



Перспективные направления развития региональной портовой инфраструктуры (на примере Самарской области)

УДК 338.47

АВТОРЫ:

**Т.Е. НОВИКОВА, к.э.н., доцент, кафедра экономики и менеджмента;
С.Г. МИТРОШИН, к.т.н., доцент, проректор по конвенционной подготовке и международной деятельности; М.Л. ЛУЧКОВА, аспирант; ВГУВТ**

Актуальность темы исследования обусловлена совокупностью значимых факторов, определяющих развитие транспортной системы России и ее роль в международной логистике. Сегодня внимание экспертов приковано к Международному транспортному коридору (МТК) «Север-Юг», который обладает существенным резервом оптимизации грузоперевозок между Европой и Азией. Главное преимущество маршрута заключается в возможности заметно сократить время доставки продукции и снизить ее стоимость по сравнению с традиционными вариантами, включая путь через Суэцкий канал.

Кроме того, в национальных программах обозначены меры по цифровой трансформации транспортной отрасли, призванные снизить логистические издержки на 15-20%, повысить прозрачность движения товаров и усилить интеграцию в международные цифровые коридоры.

В частности, нацпроект «Цифровая экономика» и стратегическое направление в области цифровой трансформации транспортной отрасли РФ до 2030 года (распоряжение правительства РФ от 03.11.2023 г. № 3097 р) ставят задачи по созданию «цифровых двойников» портов, по переходу на электронный документооборот с использованием блокчейна и смарт контрактов, а также по автоматизации перегрузочных операций посредством внедрения беспилотных кранов и роботизированных вилочных погрузчиков (AGV – Automated guided vehicle – «автоматизированное управляемое транспортное средство»).

Цель проводимой авторами настоящей статьи работы – определить перспективные направления цифровизации портовых терминалов в Самарской области как важного элемента МТК и разработать методический инструментарий для их реализации.

Для выбранного региона внедрение концепции «умного порта» представляется не просто процессом модернизации техники и оборудования, а системной мерой для наращивания транзитного потенциала региона. В отличие от традиционных предприятий, где решения принимаются на базе фрагментарных сведений, «умный порт» функционирует как самоорганизующаяся система, способная к прогнозированию, адаптации и оптимизации в режиме реального времени.

ВАЖНЫЙ РЕГИОН

Именно Самарская область играет особую роль в реализации потенциала МТК, поскольку занимает стратегически выгодное положение в транспортной системе России – на р.Волга, главной водной артерии европейской части страны, с выходом к семи морям через Волго-Донской и Беломорско-Балтийский каналы, в месте пересечения магистральных железнодорожных и автомобильных дорог.

Имеющаяся инфраструктура способна обрабатывать до 8,5 млн т грузов ежегодно (по данным 2024 года), однако нынешние мощности не в полной мере отвечают потребностям МТК. Среди основных ограничений следует выделить недостаточную глубину фарватера для судов класса «река-море», дефицит автоматизированных терминалов и фрагментарность цифровых систем учета и мониторинга. Эти проблемы создают предпосылки для масштабной модернизации, которая позволит уменьшить время обработки флота на 30-50% и интегрировать регион в глобальные цепочки поставок.

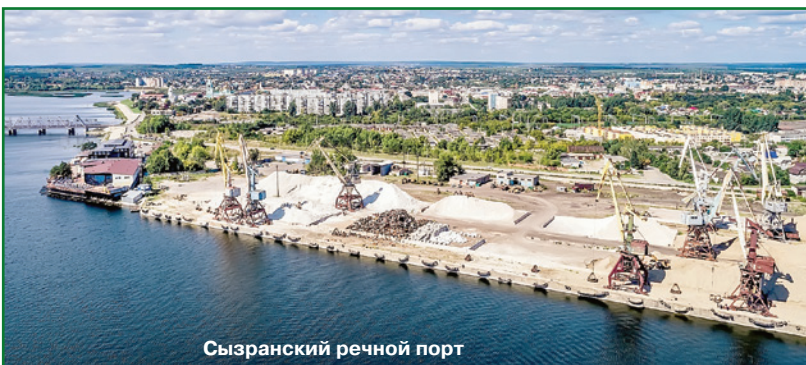
В регионе действуют 3 речных порта, способных обслуживать суда класса «река-море». Ключевое предприятие, крупнейшее по объему переработки грузов в



Порт Тольятти



Самарский речной порт



Сызранский речной порт

области, – порт Тольятти. В 2024 году его грузооборот превысил 7 млн т, в том числе кооперированная (60%) и сельскохозяйственная продукция (21%). Здесь работают мобильный автоматический комплекс выгрузки сельхозпродукции, конвейер для загрузки сыпучих материалов в морские контейнеры, универсальные складские комплексы и контейнерные площадки. Пропускная способность порта – 10 млн т в год, но на текущий момент загрузка составляет лишь 60%.

Самарский речной порт с годовым грузооборотом около 2 млн т ориентирован на перевалку минерально-строительных грузов, угля и металла. Предприятие оснащено порталными кранами грузоподъемностью от 5 до 16 т, имеет подъездные железнодорожные и автомобильные дороги, благодаря чему обеспечивается мультимодальность перевозок.

Сызранский речной порт, филиал предыдущей организации, занимающийся обработкой минерально-строительных материалов и нефтепродуктов, располагает развитой складской инфраструктурой и связан с основной железнодорожной сетью через станцию «Сызрань-1».

Наряду с перечисленными предприятиями в регионе функционируют терминалы в Октябрьске и ряд локальных причальных сооружений.

Тем не менее, вся портовая инфраструктура региона характеризуется серьезными недостатками:

- значительная часть кранового и перегрузочного оборудования эксплуатируется более 25 лет, то есть физически изношено;
- причальные стенки на отдельных участках отклоняются от проектных параметров и требуют реконструкции;
- фактические глубины не позволяют принимать суда с осадкой более 3,2 м, а значит невозможно полноценно загружать флот класса «река-море», и необходимо масштабное землечерпание – до достижения 4,5 м.
- слабая автоматизация операций, тормозящая развитие: преобладает ручной учет номенклатуры и документооборот, отсутствуют системы реального мониторинга грузопотоков, а интеграция с железнодорожными и автомобильными перевозчиками остается ограниченной (это порождает логистические разрывы – несинхронизированность графиков подачи судов и вагонов, дефицит складских площадей для консолидации контейнеров и недостаточную мощность контейнерных терминалов).

Несмотря на перечисленные обстоятельства, порты региона встроены в мультимодальную транспортную сеть. Они связаны с узлами Куйбышевской железной дороги (станции «Самара», «Тольятти», «Сызрань 1»), с федеральными трассами М5 «Урал» и М7 «Волга», а также с Единой глубоководной системой европейской части РФ. Однако слабая цифровизация звеньев логистической цепи существенно снижает эффективность перевалки грузов. Отсутствие единых цифровых платформ для заказа услуг, ручной обмен данными между участниками процесса и дефицит инструментов прогнозирования загрузки терминалов ограничивают потенциал роста.

ВОСТРЕБОВАННОЕ РЕШЕНИЕ

Важно напомнить, что по итогам встречи 26 сентября 2024 г. руководителя Росморречфлота Андрея Тарасенко и губернатора Самарской области Вячеслава Федорищева были подобраны ключевые территории для соз-



Встреча руководителя Росморречфлота Андрея ТАРАСЕНКО (справа) и губернатора Самарской области Вячеслава ФЕДОРИЩЕВА, 26 сентября 2024 г.

дания портово-логистического хаба. При рассмотрении площадок учитывались транспортная доступность, элементы инфраструктуры и потенциал роста.

В число отобранных объектов вошли: порт Тольятти (выступает центром будущего хаба благодаря развитой водной инфраструктуре и стратегическому расположению на р.Волга), Самарский речной порт (обеспечивает доступ к межрегиональным грузопотокам, имеет выходы к железнодорожным путям общего пользования), Сызранский речной порт (дополняет систему хаба, расширяя географию обслуживания и позволяя перераспределять грузы в южном направлении), участок на территории бывшего Октябрьского комбината строительных изделий (перспективная территория для возведения новых терминалов и складских зон с возможностью выхода на автомобильные и железные дороги).

Объединение этих площадок в единую систему позволит:

- организовать эффективную перевалку грузов между водным, железнодорожным и автомобильным транспортом за счет создания мультимодальных стыков;
- создать складские зоны для консолидации и дистрибуции грузов, включая временное хранение и комплектацию партий;
- развернуть специализированную инфраструктуру для обработки контейнеров и рефрижераторных грузов, в том числе с поддержанием температурного режима;
- обеспечить бесперебойную работу хаба вне зависимости от сезонных факторов: паводков и ледостава, за счет рассредоточения мощностей и резервирования площадей;
- тестировать сценарии расширения терминалов и внедрения новых технологий без остановки текущих операций благодаря модульной структуре хаба;
- оптимизировать распределение грузопотоков между видами транспорта с учетом экономической эффективности, сроков доставки и экологической нагрузки.

Реализация проекта будет иметь позитивный эффект для региона: повысит пропускную способность транспортной системы, снизит логистические издержки для бизнеса, создаст новые рабочие места и укрепит позиции Самарской области как ключевого логистического узла на р.Волга. Кроме того, развитие хаба будет способствовать увеличению объемов транзитных перевозок и привлечению инвестиций в смежные отрасли экономики.

В краткосрочном периоде (2026-2030 годы) возможен рост грузооборота на 20-30% и снижение издержек на 10-15%, в долгосрочном (2031-2035 годы) – выход на целевые показатели: увеличение грузооборота на 40-60%, повышение доли контейнеров – до 35%, а также закрепление региона в статусе ключевого цифрового хаба МТК «Север-Юг».



КОНЦЕПЦИЯ «УМНЫЙ ПОРТ»

Для эффективного управления растущими грузопотоками по МТК «Север-Юг» (целевой показатель – 30 млн т к 2030 г.) потребуются алгоритмы искусственного интеллекта. Они смогут прогнозировать прибытие флота с учетом загруженности Волго-Донского канала, оптимизировать расписание работы кранов в зависимости от типов продукции (металлы, стройматериалы), а также выявлять проблемные зоны, например скопление вагонов на станции «Сызрань-1». Ожидается, что внедрение таких средств сократит время обработки судна на 40-50%, серьезно улучшив пропускную способность портов.

В условиях сезонных колебаний уровня воды и интенсивных товаропотоков особенно важно оснастить контейнеры датчиками температуры и влажности, это необходимо для 21 % сельхозгрузов, обрабатываемых в порту Тольятти. А причалы Самарского и Сызранского портов нужно оборудовать сенсорами нагрузки, чтобы своевременно выявлять деформации и предотвращать аварийные ситуации. GPS-трекинг автопоездов, доставляющих продукцию к терминалам, позволит уменьшить время простоя у контрольно-пропускных пунктов примерно на 30%. Кроме того, установка датчиков вибрации на кранах поможет заранее выявлять предпосылки поломок и снизить аварийность на 40%.

Особая роль отводится блокчейн для таможенного коридора. В контексте взаимодействия с Ираном, Индией и другими странами – партнерами по МТК технология обеспечит автоматизацию оформления коносаментов и сертификатов через смарт-контракты, повысит прозрачность цепочки поставок для таможенных органов и позволит интегрировать систему с федеральной платформой «Цифровой двойник транспорта». В результате сроки оформления документов могут сократиться с 5-7 дней до 1 суток, что ускорит оборот грузов и снизит издержки участников процесса.

Автоматизация перегрузочных операций станет ответом на проблему изношенного оборудования, срок эксплуатации которого во многих портах, как упоминалось, превышает 25 лет. В качестве пробного проекта в Самарском порту планируется внедрение беспилотных кранов с компьютерным зрением, а также использование AGV для перемещения контейнеров между терминалами. Для инспекции масштабной инфраструктуры, в частности в порту Сызрани, будут задействованы дроны, чтобы повысить скорость и точность контроля состояния объектов.

Создание интегрированной цифровой платформы позволит объединить всех участников логистической цепи: судоходные линии (например, «Волжское паро-

ходство»), операторов железнодорожного транспорта (Куйбышевская железная дорога), экспедиторов и таможенников. Платформа обеспечит электронный документооборот, мониторинг статуса грузов в реальном времени и автоматическое распределение ресурсов между портами региона. В итоге получится устранить разрывы в коммуникации и улучшить общую эффективность перевозок.

Для планомерного и результативного внедрения цифровых технологий в портовую инфраструктуру Самарской области предлагается 3-этапная программа. Она разработана по итогам анализа научных трудов авторитетных ученых, в том числе К. Костина, В. Гутникова, Н. Григоренко, М. Гладышева, В. Чеботарева, И. Бондаря, О. Почекаевой, А. Богатырева. Суть подхода – последовательная трансформация портов с учетом доказанных на пилотных участках решений, наращивание компетенций персонала и интеграция с федеральными системами (рис.). За основу принципа были взяты оригинальный проект цифровизации порта от российской организации («Smarttwin»), а также модель создания цифрового двойника порта датской компании («Maersk»).

Этап 1. Пилотная реализация (2026–2028 годы)

Главная цель: отработать базовые цифровые решения на ограниченном участке, сформировать кадровый потенциал, проверить экономическую модель и выявить «узкие места» до масштабирования.

Основные мероприятия:

1. Создание пилотной зоны в Самарском порту. Выделение 1-2 причальных линий и контейнерной площадки для апробации IoT технологий (Internet of things, «Интернет вещей»). Зона станет полигоном для тестирования оборудования, отладки процессов и оценки эффективности перед распространением на другие порты региона.

2. Внедрение системы мониторинга грузов. Установка датчиков температуры, влажности и аппаратуры GPS/ГЛОНАСС на 20% контейнеров и транспортных средств. Интеграция данных с системой учета порта для отслеживания перемещений в реальном времени.

3. Обучение персонала основам цифровизации. Запуск программы переподготовки для 100 сотрудников (операторы кранов, логисты, ИТ-специалисты). Курсы охватят направления: работа с IoT датчиками, основы анализа данных, эксплуатация автоматизированного оборудования. Партнерами по обучению выступают Самарский университет и Центр компетенций НТИ «Технологии транспортировки и хранения углеводородов».

Ресурсное обеспечение:

– финансирование: 60% – федеральный бюджет, 30% – частные инвестиции, 10% – региональный бюджет;



- технические партнеры – российские ИТ компании;
- нормативная поддержка – статус пилотного проекта в рамках нацпроекта «Цифровая экономика».

Этап 2. Масштабирование и автоматизация (2029–2032 годы)

Главная цель: расширение цифровой инфраструктуры на все порты региона (Тольятти, Самара, Сызрань), внедрение робототехники и интеграция локальных систем с федеральными платформами.

Основные мероприятия:

1. Масштабирование IoT инфраструктуры. Охват 80% грузопотоков датчиками мониторинга. Установка сенсоров нагрузки на причалы и систем видеоаналитики для контроля безопасности.

2. Запуск автоматизированных кранов. Монтаж 6 беспилотных машин с компьютерным зрением в портах Тольятти и Самары. Внедрение AGV для перемещения контейнеров.

3. Интеграция с системой «Цифровой двойник транспорта» Минтранса России. Синхронизация данных от портов с федеральной платформой. Автоматизация документооборота (коносаменты, декларации) и обмен информацией с таможенной и железнодорожными операторами.

Ресурсное обеспечение:

- финансирование: 40% – Фонд национального благосостояния (ФНБ), 35% – государственно-частное партнерство (ГЧП), 25% – различные субсидии;

- технологические партнеры – производители робототехники (Китай, ОАЭ) и российские разработчики программного обеспечения;

- кадровое обеспечение – привлечение 150 специалистов по цифровой логистике.

Этап 3. Полномасштабная цифровизация и экспорт решений (2033–2035 годы)

Главная цель: достижение статуса «умного порта» мирового уровня, распространение опыта на другие регионы, связанные с МТК, и формирование рынка российских ИТ решений для транспортной отрасли.

Основные мероприятия:

1. Создание полномасштабного «умного порта». Завершение автоматизации всех терминалов. Внедрение AI аналитики (для прогнозирования грузопотоков), блокчейн платформы (для таможенного коридора) и «зеленых» энергосистем, включая солнечные панели и зарядные станции.

2. Экспорт цифровых решений. Продвижение самарских технологий в российские порты Астрахань и Волгоград, а также в Иран и Индию. Создание центра компетенций по цифровой логистике для обучения специалистов из стран – участников перевозок по МТК.

Ресурсное обеспечение:

- финансирование: 50% – частные инвестиции, 30% – экспортные контракты, 20% – региональные программы;

- международные партнеры – порты Бендер Аббас (Иран) и Мумбаи (Индия);

- научно техническая база – сотрудничество с ИТ кластерами Сколково и Иннополиса.

С учетом анализа трудов ученых для обеспечения реализации проекта описанной концепции авторы настоящей статьи считают полезным выполнение следующих условий:

1. Создание Координационного совета – межведомственного органа (из представителей Минтранса России, правительства Самарской области, бизнеса и научного сообщества) для мониторинга этапов, анализа рисков и корректировки стратегии.

2. Реализация системы KPI (Key performance indicators – «ключевые индикаторы производительности») с ежеквартальной оценкой уровня автоматизации процессов, динамики грузооборота и операционных издержек, количества подготовленных специалистов.

3. Издание публичного отчета – ежегодное размещение информации о ходе проекта на сетевых порталах Минтранса России и региональном инвестиционном для обеспечения прозрачности процесса и привлечения новых партнеров.

4. Формирование резервного фонда (в размере 10% бюджета проекта) на компенсацию потерь в случае форс-мажорных обстоятельств (санкции, колебания курсов валют, сбои поставок товаров и т.п.).

ОЖИДАЕМАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Процесс цифровизации портов Самарской области, реализация концепции «умного порта» призваны стать ключевым мероприятием для региона, направленным на усиление его конкурентных преимуществ, благодаря получению множества выгод:

1. Сокращение времени обработки судна на 30-50%.

Если сегодня простой флота у причалов составляет 24-36 ч, то после внедрения AI прогнозирования, беспилотных кранов и электронного документооборота показатель уменьшится до 12-18 ч. Для порта Тольятти это означает возможность обслуживать дополнительно 150-200 судов в год без расширения физической инфраструктуры.

2. Снижение операционных издержек на 20-25%.

Оно будет достигнуто за счет предиктивного обслуживания оборудования, оптимизации энергопотребления через «зеленые» энергосистемы и сокращение доли ручного труда.

3. Рост объема контейнерных перевозок.

Ему будут способствовать строительство специализированных терминалов с автоматизированными кранами, внедрение блокчейн документооборота (для ускорения таможенного оформления), а также увели-

КСТАТИ

Для внедрения цифровых технологий в портовую инфраструктуру Самарской области предлагается 3-этапная программа, разработанная по итогам анализа научных трудов авторитетных ученых. За основу принципа были взяты оригинальный проект цифровизации порта от российской организации, а также модель создания цифрового двойника порта датской компании.



чение спроса на контейнерные перевозки в Евразии. Для порта Самары это означает переход от сырьевой модели к статусу мультимодального хаба, способного обрабатывать разнообразные типы грузов.

4. Повышение грузооборота на 50-60%: с нынешних 8,5 млн т до 13 млн т в год, что превратит Самарскую область в лидера по объему перевалки грузов на р.Волга;

5. Снижение операционных издержек на 20-25% за счет автоматизации процессов, предиктивного обслуживания оборудования и оптимизации энергопотребления;

6. Увеличение доли контейнерных перевозок, что диверсифицирует грузовую базу и повысит конкурентоспособность региона среди участников МТК «Север-Юг»;

7. Создание порядка 2500 высокотехнологичных рабочих мест в сфере цифровой логистики, робототехники и ИТ поддержки; около 500 сотрудников портов пройдут переобучение по ИТ компетенциям.

8. Уменьшение потерь грузов на 15 %, а также сокращение времени поиска контейнеров на 30 %.

9. Рост производительности перегрузочных операций на 40%.

10. Сокращение сроков оформления грузов на 50%.

11. Формирование рынка сбыта для российских ИТ решений в сфере транспорта с прогнозируемым увеличением спроса на цифровые решения в области логистики более чем на 20% в год.

12. За счет внедрения «зеленых» технологий снизит-ся углеродный след портов на 30%.

РИСКИ И ПУТИ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Вместе с тем реализация проекта сопряжена с очевидными рисками, требующими преактивного управления. Финансовые барьеры представляют собой один из самых ощутимых вызовов.

Через концессионные соглашения с логистическими операторами необходимо привлекать частные технологии и распределять риски между государством и бизнесом.

Рост налогов на добавленную стоимость (НДС) и на прибыль от деятельности портовых операторов может составить 8-10% ежегодно, а с расширением материально-технической базы повысятся поступления в бюджет от налога на имущество.

