС и Навстар GPS, открывает новые возможности повышения безопасности эксплуатации морских сооружений, добывающих, буровых и перегрузочных платформ с гидротехническими основаниями, повышения безопасности человеческой деятельности на море, а также в деле защиты окружающей среды. С помощью судовых и геодезических СРНС-приемников непрерывно определяются текущие координаты и параметры вектора абсолютного перемещения судов и самих платформ. Это обеспечивает оперативный мониторинг динамики платформы в процессе ее перемещения в новое место, удержания над заданной точкой или раскачивания под действием ветра и волн. На базе современных многоантенных GPS-приемников разрабатываются и изготавливаются автоматизированные системы контроля мореходности (АСКМ) судов и плавучих платформ [1]. Такие системы служат для предотвращения аварий от потери устойчивости, которые неизбежно влекут за собой опрокидывание платформ, их затопление и даже сопровождаются гибелью людей. Системы АСКМ контролируют процессы поддержания плавучести и управления балластом платформ. С помощью малогабаритных GPS-приемников организуется управление движением необслуживаемых роботов вблизи платформ для круглосуточного мониторинга нефтяных загрязнений [2].

Особую опасность платформам создают суда, проходящие в непосредственной близости, или суда, обслуживающие платформы. Они могут совершать столкновения и навалы, в результате чего платформы разрушаются, возникают

неисправности их систем поддержания плавучести и балластировки. Поэтому Международная морская организация (ИМО) приняла Резолюцию А.671(16), согласно которой вокруг морских искусственных островов, платформ, установок и сооружений учреждаются зоны безопасности, простирающиеся не более чем на 500 м от каждой точки их внешнего края [3]. Помимо этого, разработаны и продолжают разрабатываться дополнительные правила мореплавания, технические средства судовождения и радиосвязи, направленные на обеспечение надежного предотвращения несанкционированного входа посторонних судов в зоны безопасности, внутри которых совершают плавание только патрульные суда, судаснабженцы, спасательные суда, а также специальные суда и автономные эко-роботы, выполняющие мониторинг загрязнения вод. Предполагается, что перечисленные суда по роду своей деятельности могут не только подходить вплотную к опорам установок и сооружений, но и заходить под их верхние строения, палубы или причально-посадочные устройства, что повышает риск столкновений и навалов.

Важность проблемы повышения надежности операций в зонах безопасности отражается в национальных законодательствах морских держав, на шельфе которых ведутся разведка или добыча минеральных ресурсов. Примером тому служит указ № 23 от 14 января 2013 г., подписанный Президентом РФ, об ответственных за безопасность платформ, установок, сооружений и искусственных островов на континентальном шельфе России. Согласно документу, федеральным органом исполнительной власти, ответственным за определение мер по обеспечению безопасности судоход-



**Рис. 1.** Траектории спутников СРНС Навстар GPS для наблюдателя во Владивостоке при отсутствии препятствий а) и в эксперименте б)

ства в зонах безопасности, является Министерство транспорта РФ. Федеральными органами исполнительной власти, ответственными за определение мер по обеспечению безопасности искусственных островов, установок и сооружений, расположенных на континентальном шельфе РФ, являются Министерство транспорта РФ, Федеральная служба безопасности РФ и Министерство обороны РФ.

Чтобы снизить риск навалов и столкновений с опорами, требуется как можно чаще и как можно точнее определять координаты судов и эко-роботов, оперирующих в зонах безопасности. Как уже упоминалось выше, в настоящее время основным источником о текущих координатах и скорости судов служат приемники СРНС ГЛОНАСС и Навстар GPS. По мере сближения надводные конструкции платформ, установок и сооружений неизбежно будут препятствовать поступлению в антенну судового приемника сигналов некоторого количества спутников из числа находящихся в данный момент над горизонтом. Так как точность определения текущих координат напрямую зависит от количества радиовидимых в данный момент спутников, то возникает потребность оценки ее ухудшения по мере сближения с платформой, сооружением или установкой. Такая информация крайне необходима для формирования организационных и технических мероприятий, направленных на повышение безопасности работ на морском шельфе. Сведения о теоретических и экспериментальных исследованиях точности работы судового СРНС-приемника в непосредственной близости к платформам отсутствуют. Поэтому цель данной статьи заключалась в получении и анализе статистических характеристик распределений широты и долготы приемника СРНС Навстар GPS, установленного на судне, которое находится у причально-посадочного устройства морских установок и сооружений.

Получение необходимого статистического материала потребовало постановки экспериментальных наблюдений, в ходе которых судовой приемник СРНС Навстар GPS GP-37 в течение 10 суток непрерывно определял координаты во Владивостоке. Антенна приемника неподвижно размещалась на фасаде первого учебного корпуса Морского государственного университета. Она была выдвинута так, чтобы здание учебного корпуса препятствовало приему сигналов спутников СРНС Навстар GPS, находящихся на высотах от 0° до 90° и по направлениям от северо-востока к западу и до юго-запада. Фасад здания обращен к юго-востоку. Такое размещение антенны в эксперименте имитировало стоянку судна у причально-посадочного устройства морских установок и сооружений. Здание не затеняло сигналы дифференциальной станции мыса Поворотного залива Находка. Приемник непре-

рывно находился в автоматическом режиме приема дифференциальных поправок.

В силу особенностей параметров орбит СРНС ГЛОНАСС и Навстар GPS для наблюдателя в средних широтах траектории перемещения спутников по небосводу располагаются так, что образуется довольно обширная область, в которой они не наблюдаются (см. рис. 1, а). Это создает дополнительные условия, ухудшающие точность определения координат, если к югу от СРНС-приемника близко расположено высокое препятствие сигналам спутникам. При проведении эксперимента радиовидимые спутники СРНС Навстар GPS перемещались относительно антенны приемника так, как это показано на рис. 1, б.

Эксперимент проводился с 18 по 28 июня 2012 г. без перерывов. В ходе эксперимента каждую секунду на жесткий диск ноутбука автоматически заносились координаты и время по шкале UTC. Всего было зафиксировано 865301 измерений пар широт и долгот на протяжении 240,36 часов непрерывного времени. Из них 7233 (0,8359%) измерений пришлось на такое состояние приемника, в котором он не мог определять координаты, т. к. в зоне его радиовидимости было менее трех спутников системы Навстар GPS. Несмотря на отсутствие физических препятствий распространению сигналов дифференциальной станции мыса Поворотного и при ее непрерывной работе, 278408 (32,1747%) определений координат происходило без приема дифференциальных поправок. И только в 579660 случаях (66,9894%) наблюдения происходили с участием дифференциальных поправок. Полученный экспериментальный материал позволил выполнить сравнительный анализ точности работы DGPS-приемника в автономном режиме и в дифференциальном режиме.

Дальнейшая обработка полученного экспериментального материала сводилась к вычислению точечных оценок математических ожиданий, средних квадратических отклонений (СКО), размахов варьирования, асимметрий и эксцессов. Для расчетов применялся метод моментов. Параметры положения (мода и медиана) вычислялись с помощью регрессионных методов, опубликованных в статье [4].

Если считать определяемую GPS-приемником широту  $\varphi$  непрерывной случайной величиной, то ее математическое ожидание  $M\varphi$  определится начальным моментом первого порядка [2].

$$M\varphi = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi f(\varphi) d\varphi, \quad (1)$$

где  $f(\varphi)$  — плотность вероятности распределения широты.

Чтобы получить точечную оценку математического ожидания широты, были подсчитаны частоты  $n_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ), с которыми  $i$ -е значение широты  $\varphi_i$  встречалось в выборке, полученной в ходе наблюдений. С учетом известных  $n_i$  точечная оценка математического ожидания широты  $\varphi_{cp}$  вычислялась с помощью следующих формул:

$$\varphi_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \varphi_i n_i, \quad N = \sum_{i=1}^k n_i. \quad (2)$$

Дисперсия случайной величины  $D\varphi$  является центральным моментом второго порядка,

$$D\varphi = \int_{-\infty}^{\infty} (\varphi - M_{\varphi})^2 f(\varphi) d\varphi. \quad (3)$$

На практике в качестве меры точности применялась точечная оценка среднего квадратического отклонения  $s_{\varphi}$ , которая представляет собой корень квадратный из точечной оценки дисперсии  $S_{\varphi}$ ,

$$S_{\varphi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (\varphi_i - \varphi_{cp})^2 n_i. \quad (4)$$

Важной характеристикой распределения случайной величины является асимметрия  $A_{\varphi}$ . Асимметрия есть ни что иное, как центральный момент третьего порядка, отнесенный к кубу корня квадратного из дисперсии.

$$A_{\varphi} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\varphi - M_{\varphi})^3 f(\varphi) d\varphi}{(\sqrt{D_{\varphi}})^3}. \quad (5)$$

В процессе обработки полученных данных оценка асимметрии  $a_{\varphi}$  вычислялась по формуле (6).

$$a_{\varphi} = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (\varphi_i - \varphi_{cp})^3 n_i \right) / (\sqrt{S_{\varphi}})^3. \quad (6)$$

Наряду с асимметрией, при обработке полученного статистического материала вычислялся эксцесс распределения широты. Эксцесс необходим для грубой проверки близости распределения случайной величины к распределению Гаусса. Эксцесс  $E_{\varphi}$  является отношением центрального момента четвертого порядка к квадрату дисперсии, уменьшенным на 3.

$$E_{\varphi} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\varphi - M_{\varphi})^4 f(\varphi) d\varphi}{D_{\varphi}^2} - 3. \quad (7)$$

Чем ближе величина эксцесса к 0, тем выше вероятность того, что исследуемая случайная величина распределена по закону Гаусса. В данном исследовании оценка эксцесса  $e_{\varphi}$  вычислялась по следующей формуле:

$$e_{\varphi} = \left[ \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (\varphi_i - \varphi_{cp})^4 n_i \right) / S_{\varphi}^2 \right] - 3. \quad (8)$$

Помимо дисперсии, для оценки рассеивания случайной величины  $\varphi$  в статистических исследованиях используется размах варьирования  $\Delta\varphi$  как разность по абсолютной величине между максимальным зарегистрированным значением широты и минимальным. Перечисленные статистические характеристики распределения долготы вычислялись также по формулам (1)–(8). Результаты вычислений помещены в табл. 1. В ней широты и долготы, а также моды и медианы представлены только их динамическими частями.

Статистическая характеристика	Широта	Долгота
Среднее, мин.	0,08333	0,01915
Среднее квадратическое отклонение, мин.	0,012559	0,017005
Среднее квадратическое отклонение, м	23,2551	23,0668
Размах варьирования, мин.	0,5293	0,4068
Размах варьирования, м	980,04	551,804
Асимметрия	-0,1917	-1,8945
Эксцесс	62,0853	26,3924
Мода, мин.	0,0853	0,0159
Медиана, мин.	0,0837	0,0176
Объем выборки	858068	858068

Табл. 1. Результаты обработки данных эксперимента

Из табл. 1 следует, что широта GPS-приемника изменялась в пределах одного километра. Это почти в 50 раз больше варьирования широты в ситуациях, когда отсутствуют препятствия распространению сигналов спутников [5]. Размах варьирования широты в 2 раза превосходит размах долготы. Средние квадратические отклонения координат табл. 1 почти одинаковы и составляют 23 м. В тех же случаях, когда поблизости нет сооружений, СКО обычно не превосходит 1,6 м [5]. Следовательно, сооружение, создающее в северо-западной полусфере преграду распространению сигналов спутников, вызывает увеличение случайных погрешностей координат в 14 раз. В такой ситуации налицо чрезмерное ухудшение точности определения координат СРНС-приемником, что делает применение приемника не только бесполезным, но и опасным, т. к. его погрешности становятся соизмеримыми с размерами зон безопасности. Сопоставление размахов варьирования широты и долготы с их эмпирическими эксцессами позволяет сделать вывод о чрезмерной, по сравнению с распределением Гаусса, затаенности крыльев эмпирической плотностей вероятностей. Об этом можно судить по гистограммам рис. 2.

Существует распространенное представление, будто дифференциальный режим работы приемника СРНС Навстар GPS повышает точность определения координат даже при малом числе спутников в зоне радиовидимости. Чтобы проверить это, рассчитывались характеристики точности распределения координат, полученных с 18 по 28 июня 2012 г. в дифференциальном режиме работы приемника GP-37. Результаты вычислений можно видеть в табл. 2.

Если сравнить между собой данные табл. 1 и 2, то оказывается, что в дифференциальном режиме среднее обсервованное место смещается относительно общего среднего места на 3,2 м в сторону физического препятствия, блокирующего сигналы спутников. Точечные оценки СКО широты и долготы дифференциального режима практически остались

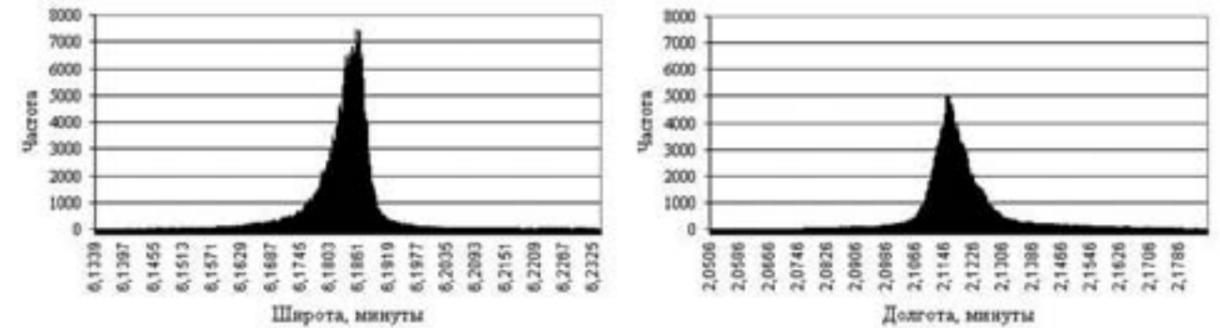


Рис. 2. Гистограммы эмпирического распределения широты и долготы

Статистическая характеристика	Широта	Долгота
Среднее, мин.	0,08393	0,01854
Среднее квадратическое отклонение, мин.	0,012498	0,01698
Среднее квадратическое отклонение, м	23,1415	23,0326
Размах варьирования, мин.	0,5192	0,4023
Размах варьирования, м	961,34	545,7
Асимметрия	1,7036	-2,219
Эксцесс	41,57	27,14
Мода, мин.	0,08573	0,01561
Медиана, мин.	0,08436	0,01714
Объем выборки	579660	579660

Табл. 2. Характеристики распределения координат в дифференциальном режиме

неизменными. Отсюда можно заключить, что прием дифференциальных поправок во время эксперимента не привел к повышению точности определения координат. В дифференциальном режиме почти на 20 м (на 2%) уменьшился размах варьирования широты и на 10 м (на 1,8%) размах варьирования долготы. Изменились показатели асимметрии. В дифференциальном режиме значительно уменьшились эксцессы распределения координат.