Стоимость цифровизации порта можно оценить на основе ряда факторов и сведений из отраслевых исследований, кейсов и экспертных оценок. Так, для оснащения крупного терминала современным IoT оборудованием (датчики, серверы, сети передачи данных) требуются инвестиции от 50 млн долларов США, а полная цифровизация порта с автоматизированными кранами и цифровым двойником может обойтись в 200 млн долларов США и более. Для Самарской области это обстоятельство особенно критично, поскольку средства регионального бюджета весьма ограничены, а нужно модернизировать 3 порта (Тольятти, Самара, Сызрань); при этом важно учитывать колебания курсов валют, влияющие на цену импортного оборудования, и низкую привлекательность проектов ГЧП по причине их длительной окупаемости (7-10 лет).

Последствия недооценки финансовых рисков чреваты затягиванием сроков реализации, фрагментарной автоматизацией без синергетического эффекта и ростом долговой нагрузки на предприятия. Следовательно, целесообразно выполнять работы поэтапно, начиная с пилотных зон (например, контейнерного терминала в Тольятти); добиваться льготного кредитования рос-

сийскими банками и поддержки со стороны Фонда развития промышленности; участвовать в федеральных программах субсидирования («Цифровая экономика»).

Технологические риски обусловлены высокой зависимостью от импортных решений – как от аппаратных компонентов (автоматизированные краны, AGV), так и от ПО (системы AI, блокчейн платформы). В условиях действия санкций возникают дополнительные проблемы: срывы сроков поставок оборудования, высокие затраты на техподдержку иностранных программ, уязвимость к кибератакам при использовании несертифицированных средств.

Чтобы снизить зависимость от зарубежных технологий, необходимо развивать кооперацию с российскими разработчиками, создавать испытательные полигоны для отечественных робототехнических систем, формировать резервные каналы поставок через альтернативных партнеров (Китай, ОАЭ).

Регуляторные барьеры связаны с пробелами в нормативной базе. В России пока отсутствуют четкие регламенты по эксплуатации беспилотной техники (автономных кранов, AGV), использования блокчейн документов в таможенном оформлении, обеспечения кибербезопасности IoT инфраструктуры. Это чревато юридическими препятствиями для запуска автоматизированных систем, штрафами за несоответствие требованиям регуляторов и замедлением интеграции с МТК. Таким образом, требуется инициировать «регуляторные песочницы» для тестирования новых технологий, участвовать в разработке государственных стандартов для цифровых портов, внедрять пилотные проекты с особым правовым режимом (например, как на территории опережающего социально-экономического развития – ТОСЭР), опираясь на действующее законодательство, практику применения экспериментальных правовых режимов и стандарты, направленные на цифровизацию портовой инфраструктуры.

Кадровые риски обусловлены дефицитом специалистов, способных работать с цифровыми логистическими системами (инженеров по обслуживанию IoT датчиков, аналитиков больших данных для прогнозирования грузопотоков), а также низким уровнем цифровой грамотности линейного персонала.

Ситуация усугубляется отсутствием ИТ специалистов в области водного транспорта и инфраструктуры, а также отсутствием программ переподготовки для действующих сотрудников портов, следствием чего могут стать ошибки при эксплуатации оборудования, увеличение сроков внедрения систем и рост аварийности.

Для решения кадровой проблемы предлагается формировать профильные кафедры на базе Самарского филиала ВГУВТ, практиковать заключение договоров о профильном обучении специалистов в вузах, организовывать стажировки в передовых портах мира (Сингапур, Роттердам), запускать грантовые программы переобучения, внедрять системы дополненной реальности для упрощения работы с техникой.

Для системной работы по минимизации влияния рисков целесообразно:

1. Создать координационный совет с участием представителей власти, бизнеса и научного сообщества для мониторинга рисков и корректировки стратегии.

2. Построить дорожную карту с приоритизацией решений по принципу «быстрые победы» (например: IoT мониторинг --> автоматизация кранов --> блокчейн).

3. Сформировать резервный фонд для компенсации средств на случай форс-мажорных обстоятельств (санкции, изменение курсов валют).

4. Укрепить международное сотрудничество с Ираном и Индией в рамках унификации цифровых стандартов МТК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успех проекта будет зависеть от трех факторов: четкой синхронизации федеральных и региональных программ, активного привлечения частных инвестиций и адаптации лучших мировых практик (Сингапур, Роттердам, Шанхай) к условиям Волжского бассейна.

Достижение заявленных результатов зависит от ряда действий:

- поэтапное внедрение – от пилотной зоны в Самарском порту (2026-2028 годы) до полномасштабного «умного порта» (2033-2035 годы);
- многоканальное финансирование: федеральные субсидии, ГЧП, частные инвестиции, экспортные контракты;
- развитие отечественных технологий по итогам сотрудничества с российскими ИТ компаниями и создания испытательных полигонов;
- обучение кадров (программы переподготовки, партнерство с вузами, стажировки в мировых портах);
- гибкое регулирование («регуляторные песочницы», разработка ГОСТов, адаптация международных стандартов).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Эффекты и ограничения цифровой трансформации экономической деятельности морских портов / Гельфонд Д.В. // Экономика. Право. Инновации. 2025. – № 1. – с. 4-12. 2. Внедрение цифровых технологий для сотрудничества «Smart city и «Smart port» (в сб. труд. конф.) / Ильин И.В., Ян К., Вейгел Ю., Калязина С.Е. // СПбПУ, ГТУ. 2019. – с. 10-15. 3. Цифровая трансформация портовой инфраструктуры как драйвер стратегического развития морских грузовых портов / Костин К.Б., Мамедова Л.Э., Золотов А.С. // Экономика, предпринимательство и право. 2026. – т. 16,

№ 1. – с. 423-440. 4. Развитие международного мультимодального коридора «Север-Юг» и меры интеграции региональной транспортной инфраструктуры / Малышев М.И., Кожанов Е.Н. // Научный вестник МГТУ ГА. 2024. – т. 27, № 1. – с. 28-42. 5. Интеграция цифровых платформ в экосистему морских и речных портов / Чеботарев В.С., Бондарь И.В., Богатырев А.В., Почечкина О.В. // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. – т. 14, № 7А. – с. 309-321. 6. Методологические особенности цифровизации бизнес-процессов портового терминала / Швандар Д.В., Соловейчик М.С. // Вестник евразийской науки. 2025. – т. 17, № 3. – с. 1-15. 7. П.А. Щепетов. Развитие международного транспортного коридора «Север-Юг»: возможности и перспективы для России (дисс. канд. экон. наук). – М., 2025. – 211 с. 8. Технологии «цифрового двойника» портовых систем в сфере обеспечения безопасности функционирования объекта критической транспортной инфраструктуры / Григоренко Н.И., Гутников В.А. // Академическая честность и искусственный интеллект, 2024. – № 4(5). – с. 70-83. 9. Цифровой двойник порта: современные подходы к моделированию и анализу / Гладышев М.Д. // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. – № 8(146). – с. 1-5. 10. Разработка ключевых показателей эффективности для оценки транспортных услуг / Бажина Д.Б., Королева Е.А. // Логистика и управление цепями поставок. 2018. – № 5(88). – с. 46-52. 11. Интеллектуальное управление транспортной логистикой: метрики эффективности и критерии оценки в эпоху цифровой трансформации / Чернышев Н.В. // Логистика и управление цепями поставок. 2025. – № 22(4). – с. 24-39. 12. Проблематика системы целевого обучения при профессиональной подготовке специалистов для организаций водного транспорта / Лучков И.Н., Исаева А.А., Лучкова М.Л. // Речной транспорт (XXI век). 2025. – № 4(116). – с. 29-33. 13. Рациональная логистика как предпосылка перенаправления грузопотоков на речной транспорт / Ничипорук А.О., Карташова О.И., Задровский П.В. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 4(112). – с. 29-32.

Фото предоставлены Росморречфлотом, портами Тольятти и Самара

УДК 626/627:656.6:330.3

Активизация судоходства на «малых» реках – серьезный импульс развития регионов России

АВТОРЫ:

С.Д. ГОРДЛЕЕВ, начальник Управления научных исследований и инновационной деятельности, морской инженер; Л.М. ЛАПШИН, мл. науч. сотр. Центра стратегического развития ВВП и инфраструктуры (ЦСРИВВПиИ); И.А. ГРИГОРЬЕВ, техник-программист ЦСРИВВПиИ, специалист транспортной безопасности компании «Водоходъ»; ВГУВТ

В настоящее время в России отмечаются рост внутреннего туризма и повышение интереса к водным объектам. При этом все чаще в профессиональном сообществе ведутся разговоры о нереализованном потенциале малых рек.

Здесь стоит отметить, что согласно ГОСТ 19179-73, к таковым относятся водотоки с бассейном не более 2000 км² (длина обычно не превышает 100 км), и они считаются непригодными для прохождения флота. Однако для рек (таблица), которые в прошлом являлись судоходными или потенциально могут ими стать в перспективе (площадь бассейна – от 25 до 70 тыс. км²) – в частности, Ветлуга (39,4 тыс. км²), Сура (67,5 тыс. км²), верхняя Волга (59,6 тыс. км²), Клязьма (42,5 тыс. км²), верхняя Ока (70,5 тыс. км²), – в Стандарте отсутствует соответствующий термин; а значит, назва-

ние таких водных артерий корректнее брать в кавычки для подчеркивания их особого статуса, требующего отдельного регулирования.

Очевидно, что с развитием местного судоходства для регионов открывается множество новых возможностей:

1. Появится экономически выгодный транспорт для перевозки массовых и крупногабаритных грузов (например, паровых агрегатов Калужского турбинного завода).

2. «Малые» реки представляют собой пути с почти готовыми линейными туристическими маршрутами, предоставляющими доступ к историческим и природным достопримечательностям (в том числе, озеро Светлояр, церковь Покрова на Нерли, музей-заповедник «Пушкинские горы»). Наиболее ярко этот потенциал раскрывают предложения по созданию зоны территориального развития «Ветлуга – Сура», которая при-



Некоторые «малые» реки, перспективные для судоходства

Река	Регионы	Длина, км	Площадь бассейна, тыс. км ²	Регулирование судоходства
Ветлуга	Нижегородская обл., Республика Марий Эл	889	39,4	До 1990-х годов
Сура	Нижегородская обл., республики Марий Эл и Чувашия	841	67,5	До 1990-х годов
Волга (верхняя)	Тверская обл. (г.Ржев – г.Тверь)	685	59,6	Эпизодически
Клязьма	Владимирская и Нижегородская обл.	686	42,5	До 1980-х годов
Ока (верхняя)	Калужская обл. (г.Калуга – г.Коломна)	850	70,5	До 2000-х годов

звана стать пилотным проектом для отработки модели возрождения таких водных артерий с последующим распространением позитивного опыта на более чем 20 регионов [12].

3. Особое значение в данном контексте приобретет маломерный флот. По данным ВГУВТ, с 2014 по 2023 г. количество заказов на проектирование, в частности, плавучих домов увеличилось в 3,5 раза. Доля внутрен-

него туризма выросла более чем в 4 раза (данные Росстата [9]). Средняя продолжительность отдыха сократилась до 22 дней, что способствует повышению спроса на небольшой флот с комфортабельным размещением.

В трудах [7, 8] подробно проанализированы критерийные подходы к выбору параметров хаусботов и вопросы импортозамещения в этой сфере. Отдельный интерес представляют кемпботы – универсальные транспортные средства на базе автомобильного прицепа, трансформируемые из жилого автодома в самоходное судно. Ряд российских предприятий (в частности, в г.Муром) с 2024 г. изготавливают такую продукцию, которую перевозят по автодорогам и после спуска на воду используют как маломерные суда катамаранного типа. Подобные плавсредства способны стать катализатором развития водного туризма на «малых» реках, улучшить мобильность граждан. Например, Владимирская область, поставившая задачу производить до 50 кемпботов в год, уже рассматривается как пилотный регион для отработки нормативной базы в области эксплуатации такого флота [4].

4. В отдаленных районах (в бассейнах рек Обь, Лена, Яна) ледовые и паромные переправы зачастую служат единственной круглогодичной связью с «большой землей». Совершенствование этой коммуникации на «малых» реках будет способствовать росту внутреннего туризма и повышению транспортной доступности прибрежных населенных пунктов. Здесь ключевое преимущество заключается в следующем: для организации переправы не требуется расчищать многокилометровое русло реки – достаточно обслужить локальный участок, что ощутимо снижает затраты и упрощает реализацию проектов.

С вступлением в силу 1 сентября 2025 г. закона № 4-ФЗ от 03.02.2025 г. «О безопасности людей на водных объектах» [1] создана нормативно-правовая база для развития этого направления. Ключевые положения документа: четкое разграничение полномочий между уровнями власти; весь маломерный флот подлежит регистрации в едином реестре ГИМС МЧС; установлены требования к базам стоянок, пляжам,



Река Сура



Река Клязьма



Река Ветлуга



Хаусбот



переправам. Однако еще требуют уточнения принципы управления: кто является хозяином имущества (администрация, оператор либо другое юридическое или физическое лицо) и кто решает задачу по содержанию водного пути.

Для судов, используемых с целью извлечения прибыли (перевозка пассажиров, малый коммерческий флот, рыболовство), предусмотрен 5-летний переходный период для перерегистрации. Однако с вступлением в силу закона возникли вопросы по управлению безопасностью на транспорте. Согласно документу, государственный контроль за соблюдением требований транспортной безопасности на маломерных судах, используемых на внутренних водных путях (ВВП) для перевозки пассажиров, остается в компетенции Ространснадзора. Для перевозчиков это означает необходимость одновременного соблюдения требований ГИМС (безопасность на водных объектах) и Ространснадзора (транспортная безопасность). При перевозке пассажиров морским транспортом дополнительно требуется наличие системы управления безопасной эксплуатацией судов (МКУБ) и страхования ответственности. Подобные подходы постепенно распространяются и на ВВП.

Правила пользования маломерными судами утверждены приказом МЧС России от 22.07.2025 г. № 636 [2] (вступили в силу 1 марта 2026 г.). Регистрации подлежат суда массой ≥ 200 кг и с мощностью двигателя ≥ 8 кВт (10,88 л.с.). Все плавсредства длиной до 20 м и вместимостью до 12 чел. квалифицируются как маломерные.

Таким образом, в данной сфере еще немало спорных моментов, и главное создавать условия для развития, а не для стагнации и упадка.

5. Должна остановиться депопуляция прибрежных территорий: в частности, в Нижегородской области в 4 округах вдоль рек Ветлуга и Сура после прекращения движения флота население сократилось на 26-38% при среднеобластном значении 12,5% (согласно данным переписей за 2002 и 2023 годы).

6. По берегам «малых» рек могут с успехом формироваться не только туристические базы, глэмпинги, но и полноценные бизнес-поселки с коворкингами, экологичным жильем, малыми производствами, ориентированными на водную логистику и локальную энергетику.

При этом требует решения основная проблема – обеспечение стабильных глубин на реках с перепадом

уровней. В данном вопросе полезно учитывать зарубежный и отечественный опыт создания шлюзовых систем из низконапорных переливных плотин.

Классическая конструкция плотины с ручным управлением, изобретенная французским инженером Антуаном Пуаре в 1834 г. (рис. 1), до сих пор эксплуатируется во Франции, Чехии и России. В Чехии на р. Влтава (Прага – Мельник, 40 км) работает система из 12 плотин, пропускающая суда осадкой до 2,1 м и длиной до 101 м. В России такие объекты начали строить в 1874 г.; они еще встречаются в Волго-Донском и Двинско-Печорском бассейнах, на канале имени Москвы. Один из наиболее показательных примеров – Кочетовский гидроузел на р.Дон, возведенный в 1914-1920 годах. Манычская система (1931-1940 годы) из 3 плотин действует по настоящее время. С 2010 г. во Франции проводится активная замена старых плотин на автоматизированные (пневматические, надувные, клапанные), не требующие физического присутствия персонала. Для российских «малых» рек целесообразно сочетать проверенную технологию Пуаре и передовые мобильные конструкции.

Исследования ученых ВГУВТ, в частности диссертации М. Синицына [10] и С. Сергеева [14], подтверждают тот факт, что научно обоснованное проектирование гидроузлов и логистических схем на «малых» реках позволяет добиться высокой эффективности инвестиций.

СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ СУДОХОДСТВА НА «МАЛЫХ» РЕКАХ

Для оценки потенциала развития регионов посредством судоходства на «малых» реках авторы настоящей статьи предлагают несколько сценариев (которые можно реализовывать как отдельно, так и в комбинациях), приведенные в порядке, учитывающем результативность и рост финансирования (рис. 2).

Сценарий 1. Базовый (акцент на маломерный флот).

Самый быстрый эффект по туристическому потоку. Не требуется крупных вложений в гидротехническое строительство, а субсидирование со стороны государства нужно минимальное. Главное условие – не создавать избыточных административных барьеров. Развитие маломерного флота (катера, яхты, хаусботы, кемпботы и др.) позволит в короткие сроки (2-4 года) запустить пилотные круизные маршруты и обустроить стоянки.

Ожидаемый итог: рост внутреннего туризма, создание малых предприятий в сфере обслуживания, замедление депопуляции прибрежных населенных пунктов.

Сценарий 2. Умеренный (выборочное строительство гидроузлов).

Возможен только в случае доказательства (и убеждения региональных властей, инвесторов, профильных ведомств) возможности возведения гидроузлов на «малых» реках с помощью современных технологий и обоснования окупаемости таких объектов – низконапорных переливных плотин (высотой 0,5-4 м) с

КСТАТИ

Исследования ученых ВГУВТ подтверждают тот факт, что научно обоснованное проектирование гидроузлов и логистических схем на «малых» реках позволяет добиться высокой эффективности инвестиций.

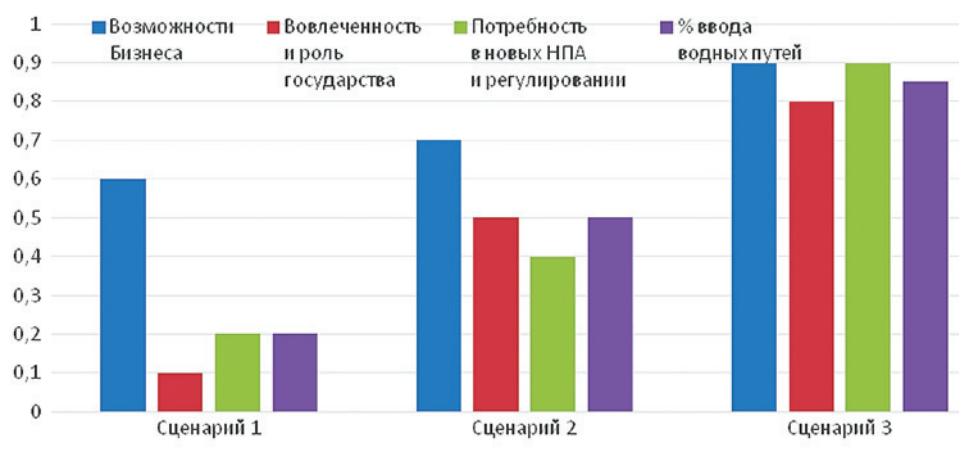


Рис. 2. Условная диаграмма реализации сценариев развития судоходства на «малых» реках

минимальным затоплением территорий и рыбоходами, необходимым уровнем автоматизации.

Кстати, учеными ВГУВТ уже проработаны технологии создания мобильных плотин. На 3-6 реках (в частности, Ветлуга, Сура, верхняя Ока, Клязьма) можно построить по 2-3 таких сооружения для обеспечения гарантированных глубин на наиболее востребованных участках. Срок реализации – 5-10 лет. Финансирование – механизм государственно-частного партнерства, концессии, средства регионального бюджета.

Ожидаемый итог: быстрый запуск не только туристических маршрутов, но и локальных перевозок грузов (стройматериалы, лес, сельхозпродукция).

Сценарий 3. Целевой/магистральный (долгосрочная стратегия).

В текущих экономических и технологических условиях, к сожалению, не реализуем в полном объеме. Однако при планировании до 2070 г. и при условии массового внедрения автономного (беспилотного) судоходства вариант представляется вполне реальным – полномасштабное восстановление судоходства на всех «малых» реках, которые потенциально могут дополнить Единую глубоководную систему европейской части России.

Автономный флот с небольшой осадкой, управляемый дистанционно или движущийся по заданным маршрутам, снизит требования к ширине фарватера и частоте обслуживания гидроузлов. Такой подход позволит экономически оправдать процесс создания этих сооружений на десятках рек.