Важной характеристикой точности определения места судна служит вид распределения координат на поверхности моря. Чтобы получить такую характеристику, из всех данных эксперимента были выбраны пары широт и долгот, соответствующие началу каждого часа наблюдений. Эти координаты затем наносились на планшет относительно средних широт и средних долгот всей выборки. Характер распределения плановых координат представлен на рис. 3.

Если сравнить рис. 1 и 3, то можно убедиться, что большая ось фигуры погрешностей координат, полученных в эксперименте, почти перпендикулярна объекту, создававшему препятствия распространению сигналов спутников СРНС Навстар GPS.

Как следует из проделанного анализа точности определения координат, одни спутниковые навигационные системы не в состоянии обеспечить должный уровень безопасности мореплавания в зонах безопасности искусственных островов, установок и сооружений. Низкая точность определения координат с помощью СРНС не позволит автоматизировать мониторинг загрязнения автономными эко-роботами, а также

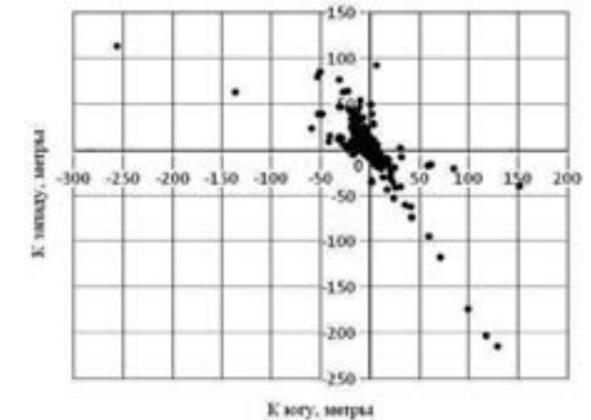


Рис. 3. Распределение координат на плоскости

операции по поиску и спасению людей в аварийных ситуациях. Поэтому необходимо приступить к разработке специализированных локальных высокоточных радионавигационных систем, предназначенных для поддержки плавания судов в зонах безопасности искусственных островов, платформ, установок и сооружений.

**Литература**

1. Комаровский Ю. А. Использование трехантенных GPS-компасов для оперативной оценки остойчивости судна // Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 1 (спецвыпуск). С. 67–69.
2. Радченко П. М. Самоходный экоробот для исследования океана / П. М. Радченко, Ю. А. Комаровский, И. О. Киятин // Транспорт Российской Федерации. 2012. № 5 (42). С. 57–60.
3. Резолюция ИМО А.671(16). Зоны безопасности и безопасность мореплавания вокруг прибрежных сооружений и установок. 19 октября 1989 г.
4. Комаровский Ю. А. Вычисление непараметрических позиционных характеристик эмпирического распределения погрешностей координат GPS-приемника // Вестник Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского. Серия: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. Вып. 51/2012. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. С. 54–60.
5. Комаровский Ю. А. Точность определения координат приемником СРНС Навстар GPS Furuno GP-37 / Морская экология-2005 (MAREC-2005): труды междунауч.-практ. конф. 5–7 октября 2005 г. Т. 2. Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2006. С. 39–47.

Дизельгенераторы, насосы, приводы буровых, погрузчики, бульдозеры, камнедробилки, трубоукладчики, 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

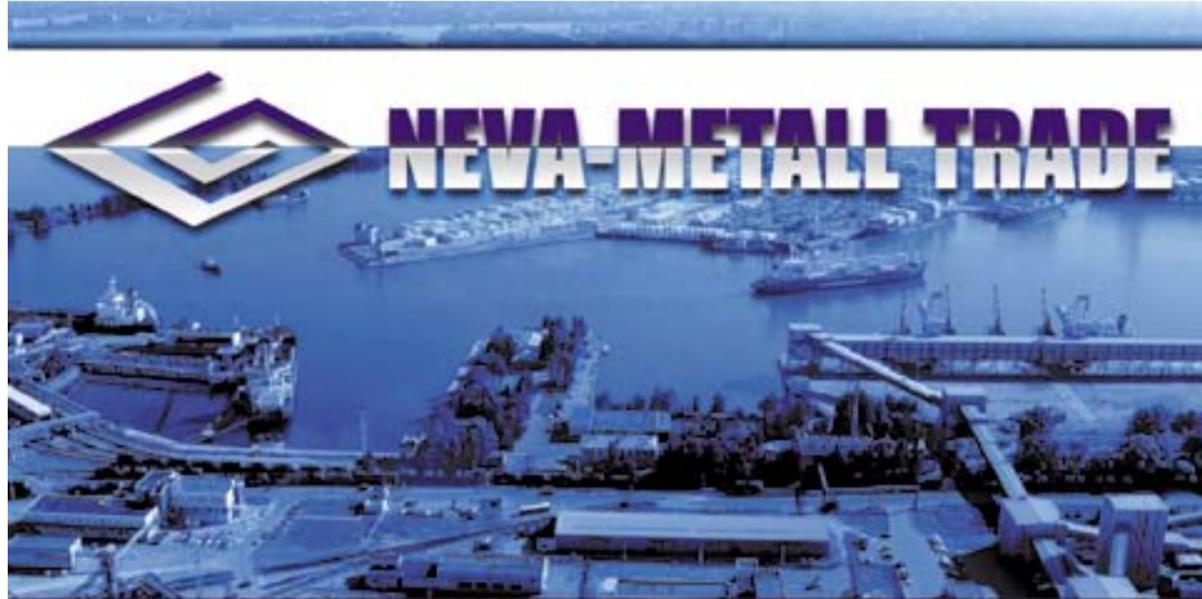
Вопросы – по e-почте [volvopenta.ru@volvo.com](mailto:volvopenta.ru@volvo.com)  
 Подробности – на сайте [www.volvopenta.com/industrial](http://www.volvopenta.com/industrial)



**VOLVO PENTA**  
 Volvo Penta входит в Группу Volvo

**NEVA METALL TRADE**  
**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.

Издательство «ТАНДЕМ» (учредитель и издатель журнала «ГИДРОТЕХНИКА») предлагает специальную литературу

**В. И. Каминская. Оптимизация проектных решений и технологии возведения намывных сооружений.**

166 стр., твердый переплет. Издательство «Стройиздат — Северо-Запад», 2011. **Стоимость 700 рублей.**

**В содержании:**

- гидрогеомеханические процессы намыва сооружений и оснований под строительство;
- прогнозирование свойств намывных грунтов на основе статистических оценок;
- основы регулирования технологических процессов намыва сооружений и оснований;
- автоматизированное управление процессами намыва; мониторинг качества намыва;
- проектирование намывных сооружений и территорий;
- опыт образования намывных сооружений и территорий;
- рекультивация земель при гидромеханизированных работах.

**Геосинтетические материалы в промышленном и гидротехническом строительстве: сборник материалов I международной научно-технической конференции**

под ред. д. т. н., проф. Н. И. Ватина, к. т. н. О. И. Гладштейна. — СПб.: Изд-во «Тандем», 2011. 160 с., мягкий переплет. **Стоимость 450 рублей.**

В сборнике представлены нормативные документы, научные и методические разработки, проектные решения, опыт строительства, технические описания материалов российского и зарубежного производства.

При оплате по безналичному расчету книги отправляются получателю Почтой России, оплата пересылки — за счет издательства. Также книги можно приобрести в издательстве «ТАНДЕМ» по адресу:

**Санкт-Петербург, ул. Тамбовская, 8, лит. Б, офис 34 (ст. м. «Обводный канал»).**

**Контакты:**  
**(812) 712-90-48, 712-90-66, [info@hydroteh.ru](mailto:info@hydroteh.ru)**

На правах рекламы.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ТРАНШЕЙ НА ГИДРО- И ЛИТОДИНАМИКУ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ МОРЯ



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



**Дроботько С. Ю.,**  
аспирант кафедры городского  
строительства Сочинского  
государственного университета

**Аннотация.** Приводятся результаты гидравлического моделирования динамики галечного пляжа при наличии подводной траншеи. Разработаны математические модели гидродинамики прибрежной зоны моря при наличии подводной траншеи в линейной и нелинейной постановках и реализующие их компьютерные программы. Выполнены численные эксперименты для определения оптимальных параметров траншеи.

**Ключевые слова:** подводная траншея, гидравлическое моделирование, математическая модель, обрушение волн, коэффициенты отражения, гашения и прохождения волн.

**Abstract.** The results of the hydraulic modeling of the dynamics of the pebble beach in the presence of an underwater trench. Mathematical models of the hydrodynamics of the coastal zone of the sea in the presence of an underwater trench in the linear and non-linear productions and implement their computer programs. The numerical experiments to determine the optimal parameters of the trench.

**Keywords:** underwater trench, hydraulic modeling, mathematical model, wave reflection coefficients, damping and transmission of waves.

Как отмечено в [1], к одному из прогрессивных и эффективных берегозащитных сооружений относятся подводные траншеи — это берегозащитные сооружения, расположенные вдоль берега и на некотором расстоянии от него (мористее линии обрушения расчетных штормовых волн). При устройстве подводной траншеи материал из нее может быть использован для намыва, расширения и подпитки во время эксплуатации защищаемого пляжа.

Физический смысл воздействия траншеи на деформацию проходящей волны заключается в следующем. В процессе трансформации волны при ее движении по подводному береговому склону в условиях мелкой воды происходит укрупнение гребня и рост его высоты при одновременном уплощении ложбины волны, которая становится длиннее. То есть волна делается несимметричной, и ее энергия концентрируется в гребне. В момент обрушения происходит переход значительной части волновой энергии в поступательное движение (энергетическое течение), а другая часть переходит в энергию турбулентности и вызывает эффект экскавации, т. е. взвешивания наносов, которые затем перемещаются поступательным потоком вдоль берега. Если перед линией обрушения волн устроить углубление, соизмеримое с высотой волны и по ширине соизмеримое с ее длиной, то часть волновой энергии отразится, а волна при проходе через траншею вновь примет симметричную форму. Таким образом, к берегу поступит меньшая часть волновой энергии, к тому же равномерно распределенная по длине волны. Следовательно, суть работы подводной траншеи как берегозащитного сооружения заключается в «развале» гребня волны, готовой к обрушению, за счет нелинейно-дисперсионных эффектов, возникающих при резком изменении глубины. При этом волновая энергия вместо концентрации в гребне обрушающейся волны распределяется по ее длине и не оказывает катастрофического воздействия на берега и сооружения.

Для подтверждения эффективности работы подводной траншеи как берегозащитного сооружения было проведено гидравлическое моделирование. В качестве исследуемых были выбраны берегозащитные мероприятия в районе пос. Героевское г. Керчи [2].

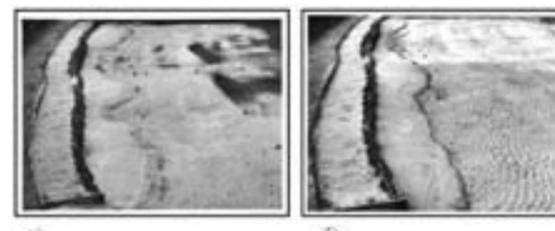
В этой работе с целью определения влияния подводной траншеи на литодинамику берега было выполнено гидравлическое моделирование на пространственной модели в волновом бассейне. Эксперименты выполнялись с высотой волны  $h = 0,065$  м и периодом  $T = 1,47$  с. На берегу в виде берегозащитной стены устанавливалась конструкция из сквозных блоков. Траншея была устроена на расстоянии 3,0 м от берега перед линией обрушения волн. Глубина траншеи составляла  $d_1 = 0,13$  м, ширина по верху  $l = 0,50$  м. Для сопоставления результатов был выполнен также опыт без траншеи. Результаты экспериментов представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Таким образом, наличие подводной траншеи повышает устойчивость пляжа примерно на 30%.

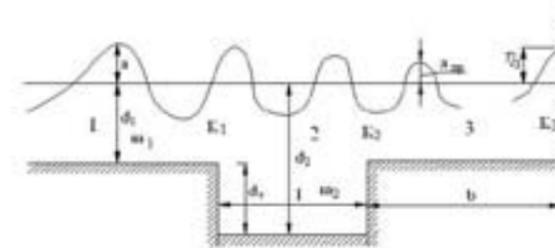
Гашение волн подводной траншеей (рис. 2) происходит аналогично гашению наброской или волноломом за счет изменения свойств волнопроводящей среды, а именно — глубины.

На рис. 2, а — амплитуда исходной волны;  $a_{np}$  — амплитуда прошедшей волны;  $d_1$  — глубина на подходе волн к траншее;  $d_2$  — глубина в зоне траншеи;  $d_3$  — глубина траншеи от дна;  $K_1, K_2, K_3$  — коэффициенты отражения волн от морской и береговой бровок траншеи и от береговой границы;  $l$  — ширина траншеи;  $b$  — ширина волновой камеры (расстояние от берегового откоса траншеи до береговой границы);  $m_1, m_2$  — волновые числа на подходах к траншее и в зоне траншеи.

Математическое моделирование влияния подводной траншеи на гидродинамику прибрежной зоны может быть выполнено как в линейной, так и в нелинейной постановках.



**Рис. 1.** Положение линии уреза пляжа в конце опытов: а) при наличии траншеи; б) без траншеи



**Рис. 2.** Схема взаимодействия волн с подводной траншеей

**Линейная модель.** В линейном приближении теории длинных волн уравнения движения жидкости в зонах 1, 2, 3 имеют вид [3, 8]:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + d \frac{\partial U}{\partial x} = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0; \quad (2)$$

где  $U$  — осредненная по глубине горизонтальная скорость жидкости;  $t$  — время;  $x$  — расстояние по горизонтали;  $\eta$  — возвышение свободной поверхности;  $d$  — глубина;  $g$  — гравитационное ускорение.