Ожидаемый итог: мультипликативный рост экономики прибрежных территорий, формирование рабочих мест, действительное закрепление населения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важное условие успешной реализации задуманного – консолидация усилий государства, бизнеса и науки. Государство должно выполнять роль регулятора

(по закону № 4-ФЗ и техническим регламентам), системного инвестора (создание судовых ходов, гидроузлов) и инициатора пилотных проектов. Бизнес-структуры должны выступать генераторами туристических и логистических инициатив, носителями операционной эффективности. Научные организации, в том числе ВГУВТ (обладающий уникальной компетенцией в области проектирования судов для «малых» рек, гидротехнических расчетов, экономического обоснования и организации межрегиональных маршрутов), должны заниматься соответствующими исследованиями и предлагать решения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Закон от 03.02.2025 г. № 4-ФЗ «О безопасности людей на водных объектах».
2. Приказ МЧС России от 22.07.2025 г. № 636 «Об утверждении Правил пользования маломерными судами на водных объектах Российской Федерации».
3. Приказ Минтранса России от 29.01.2025 г. № 21 «Об установлении структуры и содержания планов обеспечения транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры по видам транспорта, судов ледокольного флота...».
4. Постановление правительства РФ от 17.06.2025 г. № 903 «Об утверждении технического регламента о безопасности объектов внутреннего водного транспорта».
5. Постановление правительства РФ от 26.02.2026 г. № 193 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
6. ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1974.
7. Критериальный подход в оптимизации параметров хаусботов как аспект инвестиционного выбора / Гордлеев С.Д., Трухинова О.Л., Тихонов В.И. // Научные проблемы водного транспорта. 2022. – № 71. – с. 98-109.
8. Обзор импортозамещения на рынке хаусботов и предложение по выбору силового агрегата с применением гидроприводов / Гордлеев И.Ю., Гордлеев С.Д., Никитаев И.В. // Научные проблемы водного транспорта. 2021. – № 68. – с. 40-58.
9. Данные Росстата в сфере туризма (2014-2023) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: rosstat.gov.ru/statistics/turizm.
10. М.Г. Силицын. Совершенствование организации завоза грузов на малые реки (дисс. канд. техн. наук, 05.22.19). – Н.Новгород: ВГУВТ, 2021.
11. Кочетовский гидроузел. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: znaniuerussia.ru/articles/Кочетовский_гидроузел.
12. Возможности формирования зоны территориального развития «Ветлуга – Сура». Некоторые направления для развития водного туризма и инфраструктуры / Гордлеев С.Д., Трухинова О.Л., Лапшин Л.М. // Научные проблемы водного транспорта. 2024. – № 80(3). – с. 221-230.
13. Малым рекам – большие перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: flagman-news.ru/news/aktualno/_malym_rekam_bolshie_perspektivy.html.
14. С.Н. Сепреев. Развитие и комплексная оптимизация водно-транспортных систем местного значения (на примере малых рек Камского бассейна) (дисс. канд. техн. наук, 05.22.19). – Н.Новгород: ВГУВТ, 2020.
15. Подходы к формированию информационных моделей для решения внешней задачи проектирования хаусботов / Гордлеев С.Д. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с.36-38.

Фото из архива редакции

КСТАТИ

Для оценки потенциала развития регионов посредством судоходства на «малых» реках авторы настоящей статьи предлагают несколько сценариев.

Становление и развитие транспортного образования в России в XVIII веке

АВТОР:

**С.О. БАРЫШНИКОВ, д.т.н., профессор, научный руководитель
ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова**

Цель данной работы – развеять распространенное и ошибочное мнение об отсутствии исток у отечественного системного транспортного образования (в частности, в области водных коммуникаций), которое появилось якобы только в XIX веке.

Наше государство всегда славилось богатством водных путей, однако целостный и даже научный подход работа с водными объектами приобрела при Петре I. Проводившиеся им реформы одновременно затронули строительство флота и каналов, а также сферу подготовки кадров. Годы правления императора стали поворотным периодом в истории российского высшего образования, справедливо считающегося началом его формирования.

Тем не менее, еще в допетровские времена предпринимались отдельные попытки создания высших учебных заведений; самый крупный проект – Славяно-греко-латинская академия, организованная по предложению царя Алексея Михайловича.

С созданием профессиональной

армии и флота, с развитием науки и промышленности возникла потребность в большом количестве специалистов. На ранних этапах приходилось привлекать иностранцев и выпускников европейских университетов, но Петр I осознал необходимость подготовки собственных кадров, и эта задача приобрела статус государственной.

По инициативе императора в начале XVIII века появляются контролируемые государством (в отличие от Европы, где учебные заведения нередко обладали значительной самостоятельностью) школы преимущественно прикладного профиля. Вместе с тем, в них можно было получить общее образование – освоить языки, арифметику, философию.

Первой открылась Школа математических и навигацких наук в 1701 г. в Москве, в Сухаревой башне. Директором назначили профессора Г. Фарварсона из Абердинского университета (Шотландия), математику и арифметику стал преподавать Л. Магницкий. Программа включала дисциплины: навигация, астрономия, математическая география, арифметика и геометрия. Осуществлялась подготовка моряков, артиллеристов, навигаторов и офицеров. Старшие классы в 1715 г. разместились в Санкт-Петербурге, на их базе потом возникнет Морская академия. Для обучения активно привлекались европейские учителя, а пособия переводились на русский язык (по указанию государя) [1-7].

Кроме того, в обеих столицах уже появились медицинская, пушкарская (артиллерийская) и инженерная (в 1712 г.) школы. По рекомендации В. Татищева учреждались горноза-

водские училища. Указом царя от 1714 г. была введена обязательная учебная повинность для детей дворян, дьяков и подьячих; ученикам запрещалось жениться до окончания цифирной школы – эта тема найдет отражение в комедии Д. Фонвизина «Недоросль».

К 1725 г. в России действовало уже 42 цифирные школы; а преподавателями в них часто становились выпускники именно Навигацкой школы.

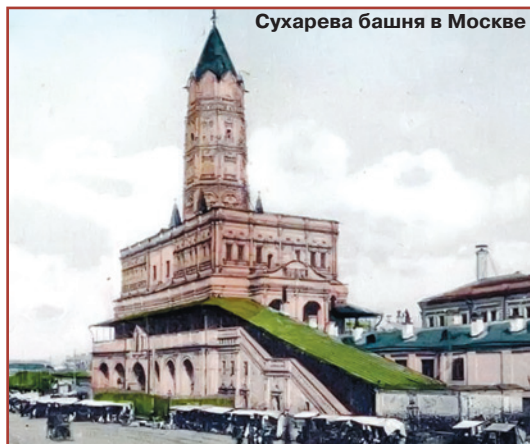
Также создавались гарнизонные школы для солдатских детей и епархиальные начальные училища. В них принимались не только дворянские дети, но и разночинцы: образовательная политика Петра I опиралась на принцип полезности человека государству, а не только на его происхождение.

При этом действовали частные и церковные учреждения. В 1703-1715 годах в Москве работала гимназия пастора Эрнста Глюка, которую окончили около 300 человек. В Санкт-Петербурге Феофан Прокопович основал школу для сирот и детей из бедных семей; за 15 лет её окончили 160 человек, среди них будущие академики А.П. Протасов и С.К. Котельников. Составленный им «Духовный регламент» надолго определил устройство духовных училищ.

Кульминацией петровских начинаний стало основание в 1725 г. Академии наук с университетом и гимназией. Для работы в ней были



Император Петр I



Сухарева башня в Москве

КСТАТИ

Первой открылась Школа математических и навигацких наук в 1701 г. в Москве, в Сухаревой башне. Программа включала дисциплины: навигация, астрономия, математическая география, арифметика и геометрия. Осуществлялась подготовка моряков, артиллеристов, навигаторов и офицеров.



**Гидротехник
Михаил СЕРДЮКОВ**

приглашены Д.Бернулли, Л.Эйлер и Ж.Делиль. Контигент обучающихся оставался немногочисленным, занятия нередко прерывались: трудно-сти возникали из-за нравов дворянских детей и бюрократии эпохи «дворцовых переворотов». Сформировать целостную концепцию пока не удавалось: ощущался недостаток и учителей, и учеников, не хватало единых программ и учебников. Тем не менее, именно там и тогда были заложены важные основы, на которых позднее возникнет система отечественного высшего образования, а также сформировались личности знаменитых М.Ломоносова, С.Крашенинникова и С.Румовского.

Примечательно, что в упомянутых заведениях не осуществлялась подготовка непосредственно гидротехников, способных проектировать каналы и гидротехнические сооружения, контролировать ход их строительства. Хотя потребность в таких специалистах была весьма острой: связать богатые ресурсами регионы страны в единую систему при тогдашних затратах на перевозку грузов можно было почти исключительно водным путем.

В 1708 г. вышло одно из первых изданий технической направленности – руководство «Книга о способах творящих восхождение рек свободное». Благодаря приглашенным в Академию наук Д.Бернулли и Л.Эйлеру, а также М.Ломоносову были проведены исследования по гидравлике и движению жидкостей.

**Министр путей
сообщения Павел
МЕЛЬНИКОВ**

Одновременно с этим

решались вопросы организации судоходства [1-2].

В области водного транспорта XVIII век ознаменовался многочисленными свершениями.

По инициативе Петра I сооружались каналы и шлюзы для соединения Каспийского и Азовского морей.

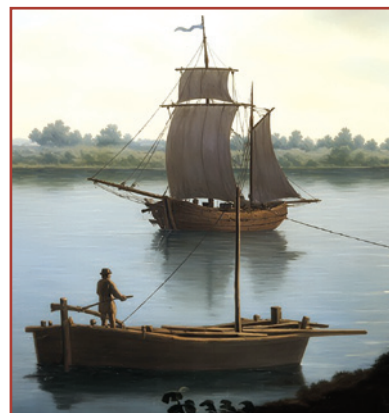
В 1719-1722 г. под руководством русского мастера-гидротехника М.Сердюкова была создана Вышневолоцкая система, связавшая путь из Балтийского моря в Каспийское.

В 1767 г. учредили Главное управление водяных коммуникаций, которое возглавило строительство канала, соединяющего реки Северная Двина и Кама (1786-1822 годы), а в конце столетия – Березинской водной системы между реками Днепр и Западная Двина.

Повсеместно возводились плотины для использования энергии падающей воды на мельницах и подъемниках рудников.

Окончательно «гидравлическая школа» сформировалась в Санкт-Петербурге в Институте корпуса инженеров путей сообщения благодаря трудам известного П.Мельникова (1804-1880). И здесь интересен парадокс: у первого министра путей сообщения, более знаменитого как «отец» отечественных железных дорог, научные интересы распространялись и на гидравлику [3]. В 1825 г. Павел Петрович окончил институт, был репетитором и готовился получить звание профессора. С 1833 г. в этом статусе он преподавал дисциплину «прикладная механика». По результатам его исследований в 1836 г. вышел труд под названием «Основания практической гидравлики или о движении воды в различных случаях и действии ее ударом и сопротивлением». Под руководством П. Мельникова (уже в должности министра) был открыт канал Императора Александра II, расширен и частично углублен Свицкий канал, улучшена Мариинская система и условия прохождения судов по России.

Однако вернемся к теме становления сферы образования для нужд



Речные суда: тихвинка (одно из самых распространенных в XVIII-XIX веках) и расшива мангышлагская (изображение обработано с помощью искусственного интеллекта)

функционирования водных артерий государства.

Согласно архивным материалам, первым государственным надзором за судоходством и водными путями можно считать решение Сената об организации соответствующей службы на Боровицких порогах р.Мста в 1720 г. во главе

КСТАТИ

Кульминацией петровских начинаний стало основание в 1725 г. Академии наук с университетом и гимназией. Для работы в ней были приглашены Д.Бернулли, Л.Эйлер и Ж.Делиль.



**Императрица
Екатерина II**



**Император
Павел I**



**Граф Николай
РУМЯНЦЕВ**

чего тому подобного ...». В документе отмечалось «обучать кадетов механике, гидравлике и гидро-технике». Появление К о р п у с а гидравликов должно

было повысить качество инженерного образования и отделить гражданские специальности от военных; в России традиционно первые считались менее престижными, чем вторые.

Однако данные планы не получилось реализовать по причине смерти в 1783 г. их главного инициатора Ф.Бауэра.

28 февраля 1787 г. по указу Павла I был создан Департамент водяных коммуникаций. Этот исторический документ устанавливал государственное управление водными путями и необходимость создания высшего учебного заведения по подготовке инженеров «водяных путей сообщения». В Указе отмечалось: «...признали Мы за благо учредить под главным вашим начальством особый департамент для проведения и правления всех дел по водным в империи нашей коммуникациям». Далее следовали

9 пунктов: «повелеваем: первое – быть оному под ведомством Сената; второе – считаться ему наравне с коллегиями и производить дела на образе оных ...». Третий, четвертый и пятый пункты обосновывали необходимость иметь при этом департаменте «депо всем гидравлическим картам по всей империи ... чертежную часть для нужных работ ... инспекторов, знающих снятие на план и нивелирование, ... числом до восьми человек, которые бы составили род высшей школы сих частей, снабдив их потребными книгами и инструментами и прибавляя к ним механика и шлюзного мастера...». В шестом пункте предписывалось выделение особой суммы «для делания опытов». Последний пункт особенно примечателен, поскольку свидетельствует о глубоком понимании Павлом I вопросов не только военных, но и по обучению специалистов в сфере гражданского строительства, – акцентируется внимание на необходимости финансирования научно-исследовательских работ [4-10].

На рис. изображен чиновник этого ведомства. Согласно приказу, его служащие должны были носить светло-зеленые кафтаны; в последующем такой прикладной цвет передается железнодорожникам.

Главой Департамента назначили Я.Сиверса, ранее занимавшего пост

с Л.Челищевым. Ему предписывалось «собрать умелых и опытных “спущиков” с учреждением команд, разделенных на десятки с приставлением к ним десятских». Внимание к их работе было настолько велико, что в 1757 г. при Конторе Боровицких порогов была учреждена Канцелярия под руководством Н.Муравьева, находившаяся в ведении Сената, что свидетельствовало о весьма высоком статусе структуры. Здесь же в 1767 г. учредили первую школу, в которой стали обучать специалистов непосредственно для производства гидротехнических работ.

В 1779 г. новгородскому губернатору подчинили все водные коммуникации (кроме Ладожского канала), которые годом ранее разделили на системы: Вышневолоцкую (от Твери до Мстинского шлюза), Волховскую (до Новой Ладоги), Мстинскую (от порогов до Новгорода).

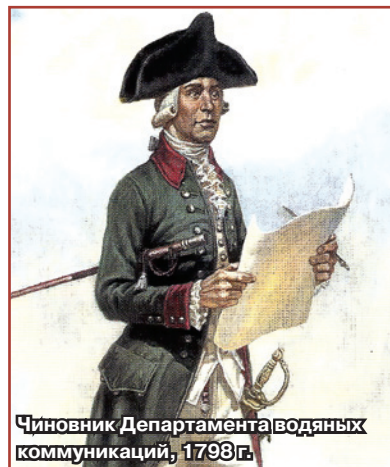
Были предусмотрены штатные служители-смотрители, охрана, работники (часто из военных), «отпиравшие и запиравшие» ворота шлюзов.

В 1786 г. при Вышневолоцкой конторе открыли школу для обучения «водяной коммуникации» с целью подготовки специалистов-гидротехников.

Указом Екатерины II от 31 октября 1782 г. предписывалось учреждение «... гидравлического корпуса для сочинения планов, для управления и производства работ, как-то: шлюзов, каналов, пристаней и про-



**Кадет 1-го
возраста,
1767-1796 годы**



**Чиновник Департамента
водяных
коммуникаций, 1798 г.**

КСТАТИ

В 1757 г. при Конторе Боровицких порогов была учреждена Канцелярия под руководством Н.Муравьева, находившаяся в ведении Сената. Здесь же в 1767 г. учредили первую школу, в которой стали обучать специалистов непосредственно для производства гидротехнических работ.



**Император
Александр I**



**Яков
СИВЕРС**



**Августин
БЕТАНКУР**

предложил сформировать чертежный корпус Гидравлических инженеров.

Ф. де Волан разработал двухступенчатую систему образования – «из трех

низших и средних гидравлических школ, и школы высших наук». Программа высшего училища включала изучение курсов транспортного и гидротехнического строительства: плотин, каналов, шлюзов, набережных, мостов и речных гаваней. Однако предложения П.Львова и Ф. де Волана тогда не получили развития.

В 1800 г. по поручению Александра I Н.Румянцев подготовил «Предложения о надежных мерах для учреждения по всей России удобных сообщений на суше и на воде». Они были учтены при издании Манифеста императора о создании Корпуса и Института Корпуса инженеров путей сообщения.

С наступлением XIX века в России наступила эпоха преобразования под руководством инженера с колоссальным европейским опы-

том – испанца А.Бетанкура.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Становление и развитие высшего образования в России в XVIII веке / Гончаров М.А. // Преподаватель XXI век. 2010. – т. 1, № 3. – с. 133-140. **2.** А.В.Шипилов. Торговля, транспорт и связь в России первой половины XVIII века (монография). – Воронеж: ВГПУ, 2008. – 327 с. **3.** Историко-правовой аспект развития российского образования в XVIII веке / Павлюкевич Р.В. // Социально-экономический и гуманитарный журнал Красноярского ГАУ. 2018. – № 3 (9). – с.162-169. **4.** Подготовка кадров российского флота и основные вехи истории Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций / Павленков В.Г. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2009. – № 3. **5.** А.К. Битюрин, А.А. Низов. История развития гидравлики (методические указания по дисциплине «Гидравлика»). – Н.Новгород: ННГАСУ, 2011. – 33 с. **6.** Б.В. Гусев, Л.А. Иванов, А.А. Кальгин, Я.В. Афанасьева. История развития инженерного дела в России и Российская инженерная академия (изд. 3-е испр. и доп.). – М.: Научный мир, 2024. – 188 с. **7.** Преемники Департамента водяных и сухопутных сообщений: состав и компетенция / Борисенко М.В. // ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2009. – № 3. – с. 217-223. **8.** Формирование органов исполнительной власти в сфере водного транспорта в России / Коломейченко Е.А., Крепак С.В. // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. – № 6-7. – с. 94-98. **9.** К истории формирования высшего технического образования в России / Егорова О.В. // Вестник РУДН. Серия: «История России». 2007. – № 2 (8). – с.91-98. **10.** А.А. Валеев, Д.М. Зиннатова. Альтернативные дидактические системы за рубежом (XX век) (монография). – Казань, 2013. – 184 с.



**Член Департамента
водяных коммуникаций
Франсуа де
ВОЛАН**

губернатора Новгородской губернии. В первый состав структуры вошли тайный советник И.Герард, генерал-майоры Ф.Медер, Ф. де Волан, Ф. Герард.

В 1800 г. в подчинение Главному директору Департамента водяных коммуникаций была передана «экспедиция устройства дорог в Государстве».

С 1801 по 1809 г. главой Департамента стал граф Н.Румянцев, который, будучи послом во Франции, хорошо знал устройство «парижской школы» мостов и дорог.

В 1803 г. служащий ведомства П.Львов представил Н.Румянцеву записку «Примечание касательно Гидравлического училища» о необходимости создания в России высшей технической школы. Ф. де Волан, которому направили эту бумагу, поддержал инициативу и



**Здание Института инженеров путей
сообщения в Санкт-Петербурге**

Фото предоставлены автором;
архивом музея Минтранса России

КСТАТИ

В 1800 г. по поручению Александра I Н.Румянцев подготовил «Предложения о надежных мерах для учреждения по всей России удобных сообщений на суше и на воде». Они были учтены при издании Манифеста императора о создании Корпуса и Института Корпуса инженеров путей сообщения.

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ / SCIENCE WORKS

32 МГУ им. М.В.

Ломоносова

А.С. Завадский, Р.С. Чалов,
А.И. Сахаров, Д.В. Ботавин.

Морфодинамика и мерзлотные условия устьевого бара р. Яна и их влияние на состояние судоходной трассы

36 ГУМРФ им. адм.

С.О. Макарова

А.В. Кириченко, Д.Е. Туров.

Применение логико-вероятностного подхода для формирования комплексной методики обоснования технологий внепортовой обработки флота

41 ВГУВТ

Д.А. Кирсанова, А.В. Соловьев, Ю.С. Федосенко.

Модельно-алгоритмическое обеспечение процедуры оценки технического состояния металлического корпуса судна

43 ГУМРФ им. адм.