Фазовая скорость волны  $C = (gd)^{0.5}$ , волновые числа в зоне вне траншеи:

$$m_1 = 2\pi / (T(gd)^{0.5}), \quad (3)$$

в зоне траншеи

$$m_2 = 2\pi / (T(gd_2)^{0.5}), \quad (4)$$

частота волн  $\omega = 2\pi / T$ .

Начальные условия:  $\eta(x) = 0, U(x) = 0$  при  $t = 0$ .

Граничные условия:

$$\eta(-l) = a \cos(m_1(-l) - \omega t), \quad (5)$$

$$U(-l) = a(gd)^{0.5} \cos(m_1(-l) - \omega t).$$

Решение уравнений (1), (2) в зоне перед траншеей представляет собой линейную суперпозицию прямой волны с амплитудой  $a$  и отраженной волны с амплитудой  $aK_1$ :

$$\eta_1 = \eta_{пр1} + \eta_{от1} = a[\cos(m_1 x - \omega t) + K_1 \cos(m_1 x + \omega t)]; \quad (4)$$

$$U_1 = U_{пр1} - U_{от1} = a(gd)^{0.5} [\cos(m_1 x - \omega t) - K_1 \cos(m_1 x + \omega t)]. \quad (5)$$

В зоне за траншеей:

$$\eta_2 = K_{np} a [\cos(m_2(x-l) - \omega t) + K_3 \cos(m_2(x-l+b) + \omega t)]. \quad (6)$$

Коэффициенты отражения  $K_1, K_2, K_3$ , коэффициент прохождения  $K_{np}$ , ширина волновой камеры  $b$ , ширина траншеи  $l$  и ее глубина  $d_2$ , как видно из полученных выражений, являются определяющими параметрами подводных траншей при их взаимодействии с волнами.

Коэффициент отражения от береговой границы  $K_3$  должен быть всегда задан. Для непроницаемой береговой стены  $K_3 = 1$ , для открытой акватории или свободного пологого откоса  $K_3 = 0$ .

Тип конструкции	Ширина пляжа, см		Средний вдольбереговой расход наносов, дм <sup>3</sup> / час		
	исходная, $Y_1$	в конце опыта, $Y_2$	$Y_1 / Y_2$	Q	Q / Q без траншеи
Сквозные блоки с траншеей	15	33	2,2	40,5	0,7
Сквозные блоки без траншеи	15	24	1,6	59,5	1,0

**Табл. 1.** Влияние подводной траншеи на литодинамику прибрежной зоны

Наиболее точным методом определения коэффициентов  $K_1, K_2, K_3, K_{np}$  является гидравлическое моделирование.

Однако, приняв некоторые допущения, эти коэффициенты можно определить теоретически, не прибегая к построению модели в натуре.

Условия сопряжения на морском и береговом откосах траншеи определяются выражениями:

$$\eta_1 = \eta_{тран}, U_1 = U_{тран} \text{ при } x = 0, \quad (7)$$

$$\eta_2 = \eta_{тран}, U_2 = U_{тран} \text{ при } x = l,$$

где  $\eta_{тран}, U_{тран}$  — возвышение свободной поверхности и скорость потока в зоне траншеи.

Если принять в первом приближении коэффициент прохождения волн через морской откос траншеи равным  $K_{прм} = 1 - K_1$ , а через береговой откос  $K_{прб} = 1 - K_2$ , то общий коэффициент прохождения волн через зону траншеи равен:

$$K_{np} = (1 - K_1)(1 - K_2). \quad (8)$$

Профиль взволнованной поверхности в зоне траншеи определится выражением:

$$\eta_{тран} = a(1 - K_1) [\cos(m_2 x - \omega t) + K_2 \cos(m_2(x+l) + \omega t)], \quad (9)$$

Используя условия сопряжения на границах и имея в виду, что коэффициент отражения от береговой границы  $K_3$  задан, можно получить выражения для расчета  $K_1$  и  $K_2$ :

$$K_2 = \frac{1 + K_3 \cos(m_1 b) - \cos(m_2 l)}{1 + \cos(2m_2 l) + K_3 \cos(m_1 b)}; \quad (10)$$

$$K_1 = \frac{K_2 \cos(m_2 l)}{2 - K_2 \cos(m_2 l)}. \quad (11)$$

Коэффициент волногашения траншеей:

$$K_{гш} = \sqrt{1 - K_{np}^2 - K_1^2}. \quad (12)$$

Если подводная траншея устраивается на свободном пляже, то  $K_3 = 0$ , тогда выражения (10), (11) можно преобразовать к виду:

$$K_2 = \frac{1 - \cos(m_2 l)}{1 + \cos(2m_2 l)}; \quad (13)$$

$$K_1 = \frac{K_2 \cos(m_2 l)}{2 - K_2 \cos(m_2 l)}. \quad (14)$$

Для расчета взаимодействия волн с подводной траншеей разработана программа, позволяющая автоматически варьировать глубину и ширину траншеи и подбирать ее оптимальные параметры в зависимости от параметров исходных волн. С использованием этой программы была выполнена серия численных экспериментов по взаимодействию волн с подводной траншеей. При этом для численного моделирования использовались следующие параметры волн: высота исходной волны  $h_0 = 1,0; 2,0; 3,0$  м на подходе к сооружению на глубине  $d_0 = 6,0$  м.

Исходная длина волны принималась равной  $\lambda_0 = 100$  м, таким образом, крутизна волны  $h_0/\lambda_0$  равнялась: 0,01, 0,02 и 0,03. Сооружение располагалось на глубинах  $d = 6,0; 3,0; 1,5$  м, т. е. в мелководной и прибойной зонах. Соотношение  $h_0/d$  для высоты волны  $h_0 = 3,0$  м равнялось соответственно 0,50, 1,00 и 1,50. Соотношение  $d/\lambda_0$  составляло 0,06, 0,03 и 0,015. Ширина траншеи  $l$  изменялась от 0,1 до  $0,5 \lambda_0$ , глубина траншеи  $d_T$  (рис. 2) изменялась от 0,1d до 1,0d. Уклон дна в зоне сооружения задавался равным  $i = 0,05$ . Длина и высота волн на глубинах расположения сооружения, а также параметры волн на линии обрушения рассчитывались программой автоматически в соответствии с нормативной методикой [7].

На рис. 3 показаны графики коэффициентов отражения и прохождения волн высотой 3,0 м при длине 100 м для подводной траншеи шириной 10,0 м, расположенной на глубине 6,0 м в зависимости от относительной глубины траншеи.

Из рис. 3 следует, что оптимальной является относительная глубина траншеи, равная 0,30, т. е. 1,80 м.

Далее были выполнены расчеты для оценки влияния ширины траншеи на ее взаимодействие с волнами. При этом глубина траншеи задавалась равной  $d_T = 2,4$  м, т. е.  $0,6d$ , где  $d = 4,0$  м — глубина перед сооружением, длина волн задавалась равной  $\lambda = 100$  м, а их высота изменялась от  $h = 1,0$  м до  $h = 3,0$  м. Результаты расчетов показаны на рис. 4.

Из рис. 4 можно видеть, что оптимальной по волногашению является ширина траншеи порядка  $0,12-0,18 \lambda$ , т. е. в данном случае  $l = 12,0-18,0$  м. При этом волногасящие свойства подводной траншеи гораздо больше зависят от длины волны, чем от ее высоты.

**Нелинейно-дисперсионная модель.** Применение линейной теории длинных волн для расчета взаимодействия волн с пропускаемыми сооружениями в прибрежной зоне в принципе правомерно лишь при слабом волнении. Это связано с тем, что линейные теории могут описать только волны малой амплитуды. В реальных штормах редкой повторяемости предположение о малости амплитуды волн не выполняется. Поэтому в ответственных случаях расчеты следует выполнять с использованием математических моделей более высокого уровня. При исследовании паводковых волн в реках, штормовых нагонов, приливов и т. п. широко используется теория мелкой воды, учитывающая нелинейные эффекты. В последние годы все большее распространение получает теория мелкой воды второго приближения, учитывающая, помимо нелинейных, также дисперсионные эффекты [3, 5, 6].

Уравнения модели для сквозных стен, набросных сооружений и сооружений, изменяющих рельеф дна (подводные траншеи и распластанные волноломы), имеют вид:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{n} \frac{\partial}{\partial x} (\eta + d)U = 0, \quad (15)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{d^2}{3} \frac{\partial^3 U}{\partial x^3} + d \frac{\partial d}{\partial x} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial E_{ос}}{\partial x} - \frac{g|U|U}{C_n^2(d+\eta)}, \quad (16)$$

где  $E_{ос}$  — энергия турбулентных пульсаций, генерируемая при обрушении волн;  $C_n$  — коэффициент Шези, определяемый так же, как и при исследованиях русловых процессов. Остальные обозначения те же, что и в линейной модели.

Для определения величины  $E_{ос}$  разработана специальная методика [6], позволяющая учесть концентрацию энергии в узкой зоне. В качестве критерия обрушения при этом принимается соотношение  $U_r > C$ , где  $U_r$  — скорость частиц в греб-

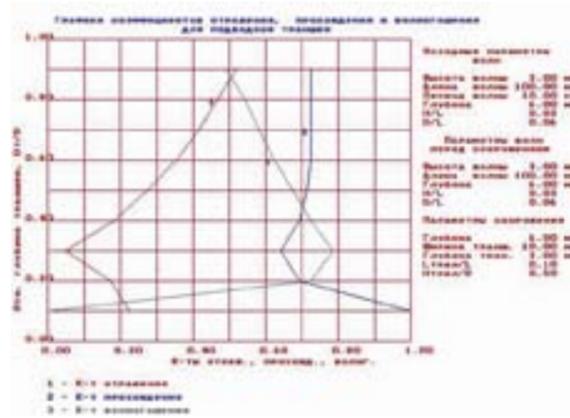


Рис. 3. Графики коэффициентов отражения, прохождения и гашения волн высотой 3,0 м при длине 100 м для подводной траншеи шириной 10,0 м, расположенной на глубине 6,0 м в зависимости от относительной глубины траншеи

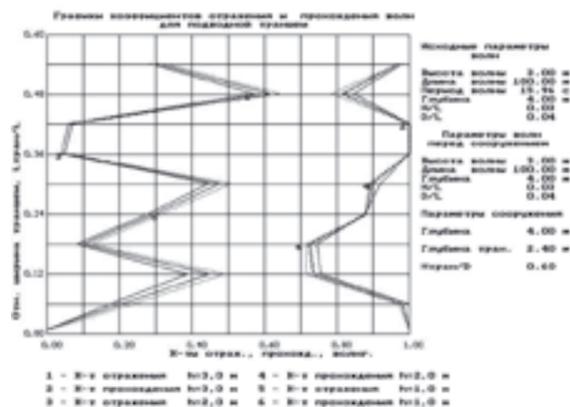


Рис. 4. Зависимость коэффициентов отражения и прохождения волн через подводную траншею от относительной ее ширины

не волны,  $C = \sqrt{(\eta + d)g}$ , (17) — фазовая скорость волны. Для определения величины  $U_r$  принимается линейное распределение горизонтальной скорости по глубине в гребне волны перед ее разрушением, что соответствует результатам экспериментов, выполненных с использованием лазерного доплеровского анемометра [9].

Тогда в первом приближении  $U_r = Au$ , где  $u$  — средняя по глубине горизонтальная скорость, получаемая из уравнений мелкой воды;  $A$  — эмпирический коэффициент, подлежащий определению в процессе калибровки математической модели. В этом случае высота обрушающейся части гребня волны определяется из простых геометрических построений:  $\Delta h = \Delta u(d + \eta)/U_r$ , а ее скорость  $U_{\Delta h} = U_r - \Delta u/2$ , где  $\Delta u = U_r - C$ . Зная величины  $\Delta h$  и  $U_{\Delta h}$ , можно определить величину осредненной по глубине энергии турбулентных пульсаций, которая генерируется при обрушении волны:

$$E_{ос} = \Delta h \times U_{\Delta h}^2 / (2(\eta + d - \Delta h)). \quad (18)$$

Производная  $\partial E_{ос} / \partial x$  вводится в уравнение движения (16) в качестве самостоятельного члена. В результате удается локализовать область обрушения волн и одновременно организовать сквозной счет без разрывов.

Система (15), (16) решается численно методом конечных разностей. При этом в качестве начальных условий принимаются  $\eta(x) = 0$ ,  $U(x) = 0$  при  $t = 0$ , в качестве граничных:  $d = f(x)$ ,  $\eta(x = -\lambda) = f(t)$ .

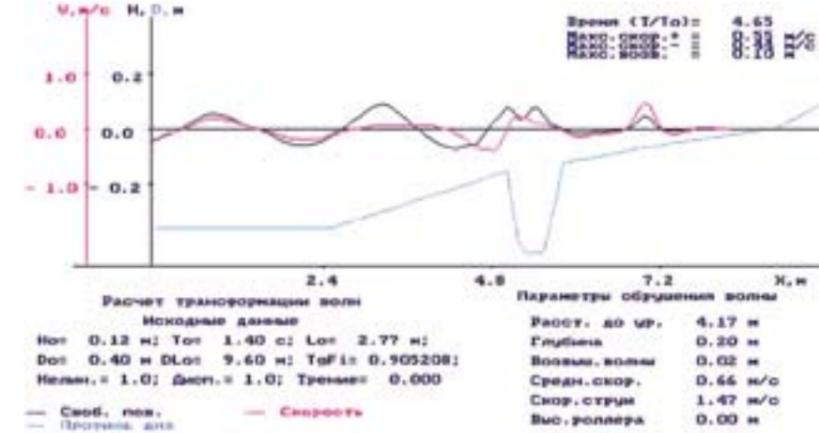


Рис. 5. «Развал» гребня волны над подводной траншеей в результате нелинейно-дисперсионных эффектов

В результате расчета определяются коэффициенты отражения и прохождения волн, коэффициент волногашения, высота заплеска и волновая нагрузка на береговую границу. Пример модельного расчета в момент «развала» волны над подводной траншеей в результате нелинейно-дисперсионных эффектов показан на рис. 5.

Таким образом, разработаны математические модели и компьютерные программы для моделирования гидродинамики прибрежной зоны моря при наличии подводной траншеи.