С.О. Макарова

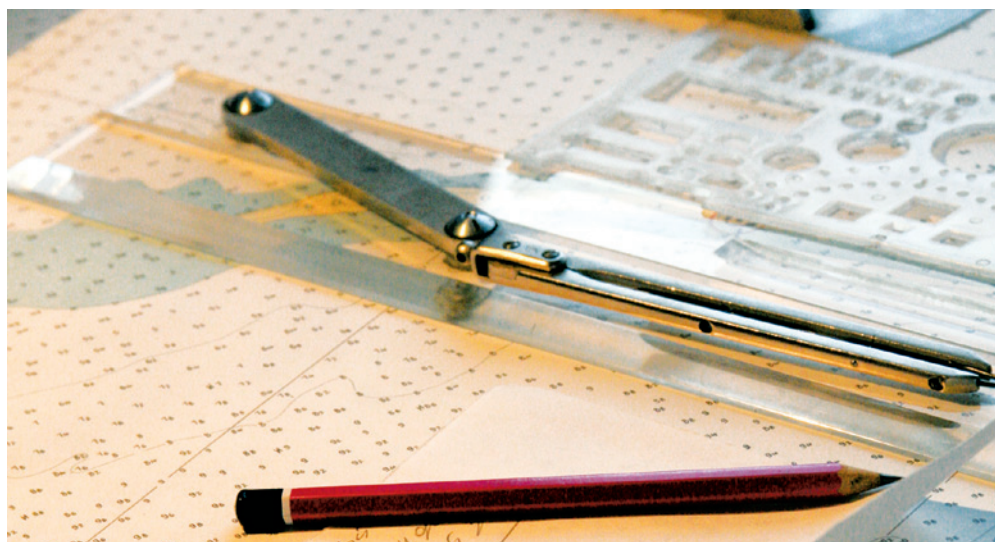
А.И. Соколов, И.А. Соколова,
В.В. Каретников, В.В. Семенов.

Современное состояние и технологические проблемы процесса перегрузки сыпучих грузов на универсальных терминалах в морских портах России

47 ГУМРФ им. адм.

С.О. Макарова

В.В. Каретников, Е.А. Кротовская. **Интегрированная оценка факторов, влияющих на построение внутригородского пассажирского водного маршрута**



51 СГУВТ

И.И. Володин, С.В. Титов,
Г.С. Юр. **Использование альтернативных тяжелых видов топлива в судовых высокооборотных дизелях: проблемы и их решения**

53 СГУВТ

М.Г. Мензилова, О.Ю. Лебедев, Н.Е. Штыкин, К.Д. Носырев. **Исследование хладостойкости сварных соединений**

58 СГУВТ

С.М. Истомин, В.С. Гусаков, Д.С. Тельцов, С.П. Андриященко, Д.А. Сибриков, О.Б. Лебедев, Б.О. Лебедев. **Сравнительный анализ**

эффективности применения альтернативных видов топлива в главных судовых дизелях для обеспечения экологической безопасности и энергоэффективности

61 АННОТАЦИИ

62 ANNOTATIONS

63 ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

УЧРЕЖДЕНИЕ: Московской государственный университет (МГУ)
им. М.В. Ломоносова

ТЕМА: Морфодинамика и мерзлотные условия устьевого бара р.Яна
и их влияние на состояние судоходной трассы

АВТОРЫ: А.С. ЗАВАДСКИЙ, к.г.н, вед. науч. сотр. Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева (НИЛЭПиРП); Р.С. ЧАЛОВ, д.г.н., профессор кафедры гидрологии суши (КГС), гл. науч. сотр. НИЛЭПиРП; А.И. САХАРОВ, бывший руководитель администрации «Ленводпуть»; Д.В. БОТАВИН, к.г.н., науч. сотр. НИЛЭПиРП

УДК 656.62

Работа выполнена по планам НИР (ГЗ) КГС и НИЛЭПиРП им. Н.И. Маккавеева МГУ им. М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Росморречфлота (госконтракт)

Река Яна считается одним из важнейших водных путей на северо-востоке России [7]. Его транспортное значение возрастает в связи с увеличением грузоперевозок для нужд строительства атомной станции в п.Усть-Куйга, с освоением нового золоторудного месторождения Кучюс, с развитием экономики Республики Саха (Якутия) и Северного морского пути, по нему в отдаленные районы региона будет доставляться различная номенклатура. Однако для этого требуется обеспечить нормальные условия движения флота, поддержание заданных и увеличение гарантированных габаритов (ГГ) судового хода (СХ) на участке Усть-Куйга – бар р.Яна (таблица, рис. 1).

ГГ СХ на устьевом बारे р.Яна

Участок	Глубина, м	Ширина, м	Радиус закругления, м
Мыс Уэдей – Янский залив, входной буй	2,20/3,00 (до/после дноуглубления)	60	250

Существенные трудности при решении поставленной задачи обусловлены необходимостью преодоления флотом мелководного бара в устье протоки Главное Русло дельты Яны. Проблема является типичной для большинства неприливых устьев рек, поскольку устьевые бары представляют собой основной негативный фактор, осложняющий сообщение река–море. Положение баровых бороздин, в которых концентрируется основной сток воды и наносов, в естественных условиях неустойчиво и подвержено изменениям. Они связаны с постоянным выносами из реки наносов и их аккумуляцией, вызывающей обмеление трассы судового хода и потребность регулярного дноуглубления на баровом участке реки, что серьезно осложняется локальными линзами мерзлых пород, представленных иловатыми мелкими песками, алевритами и суглинками.

В начале 1979-х годов для изучения бара Яны, условий судоходства и научного обоснования мероприятий по их улучшению были привлечены ученые МГУ им. М.В. Ломоносова. Исследования периодически повторялись – по мере наступления прогнозируемых изменений в развитии баровых бороздин [6]. Последние работы были выполнены в 2024 г., тогда акцент был сделан на присутствии мерзлоты как фактора, ощутимо осложняющего достижение вновь увеличенных ГГ СХ.

Для оценки мерзлотных условий проводилось непрерывное сейсмоакустическое профилирование современной аппаратурой – мелководной морской сейсмической системой, позволяющей получать сейсмические данные высокого разрешения (в дециметровом масштабе) на глубине до 20 м, одновременно реализовывать батиметрическую и гидролокационную съемки рельефа дна. В оборудовании применяется плоская многоканальная решетка гидрофонов для создания изображений стратиграфии дна, обеспечивающая проникновение в различные типы грунта.

Установлено, что бар Яны формируется в условиях сплошного распространения многолетнемерзлых (МЛМ) грунтов, их верхняя кровля залегает на отметках около 1,0–2,0 м от поверхности дна. Верхний слой полностью промерзает в зимний период и оттаивает на протяжении летне-осенних месяцев не более чем на 1,5 м. Исключением является район формирования баровых бороздин, а также прилегающая к нему в полосе, как минимум, на 500 м зона активных русловых переформирований, где формируется подрусловой талик, хотя и несплошной из-за перемерзания мелководной части бороздины. Причина образования талика – отепляющее воздействие водного потока на дно и борта бороздин, русловые переформирования, способствующие периодическому перемещению динамической оси потока. Борты бороздин промерзают в зимний период, но оттаивают в теплое время года. И даже в случае смещения планового положения бороздин образование аккумулятив-

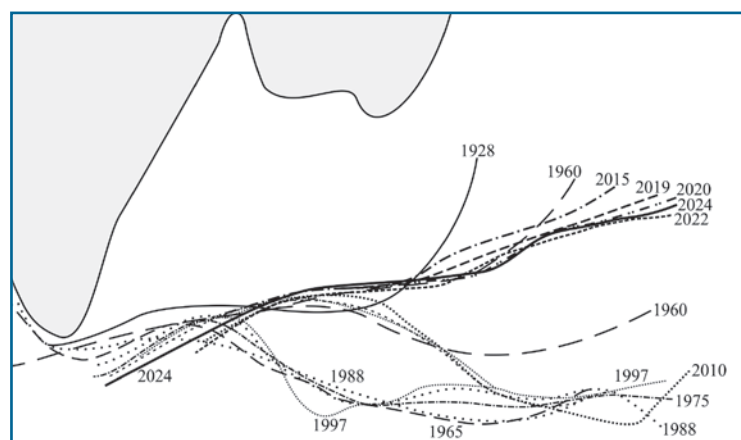


Рис. 1. Положение СХ в ББ р.Яна в 1928 г. и его изменения с 1960 г. по настоящее время

ных форм на месте больших глубин, многолетняя мерзлота возникают лишь в течение достаточно длительного периода. Это определяет постоянное наличие на бере двух бороздин, деформации которых обуславливают периодическое расположение в них СХ и его смещение в их пределах.

Левосторонняя часть бара имеет более высокие отметки, представленные песчано-илистыми отмелями, зафиксированными в своем основании многолетней мерзлотой. Они контролируют левобережный борт баровой борозды (ББ), не позволяя смещаться потоку в западном направлении. Аналогичную роль играют правосторонние отмели в начале барового участка. Поэтому основные многолетние переформирования ББ проявляются в циклах развития правой (северо-восточной) и северной (северо-западной) бороздин, получивших название Восточная и Заманиха, соответственно.

Наряду с особенностями гидрологического режима, изменчивостью стока реки и гидродинамическими процессами на акватории устьевое взморье судходные условия в ББ Яны определяются русловыми переформированиями. Речной фактор (сток воды и наносов) проявляется в тесной связи горизонтальных деформаций ББ с движением крупных русловых форм и форм руслового рельефа (излучин, побочней, осередков, гряд). Морской фактор (вдольбереговые течения, ветровые волнения, сгонно-нагонные изменения уровня) воздействует на сезонную и многолетнюю динамику морского края устьевого бара. Большую роль играют и такие обстоятельства, как постоянные землечерпательные работы на бере и взаимодействие речных и морских вод, обуславливающее существование задерживающего наносы в ББ клина осолоненных вод [4]. Смещающиеся вниз по течению крупные гряды донных наносов при выходе на устьевое взморье останавливаются в зоне растекания речного потока, что приводит к периодическому искривлению и обмелению истоков ББ.

Ключевым фактором, определяющим периодичность преимущественного развития одной из ББ, являются смещающиеся вниз по течению излучины русла Яны при его выходе на устьевое взморье и непосредственно на баровый участок. Главное русло (так называется основной судходный рукав дельты) формирует серию изгибов, нижний из них определяет общую направленность растекания водного потока в пределах устьевого бара, вызывая перераспределение стока воды и наносов по бороздинам [6]. Очередной этап таких переформирований намечился в последние годы XX века и активизировался в 2010 г.:

- Восточная бороздина постепенно теряла свои навигационные качества; ее ширина составила менее 100 м, местами сокращаясь до 59-60 м; в ней образовался ряд подводных перемычек с глубинами 1,8-2,4 м; увеличилась извилистость русла; объемы дноуглубления для обеспечения судходства ежегодно стали превышать 500 тыс. м³, а в отдельные годы достигали 1,0 млн м³;

- в бороздине Заманиха, в которую стал направляться больший сток воды, наоборот, увеличилась ширина в пределах изобаты ГТ: 2,7 м от 400-500 м на входе до 200-250 м в районе 14 км СХ после разработки прорезей в навигацию 1997 г. на участках с глубинами 2,4-2,6 м в районе 15,5-17 км и гребня бара; фарватер в нее перевели в 2015 г. (рис. 2).

Однако в бороздине Заманиха впервые были обнаружены выходы МЛМ пород в одноименной протоке. Именно они заметно осложняли дноуглубление в возрастающих объемах для увеличения ГТ (очевидно, что в первой половине – середине XX века при их меньших значениях наличие в бороздине мерзлого грунта специалисты не замети-

ли). Потребность в данных работах обусловлена фактом поступления сюда большего расхода воды и обеспечения основного направления стока наносов. Одновременно, как следствие углубления бороздины, возникает процесс проникновения вверх по течению морских вод (формирование клина осолоненных вод), препятствующих транзитному перемещению наносов и активизации аккумуляции наносов [5]. Кроме того, бороздина Заманиха находится под влиянием вдольбереговых потоков морских наносов, направленных вдоль и поперек бара с запада на восток. Эти явления, неблагоприятные сейчас для бороздины Заманихи, в равной степени характерны и для Восточной (при восточном направлении ветро-волновых течений она служит перехватом переносимых ими морских наносов), когда она развивается, и в ней проводится землечерпание.

В настоящее время по всем характеристикам СХ должен располагаться в бороздине Заманиха, и ГТ в ней должны поддерживаться за счет дноуглубления (хотя со временем произойдет перераспределение стока в пользу Восточной бороздины, в нее перейдет СХ, и уже в ней будут выполняться работы). Однако их осуществление осложняется близким (хотя и мозаичным) расположением кровли МЛМ грунтов. Имея в дельте Яны сплошное распространение при мощности до 400-500 м, они создают общий фон, определяющий условия развития устьевого бара и особенности деформаций ББ. В пределах аванделты и под дном Янского залива также развиты мерзлые грунты с толщиной слоя не менее 20 м [1].

На участке развития ББ наряду с МЛМ выделяются сезонно промерзающие грунты. Сезонная мерзлота распространена повсеместно, за исключением плесовых участков с глубинами более 2,5-3,0 м (от проектного уровня), где концентрируется подледный зимний сток.

Ледовые условия в дельте Яны характеризуются наличием ледяного покрова в течение 240-250 суток в году. В устье реки первые ледяные образования появляются в среднем 22 сентября, и уже через 10 суток начинается ледостав. Толщина льда на нижней Яне к середине апреля достигает 2,0-2,2 м. Поэтому большинство дельтовых протоков перемерзает на перекатах полностью. На бере толщина льда в бороздинах равна 1,8-2,0 м, но как отмечалось в [3], «полного перемерзания бороздин чаще всего не происходит в связи со значительной (до 20%) соленьостью воды в них. Однако на крыльях бара толщина льда всегда превышает глубину».

В дельте реки большая часть стока весеннего половодья проходит при наличии ледяного покрова. Это вызывает его взлом на кромках ББ, в то время как на

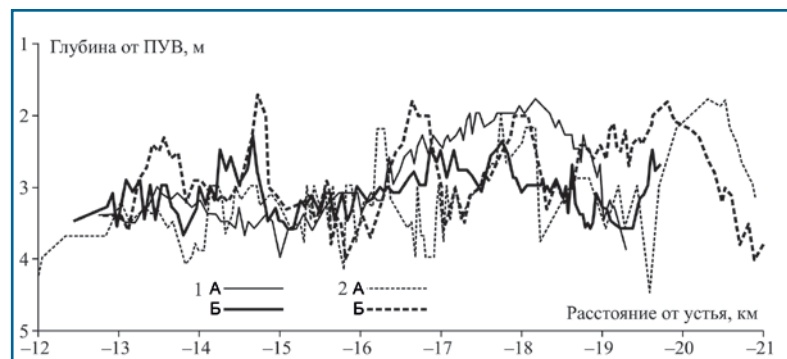


Рис. 2. Продольные профили дна бороздин бара р. Яны: 1 – Заманиха в 2015 г. (А) при переводе в нее судового хода и в 2019 г. (Б); 2 – Восточная (правая), бывшая судходная в 2010 г. (А) и 2015 г. (Б)

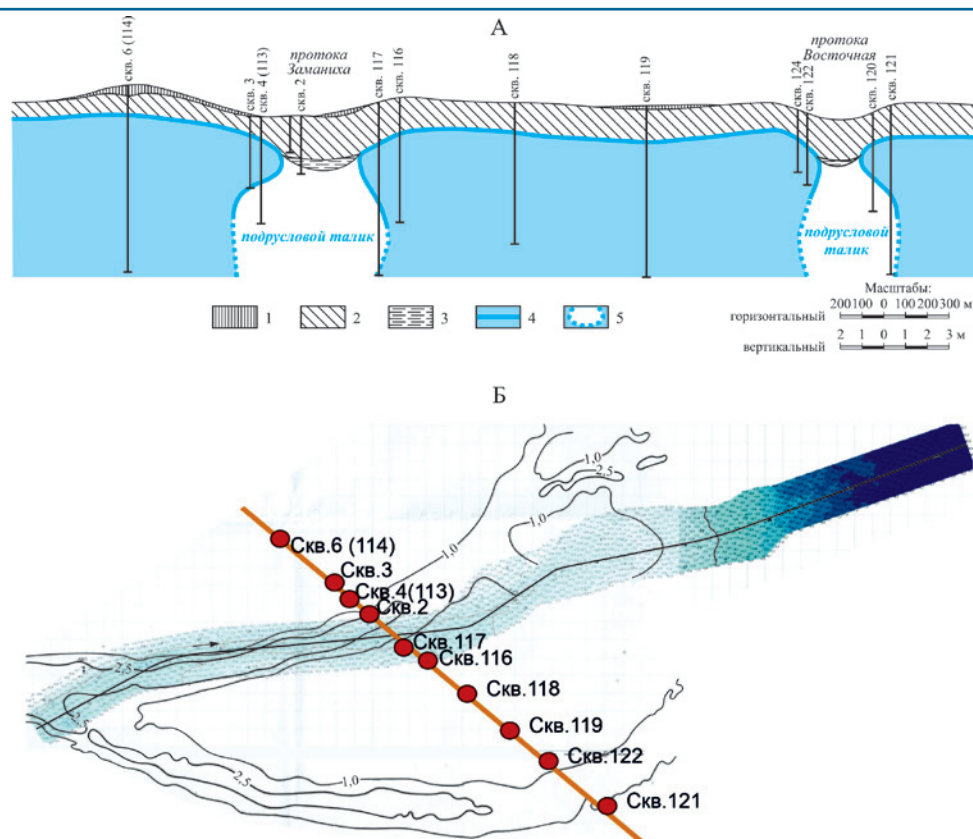


Рис. 3. Мерзлотно-геологический профиль через бар р. Яны и ее бороздины: А – адаптированный и дополненный разрез подводной толщи донных отложений (май 1971 г.) по [2]: 1 – снежный покров; 2 – лед; 3 – вода в бороздинах; 4 – МЛМ грунт, верхняя граница; 5 – подрусловой талик; Б – линия профиля относительно современного (2024 г.) положения СХ в бороздине Заманиха

морского края дельты).

По итогам исследований было выявлено наличие подруслового талика под обеими бороздинами барового участка Яны. Распространение слоя сезонного промерзания («козырьки» сезонной мерзлоты) мощностью от нескольких см до 2,0 м невелико в площадном отношении (не превышает 150-200 м в сторону от основных русел проток) и ограничивается изобатой, соответствующей максимальной толщине льда, лежащего на дно. Сезонная мерзлота формируется в периферийной части бороздины вследствие непосредственного контакта со льдом зимой и деградирует в период навигации. В период работ (конец июля – август 2024 г.) остатки сезонного промерзания были зафиксированы в 30% точек (рис. 4).

Отметка верхней кровли промерзшего горизонта зафиксирована в среднем на глубине 80-100 см от поверхности дна. Сам промерзший слой мощностью 50-70 см был уже достаточно обводнен, не сцементирован, и при значительной физической нагрузке легко пробуривался, после чего следовали несвязанные мерзлотой грунты. Глубина воды, где были выявлены следы сезонного промерзания, не превышала 2,5 м.

Наиболее мелководный участок ББ Заманиха (17-19,5 км СХ), где русловые переформирования наиболее активны и регулярно проводится дноуглубление, характеризуется наличием выходов линз МЛМ грунтов в верхнем слое донных отложений. Минимальная глубина их кровли выявлена на 18-18,5 км СХ – 2,3-2,5 м (рис. 5).

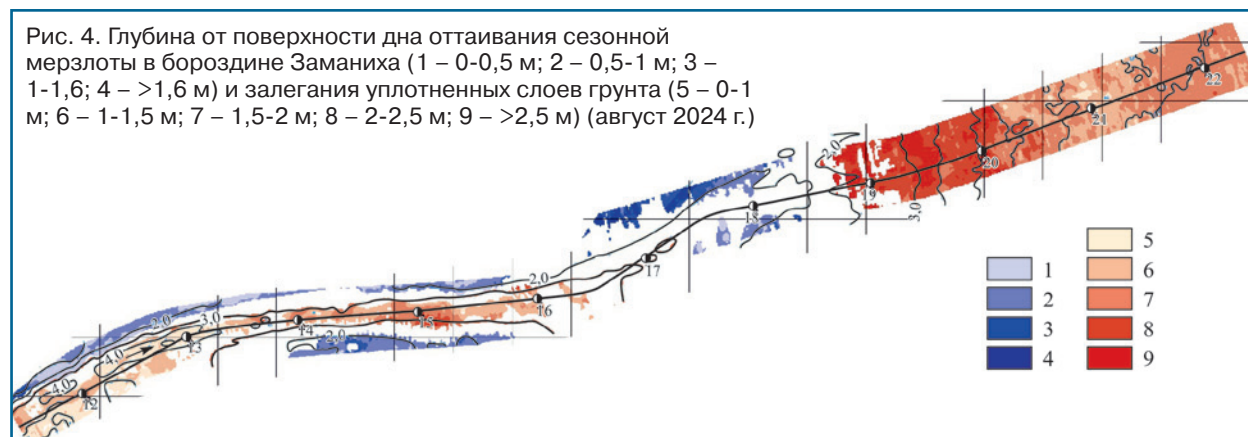
Наиболее распространены выходы МЛМ грунтов на

крыльях бара таяние залитого водой льда может продолжаться до начала июля. Смерзание льда с дном мелководных участков ББ в их нижней части создает своеобразную «ледяную плотину», вызывающую подпор полых вод и затопление прибрежной тундры.

Геокриологические исследования в устье Яны [1] не акцентировались на изучении мерзлотных условий в пределах судоходных ББ. Исключением стали выводы экспедиции МГУ в 1970-1973 годах, отраженные в [2]: при проведении работ с помощью бурения был получен мерзлотно-геологический профиль через мелководную часть бара, в том числе через бороздины Заманиха и Восточную (рис. 3).

В современных условиях (2024 г.) профиль пересекает судоходную бороздину Заманиха на 15,5 км от устьевового створа Главного русла (его выход за пределы

Рис. 4. Глубина от поверхности дна оттаивания сезонной мерзлоты в бороздине Заманиха (1 – 0-0,5 м; 2 – 0,5-1 м; 3 – 1-1,6; 4 – >1,6 м) и залегания уплотненных слоев грунта (5 – 0-1 м; 6 – 1-1,5 м; 7 – 1,5-2 м; 8 – 2-2,5 м; 9 – >2,5 м) (август 2024 г.)



17,5-18,5 км, там они образуют обширные поля, местами перекрывающие всю ширину бороздины. На 18-19 км они выходят на дне при глубине потока 2,5-3,0 м непосредственно в пределах нынешней трассы фарватера, что обуславливает необходимость их разработки в процессе дноуглубления.

Только начиная с 19 км линзы МЛМ грунтов опускаются ниже 3,5 м от проектного уровня воды, переставая осложнять путевые работы. Очевидно, что на данном участке возможно полное перемерзание ББ в зимний период, с перенаправлением части подледного стока в расположенные выше по течению ответвления в сторону Восточной бороздины. В таких условиях смыкание сезонной мерзлоты и МЛМ грунтов способствует восстановлению отметок, в том числе после дноуглубления.

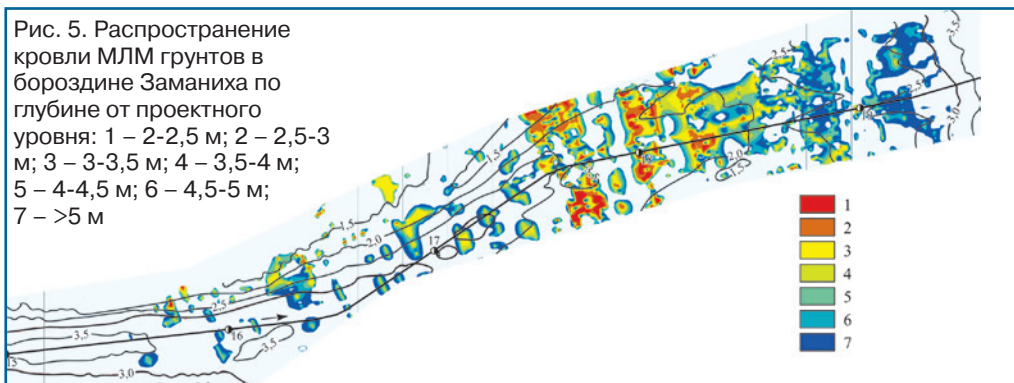
Выше этого участка в ней от захода в бороздину Заманиха сначала отсутствует ярко выраженный подрусловый талик. Примечательно, что на протяжении 50 лет левый борт бороздины занимал устойчивое положение, благодаря стабилизирующему влиянию мерзлоты вдоль всей западной части бороздины, вплоть до 15 км СХ. Правый борт бороздины фиксируется массивным побочнем, в котором сезонная мерзлота достигает 1,5 м; она полностью оттаивает, как и на остальных участках к концу теплого периода. Наиболее глубокая стрелевая часть выстилается уплотненным слоем алевритов и песков, залегающим непосредственно на поверхности.

Ниже по течению (15-17 км) вдоль левобережной кромки СХ сформировалась обширная мелководная зона с минимальными глубинами (1-1,5 м), промерзающая зимой и оттаивающая в навигацию. В толще донных отложений были выявлены локальные мерзлотные участки, преимущественно вдоль левой кромки бороздины, будучи приуроченными к зоне аккумуляции наносов. Вниз по течению встречаемость линз многолетней мерзлоты возрастает, и они постепенно объединяются в массивные мерзлотные поля.

Нижний участок бороздины (19,5-22 км) относится к морскому склону бара. Здесь отмечается направленное и достаточно интенсивное увеличение глубин (до 7-8 м от проектного уровня), а гидрологический и русловый режимы определяются в основном морскими факторами. Поверхностные донные отложения тут представлены илами и алевритами, мощность которых увеличивается до 2-3 м по мере роста глубин. Согласно исследованиям [1], тепляющий эффект речного стока сохраняется даже зимой, а устойчивая околонулевая температура морских вод и высокая минерализация грунтов препятствуют поднятию кровли МЛМ грунтов, повсеместно распространенных под дном залива.

Таким образом, в ныне судоходной бороздине Заманиха устьевого бара Яны в условиях преобладающего развития подруслового талика МЛМ грунты встречаются ограниченно, проявляясь в верхней толще донных отложений только на наиболее мелководном участке бара – с 17 по 19 км. Их «гребень» пересекает ось СХ поперек бороздины, объединяясь с основным мерзлотным полем на удалении 300-400 м в обе стороны от фарватера. Общая площадь зон распространения МЛМ грунтов на глубине до 5 м (от поверхности дна) не превышает 30% (только на 15,5-19,5 км, где

Рис. 5. Распространение кровли МЛМ грунтов в бороздине Заманиха по глубине от проектного уровня: 1 – 2-2,5 м; 2 – 2,5-3 м; 3 – 3-3,5 м; 4 – 3,5-4 м; 5 – 4-4,5 м; 6 – 4,5-5 м; 7 – >5 м



были зафиксированы их линзы в пределах глубины до 3-3,5 м и меньше, осложняющие дноуглубление. При этом даже на участке наибольшего распространения мерзлые грунты имеют очаговое распространение, что объясняется частичным сохранением зимнего стока. В районе 18 км судоходная бороздина Заманиха к концу зимы может полностью перемерзнуть, вызывая объединение сезонной и многолетней мерзлоты.

Наиболее благоприятные условия для направления СХ – в бороздине Заманиха, что обусловлено выполнением землечерпания, зависящим от расположения фарватера и трассировки прорезей на мелководном участке бороздины среди выступающих линз МЛМ грунтов. При этом современное (по состоянию на 2024 г.) положение СХ по данному признаку не является оптимальным, будучи назначенным без знания особенностей распространения грунтов. С учетом полученных о них представлений по итогам исследований можно наметить 4 возможных варианта (рис. 6), из которых наиболее приемлемым по возможному объему землечерпания является третий (87,6 тыс. м³), а по ориентировке – первый, ближе к левому борту бороздины (объем подлежащего извлечению грунта по съемке 2024 г. – 96,8 тыс. м³).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Судоходство на बारे р.Яны осуществляется по бороздинам Заманиха или Восточная, формирующимся среди сплошного распространения МЛМ грунтов, верхняя кровля которых залегает на отметках около 1,0-2,0 м от поверхности дна. Верхний слой полностью промерзает зимой и оттаивает в летне-осенние месяцы. Исключением являются ББ, а также прилегающая к ныне судоходной бороздине Заманиха полоса шириной около 500 м активных русловых переформирований,

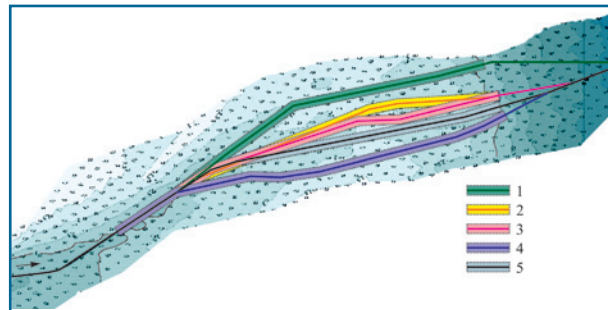


Рис. 6. Рекомендуемые положения СХ (1-4) в бороздине Заманиха и их соотношение с современным (5)

где образуется подрусовой талик, однако несплошной, прерываемой на участке систематической аккумуляции наносов. Существующие здесь линзы МЛМ грунтов, имея мозаичное распространение, осложняют землечерпание на СХ для обеспечения в этих условиях ГГ и устойчивой связи речной трассы с Северным морским путем.

Основные результаты проведенных исследований: установлены закономерности распространения в судовой бороздине Заманиха многолетней и сезонной мерзлоты; обоснованы варианты оптимизации положения фарватера на лимитирующем участке с учетом условий залегания мерзлых и талых грунтов, позволяющие уменьшить объемы разработки мерзлых грунтов в 2-3 раза, по сравнению с современными объемами дноуглубления.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Н.Ф. Григорьев. Многолетнемерзлые породы приморской зоны Якутии. – М.: Наука, 1966. – 220 с.
2. Исследования мерзлотно-геологических условий на бере реки Яны с целью повышения эффективности дноуглубительных работ (отчет по НИР). – М.: Географ. ф-т МГУ, 1972. – 540 с.
3. В.Н. Кортаев. Очерки по геоморфологии устьевых и береговых систем. – М.: Географ. ф-т МГУ, 2012. – 540 с.
4. Геоморфология и история формирования дельты Яны / Кортаев В.Н. // Эрозия почв и русловые процессы. – Вып. № 23. – Географ. ф-т МГУ, 2024. – с. 311-337.
5. Проникновение осолоненных вод в устье Яны / Михайлов В.Н., Бабич Д.Б. // Труды ГОИН, 1971. – Вып. № 198.
6. Нижняя Яна: устьевые и русловые процессы. – М.: ГЕОС, 1998. – 212 с.
7. Дноуглубление: достижения XX века и утраты двух последних десятилетий / Чалов Р.С. // Речной транспорт (XXI век). 2010, – № 1(43). – с. 47-49.

УЧРЕЖДЕНИЕ: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

ТЕМА: Применение логико-вероятностного подхода для формирования комплексной методик обоснования технологий внепортовой обработки флота

АВТОРЫ: А.В. КИРИЧЕНКО, д.т.н., профессор; Д.Е. ТУРОВ, инженер

УДК 656.61.052.4:519.876.5

Процессы освоения Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) и обеспечения жизнедеятельности удаленных прибрежных поселений, гидрометеорологических станций, объектов Министерства обороны и предприятий топливно-энергетического комплекса неразрывно связаны с необходимостью осуществления «северного завоза» – постоянной доставки горючего, продовольствия, строительных материалов, запасных частей и специального оборудования.

Согласно оценкам экспертов Министерства по развитию Дальнего Востока и Арктики, объем грузов, проходящих по данной схеме, составляет миллионы тонн в год, а стоимость транспортных операций исчисляется десятками миллиардов рублей. Критическим и наиболее уязвимым звеном этой логистической цепи является заключительный этап – выгрузка товаров со снабжающего флота на необорудованный берег в условиях отсутствия портовых гидротехнических сооружений, защищенных акваторий, причальных стенок и какой-либо механизации.

Такие процедуры, определяемые в морской практике как «внепортовая обработка судов», сопряжены с повышенными рисками. Они подразделяются на 3 основные категории: навигационные (ограниченные глубины без сведений о промерах, подвижка льдов, сложные течения), гидрометеорологические (внезапные штормы, туманы, обледенение, полярная ночь) и техногенные (отказы перегруженного оборудования, якорных устройств, вспомогательных плавсредств, влияние «человеческого фактора»). Особую актуальность проблеме придает тот факт, что в высоких широтах период безопасной выгрузки может составлять всего несколько часов или суток, а повторный заход судна в район в ту же навигацию часто невозможен.

Аналогичные, хотя и менее критические, проблемы возникают при так называемой «лихтеровке» (или «распаузме») крупнотоннажного флота на внешних рейдах мелководных торговых портов, где осадка не позволяет судам заходить в гавань. Перевалка продукции на более



мелкосидящие плавсредства сопряжена с рисками соударений, потери остойчивости, повреждения груза и разлива нефтепродуктов.

В этих условиях выбор технологии выгрузки не может основываться исключительно на интуиции или предыдущем опыте, поскольку каждый рейс уникален по совокупности гидрометеорологических, навигационных и организационных факторов. Следовательно, необходим формализованный инструментарий, который позволял бы:

- количественно оценивать вероятность безаварийного выполнения полного цикла внепортовой выгрузки для каждой потенциально применимой технологии;
- идентифицировать наиболее критические операции, лимитирующие общую надежность процесса и требующие дополнительного контроля или резервирования;
- делать многокритериальный выбор технологии, балансируя между минимизацией рисков, стоимостных затрат и (если нужно) временных параметров.

Предлагаемая в настоящей статье комплексная методика объединяет два последовательных модуля: первый – логико-вероятностную оценку рисков, второй – многокритериальный выбор технологий.

Методика базируется на апробированных подходах

из теории надежности (деревья отказов, последовательное соединение элементов), булевой алгебры, экспертного оценивания (структурированный много-раундовый протокол Дельфи), сетевого моделирования (PERT) и многокритериального принятия решений (MCDM), включая нормализацию, взвешивание (АНР), построение Парето-фронта и вычисление аддитивного критерия полезности.

Научная новизна работы заключается в интеграции указанных методов в единый алгоритм, адаптированный к специфике грузовых операций на водном транспорте в условиях высокой неопределенности, а также в разработке конкретных расчетных зависимостей для комбинированных технологий.

ЧАСТНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКОВ ТЕХНОЛОГИЙ ВНЕПОРТОВОЙ ОБРАБОТКИ СУДОВ НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТ- НОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Цель данного модуля – получить количественную оценку вероятности безотказного выполнения полного цикла внепортовой выгрузки судна с использованием заданной технологии. Здесь принципиальной особенностью является оценка, выполняемая на уровне элементарных операций, а это позволяет не только рассчитать интегральный показатель, но и выявить «узкие места» технологической цепочки для последующего целенаправленного управления рисками.

Первый шаг – структурно-иерархическая декомпозиция (Work breakdown structure, WBS) всех значимых морских и грузовых операций, образующих цикл внепортовой обработки. Принимается глубина декомпозиции в 3 уровня (этап --> подэтап --> элементарная операция), что соответствует классическому принципу управляемости (рекомендуемые 3-5 уровней) и критериям INVEST в модификации для пакетов работ.

В результате получается кодированный перечень.

Для технологии с использованием рейдовых плавсредств (РПС) разработанный пример включает 7 этапов: 1) переход судна к месту выгрузки; 2) постановка на якорь (или швартовка к бочечному устройству); 3) выгрузка РПС на воду и их подготовка; 4) формирование выгрузочного места («импровизированного причала») с использованием РПС; 5) непосредственно грузовые операции (подъем, перемещение, опускание); 6) обратный забор перегрузочных средств на борт; 7) снятие с якоря и обратный переход.

Общее количество элементарных операций для полного цикла достигает 67, что обеспечивает необходимую детализацию для последующего анализа и не создает избыточной сложности.

На основе WBS строится сетевая модель в нотации «финиш – старт» (допускаются также связи «старт – старт» и «финиш – финиш» при наличии параллельных работ, однако в базовом варианте задействуется наиболее консервативная и хорошо формализуемая «финиш – старт»).

Для каждой элементарной операции экспертно задаются 3 временные оценки – длительности: оптимистическая t_0 (выполнение при самых благоприятных условиях, отсутствие задержек, идеальная погода); наиболее вероятная t_m (типовые условия для данного района и сезона, средняя интенсивность работы); пессимистическая t_p (учет возможных осложнений – ухудшения погоды, технических задержек, перерывов в работе).

Ожидаемая длительность операции t_e рассчитывается по формуле бета-распределения, апробированной в классических трудах [1-4]:

$$t_e = \frac{t_0 + 4t_m + t_p}{6}.$$

Дисперсия каждой операции определяется так:

$$\sigma^2 = \left(\frac{t_p - t_0}{6} \right)^2.$$

Далее вычисляются все возможные пути в сети (их число может достигать десятков для выбранных в расчетном примере 67 операций), идентифицируется критический путь как последовательность операций с максимальной суммарной ожидаемой длительностью. Общая ожидаемая длительность цикла T_e равна сумме t_e по критическому пути, а суммарная дисперсия σ_{sum}^2 – сумме дисперсий операций, принадлежащих критическому пути. При этом принимается допущение о независимости длительностей отдельных операций, что является общепринятым в практических расчетах и дает консервативную оценку разброса.

Вероятность завершения цикла за установленный лимит времени T_{lim} (например, директивный срок выгрузки до начала шторма) определяется через нормированное отклонение:

$$Z = \frac{T_{lim} - T_e}{\sigma_{sum}}, \quad P(T \leq T_{lim}) = \Phi(Z),$$

где $\Phi(Z)$ – функция стандартного нормального распределения.

Такой подход позволяет не только оценить ожидаемое время выгрузки, но и дать вероятностную характеристику соблюдения директивных сроков, что критично для планирования обратного рейса судна и обеспечения его безопасности в случае штормовой погоды [5, 6].

На основе выполненной декомпозиции строится дерево отказов, где головное событие формулируется как «авария / отказ при внепортовой выгрузке с использованием данной технологии». Логические связи на всех уровнях – «ИЛИ» (в терминах отказов). Это означает, что отказ вышестоящего элемента происходит, если отказал хотя бы один из нижестоящих элементов. Содержательно такое соответствует последовательному соединению по надежности: для успешной реализации этапа необходимо успешное осуществление всех его составляющих без исключения.

В терминах безотказной работы вероятность безотказного выполнения узла (этапа, подэтапа или системы в целом) определяется как произведение вероятностей безотказной работы дочерних элементов:

$$P_{узла} = \prod_{k=1}^n P_{дочерний\ k},$$

где $p=1-q$, а q – вероятность отказа элементарной операции.

Графически модель представляется в виде ориентированного ациклического графа, где прямоугольники с меткой «ИЛИ» означают, что для безотказной работы узла необходимо безотказное выполнение всех его дочерних элементов. Следует особо отметить: альтернативные логические связи (например, «резервирование» с логикой «И» в терминах отказов) в базовой версии методики не рассматриваются, поскольку внепортовая выгрузка, как правило, представляет собой последовательную цепочку операций, где дублирование ресурсов либо отсутствует, либо уже учтено на уровне

выбора комбинированной технологии. Такое допущение соответствует наихудшему (консервативному) сценарию и не занижает оценку риска.

Следующий шаг методики – получение количественных оценок вероятностей отказа q для каждой элементарной операции. Ввиду многофакторности (число оцениваемых параметров – $n \geq 60$) и ограниченного количества доступных респондентов (в типовом случае – $m \leq 6$, что обусловлено узкой специализацией экспертов) применяется структурированный анонимный многораундовый протокол – метод Дельфи, реализуемый асинхронно в 2-4 раунда. Процедура включает следующие стадии:

1. Формирование экспертной группы из специалистов с релевантным арктическим и рейдовым опытом: командные должности на судах снабжения (капитаны, старшие помощники), капитаны-наставники, профессорско-преподавательский состав морских вузов (кафедры судовождения, управления морским транспортом), представители линейных органов военных сообщений.

2. Первый раунд: каждый эксперт независимо оценивает вероятность отказа q для каждой элементарной операции (диапазон, например, от 0,001 до 0,1; шкала – логарифмическая или линейная по усмотрению организатора, но единая для всех операций).

3. Организатор собирает оценки, вычисляет медиану, межквартильный размах (IQR) и коэффициенты вариации для каждой операции.

4. Второй раунд: экспертам предоставляется анонимная статистика (медиана, разброс) и предлагается пересмотр их оценок с возможной письменной аргументацией крайних позиций (это снижает эффект группового давления и стимулирует содержательное обсуждение).

5. Итерации продолжаются до стабилизации медиан (обычно достаточно 2-3 раундов; критерием стабилизации является изменение медианы менее чем на 5% от предыдущего раунда).

Итоговая вероятность отказа элементарной операции принимается равной медиане распределения оценок последнего раунда. Выбор медианы обоснован ее робастностью к выбросам, устойчивостью при малых выборках и соответствием порядковой природе экспертных шкал (эксперты чаще оперируют ранговыми сравнениями, чем точными числовыми значениями).

Для оценки согласованности мнений экспертов применяются коэффициент конкордации, а значимость проверяется с помощью критерия Пирсона. Дополнительно рекомендуется анализировать межквартильный размах: если IQR превышает заранее установленный порог (например, 0,02 для вероятностей в диапазоне 0,001-0,1), то по данной операции целесообразно проведение дополнительного обсуждения или запроса у экспертов развернутых обоснований крайних оценок.