**Литература**

- СП 32-103-97. Проектирование морских берегозащитных сооружений. М.: Трансстрой, 1998.
- Моделирование берегоукрепительных сооружений в районе п. Героевское г. Керчи с выдачей рекомендаций для проектирования. Сочи: ЧО ЦНИИС, 1990.
- Вольцингер Н. Е., Клеванный К. А., Пелиновский Е. Н. Длинноволновая динамика прибрежной зоны. Л.: Гидрометеоиздат, 1989.
- Ле Меоте Б. Введение в гидродинамику и теорию волн на воде. Пер. с англ. Л.: Гидрометеоиздат, 1974.
- Макарова И. Л., Макаров К. Н., Абакумов О. Л. Нелинейные деформации ветровых волн в прибрежной зоне моря // Обзорение прикладной и промышленной математики. М.: Научное издательство «ТВП», 2001.
- Макаров К. Н. Методика расчета обрушения волн в рамках теории мелкой воды. Динамика и термика рек, водохранилищ, внутренних и окраинных морей: 4-я конф. М.: РНХ МАГИ, 1994, с. 222–223.
- СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Минрегионразвития РФ, 2012.
- Kondo H. Reflection and transmission of shallow water waves at the pervious coastal structures on solid step. Proc. XX Cong. Int. Ass. Hyd. Res., Moscow, 1983, v. 7, p. 236–239.
- Skjeltbreia E. Observation of breaking waves on sloping bottoms // W. M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources Division of Engineering and Applied Science California Institute of Technology, Pasadena, 1987.

**ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ**

вибропогружатели и гидростанции ICE Holland и PVE Holland  
грунтовые насосы DOP  
гидромолоты BSP

**10 ЛЕТ НА РЫНКЕ!**  
ПРОДАЖА, ЗАПЧАСТИ, СЕРВИС, КОНСУЛЬТАЦИИ

Торговый дом ПА машинерия  
www.ramachinery.ru  
+7(495) 514-04-12/13

На правах рекламы.

# ЭКОЛОГИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БЕРЕГОЗАЩИТЫ: «СТРОИТЕЛЬСТВО ВМЕСТЕ С ПРИРОДОЙ»



**Ерашов В. П.,**  
коммерческий представитель  
«Ван Оорд»

**Аннотация.** Промышленное и градостроительное развитие прибрежной зоны и создание берегозащитных сооружений требуют экологически взвешенных проектных решений. Целесообразно использовать природные строительные материалы и природные процессы при строительстве берегозащитных сооружений. С целью продвижения нового подхода к проектированию и строительству берегозащитных сооружений экологически дружественным способом в Нидерландах действует инновационная программа «Строительство вместе с природой». В рамках этой программы в 2011 г. для защиты побережья Южной Голландии при участии голландской дноуглубительной компании «Ван Оорд» был намыт искусственный полуостров «Песчаный двигатель».

**Ключевые слова:** строительство вместе с природой, «Ван Оорд», берегозащита, дюны, «Песчаный двигатель».

**Abstract.** Industrial and urban development of coastal zone and construction of shore protection structures require environmentally balanced design solutions. It is reasonable to use natural construction materials and natural processes at construction of coastal protection. The innovation program Building with Nature is implemented in the Netherlands to facilitate new approach to coastal design and construction in environmentally friendly manner. The Zand Motor (Sand Engine) artificial peninsula has been reclaimed in 2011 in South Holland with participation of Dutch dredging company Van Oord.

**Keywords:** building with Nature, Van Oord, coastal protection, dunes, Zand Motor (Sand Engine).

Промышленное и градостроительное развитие прибрежной зоны и создание берегозащитных сооружений требуют экологически взвешенных проектных решений. Во избежание чрезмерного антропогенного воздействия на окружающую среду целесообразно обеспечивать максимально возможное использование при строительстве берегозащитных сооружений природных материалов и естественных природных факторов (ветроволновое воздействие, морские течения, вынос из рек осадочных материалов, действие силы тяжести).

Такой экологически дружественный подход при гидротехническом строительстве объектов берегозащиты применяется в Европе и получил широкое распространение во всем мире — в Азии, Африке, Америке и Австралии. Соответствующая практика показала, что новые намытые территории, спроектированные и созданные в Нидерландах и других странах на основе взаимодействия с природой, экологичны, экономичны и долговечны.

При возведении берегозащитных сооружений на морском побережье в Нидерландах по технологии «Строительство вместе с природой» сегодня используют в основном морской песок и объекты существующего природного берегового ландшафта при максимальном сокращении применения бетона и металлических конструкций. В этом случае защита береговой линии обеспечивается, главным образом, с помощью намываемых дополнительно пляжа и дюн. На намытых дюнах высаживаются песчаный тростник и другие растения, развивающаяся корневая система которых служит в дальнейшем для укрепления вновь созданной территории, предотвращая разрушение дюн вследствие ветровой эрозии. Через 2–4 года после высадки песчаный тростник обеспечивает оптимальное удержание песка на дюнах.

Таким образом, при строительстве берегозащитных сооружений по технологии «Строительство вместе с природой» предпочтительно отдается созданию гибкой берегозащитной структуры, гармонично взаимодействующей с окружающей средой.

Вдоль побережья Нидерландов намыто уже около 1100 га территорий с использованием защитной конструкции «пляж-дюны» при минимальном использовании «жестких» элементов берегозащиты, таких как каменная наброска и шпунтовые стенки, служащих для образования защитных дамб. Берего-

защитные сооружения по концепции «пляж-дюны» возведены от Хук ван Холланда до Схевенингена, на территории, образованной при расширении портов Роттердам и Эймейден (Амстердам). Система берегозащитных дюн построена с учетом нормативов, регламентирующих размеры этих сооружений по высоте и ширине, с учетом прогнозируемого повышения уровня Мирового океана. Строительство на дюнах, искусственно возводимых в голландской Дельте, запрещено во избежание необходимого последующего разрушения возведенных на таких дюнах объектов для возможного увеличения высоты и ширины дюн, связанного с повышением уровня моря.

Наглядным примером морского «Строительства вместе с природой» является искусственная территория, намытая у побережья Южной Голландии в Нидерландах в марте-октябре 2011 г. по проекту «Песчаный двигатель» (Zand Motor). Эта искусственная территория в виде песчаного полуострова была создана в районе подверженного эрозии узкого песчаного пляжа на участке побережья между Monster/Ter Heijde и Kijduin. Площадь «Песчаного двигателя», потребовавшего доставки с морского месторождения в Северном море и укладки 21 млн куб. м песка, больше 256 футбольных полей. В течение 10 лет песок с «Песчаного двигателя» будет переноситься под воздействием природных факторов — ветра, волн и морских течений вдоль западного побережья Нидерландов по направлению к Схевенингену, способствуя восстановлению пляжей на всем пути переноса песка.

Разработке и применению нового метода берегозащиты в Нидерландах способствовал и тот факт, что применявшийся ранее способ защиты местного побережья с помощью возведения бун показал свою неэффективность. Десятки базальтовых бун, возведенных здесь для удержания пляжей от разрушения, вызвали противоположный эффект — разрушение пляжей — из-за возникновения вокруг бун сильных течений, вымывающих песок с участков пляжа, расположенных между бунами. Новый же метод берегозащиты, которым является «Песчаный двигатель», позволит обеспечить естественное распределение и аккумуляцию песка вдоль побережья, благодаря чему произойдет укрепление береговой линии и образуется динамичное рекреационное береговое пространство.



**Рис. 1.** Песчаный тростник на дюнах



**Рис. 2.** «Песчаный двигатель» в Дельфланде (ист.: Rijkswaterstaat/Joop van Houdt)

Технология «Строительство вместе с природой» применяется и на таких известных проектах, как искусственный остров «Палм Джумейра» и архипелаг искусственных островов «Мир», построенных компанией «Ван Оорд» в Дубае. Для обеспечения сохранения при строительстве благоприятных условий для морских организмов и птиц к работе на проектах были привлечены морские биологи и другие профильные специалисты. Построенные для защиты искусственных островов на проектах в Дубае волноломы функционируют также, как искусственные рифы. Конструкция подводной части этих волноломов, сложенных из скальной породы, специально спроектирована для облегчения образования на них колоний морских обитателей.

Компания «Ван Оорд» (Нидерланды), будучи одним из ведущих мировых подрядчиков по дноуглублению и морскому строительству, стала одним из учредителей инновационной программы «Строительство вместе с природой» фонда EcoShare, в разработке которой приняли участие голландские научно-исследовательские институты, университеты, правительство и коммерческие организации. Данная программа соз-

дана с целью выработки новых решений в гидростроительстве, основанных на последних научно-технических достижениях и технологиях. Задачей программы является облегчение внедрения инноваций в гидротехническом строительстве в Нидерландах. Программа «Строительство вместе с природой» служит для голландских гидростроителей переходным этапом от традиционно применяемых методов проектирования берегозащитных сооружений к новой практике проектирования, нацеленной на максимальное использование потенциала экосистем. Участники данной программы накопили большой объем знаний и опыта в проектировании, выполняемом с учетом действующих экодинамических процессов, — так называемом экодинамическом проектировании. Первая фаза данной программы была завершена в конце 2012 г. Вышеописанный осуществленный инновационный проект «Песчаный двигатель» по защите и расширению береговой полосы с использованием природных материалов и действующих природных факторов показал на практике результаты действия программы «Строительство вместе с природой».

## Морская инфраструктура будущего

Компания «Ван Оорд» - это подрядная организация по дноуглубительным работам, а также работам на шельфе, имеющая мировую известность в области строительства современной морской инфраструктуры. Компания «Ван Оорд» имеет постоянные офисы в Москве и Санкт-Петербурге.

[www.vanoord.com](http://www.vanoord.com)

**Проекты**

- Санкт-Петербург**
- Баренцево море**
- Ляал**
- Савалин**

**Офисы «Ван Оорд» в России:**

117036 Москва  
Ул. Кедрова, 15  
Т +7 499 1291290  
Ф +7 499 6265991

199178 Санкт-Петербург  
7-я линия ВО, 76 А  
оф. 613-615  
Т +7 812 3329275  
Ф +7 812 3329276

Van Oord | PO Box 8574 | 3009 AN Rotterdam | The Netherlands | Т +31 10 4478444 | E info@vanoord.com  
Van Oord Offshore Bv | PO Box 458 | 4200 AL Gorinchem | The Netherlands | Т +31 183 642200 | E area.off@vanoord.com | www.vanoord.com

На правах рекламы.

# АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ СПОСОБ ПОСТРОЕНИЯ ЭПЮРЫ ОТПОРА ПЕРЕД ЭКРАНИРУЮЩИМИ СТЕНКАМИ БОЛЬВЕРКОВ



**Гуткин Ю. М.,**  
канд. техн. наук, глав. специалист  
«Союзпроектверфь»  
ОАО «Центр технологии  
судостроения и судоремонта»,  
заслуженный строитель РФ

**Аннотация.** В статье предлагается альтернативная методика построения эпюры отпора перед экранирующими стенками больверков. Приводятся результаты расчетов, выполненных по предлагаемой методике, и их анализ.

**Ключевые слова:** экранирующая стенка больверка, эпюра отпора.

**Abstract.** The article offers an alternative method of resistance diagram construction in front of shielded walls of revetments. There are computations results implemented by this method and their analysis in the article.

**Keywords:** shielded wall of revetment, diagram of resistance.

Прежде чем приступить к изложению основного материала настоящей статьи, автор считает необходимым дать некоторые пояснения к материалам, представленным в предшествующих публикациях, по вопросам расчета экранированных больверков.

Эти работы частично [1] или полностью [2, 3] посвящены вопросам оценки пассивного давления на экранирующие стенки больверков. При разработке представленных решений имелась в виду общепринятая и закрепленная в [4] схема действия активного давления грунта на экранирующую стенку с обеих сторон. С тыловой стороны — полный распор с учетом вертикальных эксплуатационных нагрузок на причале, а с внутренней стороны — ограниченное силосное активное давление, обусловленное расчетной шириной межстенного грунтового массива.

Может сложиться впечатление, что при этом допускается одновременное действие на экранирующую стенку со стороны межстенного грунтового массива активного и пассивного давления, что в принципе невозможно. Чтобы убедиться в том, что это не так, достаточно обратить внимание на отсутствие на схемах сил, действующих на отпорные массивы (рис. 6 в [2], рис. 2 в [3]), реактивного давления на них со стороны лицевой стенки. Это неучитывавшееся давление увеличивает сопротивление сдвигу грунтового массива перед экраном. Являясь реакцией на активное силосное давление грунта на лицевую стенку, оно равно и силосному давлению на экран, уже учтенному в качестве исходной нагрузки.

Таким образом, отпор перед экранирующей стенкой на самом деле (в пределах глубины погружения лицевой стенки) является только частью предельных сил сопротивления сдвигу — численно равной разнице между этими силами сопротивления и активным силосным давлением. И этот отпор может рассматриваться в качестве предельного реактивного

давления на экранирующую стенку в расчетах сооружений, при выполнении которых внутреннее распорное давление на экран задается в виде исходной внешней нагрузки.\*

Напомним здесь, что аналогичный прием используется при классической проверке устойчивости массива грунта, обеспечивающего анкерное крепление больверков (см., например, приложение 10 в [5]).

\*\*\*

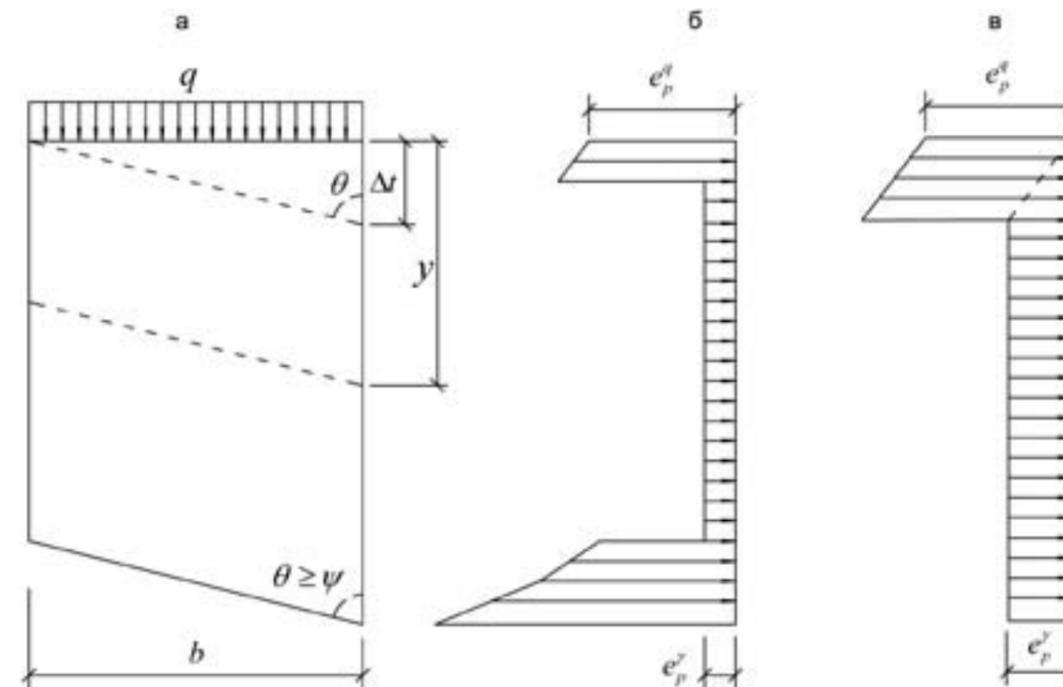
В статьях [2, 3] представлен один из возможных подходов к построению эпюры отпора перед экранирующей стенкой больверка при ее заглублении по отношению к лицевой стенке сооружения.