Используя результирующие медианные оценки q для всех элементарных операций (листьев дерева), выполняется последовательный расчет снизу вверх:

– для каждого узла (элементарная операция --> подэтап --> этап --> система) вычисляется вероятность безотказной работы:

$$p = \prod_{k \in \text{дочерние}} p_k;$$

– затем: $q = 1 - p$ (вероятность отказа узла).

В итоге фиксируются два основных показателя:

– $R_{\text{СИСТ}}$ – вероятность безотказного выполнения полного цикла внепортовой выгрузки;

– $Q_{\text{СИСТ}} = 1 - R_{\text{СИСТ}}$ – интегральный риск аварии (отказа) для данной технологии.

Дополнительно определяются вероятности для каждого этапа и подэтапа, что позволяет идентифицировать наиболее критичные элементы (с минимальной p) и целенаправленно принимать меры по их страхованию, усилению контроля или введению резервных процедур.

Полученные количественные оценки подлежат проверке двумя способами, которые дополняют друг друга:

1. Сравнение с известной статистикой (при наличии данных по аварийности в аналогичных операциях за предшествующие периоды).

Например, если в регионе зафиксировано 2 аварии на 100 выгрузок (частота 0,02), а модель дает $Q_{\text{СИСТ}} \approx 0,02 \pm 0,005$, это служит подтверждением адекватности модели. В условиях АЗРФ такая статистика может быть ограниченной, однако даже частичные данные (например, из отраслевых обзоров Росморречфлота) позволяют осуществить калибровку.

2. Качественная валидация экспертами.

Так проверяется непротиворечивость ранжирования этапов по надежности экспертным ожиданиям. Модель считается верифицированной, если расчетные значения p для критических этапов попадают в доверительные интервалы, заданные экспертами (например, медиана $\pm IQR$). Если расхождение превышает 20%, рекомендуется пересмотреть декомпозицию или провести дополнительный раунд опроса.

ЧАСТНАЯ МЕТОДИКА МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЙ ВНЕПОРТОВОЙ ОБРАБОТКИ СУДОВ

Цель данного модуля – обоснование выбора наилучшей технологии (или их рациональной комбинации) для каждого пункта выгрузки с учетом конфликтующих критериев.

В базовой постановке рассматриваются 2 критерия:

- R – интегральный риск аварии (вероятность отказа – 1);
- C – прогнозируемая стоимость выполнения операций (руб./т или руб. за рейс включая амортизацию оборудования, топливо, оплату труда экипажа и береговой команды, расходы на страхование и возможные штрафы за задержку).

Вместе с тем методика допускает расширение критериального пространства (добавление временных показателей, экологических критериев или оценки гибкости технологии по отношению к меняющимся условиям).

Для каждого пункта выгрузки анализируются, как минимум, 3 альтернативы, каждая из которых имеет свою принципиальную технологическую схему:

1. Только рейдовые плавсредства (РПС) – выгрузка с помощью собственных или арендованных барж, грузовых понтонов, самоходных лихтеров.

2. Только вертолетная выгрузка – с использованием внешней подвески или внутренней загрузки (для тяжелых вертолетов типа Ми-26 или Ми-8 с соответствующей модификацией).

3. Комбинированная технология – параллельное или резервное использование РПС и вертолета, что позволяет сократить время выгрузки благодаря совмещению операций или обеспечить завершение цикла при отказе одной из подсистем.

Для комбинированной технологии, при условии независимости отказов подсистем (что физически обосновано для разнородных средств, эксплуатируемых отдельно), риск вычисляется как произведение вероятностей отказов:

$$R_{comb} = R_{ПТС} \cdot R_{верт} ,$$

а стоимость – как сумма затрат:

$$C_{comb} = C_{ПТС} + C_{верт} .$$

Такой подход отражает логику «холодного» или «горячего» резерва в зависимости от организации работы: при параллельном функционировании обеих подсистем отказ одной из них не приводит к срыву выгрузки (хотя может снизить темп), а при последовательной – резервирование. В базовой версии принимается наиболее консервативный вариант – параллельная работа, где риск отказа системы равен произведению рисков. При необходимости в модель может быть введен коэффициент корреляции для учета общих факторов риска (например, гидрометеорологических), однако это потребует дополнительных статистических сведений.

Поскольку критерии имеют различные единицы измерения и диапазоны значений (вероятности – от 0 до 1, стоимости – от сотен тысяч до миллионов рублей), выполняется их линейная нормализация относительно глобальных экстремумов по всем рассматриваемым пунктам и технологиям:

$$R'_j = \frac{R_j - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} , \quad C'_j = \frac{C_j - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}}$$

где $R_{\max}$, $R_{\min}$, $C_{\max}$, $C_{\min}$ – максимальные и минимальные значения среди всех альтернатив в рамках планируемого рейса (или инвестиционного проекта). По смыслу меньшие нормализованные значения соответствуют лучшим показателям (меньшие риск и стоимость).

Для учета приоритетов лица, принимающего решение (ЛПР), применяется метод анализа иерархий (Analytic hierarchy process, АНР), разработанный Т. Саати [7, 8, 9, 10]. Строится матрица парных сравнений критериев (риск и стоимость) по шкале от 1 до 9, где: 1 – равная важность; 3 – умеренное превосходство; 5 – сильное превосходство; 7 – очень сильное превосходство; 9 – крайне сильное превосходство.

Для арктических условий, где безопасность и минимизация риска срыва завоза имеют высший приоритет (поскольку повторный заход судна часто невозможен), пример матрицы для двух критериев выглядит так:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1,5 \\ 2/3 & 1 \end{pmatrix} ,$$

что соответствует весам $W_R \approx 0,6$, $W_C \approx 0,4$ после вычисления нормализованного собственного вектора (геометрическое среднее по строкам с последующей нормировкой). При расширении числа критериев размер матрицы увеличивается, и проверяется согласованность суждений через коэффициент согласованности ($C_R < 0,1$). В условиях оперативного планирования допускается прямое экспертное назначение весов при условии документального обоснования.

Далее на координатную плоскость (C , R) наносятся все альтернативные технологии для данного пункта (и, при необходимости, для разных пунктов). Точки, для которых не существует другой точки с меньшим или равным C и одновременно меньшим или равным R (хотя бы одно строгое неравенство), образуют Парето-фронт. Он визуализирует объективные компромиссы между риском и стоимостью и сужает множество вариантов для дальнейшего выбора. Анализ Парето полезен для ЛПР, поскольку показывает границу достижимых

результатов: любое смещение вдоль фронта означает улучшение одного критерия за счет ухудшения другого, и выбор конкретной точки зависит от текущих приоритетов (например, при штормовом прогнозе выбирается точка с минимальным риском, при жестких бюджетных ограничениях – с минимальной стоимостью).

Для окончательного ранжирования предлагается аддитивный критерий, ориентированный на максимизацию полезности:

$$K_j = W_R \cdot (1 - R'_j) + W_C \cdot (1 - C'_j) ,$$

где $1 - R'_j$ и $1 - C'_j$ – нормализованные показатели качества (чем выше, тем лучше).

Альтернатива с максимальным K_j признается рациональной для данного пункта выгрузки. Альтернативно возможно использование классического метода TOPSIS (Technique for order of preference by similarity to ideal solution), основанного на расчете евклидовых расстояний до идеального и антиидеального решений. Однако для двух критериев аддитивная форма с предварительной нормализацией дает эквивалентный результат и более прозрачна для интерпретации, что важно при принятии решений в условиях ограниченного времени.

Для проверки устойчивости полученного решения выполняется вариация весов W_R и W_C в диапазоне $\pm 20\%$ от исходных (например, W_R – от 0,48 до 0,72). Если рациональная альтернатива не меняется, решение признается робастным. Если меняется – ЛПР получает информацию о пороговых значениях весов, при которых предпочтение переключается (например, вертолетная технология становится предпочтительной при $W_R > 0,7$). Это критично для арктических условий, где приоритеты могут меняться в зависимости от гидрометеорологического прогноза, наличия топлива, срочности доставки и других оперативных факторов.

При планировании экспедиционного рейса, включающего m пунктов выгрузки (например, 5-10 поселков и постов вдоль побережья), строится матрица размером $[m \times (n_{\text{тех}} + 1)]$, где для каждого пункта и технологии рассчитывается $K_{i,j}$. Для каждого пункта выбирается технология с максимальной величиной. Допускается назначение разных технологий для различных пунктов в одном рейсе при наличии соответствующих ресурсов на борту (например, РПС и вертолета). При равенстве или близости значений K (различие менее 0,02) решение принимается ЛПР на основе дополнительных факторов: наличия обученного персонала на конкретном пункте, ремонтной базы в районе, прогноза ледовой обстановки на период выгрузки.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА: АЛГОРИТМ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

Объединяя 2 описанных модуля, комплексная методика представляет собой пошаговую процедуру из 10 этапов, которая может быть реализована в виде расчетно-логического алгоритма с использованием стандартных офисных приложений (MS Excel с макросами) или специализированного программного обеспечения (Matlab, Python с библиотеками SciPy и Pandas). Ниже представлено последовательное описание этапов.

Шаг 1. Формирование перечня рассматриваемых технологий для каждого пункта выгрузки: (1) РПС, (2) вертолет, (3) комбинированная, (4) иные (при наличии, например, использование амфибийных средств или временных понтонных причалов).

Шаг 2. Декомпозиция операций для каждой технологии (WBS) с глубиной 3 уровня, кодированием и про-

веркой критериев атомарности, единой ответственности, верифицируемости и иерархической непротиворечивости. Результат — детализированный перечень работ с присвоением уникальных кодов (например, 1.1.1, 1.1.2, ...).

Шаг 3. Построение сетевых моделей (PERT) для каждой технологии, назначение экспертных оценок t_0 , t_m , t_p для каждой операции, расчет t_e , дисперсий, идентификация критического пути, вычисление T_e и σ^2_{sum} , а также вероятности завершения цикла за заданный лимит времени.

Шаг 4. Формирование логико-вероятностных моделей (дерева отказов) с логикой «ИЛИ» на всех уровнях, определение листовых событий (элементарных операций).

Шаг 5. Проведение 2-3 раундов экспертного опроса по протоколу Дельфи для оценки вероятностей отказа q всех элементарных операций по всем технологиям. Вычисление медиан, межквартильных размахов, коэффициентов конкордации и проверка значимости по критерию χ^2 .

Шаг 6. Последовательный расчет вероятностей безотказной работы снизу вверх для каждой технологии; фиксация $R_{сист}$ и $Q_{сист}$; выявление критических этапов (с минимальной p) для принятия дополнительных управленческих мер (например, усиление контроля или введение резервных процедур).

Шаг 7. Определение для каждого пункта выгрузки:

- $R_{РПС}$, $R_{верт}$ — из шага 6;
- $C_{РПС}$, $C_{верт}$ — из сметных данных, по нормативам расхода топлива, амортизации, оплаты труда и пр.;
- расчет $R_{comb} = R_{РПС} \cdot R_{верт}$, $C_{comb} = C_{РПС} + C_{верт}$.

Шаг 8. Глобальная нормализация R и C по всем альтернативам и пунктам. Определение весов W_R и W_C (и дополнительных, если необходимо) методом АНР с проверкой согласованности.

Шаг 9. Расчет $K_j = W_R(1 - R'_j) + W_C(1 - C'_j)$ для каждого пункта и технологии. Построение Парето-фронта для визуализации компромиссов. Выбор технологии с максимальным K_j для каждого пункта.

Шаг 10. Оформление итоговой матрицы решений (таблица «пункт — технология — риск — стоимость — K »), технологической карты рейса с привязкой к временным параметрам (из PERT), подготовка заключения для ЛПР.

Необходимо особо отметить, что методика является итеративной и адаптивной: при изменении гидрометеорологической обстановки, выходе из строя оборудования или изменении приоритетов (например, при сокращении бюджета) шаги 7-10 могут быть повторены в оперативном режиме без полного пересмотра логико-вероятностных моделей (шаги 1-6). Это достигается за счет модульной архитектуры и разделения постоянных (экспертные оценки надежности операций) и переменных (веса критериев, стоимости, приоритеты) параметров.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДИКИ НА ПРАКТИКЕ

Разработанная методика, объединяющая ЛВМ и MCDM, может быть адаптирована для 3 основных уровней управления морскими операциями, различающимися по масштабу, временному горизонту и составу лиц, принимающих решения:

1. Оперативное управление экспедиционным завозом.

Это наиболее востребованное направление, так как оно напрямую связано с доставкой грузов в пункты с неразвитой портовой инфраструктурой. На этапе подготовки рейса для каждого пункта выгрузки производится ЛВМ-оценка рисков для доступных технологий. Далее на основе

двухкритериальной задачи (риск—стоимость), с использованием АНР и аддитивного критерия, для каждого пункта назначается рациональная технология, формируется общая технологическая карта рейса. В случае изменения прогноза погоды (усиление ветра, ухудшение видимости, подвижка льдов) оператор (капитан-наставник или диспетчер) может оперативно пересчитать K_j и переключиться, например, с вертолетной выгрузки на комбинированную схему, если позволяет наличие ресурсов на борту. Это особенно актуально для АЗРФ, где период безопасной выгрузки может составлять всего несколько часов.

2. Оценка и планирование рейдовых операций в торговых портах.

В условиях стесненных акваторий, мелководья или при обработке судов на внешнем рейде методика позволяет выполнить декомпозицию лихтеровочных операций, выявить критические операции и оценить временную неопределенность всего процесса. Сравнительный анализ различных схем (с использованием портовых буксиров и плавкранов, с привлечением самоходных лихтеров, с применением судов-снабженцев порта) дает возможность выбрать наиболее безопасный и экономичный вариант для конкретных условий. При планировании приобретения новых рейдовых плавсредств или модернизации существующего флота методика обеспечивает количественную оценку снижения рисков и операционных затрат, что служит надежным аргументом для принятия инвестиционных решений и может быть включено в бизнес-план или технико-экономическое обоснование.

3. Проектирование и модернизация транспортно-технологических систем.

На стадии опытно-конструкторских работ, до создания физических прототипов, методика позволяет оценить эффективность новых технических решений (например, специализированных модулей для выгрузки контейнеров, аппарельных барж, временных плавпричалов, саморазборных понтонов). Для нескольких альтернативных концепций строятся логико-вероятностные модели с варьированием значимых параметров (вместимость РПС, скорость движения, количество причальных модулей, грузоподъемность вертолета). Проведение вычислительных имитационных экспериментов дает возможность найти проектные решения, обеспечивающие минимальный риск при заданной стоимости. Полученные количественные оценки рисков могут служить дополнительным критерием для отбора наиболее перспективных технических решений для дальнейшей разработки, дополняя традиционные инженерные расчеты вероятностными оценками надежности [11, 12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе авторами представлена комплексная методика обоснования технологий внепортовой обработки судов, которая обеспечивает переход от интуитивных решений к формализованному управлению рисками и оптимизации затрат.

Предложены 3 направления практической реализации: оперативное управление морскими операциями «северного завоза», рейдовыми операциями в портах и проектирование новых технических средств, что подтверждает универсальность и практическую ценность инструментария для различных категорий пользователей — судоходные компании, портовые операторы, проектные организации.

Предполагается, что систематический учет и количественная оценка рисков на всех этапах планирования

и выполнения операций приведет к снижению аварийности и повышению вероятности успешного решения поставленных задач, что критично для обеспечения жизнедеятельности и экономической деятельности в Арктике и других удаленных регионах страны.

Описанный формализованный подход может быть положен в основу совершенствования отраслевых стандартов и регламентов по планированию и выполнению внепортовых грузовых операций, а также включен в учебные программы отраслевых вузов при подготовке судоводителей и менеджеров водного транспорта.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Application of a technique for research and development program evaluation / D. Malcolm, J. Roseboom, C. Clark, W. Fazar // Operations research, 1959. – № 7(5). – p. 646–669.
2. Work breakdown structures: the foundation for project management excellence / E. Norman, S. Brotherton, R. Fried // Project management institute, 2008.
3. The WBS / F. Webster // PM Network, 1994. – № 8(12). – p. 40–46.
4. The ABC basics of the WBS / P. Burek // PMI Global congress-2013.
5. The use of a GERT based method to model concurrent product development processes / R. Nelson, A. Azaron, S. Aref // European

- journal of operational research, 2016. – № 250(2). – p. 566–578.
6. Faculty information systems project management: a comparison of CPM and PERT methods / R. Putra, G. Ariftiarno, R. Karlitasari, D. Akhmad // Komputasi, 2025. – № 22(1). – p. 12–20.
7. The analytic hierarchy process / T. Saaty // New York: McGraw-Hill, 1980.
8. Применение метода анализа иерархий в принятии управленческих решений / Илларионов М.Г. // Актуальные проблемы экономики и права. 2009. – № 1. – с. 37–42.
9. Исследование чувствительности метода анализа иерархий Т. Саати / Бригаднов И.А., Казимиров С.П. // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2025. – № 4 (44). – с. 54–62.
10. Аналитическое уточнение метода статистических испытаний для исследования морских портов / Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Семенов А.Д. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2022. – Т. 14, № 6. – с. 905–914.
11. Особенности технологических расчетов с учетом случайного характера величин / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. И. Кароль, А. Д. Семенов // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 2(118). – с. 50–53.
12. Применение алгоритма «дерево решений» для определения времени нахождения контейнеров в логистической цепи в зависимости от устойчивости графика перевалки грузов в морских портах / Д. А. Морозова // Речной транспорт (XXI век). 2023. – № 3(107). – с. 50–53.

Фото предоставлено компанией «Новатек»

УЧРЕЖДЕНИЕ: Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ)

ТЕМА: Модельно-алгоритмическое обеспечение процедуры оценки технического состояния металлического корпуса судна

АВТОРЫ: Д.А. КИРСАНОВА, аспирант; А.В. СОЛОВЬЕВ, д.т.н., доцент; Ю.С. ФЕДОСЕНКО, д.т.н., профессор, зав. кафедрой; кафедра систем информационной безопасности управления и телекоммуникаций

УДК 629.5.083.5

Решение востребованной задачи обеспечения безопасной и экономически эффективной эксплуатации водного транспорта неразрывно связано с поиском ответа на актуальный вопрос: как своевременно и достоверно оценить техническое состояние (ТС) металлического корпуса судна.

При изучении реального положения дел с организацией безаварийности плавания и продлении срока службы флота необходимо ориентироваться на передовые методы анализа, позволяющие перейти от дискретных периодических освидетельствований к непрерывному мониторингу и прогнозированию деградационных процессов. На передний план выходят новые принципы, базирующиеся на вероятностных и многофакторных моделях, оценке рисков и математическом моделировании.

Как показало исследование действующей нормативно-технической базы (правил российских Классификационного общества и Морского регистра судоходства), классические подходы основыва-

ются на визуальном и измерительном контроле специалистами с помощью ультразвуковой толщинометрии, дефектоскопии и последующего сопоставления величин предельно допустимого износа. Однако, в частности по [1], существующие средства автоматизации процесса освидетельствования требуют значительных временных и финансовых затрат и не всегда позволяют прогнозировать состояние корпуса судна в перспективе.

Таким образом, имеется «разрыв» между последними научными разработками и реальной практикой судоремонта и освидетельствования флота в эксплуатации. И значит, актуальной представляется задача создания модельно-алгоритмического обеспечения (МАО) для системы поддержки принятия решений (СППР) при оценке ТС металлического корпуса судна [2].

В качестве базы для такого инструментария могут служить апробированные в смежных отраслях многокритериальный и интеллектуальный принципы анализа – в

частности, метод анализа иерархий (МАИ), который хорошо зарекомендовал себя при диагностике ТС сложных систем [3].

Предлагаемое авторами настоящей статьи МАО для СППР основано на математической модели оценки ТС корпуса судна, включающей комбинацию МАИ, мультипликативной свертки и экспертных оценок. Модель обеспечивает переход от множества разнородных параметров (износ, прочность, условия эксплуатации) к скалярной интегральной оценке ТС корпуса, которая характеризуется вектором частных показателей:

$$KП_{ТС} = (x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (1)$$

где $KП_{ТС}$ – комплексный показатель ТС корпуса судна;

m – количество частных показателей, разнородных параметров, характеризующих ТС корпуса судна.

Искомый $KП_{ТС} \in [0, 1]$, где 0 соответствует критическому (предельному) состоянию, когда дальнейшая эксплуатация судна невозможна или небезопасна, а 1 – полностью

Рис. 1. Уровни иерархии разработанной модели



исправному, новому или прошедшему капитальный ремонт корпусу.