Этот подход предполагал для каждого расчетного уровня отпорного массива оценку суммарного пассивного давления как минимального сопротивления сдвигу соответствующей части массива по одной из возможных плоскостей скольжения.

Исходя из этого, отпор в пределах глубины погружения лицевой стенки определялся устойчивостью отпорного грунтового массива на сдвиг по горизонтальной плоскости, а ниже подошвы лицевой стенки — устойчивостью на сдвиг по наклонной плоскости, проходящей через эту подошву. Угол наклона этой плоскости (к плоскости экранирующей стенки) ограничивался углом выпора.

При угле наклона плоскости, проходящей через нижние концы обеих стенок, большем угла выпора, отпор в нижней части экранирующей стенки определялся положением этой плоскости. Для части экранирующей стенки, которая расположена ниже плоскости, проходящей через подошву лицевой

\* В принципе это давление можно и не рассматривать в виде внешней нагрузки. В этом случае реактивное давление на экранирующую стенку надо сопоставлять с полными силами сопротивления, учитывающими и силы реакции со стороны лицевой стенки, равные активному давлению на экран изнутри.



**Рис. 1.** Характер распределения пассивного давления на экранирующую стенку: а — межстенной грунтовой массив; б — вид эпюры отпора по способу, представленному в [1, 2]; в — то же по альтернативному способу, изложенному в настоящей работе

стенки под углом, равным углу выпора, отпор определялся как для одиночной стенки — без учета лицевой стенки.

Характерным в эпюре отпора экранирующей стенки являлось следующее (рис. 5 в [3]):

- Интенсивность составляющей отпора от веса грунта в пределах глубины погружения лицевой стенки постоянна, зависит от ширины межстенного грунтового массива и угла внутреннего трения грунта и определяется сопротивлением этого массива сдвигу по горизонтальной плоскости.
- Отпор от пригрузки межстенного массива в его верхней зоне реализуется только частично — в пределах сил трения, соответствующих этой пригрузке и возникающих по горизонтальной плоскости. Зона действия этой составляющей по высоте невелика.
- Основная часть составляющей отпора от пригрузки («отложенный» отпор) реализуется в ограниченной зоне ниже подошвы лицевой стенки. Нижняя граница этой зоны определяется углом выпора грунта основания. Для нее характерна чрезвычайно повышенная интенсивность отпора по сравнению с зоной в пределах глубины погружения лицевой стенки.
- Ниже зоны реализации «отложенного» отпора располагается зона классического отпора одиночной стенки. Интенсивность отпора в этой зоне значительно меньше, чем в предыдущей.

Таким образом, предложенный в [2, 3] подход к построению эпюры отпора перед экранирующей стенкой приводит к смещению зоны основного отпора перед экранирующей стенкой в ее нижнюю часть — ниже подошвы лицевой стенки. Этот вывод является прямым следствием основного допущения, принятого в использованной схеме оценки характера распределения отпора по глубине погружения экранирующей

стенки, — допущения о существовании линий сдвига, по-разному ориентированных для отдельных частей единого сдвигаемого грунтового массива.

Отмеченное понижение центра тяжести эпюры отпора должно с неизбежностью вести к ухудшению условий статической работы экранирующей стенки. С этой точки зрения, предложенный способ построения эпюры отпора может быть условно обозначен как «пессимистический», т. к. он ведет к максимизации усилий в экранирующей стенке.

Для выяснения возможного диапазона разброса представлений о характере эпюры отпора перед экранирующей стенкой нами предпринята попытка проработки и иного подхода к решению задачи о распределении пассивного давления на экранирующую стенку. Этот альтернативный подход базируется на предположении наличия наклонных плоскостей сдвига по всей высоте зоны действия отпора, ориентированных так же, как плоскость сдвига всего межстенного грунтового массива в целом. Это формальное предположение, по-видимому, неадекватно отражает физическую сторону взаимодействия рассматриваемого грунтового массива с экранирующей стенкой. Однако в качестве рабочей гипотезы (в контексте обозначенной цели рассмотрения альтернативного подхода) представляется допустимым.

Используя решение, полученное в [3] в отношении отпора трапециевидного грунтового массива, запишем его применительно к части этого массива с ординатой нижней точки у (рис. 1).

$$E_{p(y)} = N_y \frac{1 + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \theta - (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \delta)} \quad (1)$$

Здесь  $N_y$  — вертикальная нагрузка, действующая на выделенную часть массива;  $\varphi$  — угол внутреннего трения грунта;  $\delta$  — угол трения грунта о стенку;  $\theta$  — угол между пло-

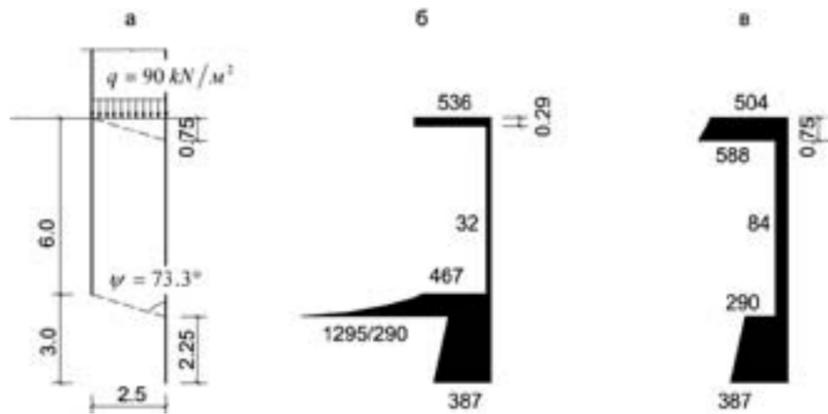


Рис. 2. Варианты эпюр отпора перед экранирующими стенками для геометрической схемы а: б — по способу, представленному в [1, 2]; в — по альтернативному способу

скостью сдвига и экранирующей стенкой (вертикалью). При этом  $\theta \geq \psi$ , где  $\psi$  — угол выпора, определяемый по [3].

Составляющая отпора за счет веса грунта в пределах  $y \geq \Delta t$

$$E_{p(y)}^y = \gamma b (y - 0.5 \Delta t) \frac{1 + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \theta - (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \delta)} \quad (2)$$

Здесь  $\Delta t = b / \operatorname{tg} \theta$ , где  $b$  — расчетное расстояние между стенками.

Интенсивность этой составляющей

$$e_{p(y)}^y = \gamma b \frac{1 + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \theta - (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \delta)} = \gamma \Delta t \frac{1 + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \theta - (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \delta)} \quad (3)$$

Отметим постоянность этой интенсивности в обозначенных пределах.

Составляющая отпора за счет веса грунта в пределах  $y = 0 \div \Delta t$

$$E_{p(y)}^y = 0.5 \gamma \cdot y^2 \operatorname{tg} \theta \frac{1 + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \theta - (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \delta)} \quad (4)$$

Интенсивность этой составляющей

$$e_{p(y)}^y = \gamma \cdot y \frac{1 + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \theta - (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \delta)} \quad (5)$$

Составляющая отпора за счет пригрузки грунтового массива в пределах  $y = 0 \div \Delta t$

$$E_{p(y)}^q = q y \operatorname{tg} \theta \frac{1 + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \theta - (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \delta)} \quad (6)$$

Интенсивность этой составляющей

$$e_{p(y)}^q = q \frac{1 + \operatorname{tg} \theta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{(1 - \operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \theta - (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \delta)} = \operatorname{const} \quad (7)$$

При  $\theta = \psi$  дробный множитель в формулах (3), (5) и (7) превращается в привычный коэффициент отпора  $\lambda_p$  [3], и соответствующие выражения приобретают вид:

$$e_{p(y)}^y = \gamma \Delta t \lambda_p \quad \text{при } y \geq b / \operatorname{tg} \psi \quad (3')$$

$$e_{p(y)}^y = \gamma \cdot y \lambda_p \quad \text{при } y \leq b / \operatorname{tg} \psi \quad (5')$$

$$e_{p(y)}^q = q \lambda_p \quad \text{при } y \leq b / \operatorname{tg} \psi \quad (7')$$

Вид эпюры отпора представлен на рис. 1, в. Как видно, альтернативный подход существенно меняет картину распределения пассивного давления на экранирующую стенку по сравнению с предложенным в [3] и представленным на

рис. 1, б. Увеличилась зона действия составляющей отпора за счет пригрузки основания между стенами. Увеличилась интенсивность отпора от веса грунта межстенного массива. Отсутствует зона повышенного «отложенного» отпора в переходной зоне ниже подошвы лицевого шпунта. Еще раз подчеркнем, что оба рассмотренных подхода к оценке отпора перед экранирующей стенкой исходят из одной и той же величины суммарного пассивного давления на этот элемент сооружения и разнятся характером распределения этого давления в пределах заглубленной (относительно дна) его части. Подчеркнем еще раз и то, что это суммарное давление более чем на порядок меньше регламентируемого в [4]. На это обстоятельство обращалось внимание в [1]. Собственно, именно оно и послужило поводом для предлагаемых разработок.

На рис. 2 представлены результаты построения эпюр отпора двумя способами применительно к одной из геометрических схем больверка, ранее рассмотренной в [2, 3]. Речь идет о схеме больверка, в которой заглубление лицевой стенки на 3 м меньше, чем экранирующей. Прочие исходные данные, касающиеся геометрии сооружения, физико-механических характеристик грунта основания и пригрузки отпорного массива, те же, что и в [2, 3], и здесь не приводятся.\*

Как видно, оба рассмотренных подхода (при одинаковой оценке суммарного отпора) дают разную картину распределения пассивного давления на экранирующую стенку. При первом [2, 3] центр тяжести эпюры этого давления смещен в нижнюю часть отпорного массива. При втором (настоящая работа) — в его верхнюю часть. По-видимому, можно считать, что рассмотренные подходы дают крайние картины возможного распределения отпора по высоте (глубине).

С точки зрения оценки напряженно-деформированного состояния экранирующей стенки, первый подход ведет к большим значениям усилий в стенке, нежели второй.

Представляя вниманию специалистов возможные подходы к построению эпюры отпора перед экранирующей стенкой, автор рассчитывает на предметное обсуждение рассмотренных предложений, которые, на его взгляд, являются вполне дискуссионными.

\* Верхняя часть эпюры отпора на рис. 2, б несколько отличается от соответствующей части эпюры на рис. 2, в, представленном в [3]. Это объясняется приведением ее в сопоставимый вид с альтернативной эпюрой отпора (рис. 2, в) — в части, касающейся составляющей отпора от пригрузки  $q$ . С расчетной точки зрения, обе эпюры практически равноценны в силу равенства суммарной величины этой составляющей и незначительности зоны ее действия.

Не предвосхищая результатов такого возможного обсуждения, автор все же считает необходимым обозначить свои предпочтения.

Несмотря на то, что первый подход дает достаточно экзотическую эпюру распределения отпора по глубине погружения экрана в основание, он все же представляется более логичным. Для любого промежуточного уровня основания он дает физически обоснованную величину накопленного к этому уровню отпора (независимо от взаимного высотного положения нижних концов обеих стенок).

Альтернативный подход лишен этого достоинства. Идя сверху вниз по эпюре отпора, для промежуточных уровней физически соответствующие величины суммарного отпора не обосновать. Эта величина будет соответствовать неким наклонным плоскостям сдвига, сопротивление которому не будет минимальным, т. е. не соответствующим основному критерию определения отпора грунта. Этот подход можно определить скорее как некий удобный технический прием, основным «достоинством» которого является вполне тривиальная форма эпюры отпора, не вызывающая отторжения.

Последствием использования первого подхода в практических расчетах в худшем случае (в случае его неадекватности реальным условиям взаимодействия экранирующей стенки с грунтом основания) может явиться некоторый дополнительный запас прочности для экранирующих стенок и анкерных конструкций. Последствием использования альтернативного подхода (при аналогичной неадекватности) будет завышение несущей способности сооружения, что в некоторых случаях может оказаться опасным.

Учитывая дискуссионность вопроса о характере распределения отпора перед экранирующей стенкой по глубине, представляется необходимым проведение соответствующих экспериментальных исследований. Эти исследования могут в значительной мере уточнить наши представления о характере взаимодействия экранирующей стенки и межстенного грунтового массива.

В заключение необходимо обратить внимание на следующее. Вопрос о применении альтернативного способа построения эпюры отпора перед экранирующей стенкой автоматически снимается при положении «нулевой» точки изогнутой оси стенки (точки с ее нулевой деформацией) в пределах глубины погружения лицевой стенки в грунт основания. В этом случае рассмотрение наклонных плоскостей сдвига внутри межстенного грунтового массива бессмысленно — отпор сдвигаемой части массива однозначно определится его устойчивостью на сдвиг по горизонтальной плоскости.

Литература

1. Гуткин Ю. М. Проблемы расчета экранированных больверков // Гидротехника. 2012. № 3.
2. Гуткин Ю. М. Об определении отпора перед экранирующими стенками больверков // Гидротехника. 2012. № 4.
3. Гуткин Ю. М. Об учете трения грунта о стенку при определении отпора перед экранирующими стенками больверков // Гидротехника. 2013. № 2.
4. Указания по проектированию больверков с учетом перемещений и деформаций элементов. РТМ 31. 3016-78.
5. Руководство по проектированию морских причальных сооружений. РД 31.31.27-81.



**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.

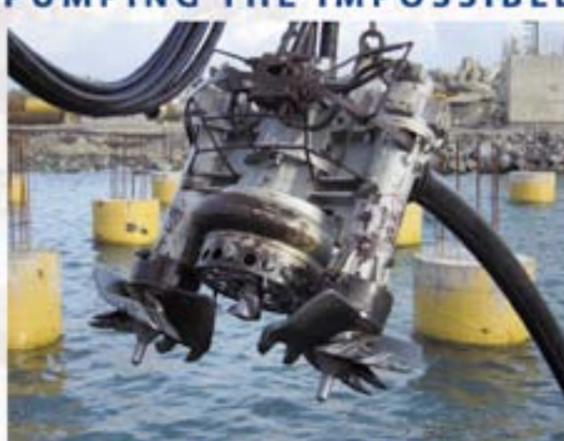
Погружные износостойкие насосы DRAGFLOW с рыхлителями и агитатором предназначены для перекачки бентонита, вязких, абразивных и водогрунтовых сред имеют следующий диапазон характеристик:

- производительность 30–1200 м³/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 рН;
- 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

## КАВИТАЦИЯ КАК ПРИНЦИП ОЧИСТКИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ



**Калугин А. И.,**  
специалист отдела водолазного снаряжения и оборудования  
ОАО «Тетис Про»



**Калиниченко А. Н.,**  
специалист отдела водолазного снаряжения и оборудования  
ОАО «Тетис Про»

**Аннотация.** Компания «Тетис Про» разработала установку для очистки подводных объектов «ЕРШ», в основе которой лежит принцип кавитационных технологий. Установка предназначена для качественного разрушения и удаления минерального или биологического обрастания любого состава и толщины на гидротехнических сооружениях и является полностью автономным комплексом, не требующим никаких дополнительных приспособлений.

**Ключевые слова:** кавитационная очистка, очистка подводных объектов, установка «ЕРШ», очистка гидротехнических сооружений.

**Abstract.** The company "Tetis Pro" has developed a system "ERSH" for cleaning of underwater facilities, which is based on cavitation technologies. This unit is intended to qualitative destruction and removal of any mineral or biological growth of any consistence and thickness on hydraulic constructions and it is totally autonomous complex without any additional devices.

**Keywords:** cavitation cleaning, cleaning of underwater facilities, "ERSH" system, hydraulic facilities cleaning.

Кавитация — это физический процесс, близкий процессу закипания жидкости, который заключается в образовании пузырьков пара и последующей их конденсации в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами. Перемещаясь с потоком, кавитационный пузырек схлопывается. Схлопывание протекает со сверхзвуковой скоростью, порождая ударную волну. Получается микровзрыв, который с легкостью разрушает любые обрастания и отложения на поверхности, находящиеся в зоне кавитации.

Впервые явление кавитации обнаружил английский ученый Рейнольд Фруд в 1894 г.

Это явление успешно применяется во многих областях: в промышленности, медицине, военной технике и других смежных областях.

Компания «Тетис Про» разработала установку для очистки подводных объектов «ЕРШ», в основе которой лежит принцип кавитационных технологий.

Все объекты, расположенные под водой, в той или иной степени подвержены биологическому обрастанию. Различные морские организмы плотно прирастают к твердой поверхности, теплая вода и высокие концентрации питательных веществ способствуют более интенсивному росту и развитию различных форм бактерий, грибов и водорослей.

К таким объектам относятся и гидротехнические сооружения — инженерные сооружения для использования водных ресурсов или для борьбы с разрушительным действием воды: плотины, причалы, мосты и волнорезы, здания гидроэлектростанций, водосборные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы и дамбы, насосные станции, судоходные шлюзы и судоподъемники и т. д.

Биологические и минеральные обрастания могут причинять большой вред стационарным подводным объектам, к которым относятся гидротехнические сооружения. Для плавучих сооружений, которые устанавливаются в морских портах на длительное время, обрастание может быть настолько велико, что сооружения теряют свою плавучесть и тонут.

На любые гидротехнические сооружения постоянно воздействуют самые разные факторы: вода, соль, перепады температур, ветер и т. д. Соответственно, сооружения изнашиваются, нуждаются в обслуживании, ремонте и своевременной замене. Ремонт гидротехнических сооружений включает

в себя углубление и очистку дна, монтаж и демонтаж строительных конструкций, бетонирование, а также обработку поверхностей от различных обрастаний.

Для защиты подводных сооружений от обрастания могут применяться особые лаки и краски. Эти вещества токсичны для микроорганизмов, что и способствует защите поверхности объекта. Но у такого способа есть и обратная сторона медали — «необрастающая» краска непрерывно выделяет в воду, окружающую сооружение, частицы ядовитых соединений металлов — меди и ртути — обычных примесей в составах такого рода. Употребление в пищу зараженной рыбы и морепродуктов неоднократно приводило к ртутному отравлению людей.

Еще один способ борьбы с биологическими и минеральными обрастаниями — периодическая обработка воды реагентами, окислителями или токсичными веществами (ядами), хлорирование, также применяют бактерицидное световое или радиоактивное излучение. Очевидно, что эти вещества и яды действуют губительно на всю подводную экосистему.

В настоящее время существуют методы и технические средства для очистки, которые не только безопасны для подводных объектов и морской фауны, но и являются легкими и эффективными в применении. Одной из таких разработок является установка с использованием метода кавитации.

Установка «ЕРШ» предназначена для качественного разрушения и удаления минерального или биологического обрастания любого состава и толщины (морские водоросли, моллюски, баянусы, ракушки), ржавчины и отслоившейся краски —



Рис. 1. Кавитационный пистолет



Рис. 2. Установка «ЕРШ»

без нарушения основного лакокрасочного, антиобрастающего и антикоррозийного покрытия очищаемой поверхности.

Важным преимуществом использования установки является отсутствие негативного воздействия на окружающую среду, поскольку биологические обрастания удаляются, не нарушая целостности слоя краски. Удаляемые органические вещества, оседая на дно, становятся естественной частью пищевой цепи обитателей моря и обменных процессов, протекающих в воде.

Принцип кавитации, положенный в основу работы установки, в равной степени и с неизменной производительностью допускает очистку гидротехнических сооружений, состоящих как из железобетонных оснований, свай, опор и прочих конструкций морской и речной акватории, так и из металлических, пластиковых, деревянных поверхностей. Возможно применение установки для эффективной очистки любых типов стационарных объектов под водой, почти вне зависимости от структуры и толщины обрастания, формы и площади очищаемой поверхности.

Установка «ЕРШ» состоит из насоса с приводом, работающим от двигателя внутреннего сгорания или электрического двигателя, шланга забора воды и рукава высокого давления с кавитационной насадкой.

Одна установка кавитационной очистки может обеспечить работу до четырех заменяемых насадок различной производительности очистки, причем самая маленькая из них, в среднем, имеет возможность очищать от 250 м<sup>2</sup> в час, что позволяет варьировать фактическую производительность очистки в зависимости от поставленных задач.

Установка является полностью автономным комплексом, не требующим никаких дополнительных приспособлений; работает как на морской, так и на пресной воде, может быть выполнена с четырьмя вариантами привода: бензиновый двигатель, электрический двигатель, дизельный двигатель.



Рис. 3. Кавитационная очистка установкой «ЕРШ»

Эффективность использования установки «ЕРШ» принципиально и выгодно отличается от традиционных способов очистки и имеет ряд существенных преимуществ, как то:

- компактные габариты и мобильность комплекса;
- возможность проводить высокоскоростную и качественную очистку без необходимости помещения в док;
- быстрая очистка небольших и труднодоступных поверхностей;
- проведение очистки сильно загрязненных поверхностей и поверхностей с твердым обрастанием любого состава и толщины;
- отсутствие вибрации, отдачи и полная безопасность для водолазов от повреждения кавитационной струей;
- сохранение лакокрасочного, антиобрастающего и антикоррозийного покрытия очищаемых поверхностей;
- отсутствие необходимости периодической замены инструмента и расходных материалов в процессе очистных работ;
- простота эксплуатации — не требует специальной подготовки рабочих и водолазов;
- эргономичность и малый вес кавитационного пистолета, не требующего разных насадок.

В декабре 2012 г. компанией ОАО «Тетис Про», с участием представителей Военно-Морского Флота, были успешно проведены государственные испытания установки по кавитационной очистке «ЕРШ» на водоемах Московской области. В рамках мероприятия были проведены очистительные работы по удалению биологических обрастаний бетонных конструкций, установленных под водой. В результате установка подтвердила свою эффективность, показав высокую степень очистки поверхностей подводных сооружений.

По итогам государственных испытаний в сентябре 2013 года кавитационная очистка «ЕРШ» была принята на снабжение в Вооруженные Силы Минобороны РФ. После чего подразделения Минобороны получают возможность использования установки при решении своих задач по выполнению подводно-технических работ.



**ОАО «Тетис Про»**  
117042 Москва, а/я 73  
Тел. (495) 786-9855,  
факс (495) 717-3821  
E-mail: tetis@tetis.ru  
[www.tetis-pro.ru](http://www.tetis-pro.ru)

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОХРАНЕНИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ РОССИИ: ОПЫТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОЕННОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ И ПИРСОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

ООО «Баренц Марин Инжиниринг»

**Аннотация.** В статье представлен опыт российской компании «Баренц Марин Инжиниринг» по восстановлению подводной лодки, которая охраняла советские рубежи во время Второй мировой войны и в мирное время служит военно-историческим музеем. Применяя самые современные технологии, в том числе стеклопластиковые материалы, специалисты воссоздали объемную модель корпуса лодки, которая также представлена в статье, и использовали ее в проведении уникальных ремонтных работ как самой лодки, так и пирсовых сооружений.

**Ключевые слова:** судоремонт, реконструкция гидротехнических сооружений, ремонт пирсовых сооружений.

**Abstract.** This article describes an experience of Russian Company "Barents Marine Engineering", that implemented recreation of a submarine which defended Russian frontiers during the Second World War, and now it's a Military and Historical Museum. The professionals recreated a 3-D model of the submarine using the most advanced technologies, among other things fiberglass materials, it is also presented in the article, and they realized it conducting unique repair works not only the submarine itself but also piers structures.

**Keywords:** ship repair, hydraulic engineering structures rehabilitation, piers structures repair.

Во время Второй мировой войны наши крейсерские дизель-электрические подводные лодки типа «К» (серия XIV) — те самые, которых наши моряки ласково называли «катюшами», наводили страх на гитлеровский флот.

Серия XIV вообще была уникальной и с точки зрения вооружения (каждая лодка несла 20 торпед, 20 мин, два 100-миллиметровых и два 45-миллиметровых орудия), и с точки зрения комфорта экипажа — впервые на лодках были установлены душевые для экипажа и холодильные установки для хранения продуктов.

5 июня 1942 г. подлодка К-21 атаковала гордость германского флота — линкор «Тирпиц», предотвратив тем самым выход врага на разгром PQ-17, союзного конвоя из 34 транспортов, несущих 200 тыс. т военного груза, которого было достаточно для экипировки целой армии.

После войны в течение 20 лет К-21 служила тренировочной базой для отработки борьбы за живучесть. В 1981 г. было принято решение в память о мужестве и героизме подводников-североморцев в годы войны поставить легендарную К-21 на вечную стоянку в Североморске в качестве мемориала и филиала музея Северного флота.

В декабре этого года К-21 исполняется 76 лет, и лодка начинает новую страницу своей истории. В июле 2013 г. стартовал уникальный проект по ремонту корпуса лодки-музея и ее пирсовой зоны. Работы ведутся на благотворительные средства силами морской инженерно-строительной компании «Баренц Марин Инжиниринг», в составе которой присутствуют и водолазные станции, и проектное бюро, и парк специализированного оборудования, без которых трудно было бы решить многочисленные нестандартные задачи проекта. В целом предприятие специализируется на подводно-технических, водолазных работах, гидротехническом строительстве и проектировании.

Восстановительные работы такого уровня на подлодке К-21 проводятся впервые за 30 лет. Объект ремонта состоит из двух частей:

1. Пирс длиной 75 м, со стенкам в виде массивных железобетонных блоков, уложенных в два ряда. Над верхним рядом блоков по всему периметру стенок пирса выполнен монолитный ж/б оголовок. Тело пирса выполнено в виде каменной постели, устроенной на материковой скале после выборки слабых илистых грунтов. Покрытие пирса — асфальтобетон.

2. Подводная лодка находится в теле пирса на 2/3 своей высоты и 3/4 своей длины, установлена на пять основных кильблоков, каждый из которых опирается на две ж/б плиты (габаритные размеры одной плиты 3,5×3,5×0,45 м). Носовая часть консольно выдается в сторону моря на 25 м.

До начала ремонтных работ было произведено тщательное обследование состояния прочного и легкого корпусов, переборки лодки, пространства ЦГБ (цистерн главного балласта), а также пирса. Используя теоретический чертеж подлодки К-21, была создана объемная модель объекта, позволяющая с точностью до 1 см опередить массогабаритные параметры корпуса лодки в невидимой погруженной («подземной») части — **рис. 1**.

В результате обследования стало очевидно, что восстанавливать корпус в его первоначальное состояние, используя стандартные технологии, неэффективно и дорого, т. к. встанет необходимость замены всей металлической оболочки. Но и обычной зачистки и покраски будет недостаточно — ржавчина привела лодку в аварийное состояние.

Из-за коррозии легкого корпуса грунт засыпки пирса стал проникать внутрь цистерн главного балласта лодки. Наружная облицовка пирса из железобетонных блоков, изготовленных из обыкновенного, не сульфатостойкого цемента, также подверглась значительному разрушению. Вследствие этих факторов внутри тела пирса образовались пустоты, которые привели к провалу асфальтового покрытия.

Носовая оконечность, так красиво выдававшаяся в море, оказалась наиболее «слабым звеном». Обшивка легкого корпуса ниже ватерлинии прокорродировала и была оборвана прибором практически на 100%. Обнажившийся прочный корпус также начал стремительно ржаветь. Даже торпедные аппараты прогнили насквозь, морская вода просочилась в первый отсек сквозь неплотные внутренние крышки торпедных аппаратов. По всей длине лодки стало иметь место явление активной коррозии — во время ежеполусуточных четырехметровых приливов вода приходила в межкорпусное пространство и уходила оттуда два раза в сутки, создавая благоприятную среду для коррозии в переменном поясе «вода — воздух».