Прямое «свертывание» такого вектора в скалярную оценку с использованием, например, линейной взвешенной суммы, приводит к потере информации и не учитывает эффект «слабого звена», когда критическое снижение одного параметра не может быть компенсировано избытком других. Кроме того, разнородность и различная физическая природа показателей делают некорректным их непосредственное суммирование.

В связи с этим в разработанной модели выполняется группировка частных показателей по смысловому признаку в обобщенный показатель (ОП) с последующим построением 3-уровневой иерархической структуры (рис. 1) через мультипликативную свертку:

$$КП_{ТС} = \prod_{i=1}^n ОП_{i^{a_i}}, \quad (2)$$

где $ОП_{i^{a_i}}$ – обобщенный показатель;

a_i – весовой коэффициент;

n – количество обобщенных показателей.

Выбор мультипликативной свертки обусловлен ее чувствительно-

стью к низким значениям частных показателей: существенное ухудшение любого критического параметра будет значительно влиять на итоговую оценку, что соответствует логике оценки ТС, где выход одного элемента за пределы допустимых значений может поставить под угрозу работоспособность всей конструкции [4].

В первом приближении было выделено 4 обобщенных показателя, представленных в таблице: фактического износа ($ОП_1$), прочности ($ОП_2$), эксплуатационный ($ОП_3$) и условий эксплуатации ($ОП_4$).

Агрегирование частных показателей (ЧП) в обобщенный имеет вид:

$$ОП_{i^{a_i}} = \prod_{j=1}^m ЧП_{j^{b_j}}, \quad (3)$$

где m – количество ЧП;

$ЧП_{j^{b_j}}$ – нормированное значение ЧП X_j ;

b_j – весовой коэффициент.

Наличие весовых коэффициентов (a_i , b_j) обусловлено необходимостью корректного учета неравнозначности различных параметров при оценке. Сумма весов нормируется к 1 для достижения математической согласованности. Для

определения коэффициентов строятся матрицы парных сравнений на каждом уровне иерархии. Эксперты должны выполнить попарное сравнение элементов одной группы по шкале Саати – от 1 (равная важность) до 9 (абсолютное превосходство). При опросе нескольких специалистов выполняется усреднение матриц парных сравнений поэлементно (геометрическое среднее), после чего вычисляются усредненные веса.

Далее также в результате обсуждения строится экспертная шкала, преобразующая отношение фактического значения к проектному (или нормативному) в безразмерную оценку. Происходит это посредством шкалирования через аппроксимирующую кривую (полиномиальная не выше 3-4 степени или сплайны), что позволяет выразить мнение специалиста в виде математической формулы (рис. 2).

Полученная зависимость используется для автоматического вычисления ЧП по любым входным данным. После получения обобщенных показателей происходит аналогичная процедура расчета комплексного показателя ТС состояния корпуса судна.

Приведенная последовательность действий была апробирована на данных актов дефектации массово выпускавшегося теплохода типа «Волго-Дон» пр. 507Б (фото).

Обобщая описанные этапы, можно представить алгоритм функционирования разработанной модели как ряд следующих шагов:

1. Экспертное попарное сравнение ЧП внутри группы и расчет их весовых коэффициентов.

2. Нормирование и шкалирование ЧП с привлечением экспертных аппроксимаций.

3. Вычисление обобщенных показателей.

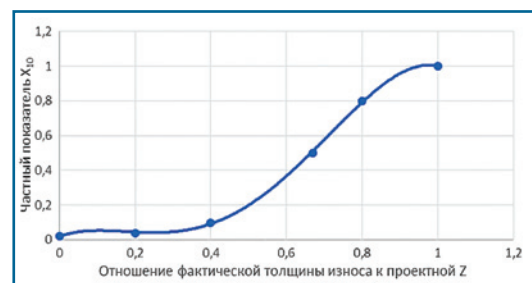


Рис. 2. Пример шкалирования частного показателя толщин скулового пояса и прилегающей к нему днищевой обшивки в выбранных сечениях

Перечень показателей

Обобщенный показатель ($ОП_i$)	Частный показатель ($ЧП_j$)
Фактического износа ($ОП_1$)	Средняя скорость изнашивания в выбранных сечениях: – скулового пояса и прилегающей к ней днищевой обшивки; – бортовой обшивки.
Прочности ($ОП_2$)	Коэффициент запаса прочности по предельному моменту
	Отношение фактических толщин скулового пояса и прилегающей к ней днищевой обшивки к значениям в выбранных сечениях: проектным и минимальным.
	Отношение фактических толщин бортовой обшивки к значениям в выбранных сечениях: проектным и минимальным.
Эксплуатационный ($ОП_3$)	Остаточный перегиб
	Переклассификация
	Наличие обновлений
Условий эксплуатации ($ОП_4$)	Интенсивность эксплуатации
	Агрессивность среды

4. Экспертное попарное сравнение обобщенных показателей и расчет их весовых коэффициентов.

5. Определение комплексного (интегрального) показателя.

6. Выявление браковочных значений (порогов безопасной эксплуатации).

Итогом реализации авторской модели являются оценка текущего эксплуатационного состояния корпуса судна и подготовка практических рекомендаций по дальнейшей эксплуатации. При этом предусмотрена возможность прогнозирования изменения ТС на заданную перспективу.

Создаваемая СППР ориентирована на сотрудников организаций, занимающихся техническим освидетельствованием флота. Кроме того, инструментарий найдет применение в работе эксплуатационных подразделений судоходных компаний и ремонтных организаций в рамках их взаимодействия с представителями Российского классификационного общества.

Основным целевым ориентиром концепции выступает обеспечение достоверной и своевременной оценки текущего ТС корпусных конструкций при ежегодных, очередных и внеочередных освидетельствованиях, а также в ситуациях, когда рассматривается вопрос о возможном продлении эксплуатационного периода.

Представленная модель является основой для компьютерной подси-

стемы поддержки принятия решений при оценке ТС корпуса водоизмещающего судна и прогнозировании его скорости износа.

Рассмотренный алгоритм не лишен очевидных недостатков, в том числе: субъективность экспертных оценок, статичность весов, трудоемкость начальной настройки, отсутствие учета синергетических эффектов и ограниченная апробация. Их устранение планируется достичь посредством использования методов из смежных областей: применение нечеткой логики, интеграция алгоритмов машинного обучения. Такое совершенствование модели является перспективным направлением исследования, которое в будущем может перерасти в создание цифрового двойника корпуса судна с двусторонней связью между расчетной моделью и данными непрерывного мониторинга.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная концепция программно-алгоритмического обеспечения СППР представляет собой методологически обоснованный инструмент для перехода от дискретных освидетельствований к полунепрерывному риск-ориентированному управлению техническим состоянием корпуса.

Несмотря на ряд обозначенных недостатков, практическая реализация подхода позволит повысить объективность экспертных реше-

Теплоход типа
«Волго-Дон» пр. 507Б



ний, сократить трудоемкость обработки данных и обеспечить обоснованное продление срока безопасной эксплуатации судов смешанного «река-море» плавания.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Сравнительный анализ правил РРР и РМРС в области освидетельствований и дефектации судов / Зяблов О.К., Науменко А.Н. // Труды форума «Великие реки-2018». – Волжский: ВГУВТ. 2. Проблемы применения систем поддержки принятия решений на речном транспорте / Платов А.Ю., Платов Ю.И. // Речной транспорт (XXI век). 2018. – № 1(85). – с. 22-24. 3. Determination of bridge health index using analytical hierarchy process / S. Wakchaure, K. Jha // Construction management and economics, 2012. – № 30(2), – р. 133-149. 4. Концепция единого целеориентированного управления судовой энергетической установкой / Соловьев А.В. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2017. – № 5(45). – с. 1027-1039.

Фото из архива редакции

УЧРЕЖДЕНИЕ: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

ТЕМА: Современное состояние и технологические проблемы процесса перегрузки сыпучих грузов (СГ) на универсальных терминалах (УТ) в морских портах России

АВТОРЫ: А.И. СОКОЛОВ, доцент кафедры судоходства на ВВП; И.А. СОКОЛОВА, к.т.н.; В.В. КАРЕТНИКОВ, д.т.н., профессор, зав. кафедрой судоходства на ВВП; В.В. СЕМЕНОВ, соискатель

УДК 656.615:621.86/87

Перевалка СГ в российских портах ведется на специализированных, универсальных и контейнерных терминалах. Устойчивые массовые потоки угля, руды, зерна и минеральных удобрений (МУ) тяготеют к спецкомплексам с крытыми складами, конвейерными линиями и системами аспирации, способными обеспечить высокую интенсивность обработки флота. Однако такие мощности отличаются значительной капиталоемкостью, и для их окупаемости необходим стабильный грузопоток.

УТ функционируют по-другому: номенклатура и размер партий непостоянны; подача вагонов и автотран-

спорта неравномерная; причалы и склады с разной продукцией используются совместно; стационарные конвейерно-складские системы имеют ограниченные возможности; должна сохраняться пригодность объекта для приема генеральных и контейнерных грузов; производительность комплекса определяется не паспортной характеристикой крана, а согласованностью всей цепочки: приемка, загрузка, накопление, подача к судну, выгрузка и возврат грузовой единицы.

Факт неоднородности подтверждается статистикой (по данным АСМТП): при общем снижении грузооборота отечественных портов в 2025 г. к 2024 г. на 0,4% (884,5

Таблица 1

Сводная статистика грузооборота морских портов в России в 2025 г.

Показатель	Значение, млн т	Изменение к 2024 г., %
Итого	884,5	-0,4
Сухие грузы, всего	441,7	-0,2
Уголь	202,9	+7,8
Минеральные удобрения	45,9	+8,0
Зерно	52,2	-31,1
Руда	15,9	+29,1
Балтийский бассейн, сухие грузы	126,8	+2,4
Большой порт Санкт-Петербург	54,6	+3,0

млн т) и почти неизменной перевалке СГ (441,7 млн т, -0,2%) фиксируется разнонаправленная динамика объемов перевалки: уголь – 202,9 млн т (+7,8 %), МУ – 45,9 млн т (+8,0%), руда – 15,9 млн т (+29,1%), зерно – 52,2 млн т (-31,1%) [1]. В целом в Балтийском бассейне было переработано 126,8 млн т сухогрузов (+2,4%), а грузооборот Большого порта Санкт-Петербург оказался на уровне 54,6 млн т (+3,0%) [1]. Сводные показатели приведены в таблице 1 и на рис. 1.

УТ являются востребованными, но вместе с тем технологически недостаточно приспособленными для перевалки «чувствительных» ресурсов – прежде всего МУ. А значит, представляется актуальным такой подход, который мог бы обеспечить быстрое приспособление предприятия к изменяющемуся составу и количеству номенклатуры. В частности, порты Санкт-Петербурга и Балтийского моря характеризуются ограниченными резервами площадей и практикой совмещения грузовых операций на одном фронте. Ведь строительство отдельного спецкомплекса под конкретный вид продукции не всегда рационально по капиталоемкости и загрузке мощностей.

Цель проводимого авторами настоящей статьи исследования – выявить технологические, организационные, инфраструктурные, экологические и экономические ограничения схем перегрузки СГ на УТ и сформулировать требования и критерии перехода к контейнерно-ориентированной технологии (КОТ).

Применяемые методы: системный анализ грузопотоков и состава перегрузочной системы, сравнение традиционных технологических схем, структурно-функциональное описание цепочки «сухопутный фронт – накопление – при-

чальный фронт – судно», оценка ограничений пропускной способности, обобщение производственного опыта применения спецконтейнеров при перевалке МУ.

Наиболее близкими по теме работы являются труды О.А. Изотова и А.В.Гультяева [3-6], посвященные контейнеризации навалочных грузов и вычислению количества тары на неспециализированном причале, где контейнер принимается за расчетную единицу подвижного состава. Однако авторами не рассмотрен вопрос систематизации ограничений терминала и структуры внутрипортовых операций.

Под СГ понимается продукция, перемещаемая насыпью, требующая учета гранулометрического состава, пылеобразования, слеживаемости, гигроскопичности и недопущения смешения партий. Основные варианты перевалки СГ описаны в таблице 2.

Спецконтейнер – многооборотная грузовая единица для загрузки, накопления, доставки и контролируемой выгрузки такой продукции; он обеспечивает наиболее высокую интенсивность обработки судов, но требует немалых инвестиций и наличие устойчивого потока, исключая использование фронта для иной номенклатуры [7].

Грейферная схема с открытым хранением остается самой распространенной на универсальных причалах благодаря доступности типового оборудования, однако при работе с гигроскопичной и пылящей продукцией обладает существенными недостатками: каждый цикл захвата и пересыпки – источник потерь, пылевыделения и риска смешения партий; открытое хранение зависит от погодных условий. Потери СГ в результате пылеуноса при грейферной перегрузке и открытом хранении



исследованы в [8, 9]: локальные укрытия и орошение снижают последствия пересыпок, но не устраняют их причину – свободного падения груза.

При прямом варианте «вагон – судно» сокращается количество операций, но требуется синхронизация процесса подачи вагонов с темпом обработки судна: перебои чреваты простоем причала и единицы флота. Складской буфер может снизить этот риск, добавив пересыпки.

КОТ рассматривает спецконтейнер как элемент системы «сухопутный фронт – накопление – причальный фронт – судно»: груз перемещается в закрытом пространстве на всем внутрипортовом цикле, открытая фаза ограничена загрузкой и контролируемой выгрузкой. Опыт применения такого подхода для МУ накоплен в порту Санкт-Петербург: груз из вагонов-

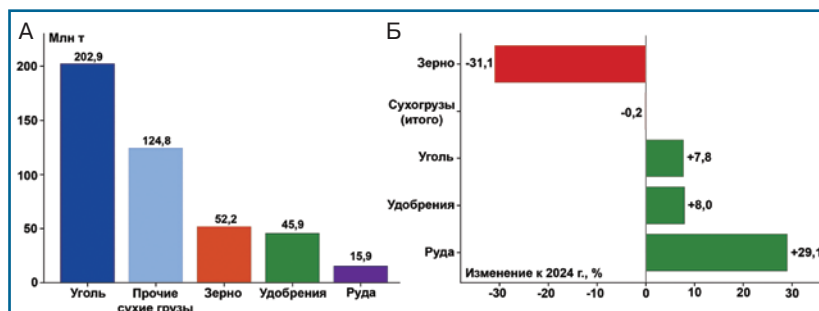


Рис. 1. Структура (А) и динамика (Б) перевалки сухогрузов в морских портах России в 2025 г.

Сравнение технологических схем перегрузки сыпучих грузов в морских портах России

Таблица 2

Технологическая схема	Используемое оборудование	Преимущества	Основные ограничения	Рациональная область применения
Специализированный конвейерный комплекс	Судопогрузочные машины непрерывного действия, конвейеры, крытые склады, аспирация	Высокая производительность и непрерывность; минимум пылевыведения	Высокая капиталоемкость; узкая специализация; окупаемость только при устойчивом потоке	Массовые стабильные потоки угля, руды, зерна, удобрений
Грейферная схема с открытым складом	Портальные краны, грейферы, открытые площадки	Типовое оборудование; невысокие затраты	Пересыпки, пылевыведение, потери; зависимость от погоды; риск смешения партий	Нерегулярные партии при невысоких требованиях к сохранности
Прямой вариант «вагон – судно»	Краны/судопогрузочные машины без склада	Минимум операций; сокращение сроков обработки	Высокие требования к синхронизации; риск простоя при перебоях	Устойчивая синхронизированная подача, короткое плечо
Контейнерно-ориентированная технология	Специализированные контейнеры, наклоняющиеся/вращающиеся спредеры, ричстакеры, тягачи	Закрытое хранение; селективность партий; совместимость со стандартным оборудованием; обратимость фронта	Доп. операции загрузки/выгрузки; нужен парк контейнеров и спецоснастки	Неравномерные, чувствительные к влаге и пыли грузы на универсальных/контейнерных терминалах

хопперов через станцию разгрузки поступает в балк-контейнеры и доставляется к причалу для наклонной выгрузки в трюм судна; раздельное штабелирование марок обеспечивает полную селективность хранения, производительность погрузки на один ход достигает 8-9 тыс. т/сут.

Практика использования контейнеров для навалочных грузов также описана в [10, 11, 12], где тара обычно рассматривается как средство межтерминальной перевозки, а не элемент внутрипортовой буферной системы. Это и определяет предметную область настоящего исследования.

Результат сравнения схем представлен в таблице 2.

Ограничения, свойственные традиционным принципам, были распределены авторами по пяти группам: инфраструктурные, технологические, организационные, экологические и экономические (рис. 2).

Методы локализации пылевыведения – укрытия, орошение, аспирация – обобщены, в частности, в [8].

Матрица «группа проблем – причина – следствие – показатель – требование» отражена в таблице 3.

На основе анализа возникающих проблем при организации перегрузки СГ на УТ можно определить взаимосвязь проблем, обусловленных применением традиционных схем механизации и предложить направления совершенствования перегрузочного процесса (рис. 2).

Важно отметить ключевое противоречие: специализированная инфраструктура обеспечивает высокую производительность, но закрепляет территорию за технологией и требует стабильного потока; универсальная – обладает маневренностью, однако традиционными средствами не позволяет сохранить груз и экологическую локализацию.

Решение видится в переходе от открытого перемещения продукции к закрытому, в многооборотной грузовой единице с помощью метода, который одновременно позволяет:

– использовать серийное оборудование универсального/контейнерного терминала без выделенной специнфраструктуры;

– сократить открытые пересыпки за счет перемещения груза в закрытой единице;

– регулировать внутрипортовый буфер, «развязывающий» сухопутный и причальный фронты при неравномерной подаче;

– поштучно подавать груз к судну с раздельным хранением марок;

– создать обратимость причального и складского фронта для иных товаров после завершения операции;

– с помощью расчетов обосновывать парк грузовых единиц, транспорта, емкости накопления и производительности оборудования.

Перечисленные требования согласуются с принципами планирования портовых мощностей [13-15] и критериями конкурентоспособности терминалов навалочных грузов, где сохран-



Рис. 2. Взаимосвязь проблем традиционных схем и направлений совершенствования перегрузочного процесса

**Матрица проблем организации перегрузки
сыпучих грузов на универсальных терминалах**

Таблица 3

Группа проблем	Причина	Производственное последствие	Измеряемый показатель	Требование к перспективному методу
Инфра-структурные	Ограниченность площадей; нет крытых складов на универсальном терминале	Экономически необоснованно строить спецкомплекс под одну номенклатуру	Доля площади терминала под сыпучий груз, %	Серийное оборудование и типовая инфраструктура без выделенной территории
Технологические	Многочисленные пересыпки при рейферной и складской обработке	Потери груза, снижение качества, риск смешения марок	Число операций свободного падения груза за цикл	Сокращение открытых пересыпок за счёт закрытой грузовой единицы
Организационные	Неравномерная, несинхронизированная подача транспорта	Простой причала или потеря темпа погрузки судна	Коэффициент неравномерности поступления груза	Регулируемый буфер, развязывающий сухопутный и причальный фронты
Экологические	Открытая выгрузка, штабелирование, рейферная перегрузка	Пылевыведение, увлажнение, загрязнение груза и среды	Число открытых точек пылевыведения	Локализация груза в герметичном объёме кроме загрузки/выгрузки
Экономические	Низкая загрузка спецмощностей при непостоянном потоке	Снижение отдачи капитала; риск незагруженности инфраструктуры	Коэффициент использования мощности по времени	Оборотный парк, обеспечивающий обратимость фронта

ность груза и гибкость технологии – ведущие факторы наряду со стивидорными расходами [16].

Структура процесса, отвечающая таким требованиям, показана на рис. 3: сухопутный фронт --> пост загрузки контейнеров --> накопление --> внутрипортовая доставка --> причальный фронт --> выгрузка в трюм --> возврат порожнего контейнера, с информационной обратной связью по наличию контейнеров, состоянию буфера и потребности причала.

Целесообразность перехода определяется, в первом приближении, соотношением объема «чувствительного» груза и общей пропускной способности терминала: $\eta = Q_c / Q_T$, где Q_c – годовой объем перевалки «чувствительного» груза, т/год; Q_T – суммарная пропускная способность терминала, т/год.

При малых и умеренных η спецкомплекс считается экономически неоправданным, а классическая открытая схема не обеспечивает сохранности и экологической локализации: эта область формирует сферу применения КОТ. Граничные значения η и вычисление парка тары требуют отдельного аппарата и составляют предмет дальнейших исследований. Дополнительным критерием выступает характер потока: устойчивый и однородный – сохраняет преимущества особых решений; неравномерный и чувствительный к качеству – предпочтителен для реализации КОТ.