По полученным данным, прочный корпус 22-миллиметровой толщины стал тоньше наполовину. Кроме этого, в последнее время работниками музея было замечено раскачива-

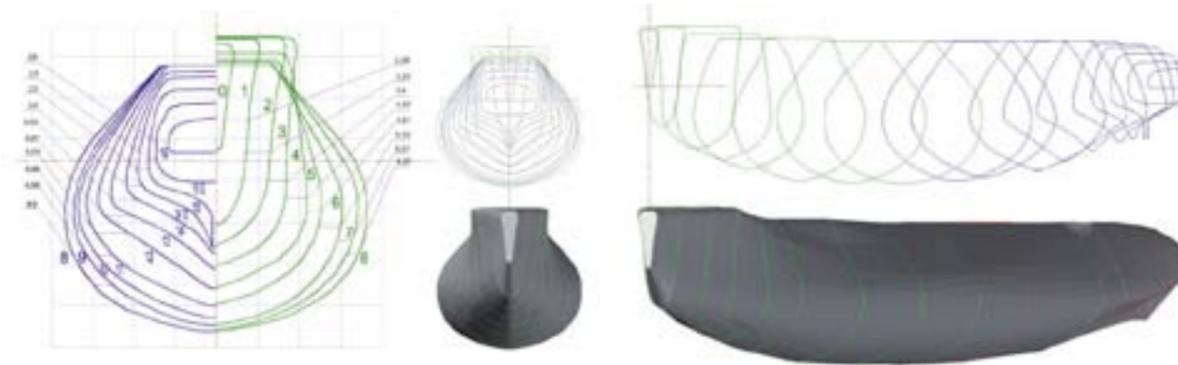


Рис. 1. Теоретический чертеж и объемная модель подводной лодки К-21



ние носовой части подлодки. Вероятно, это происходит из-за действия тех же приливов и отливов, когда массивная конструкция на «малой» воде провисает вниз, а потом, на «большой» воде, начинает водоизмещать и стремится «всплыть». Трюмы под музейной палубой неоднократно были затоплены через различные неплотности (сгнившие заклепки, донно-бортовую арматуру, коррозионные отверстия и т. п.). Создавшийся там микроклимат стал угрожать сохранности музейной экспозиции.

Инженеры ООО «Баренц Марин Инжиниринг» разработали уникальную технологию восстановления музейного комплекса, представляющую из себя компиляцию различных методик, взятых как из судоремонта, так и из гидротехнического строительства. Некоторые решения были позаимствованы из современного стеклопластикового судостроения.

Стеклопластик — это новое слово для подобных объектов, которые не эксплуатируются по прямому назначению, но имеют высокие требования к внешнему виду и небольшие бюджеты для его текущего поддержания. Этот материал отвечает всем требованиям — он эстетически выгодно смотрится, долговечен, прочен, не подвергается коррозии и не требует ежегодной зачистки и покраски. Вся видимая верхняя часть легкого корпуса К-21 будет покрыта слоем стеклопластика.

Подводная и «подземная» части лодки будут упрятаны в «саркофаг» из гидротехнического бетона, уложенного между

легким и прочным корпусами от самого киля лодки до отметки, превышающей значение максимального прилива в данном районе. Это решение позволит одновременно решить целый ряд задач: защитить от дальнейшей коррозии, обеспечить гидроизоляцию, укрепить корпус в теле пирса, предотвратить вымывание грунта.

Под нависающей носовой оконечностью будет сооружен ступенчатый кильблок размерами в плане 14×7,5 м — железобетонная опора, устраиваемая на всю длину выступающей части прочного корпуса и передающая нагрузку через свайное основание на скалу, которая находится под трехметровым слоем насыпного грунта.

Специфика местоположения музея создала дополнительные сложности для производства: подводные работы соседствуют с наземными, и в течение суток несколько раз должен меняться их технология в зависимости от того, «сухой» ли корпус или он находится под водой. Северная капризная погода, наступившее межсезонье, морской берег, «закрытый» город, военно-морская база с ее частыми учениями и другими мероприятиями, ограничивающими доступ к объекту... Все это также не облегчает жизнь строителям.

И, конечно, музей как место паломничества большого количества людей должен обладать соответствующей инфраструктурой, и невозможно будет обойтись без ремонта близлежащей территории, создания парковки для автомобилей, прогулочной зоны и кафе. Но это уже задачи следующих периодов.



ООО «Баренц Марин Инжиниринг»  
183038 Россия, Мурманск, Портовый проезд, 12  
Тел.: (8152) 488-155, факс: (8152) 488-153  
bme@barmarin.ru, www.barmarin.ru

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОХОДСТВА В ПОРТОВЫХ АКВАТОРИЯХ: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ, ОПЫТ



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

**Аннотация.** Обеспечение безопасности судоходства в портовых акваториях априори является важнейшей задачей при проектировании, строительстве и эксплуатации порта. О взаимосвязи безопасности судоходства с портостроением и гидротехническими работами на море редакция журнала попросила рассказать Виктора Тимофеевича Соколова, чья профессиональная деятельность на протяжении полувека связана с морем и безопасностью судоходства. Практические навыки в решении вопросов безаварийного плавания он получил в Военно-морском флоте, пройдя последовательно путь от штурмана корабля, дивизиона кораблей, соединения, объединения. Закончил службу флагманским штурманом одной из крупнейших баз Северного флота. После демобилизации некоторое время работал в портнадзоре Одесского порта, затем в отделе портов института «ЧерноморНИИпроект» (ЧМНИИП) заведующим сектором «Исследования условий судоходства» научно-исследовательской лаборатории морских каналов и портовых акваторий. Через несколько лет по приглашению Черноморско-Азовского управления морских путей перешел работать в его управление начальником отдела безопасности мореплавания. Сегодня В. Т. Соколов — профессор Одесского института последипломного образования специалистов морречфлота Украины.

**Ключевые слова:** безопасность судоходства, портостроение, портовая акватория.

**Abstract.** Navigation safety measures in harbors at first glance is a critical task during port engineering, construction and operating period. The journal's editorial staff asked Viktor Timofeevich Sokolov to tell about relationship of navigation safety with port construction and offshore hydrotechnical works. His professional activity has been devoted to the sea and navigation safety during fifty years. He had got practice in solving problems of accident-free navigation on the navy where he passed successively the way from a navigation officer of a ship, battalion of ships, naval force, large command. He finished his service as a Master of the Fleet in the one of the biggest Northern Fleet Harbor. After army discharge he was working in Odessa Port Authority for some time, then he was working in Harbors Department of Institute "CHERNOMORNIPROEKT" as a divisional manager of "Investigations of navigation conditions" in scientific and research laboratory "Sea canals and harbors". In some years at the behest of Black and Azov Sea Routes Authority he started work in this Authority as a manager of Safety Navigation Department. Today V. T. Sokolov is a professor of Odessa postgraduate education Institute for the professionals of sea and river fleet of Ukraine.

**Keywords:** navigation safety, port construction, harbor.

Интерес гидротехников к вопросам безопасности судоходства объясняется, на мой взгляд, глубоким пониманием ими своей ведущей роли в обеспечении безаварийности на водном транспорте, тем более, как показывает статистика, около 80% всех навигационных аварийных происшествий в мире происходит на акваториях портов и прилегающих к ним водных участках, т. е. в тех районах, которые обустраивают гидротехники для комфортного движения судов и их беспроблемной стоянки.

Интерес к мнению специалистов Украины, думаю, связан с желанием (и это можно только приветствовать) объединить усилия специалистов СНГ в решении еще недавно общих задач, тем более что до сих пор некоторые нормативные документы портостроения остаются общими для стран бывшего Советского Союза. Сегодня из-за отсутствия взаимной информации наблюдаются потери ранее достигнутого. Некоторые коллеги (среди них я вижу и себя) могут оказаться в положении договорящихся или, того хуже, «оседлавших не того скакуна».

С этих позиций и хотелось бы поделиться профессиональными наработками и сегодняшними проблемами в том ракурсе, как я их вижу. Цену точности удержания места корабля, особенно в заданной полосе движения, я четко осознал буквально с первых лет морской службы, участвуя в боевом тралении мин. В 1964 г. мною впервые была опубликована в «Морском сборнике» статья «Точность плавания группы кораблей при тралении». Вычисления вероятности не подорваться на mine нами были отработаны до совершенства. Тогда же одним из первых на флоте я практически освоил только что появившиеся радионавигационные системы «Рым» и «Координатор», дающие место корабля с точностью нескольких метров. Поэтому через много лет, начав работать в ЧАМПе, был удивлен тому факту, что капитаны землесосов, имея на судне замечательные радионавигационные системы Rascal и Trimble, не обучены удерживать заданную полосу при заборе грунта на канале, движутся практически хаотично, бездарно растрачивая время и топливо.

Было замечено, что приемы подсчета поднятого со дна грунта не рациональны. Когда упор делается на выбранные и загруженные в шаланды объемы грунта (и это кажется естественным, поскольку они-то и оплачиваются), то теряется в принципе само понятие «выполненная работа», ее качество. Поскольку, как упоминалось выше, при хаотическом заборе загружается не всегда то и не всегда оттуда, откуда надо бы. Оплачиваемые объемы требуют точно выполненного задания. Для этого хорошо подходит предложенный нами метод призматических элементов, когда объемы подсчитываются простым сравнением глубин до и после работы, лишнее не учитывается, непрофессионализм не оплачивается.

Размышляя о безопасном движении плавучих объектов по каналам, задаю себе вопрос: почему заказчики-эксплуатационники не хотят заключать взаимовыгодные договоры с дноуглубителями о гарантийном обслуживании каналов? Ведь при этом дноуглубителям гарантируется постоянная оплата (работа), эксплуатационникам гарантируются проектные (навигационные) габариты судоходной прорези. Уверен, в этом случае усилия обеих сторон над решением вопроса оплачиваемых объемов грунта приведут и к решению проблемы заносимости судоходных прорезей, над которой ломают головы специалисты уже многие годы. К тому времени нами были проведены глубокие исследования вопросов заносимости судоходных каналов, разработаны методики расчетов, которые позволяли прогнозировать объемы заносимости судоходной прорези по всей длине канала. Эти методики могли быть использованы обеими сторонами как контролирующей элемент.

Работа в «ЧерноморНИИпроект» была для меня полезной школой изучения существующих на тот период руководящих нормативных документов и одновременно явилась толчком к осознанию необходимости поиска новых, современных решений в компоновке портов, обеспечении безопасного маневрирования судов на акваториях.

Для проектировщиков и строителей морехозяйственных объектов (как впрочем, и для любых строителей) основным законом, которому они должны следовать неукоснительно, являются нормативы, разработанные научными подразделениями и утвержденные государственными инстанциями. При этом, безусловно, строительные нормативы и правила должны соответствовать настоящей действительности — это не только новые технологии и материалы, но и плавучие объекты, для которых ведутся гидротехнические работы. Должны учитываться размеры и тоннаж этих судов, их маневренные качества и даже мощность движителей. Все это должно быть связано с гидрометеословиями района строительства, составом грунтов, перепадам глубин. Результат — компоновочное решение.

Сегодня можно услышать мнение, что экономический кризис родил кризис создания нормативных документов. Может быть... Правда, однажды в частной беседе с одним из высокопоставленных чиновников пришлось услышать и такое: «...чего вы хотите, ведь РД по эксплуатации пожарных шлангов тоже безопасность, не стоит дешевле и в тему». Вероятно, поэтому создание нормативных документов нередко откладывается «на потом».

Отмечу, что в период моего становления как профессионала ситуация была иной. В институте «ЧерноморНИИпроект» параллельно проектным подразделениям функционировали мощные научно-исследовательские лаборатории, в одной из которых мне посчастливилось работать. Лаборатория к тому времени имела два лотка для генерирования волн (один из них 50-метровый), открытый бассейн, где проводились модельные испытания проектируемых и строящихся объектов. Обработка полученного материала проводилась в вычислительном центре института. Сотрудники лаборатории проводили натурные наблюдения на судах и в акваториях портов. В лаборатории было налажено изготовление самоходных моделей современных судов. Проводились исследования по типу всемирно известной тогда лаборатории во французском Гренобле. Наиболее значимые работы велись в содружестве с кафедрой «Теории корабля» ОИИМФ (ныне Университета специалистов морского транспорта) при непосредственном участии зав. кафедрой, а в последствии ректора этого института Ю. Л. Воробьева. Испытательный бассейн и аэродинамическая труба института были практически в нашем распоряжении. В конце 1970-х гг. в СССР началось строительство крупнотоннажных танкеров типа «Крым». Поскольку эксплуатация таких крупных объектов была связана с необходимостью их выхода за пределы Черноморского бассейна, по заданию министерства, была выполнена НИРовская работа, анализирующая возможности безаварийного прохода этими судами пролива Босфор.

К сожалению, как говорит старая мудрая пословица, «Горшок проще разбить, чем потом склеить». Лихие 90-е сделали свое дело. Пришедшие к руководству ЧМНИИП «специалисты» решили: «Безопасность — не наш профиль». Поступающие от пароходств и судостроительных заводов в адрес лаборатории просьбы разрешить их проблемы с возможностью захода в порт или выхода на рейд строящихся крупнотоннажных судов (надо ли их строить?) были отвергнуты. Специалисты ушли, оборудование разграбили. И до сих пор некоторые руководители проектных и строительных организаций не осознали неразрывность связи между портостроением и безопасностью судоходства.

А тогда два года напряженной работы позволили нам уже в 1981 г. выпустить Дополнения № 1 и № 3 к Нормам технологического проектирования морских каналов, ВСН 19-70/ММФ, Дополнение № 1 к Нормам технологического проектирования морских портов, ВНТП 01/78 ММФ, касающиеся определения запасов глубины под килем расчетных судов. Разработанный новый «Динамический метод» определения ширины проектируемых морских каналов получил одобрение ГУНиО СССР и был рекомендован к внедрению п. Вентспилс. В этот период разрабатываются рекомендации по вопросам эксплуатации каналов в портах Ильичевск, Ленинград, Одесса, Вентспилс, Поти, Южный, Херсон. Накопленный материал позволил приступить к созданию ряда документов, таких как: «Руководство по оперативному определению проходной осадки судов на подходных каналах к морским портам», РД 31.63.01-83; «Руководство по назначению объявленной осадки в морских портах», РД 31.63. 02-83; «Рекомендации по назначению оп-

тимального режима проводки судов по морским каналам, «РД 31.63.03-86; «Нормы проектирования морских каналов», РД 31.31.47-88. Важным моментом, подтверждающим значимость этих разработок, явилось наше участие в экспериментальных проводках по Волго-Каспийскому каналу полупогруженных буровых установок (ППБУ) типа «Шельф». Проведенные расчеты показали правильность принятого решения о проводке по каналу этих нестандартных плавучих объектов высотой 100 м; L = 92 м; B = 64,2 м при осадке T = 4,86 м и водоизмещении D<sub>0</sub> = 11600 т. Намеченные дноуглубительные работы, обеспечивающие проход ППБУ по каналу, удалось сократить почти на 10 млн м<sup>3</sup>. Результаты эксперимента были опубликованы в экспресс-информации морского флота 1987 г. (выпуск 2 (159) под названием «Теория и практика проводки по каналам полупогруженных буровых установок типа «Шельф», авторы — С. И. Карушев, В. Т. Соколов, Г. Д. Журавицкий).

В основу всех этих работ были положены математические методы моделирования процессов движения судов и влияние на эти процессы внешних факторов, давалась вероятностная оценка ситуации. Хотелось бы более подробно остановиться на этом вопросе. При разработке вышеперечисленных нормативных документов стало очевидно, что математическое моделирование движения судов в канале — наиболее перспективное направление исследований. Сотрудниками ЧМНИИП и ОИИМФ Журавицким Г. Д., Соколовым В. Т., Воробьевым Ю. Л., Кохановым Э. В. был разработан моделирующий движением судна алгоритм, который был реализован специально разработанной программой, предназначенной для имитационного моделирования управляемого судна. Результаты обработки сеансов моделирования позволили представить результаты в виде простых расчетных формул и таблиц, которые затем вошли в текст нормативных документов. Следует отметить, что нормативная ширина канала была принята такой, что обеспечивала безопасное движение судна с вероятностью 98%. Выведенные коэффициенты позволяли рассчитывать ширину канала для судна с любой вероятностью безаварийного прохода (касания нижней бровки канала). Авторами этой разработки было написано и опубликовано несколько статей, в соавторстве и индивидуально. В 1988 г. была выпущена рукопись: «Вероятностные методы в задачах проектирования и эксплуатации морских каналов», авторы — Соколов В. Т., Журавицкий Г. Д., Краснова М. А., депонировано 01.07.88, В/О Мортехинформреклама, № 881 — МФ, М., 8,0 п. л. Мною была издана книга «Акватории порта и навигационная безопасность плавания судов», в которой достаточно подробно представлена эта тема. Однако до сего времени можно услышать заявления, что нормы РД 31.31.47-88 не предусматривают использования методов компьютерного моделирования движения судов при определении оптимальных габаритов подходных каналов, которые широко используются за рубежом. По этому поводу мне вспоминается разговор в кабинете председателя В/О «Морстройагранпоставка» В. Г. Королева, курировавшего наши разработки в Министерстве Морского флота. Подписывая представление на имя зам. министра об утверждении РД 31.31.47-88, он посоветовал, что на западе, мол, эти вопросы решаются на компьютерах, а у нас таблицы да графики, и показал брошюру в исполнении специалистов Бельгии, где компьютерной графикой было изображено движение судна в заливе. Я спросил о стоимости этой работ. Он ответил, что 50 тыс. долларов. «Вы сейчас утвердили труд, который объединяет сотни таких эпизодов, — ответил я, — нам бы эта сумма не помешала». Кстати, в 1991 г. меня приглашали в США на научную конференцию, где предполагалось заслушать доклад на эту тематику. Поехать в тот период в США по различным обстоятельствам я не мог и предложил доложить эту тему своему бывшему сотруднику и близкому товарищу Журавицкому Григорию Даниловичу, который к этому времени находился там.

С ростом грузооборота мирового торгового флота и, как следствие, увеличением тоннажа судов остро стал вопрос о несоразмерности размеров этих судов и площадей акваторий портов для их маневрирования. В 1990 г. на научно-техническом совете ММФ СССР рассматривалась создававшаяся ситуация. От нашей лаборатории совету была представлена записка, где аргументировано излагалась проблема и пути ее решения.

*Вопрос о несоответствии площадей портовых акваторий судопотокам становится одной из главных проблем портостроения.*

Нами (В. Т. Соколов и Г. Д. Журавецкий) на основе теории массового обслуживания была разработана концепция пропускной способности судоходных каналов и узкостей. Данная концепция предлагала вместо детерминистского подхода к понятию «пропускная способность», фиксирующего верхнюю границу возможностей пропускного устройства (сооружения), вероятностную модель, учитывающую эксплуатационные ограничения на параметры очередей. Эта концепция давала объяснения появляющимся у пропускных сооружений и входах в порты зонам ожидания и давала возможность прогнозировать с определенной вероятностью количество мест якорных стоянок. В качестве методологической основы для определения пропускной способности и характеристик очередей был принят системный подход.

При разработке институтом «СоюзморНИИпроект» Руководства по технологическому проектированию морских портов, РД 31.31.01-93 мною был разработан параграф раздела «Входы в порт», касающийся навигационной ширины входа в порт.

**Время идет, а нерешенные проблемы остаются**

Моя преподавательская деятельность в Институте последипломного образования (ИПО), тесные контакты с гидротехниками, портовиками и проектировщиками, эксплуатационниками-законодателями, капитанами портов лишней раз убедили в необходимости продолжения работ, которым были посвящены предыдущие годы. Более рельефно обозначились экологические проблемы прибрежной зоны, связанные с обеспечением и развитием судоходства: безрасчетное углубление и переглубление каналов в устьях рек, приводящее не только к засолонению водоемов, но и угнетению пойменной растительности; необходимость организации концентрированных отвалов грунтов, проведение рекультивации мест забора грунта в мелководных районах и рекреационных работ. Ситуацию я знал не понаслышке. Работая в ЧАМПе, принимал активное участие в разработке способов концентрированного отвала грунта и рекультивации массовых заборов грунта для строительных нужд. Этой теме посвящена одна из глав в моей книге «Акватории порта и навигационная безопасность плавания судов». Опубликована статья в журнале «Порты Украины»: «Экология и судоходство в прибрежной зоне».

Изменявшаяся государственная система обострила старые проблемы портостроения и эксплуатации существующих портов. Появилось понятие «экономический прессинг»; стало ощущаться его влияние на безопасность судоходства. Несоответствия площадей портовых акваторий размерам принимаемых судов катастрофически увеличились. По просьбе государственного предприятия «Дельта — Лощман» мною была выполнена научно-исследовательская работа по определению оптимальных осадок судов, следующих по Бугско-Днепровско-Лиманскому каналу на различной глубине. При паспортизации акваторий украинских портов, в сотрудничестве с «ЧерноморНИИпроект» мною было введено понятие «**эксплуатационные возможности порта**»<sup>1)</sup>, касающееся возможности приема судов портом, и определены критерии безопасности портов с вероятностных позиций. В этот же период были разработаны документы, касающиеся обеспечения безопасных проходов и проведения швартовых операций крупнотоннажных судов длиной около 300 м для портов Ильичевск, Одесса, Николаев. По заявке руководителей Николаевского судостроительного завода «Океан» мною были определены критерии для безопасного прохода танкера длиной 244 м на акваторию завода и постановки в док, их вероятностные величины с учетом существующих габаритов канала и размеров танкера; определена необходимая мощность буксирного обеспечения.

В тот же период была разработана методика по расчету необходимой мощности буксирного обеспечения при швартовых операциях крупнотоннажных судов. Судоводителями и эксплуатационниками давно замечено, что таблица буксирного обеспечения судов различного водоизмещения в нормах проектирования морских портов носит слишком общий характер (парусность судов, погодные условия не учитываются). Кроме того, мощность буксиров дается не в килоньютонах (кН) или тонна силах (т.с.), величинах, характеризующих упор винтов (тягу), а в лошадиных силах, показателях мощности главного двигателя. Да и водоизмещение обеспечиваемого судна должно быть полное, а не дедевейт (буксируется все судно, а не только груз).

С целью доведения до флотской общественности и специалистов морречтранспорта требований изменившейся ситуации в журналах «Порты Украины», «Судоходство», Морском информационном бюллетене, флотских газетах публикуются статьи: «Частный бизнес и навигационная безопасность»; «В зоне риска»; «Внимание буксирам»; «Риск и безаварийность плавания»; «О проблемах развития внутренних водных путей»; «Плаваяем по «понятиям», а не в соответствии с нормативами» и т. д.

За период с 1999 г. выпущены четыре книги, две из которых в соавторстве:

1. Дноуглубительные, рефулерные и гидромеханизированные работы. Пашкин В. П., Яковлев П. И., Соколов В.Т. В книге описываются специфические особенности гидротехнических работ, проводимых дноуглубительным флотом, — дноуглубительных, рефулерных, гидромеханизированных, концентрированных отвалов; разработка грунтов, выделяющих вредные газы, и работа в условиях засоренности грунтов взрывоопасными предметами.

2. Акватории порта и навигационная безопасность плавания судов. Соколов В. Т. В книге рассматриваются вопросы безопасности судоходства на акваториях порта с позиций вероятности аварийных происшествий. В основу аналитических расчетов положены соотношения глубин и осадок судов, величин площадей акваторий и размеров судов.

3. Проблемы навигационной безопасности и создание системы обеспечения безопасного плавания судов в припортовых водах. Соколов В. Т. Здесь на фоне анализа аварийности мирового флота приводится статистика навигационной аварийности в Украине. Рассматривается вопрос необходимости создания береговой управляемой системы предупреждения навигационной аварийности, включающей контроль глубин, контроль оборудования и технического состояния причального фронта, его соответствие ожидаемым нагрузкам при швартовке судов. Приведены примеры финансовой эффективности вероятностных расчетов при определении запасов глубин под килем судов.

4. Безопасность судоходства. Критерии навигационной безопасности портовых акваторий. Соколов В. Т., Карпенко И. А. В книге даны практические рекомендации по определению критериев безопасного маневрирования судов в существующих акваториях на основе вероятностных расчетов. Большое внимание уделено расчетам по определению необходимой мощности буксирного обеспечения для проведения буксировочных и швартовых операций. Рассмотрены критерии риска, критерии эксплуатационной надежности порта. В этой же книге обращается внимание флотской общественности на принципиальное отличие промерных работ еще совсем недавнего, но уже прошлого столетия, от сегодняшних требований. Промеры, проводимые «по старинке» одним однолучевым эхолотом, нельзя считать удовлетворительными. Технология обследования dna однолучевым эхолотом, да еще и старого образца, все еще встречается в промерных партиях, не исключает пропуска единичных навигационных опасностей. Промерные работы должны проводиться с использованием механических тралов и эхолотов типа ГБО, многолучевых эхолотов, донных профилографов.

Также хотелось бы подчеркнуть, что безопасность судоходства и так называемый человеческий фактор взаимосвязимы. Моя преподавательская деятельность в сфере повышения квалификации руководящих работников и специалистов водного транспорта заставляет смотреть на эту проблему не с точки зрения свершившегося факта, когда при «разборках» аварийного происшествия ищут виновного. Многие факты и многолетний опыт лишней раз свидетельствуют о том, что большинство аварий происходит из-за непрофессионализма тех или иных работников, и нередко причины аварийных ситуаций ведут в кабинеты непрофессиональных руководителей.

Уважаемые специалисты, буду рад, если в этой информации вы найдете для себя что-то полезное. С удовольствием отвечу на любые вопросы по опубликованной тематике.

<sup>1)</sup> **Эксплуатационная возможность порта** — это возможность его акватории принять расчетное судно при соответствующих гидрометеорологических условиях, обеспечив его безаварийное движение. Система навигационного обеспечения проводки определяется для каждого случая:  
 • самостоятельное движение судна;  
 • буксирное обеспечение;  
 • доковый вариант.  
 В этом понятии заложен главный принцип: каждое судно может зайти в порт, если его ширина меньше узкости, а размеры корпуса позволяют осуществлять швартовочную операцию у причала.

# 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.hydrotech.ru](http://www.hydrotech.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@hydrotech.ru](mailto:dostavka@hydrotech.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



Член Ассоциации «МОРПОРТЭКСПЕРТИЗА»

Журнал размещен в Национальной электронной библиотеке и включен в Российский индекс цитирования  
Архив журнала размещен в Электронной библиотеке нормативов NormaCS [www.normaCS.ru](http://www.normaCS.ru)

[www.hydroteh.ru](http://www.hydroteh.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) 712-90-66, 712-90-48

Тел.: (812) 640-03-34 (многокан.), 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@hydroteh.ru](mailto:info@hydroteh.ru)

Зам. главного редактора:

**Павлова Виктория Михайловна**

(812) 640-03-34, [vp@hydroteh.ru](mailto:vp@hydroteh.ru)

Отдел рекламы:

**Ковалевич Елена Валентиновна**

(812) 712-90-66, [evk@hydroteh.ru](mailto:evk@hydroteh.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@hydroteh.ru](mailto:dostavka@hydroteh.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 11.10.2013 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.

### PR16 & PR20 - УНИВЕРСАЛЬНЫЕ КОПРОВЫЕ УСТАНОВКИ

Быстросменная система\*  
для установки навесного  
оборудования

- сваебойный молот
- вибропогружатель
- буровое оборудование
- вибропика ...

\*патент



Копровая установка PTC PR16S с навесным гидравлическим вибропогружателем 16RHFVS на возведении шпунтовой стенки, шпунт PU22 длиной 7 м, укрепление речного русла, г. Ренн, Франция

На правах рекламы.

PTC в России

**WP MACHINE EQUIPMENT**

Генеральный представитель

Тел.: +49 761 250 75

Тел.: +7 926 899 50 39

[ptc@inbox.ru](mailto:ptc@inbox.ru)

Продажа и аренда

**ВИБРОТЕХСТРОЙ**

Региональный представитель

Тел.: +7 812 635 70 22

Тел.: +7 921 952 86 06

[ptc-vibro@mail.ru](mailto:ptc-vibro@mail.ru)

**PTC FRANCE**

56, rue de Neuilly

93130 Noisy-le-Sec

Tel : +33 1 4942 7295

[contact@ptc.fayat.com](mailto:contact@ptc.fayat.com)

**GIKEN**  
Революционное строительство

Инновационные технологии  
бесшумного и безвибрационного  
погружения стальных шпунтовых свай



**VOSTOK**  
Machinery

Promotion company  
[www.vostok-machinery.ru](http://www.vostok-machinery.ru)

7495 723 3187  
7495 723 3841