В результате можно предложить следующую структуру технологического процесса по перевалке СГ на контейнерно-ориентированном терминале (рис. 3).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Грузооборот морских портов России за 2025 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-2025-god. 2. Контейнеризация перевалки навалочных грузов в морском порту / Изотов О.А., Гуляев А.В. // Системный анализ и логистика. 2017. – № 1(14). – с.21-25. 3. Оценка эффективности комплектования контейнерной площадки перегрузочным

оборудованием / Изотов О.А., Гуляев А.В. // Системный анализ и логистика. 2017. – № 2(15). – с.18-22. 4. Расчет количества контейнеров при организации перевалки навалочных грузов на неспециализированном причале / Изотов О.А., Гуляев А.В. // Системный анализ и логистика. 2017. – № 2(15). – с. 23-29. 5. Моделирование схем обработки насыпных контейнеров на морском терминале / Изотов О.А. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2025. – т. 17, № 3. – с. 331-339. 6. А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, А.П. Головцов, О.В. Соляков. Морские контейнерные перевозки. – СПб.: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2015. 7. С.Н. Сикарев. Повышение сохранности сыпучих грузов путем снижения потерь от пылеуноса при загрузке (разгрузке) судов в портах (дисс. к.т.н.) – Н.Новгород: ВГАВТ, 2008. – 137 с. 8. Н.С. Отделкин. Теоретические основы оценки потерь сыпучих грузов и защиты окружающей среды от пылеобразования при перегрузке и хранении в портах (дисс. д.т.н.) – Н.Новгород: ВГАВТ, 2009. – 344 с. 9. А. Головизнин. Возможности использования контейнеров для логистики навалочных грузов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: morproekt.ru/articles/blog/589-vozmozhnosti-ispolzovaniya-konteynerov-dlya-logistiki-navalochnykh-gruzov. 10. Utilization of containers for dry bulk handling in sea ports / A. Kuznetsov, A. Kirichenko, V. Pogodin // IOP conference series: earth and environmental science. 2018. – Vol. 194. 11. Моделирование процесса обращения контейнерных поездов в структуре сухого порта с применением технологии «блок-трейн» / Малыхин М.О., Кириченко А.В. // Транспорт Российской Федерации. 2015. – № 1(56). – с.34-36. 12. H. Agerschou. Planning and design of ports and marine terminals (2nd ed.). – London: Thomas Telford, 2004. 13. P. Alderton Port management and operations (3rd ed.). – London: Informa law from Routledge, 2018. 14. Port regionalization: towards a new phase in port development / T. Notteboom, J.-P. Rodrigue // Maritime policy & management. 2005. – Vol. 32, – № 3. – p. 297-313. 15. An evaluation of competition and selection criteria between dry bulk terminals in Izmir / G. Balci, I. Cetin, S. Esmer // Journal of transport geography. 2018. – Vol. 69. – p. 294-304. 16. Моделирование распределения грузовых пото-



Рис. 3. Структура контейнерно-ориентированного перегрузочного процесса сыпучих грузов

ков сборных партий в зоне хинтерленда морского порта / Изотов О. А. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2025. – Т. 17, №. 1. – с. 86-93. 17. Обзор отечественных и зарубеж-

/ Жендарева Е.С., Игликова Г.Ж. // Речной транспорт (XXI век). 2020. – № 4 (96). – с. 53–54.

Фото из архива редакции

УЧРЕЖДЕНИЕ: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

ТЕМА: Интегрированная оценка факторов, влияющих на построение внутригородского пассажирского водного маршрута

АВТОРЫ: В.В. КАРЕТНИКОВ, д.т.н., профессор, зав. кафедрой судоходства на ВВП; Е.А. КРТОВСКАЯ, ассистент

УДК 656.629

Процесс развития крупных городов сопровождается совершенствованием их транспортной сети (ТС). При этом включение в ее общую структуру водной коммуникации – явление исключительно редкое в нашей стране. Хотя в нынешних условиях роста мобильности населения и недостатка надлежущей инфраструктуры [1] именно внутренние речные перевозки пассажиров способны заметно улучшить положение дел [2], что обосновывает актуальность выполнения определенных исследований.

Цель проводимой авторами работы – рассмотрение существующих методов организации внутригородской ТС, оценка возможности их адаптации для построения водных маршрутов и анализ влияющих на данную процедуру обстоятельств.

В настоящее время существует несколько подходов, позволяющих выстраивать маршруты, которые учитывают ряд факторов [3] и рассчитаны на формирование наземной ТС. Один из таких принципов базируется на методических рекомендациях Минтранса России по планированию перевозок пассажиров. Он предполагает разделение маршрута на функциональные зоны [3]: селитебная (территория населенных пунктов, занятая под жилую застройку); промышленная; административно-деловая; культурно-исторических объектов; транспортно-складская; рекреационная; санитарно-защитная.

На каждом участке выявляются центры концентрации наибольшего пассажиропотока (в зависимости от наличия или отсутствия естественных преград и особенностей ландшафта, от расположения предприятий и других объектов), и на них размещаются опорные транспортные узлы. То есть этот подход опирается прежде всего на наличие и особенности инфраструктуры, которая различна в каждой зоне. Здесь предполагается формирование маршрутной сети путем последовательного соединения по кратчайшей траектории выбранных остановочных пунктов. При этом один вариант должен охватывать наибольшее число точек на маршруте.

Использование такого принципа при построении внутреннего пассажирского речного маршрута не может быть полноценным, поскольку выделенные функциональные зоны не соответствуют имеющейся топологии и существующей береговой инфраструктуре. Значит, для планирования водных перевозок необходима корректировка этого подхода.

Процедура оценки пассажиропотока становится основополагающей при формировании маршрута в методах детерминации фракталов сети и моделей, построенных с применением теории графов.

При построении схемы посредством выявления фракталов определяются центры, в которых образуются наиболее крупные пассажиропотоки

ных методических подходов к оценке эффективности работы морских портов Российской Федерации / Березин А.О. // Научно-технический сборник РМРС. 2026. – Т. 56, № 2. – с.54-67. 18. Модульный принцип проектирования транспортных систем доставки грузов на реках Сибири / Масленников С.Н., Силицын М.Г. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 4(100). – с. 49–51. 19. Оценка «внетранспортного эффекта» при организации грузораспределительного центра на базе речного порта

и с учетом этого выбираются улицы/дороги 2-4 порядков. Главным признаком здесь является наличие пересечений улицы следующего порядка с предыдущей. Маршрут прокладывается по модели «самоподобия»: вокруг центральной магистрали создается базовый паттерн, который переносится на отдаленные участки территории, где прокладывается новая сеть.

Такой принцип обладает рядом преимуществ, в том числе – высокой связанностью маршрутов и масштабируемостью: при освоении новых местностей достаточно наложить сеть по уже сформированному без необходимости внесения изменений в отработанные участки.

Однако данный способ практически неприменим в исторически сложившихся планах городов с радиально-кольцевой структурой, так как наложение фрактала в этом случае приведет к возникновению сложностей и обусловит избыточность вариантов.

Для построения речных маршрутов использование метода детерминации фракталов возможно: внутренние водные пути сами по себе могут быть определены как фракталы с некоторыми допущениями [4]; при построении водного маршрута фракталы будут иметь дендритный (ветвящийся) характер, а не гексагональный, как в случае с наземной схемой [5], что обусловлено естественной географией русла реки.

На рис. 1 показано графическое отображение такого фрактала в упрощенном виде на примере дельты р.Невы в черте г.Санкт-Петербурга.

Здесь корнем фрактала является р.Нева; первым уровнем ветвления – рукава: Большая Нева, Малая Нева, Большая Невка; вторым – реки Малая и Средняя Невка, Мойка, Фонтанка, Смоленка, Ждановка; третьим – каналы Грибоедова, Крюков и Обводный, а также реки Екатерингофка, Карповка и другие небольшие протоки.

Таким образом, русла рек формируют естественные узлы на пересечении потоков, которые могут быть учтены при выборе остановочных пунктов (причалов) и пересадочных узлов на водном маршруте. Этот фрактал отражает современное активное движение туристско-экскурсионных судов в районе Большой, Средней и Малой Невки, Большой и Малой Невы, а также Фонтанки и Мойки [4].

Метод детерминации фракталов можно считать частным прикладным случаем более общего подхода, основанного на теории графов, где вершинами графа служат узлы пересечения русел, а ребрами – участки рек между ними. Тогда принцип будет базироваться на топологических свойствах графов – на самоподобии структуры и инвариантности масштабирования.

Построение маршрута на основе лишь создания фрактала имеет свои ограничения: фрактал позволяет оценить только геометрию планируемой схемы за счет геометрии русла, но не способен оценить такие факторы, как пассажиропоток, пропускная способность, себестоимость перевозок. С помощью графовой модели допускается оценка географического расположения узлов и точек притяжения пассажиропотоков, наличия инфраструктуры и иных факторов с помощью весовых коэффициентов [6]. Но фрактал может не учитывать присутствие объектов и гидрографическую обстановку. На примере Санкт-Петербурга в маршрутную речную сеть фрактальным методом были включены малые реки и каналы, которые в реальности не все пригодны для осуществления регулярного пассажирского судоходства, а также добавлены пути, для которых не обеспечена (или отсутствует) надлежащая инфраструктура. Кроме того, модель, реализованная с помощью теории графов, позволяет прокладывать кольцевые и замкну-

тые маршруты, что невозможно с помощью ветвящегося фрактала.

Таким образом, для разработки водного внутригородского маршрута наиболее применимым представляется более общий математический метод – теория графов (весовой коэффициент нужно брать для каждого из предлагаемых ребер).

Выделим ряд ключевых факторов при формировании внутригородского маршрута, учет которых позволял бы давать взвешенную оценку ребер предполагаемого графа:

Самый важный фактор – потенциальный пассажиропоток [7]. Для его оценки применим подход [8], подразумевающий разделение на реально существующую (фиксируемую) и потенциальную (латентную) составляющие.

Реальный речной пассажиропоток возможно определить, в частности, по результатам анализа продаж билетов как на экскурсионно-туристские маршруты, так и на смежные поездки на наземном транспорте, в пересадочных узлах, благодаря исследованию мест концентрации граждан: торговые центры, объекты туризма и рекреации и т.п. На сегодняшний день такой мониторинг доступен в автоматизированном режиме с помощью инфокоммуникационных систем [9, 10].

На величину пассажиропотока влияют сопутствующие обстоятельства: близость причальной инфраструктуры, стоимость проезда и время в пути [11]. Исследования показывают, что остановочные пункты наземного транспорта должны располагаться в радиусе не более 500 м [8], но пересадочный потенциал речных причалов может быть вполне реализован, если эти остановки, станции ж/д и метро находятся в пределах 300 м. Необходимо учитывать возможность пересадки пассажиров на другие виды коммуникаций и время в пути, которое потребуются для перемещения между пунктами отправления и назначения: прямолинейный маршрут без пересадок всегда

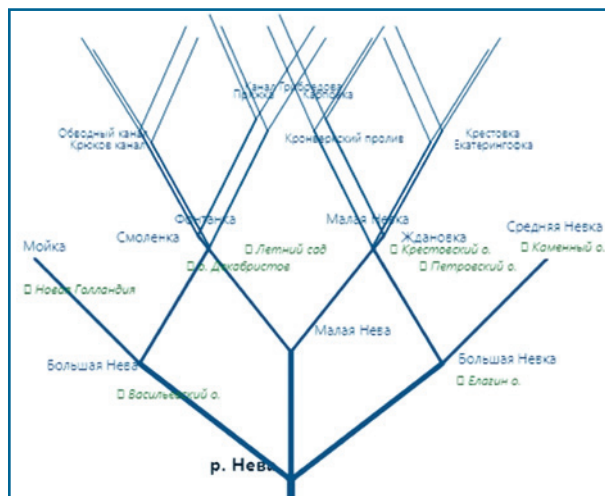


Рис. 1. Дендритный фрактал на примере дельты р.Нева в черте г.Санкт-Петербурга

будет предпочтительнее. Наземный транспорт сегодня является самым доступным по стоимости, а значит, если время в пути на аналогичном наземном маршруте будет меньше такового на планируемом водном, то выбор будет очевидным – в пользу первого.

При проектировании нового пассажирского маршрута, в частности, в Санкт-Петербурге, где водный транспорт выполняет сравнительно небольшое количество регулярных перевозок, необходимо опираться на данные о причальной инфраструктуре и ее характеристиках.

Так, у части городских причалов может пришвартоваться только одно судно, и значит, требуется учет возможного количества единиц флота, одновременно находящегося в конкретной точке. Также нужно принимать во внимание особенности стоянки, например, в два борта.

На процесс построения новой маршрутной линии оказывают влияние следующие социально-экономические факторы [12]:

- эксплуатационные затраты на рейс, включающие, в том числе, расход топлива, который снижается при движении судна по течению;

- конкурентоспособный тариф и способ его формирования (по километровой или фиксированный).

Новый речной маршрут создается с помощью теории графов в несколько этапов:

1. Указываются возможные линии от причала к причалу, по которым возможно движение пассажирского флота. Определяются остановочные пункты в соответствии с имеющейся инфраструктурой. Производится отсев ребер графа для участков пути,

не отвечающих габаритам судна.

2. Определение веса каждого ребра. Здесь для учета факторов авторы предлагают использовать интегрированный подход – эффективность маршрута оценивается как взвешенная сумма критериев. Вес каждому из них присваивается в зависимости от степени влияния и важности. Сумма весовых коэффициентов должна быть равна 1.

Эффективность маршрута рассчитывается по формуле:

$$E = \sum_{i=1}^n k_i P_i, \quad (1)$$

где P_i – безразмерный показатель i -го фактора, $[P_i \geq 0]$;

k_i – весовой коэффициент, оценивающий влияние фактора, $\sum_{i=1}^n k_i = 1$.

В таблице приведены примеры безразмерных показателей факторов, которые целесообразно учитывать при построении внутригородских пассажирских водных маршрутов.

Коэффициент «выигрыша во времени» вычисляется так:

$$P_1 = \frac{\tau'_{\Pi} + \tau'_{\text{ост}}}{\tau_{\Pi} + \tau_{\text{ост}} + \tau'_{\text{ост}}}, \quad (2)$$

где времена:

τ'_{Π} – в пути на альтернативном маршруте;

$\tau'_{\text{ост}}$ – остановки на альтернативном маршруте;

τ_{Π} – в пути на проектируемом водном маршруте;

$\tau_{\text{ш}}$ – швартовых операций;

$\tau_{\text{ост}}$ – остановки на проектируемом водном маршруте.

Если речная схема оказывается более быстрой, чем выбранная альтернативная, то коэффициент будет больше 1.

При определении оптимального по времени в пути маршрута в качестве альтернативного варианта лучше выбирать одну общую схему, чтобы полученные маршруты можно было сравнить между собой, даже если наземным транспортом добраться быстрее; тогда $P_1 < 1$.

Коэффициент загрузки рассчитывается следующим образом:

$$P_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\varphi / N)_i}{n}, \quad (3)$$

где φ – прогнозируемый пассажиропоток, который может быть определен различными методами, например, с помощью матрицы корреспонденций;

N – пассажировместимость судна;

n – количество судов, обслуживающих маршрут.

Безразмерные показатели факторов, влияющих на формирование внутригородского пассажирского водного маршрута

Фактор	Обозначение	Оценка
Выигрыш во времени	P_1	Возможность быстрее добраться до пункта назначения при сравнении водной и альтернативной схем
Загрузка (пассажироместимость)	P_2	Прогнозируемый пассажиропоток относительно пассажировместимости судна(ов) на линии
Рентабельность	P_3	Экономическая целесообразность и прибыльность
Экологичность	P_4	Отрицательный «экологический след» при эксплуатации судов на линии за счет учета выбросов вредных веществ по сравнению с нормативными показателями

При этом показатель больше 1 будет означать, что на линию необходимо вводить дополнительную единицу флота для удовлетворения имеющегося спроса.

Экономическая эффективность маршрута оценивается с помощью расчета рентабельности:

$$P_3 = \frac{\Pi}{C} = \frac{B - C}{C}, \quad (4)$$

где Π – прибыль от функционирования маршрута, продажи проездных билетов;

B – выручка;

C – полная себестоимость, расходы на реализацию.

Показатель, учитывающий «экологический след» определяется так:

$$P_4 = \frac{\frac{[CO_x]}{CO_x} + \frac{[NO_x]}{NO_x} + \frac{[PM]}{PM}}{3}, \quad (5)$$

где выбросы: CO_x – оксидов

углерода, NO_x – оксидов азота, PM – твердых частиц, серы и продуктов неполного сгорания топлива при эксплуатации судов на маршруте;

$[CO_x]$, $[NO_x]$, $[PM]$ – их нормируемые значения.

Весовые коэффициенты для каждого относительного показателя могут быть выявлены существующими методами – «экспертных оценок» или расчетно-статистическими. В настоящей статье рассматривается вариант равновесных факторов, их влияние на процесс построения нового маршрута; $k_i = 0,25$.

В качестве наглядного примера применения интегрированной оценки целесообразно рассмотреть действующий регулярный водный маршрут, реализуемый одним оператором, – от Речного вокзала (станция метро «Пролетарская») до Дворцовой набережной (музей

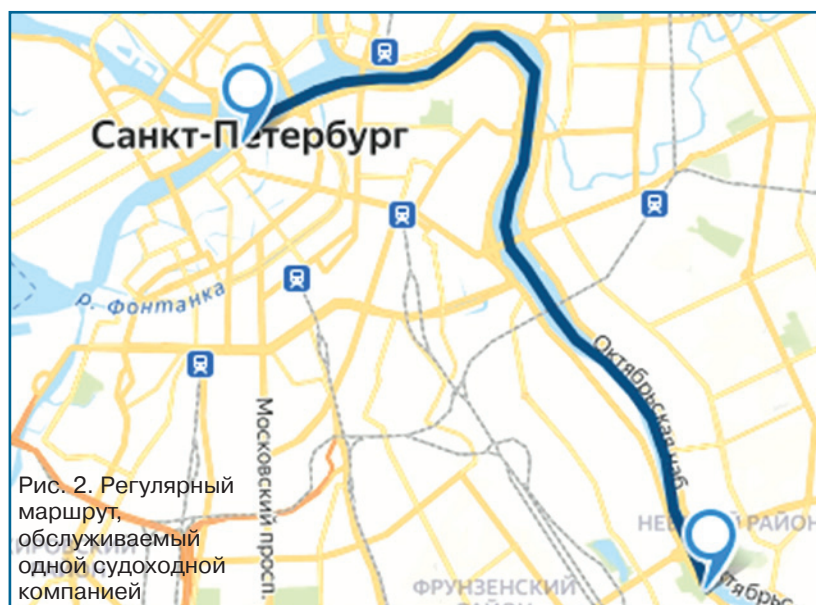


Рис. 2. Регулярный маршрут, обслуживаемый одной судоходной компанией



Теплоход пр.
«Метеор 120Р»
на Неве
в Санкт-Петербурге

«Эрмитаж»). Схема движение представлена на рис. 2.

За альтернативный принимался маршрут (рис. 3) между этими же пунктами, но построенный с учетом минимального времени в пути и предполагающий поездки на метро и/или наземном транспорте.

Согласно информации от одной судоходной компании и из открытых источников, суммарное время прохождения водного маршрута составляет 20 мин., в случае с задействованием наземных коммуникаций – не менее 41 мин.: $P_1 = 41/20 = 2,05$.

По официальным данным, отраженным на сайте оператора с сети Интернет, маршрут обслуживает судно вместимостью 130 пассажиров, в день совершается 2 рейса. По результатам реализации пилотного проекта спрос на анализируемом направлении в среднем

достигает 31 человека в день. То есть коэффициент загрузки равен: $P_2 = 0,12$.

Экономическая эффективность водных маршрутов является низкой: в среднем выручка от продажи билетов составляет 1/3 себестоимости, следовательно: $P_3 = -0,66$.

Экологическая безопасность схемы должна удовлетворять требованиям, установленным для Балтийского моря и прибрежных зон [13].

Нормируемое значение выбросов оксидов азота:

$$[NO_x] = 9 \cdot n - 0,2 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч},$$

где n – кол-во оборотов двигателя, мин.⁻¹

Массовая доля серы в составе судового топлива не должна превышать 0,1% массы топлива.

Выброс угарного газа по ГОСТ Р 51249 не может быть больше $[CO_x] = 3 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$.

Сегодня на теплоходах пр. «Метеор 120Р» устанавливаются двигатели типа MAN D2862LE483, его паспортные характеристики таковы: $NO_x = 1,8 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, $PM = 0,0067 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, $CO_x = 1,5 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$.

Значит, показатель экологической эффективности маршрута: $P_4 = 11,1$.

Эффективность варианта, определяемая с помощью введенной интегрированной оценки:

$$E = 0,25 \cdot 2,05 + 0,25 \cdot 0,12 - 0,25 \cdot 0,66 + 0,25 \cdot 11,1 = 3,15.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

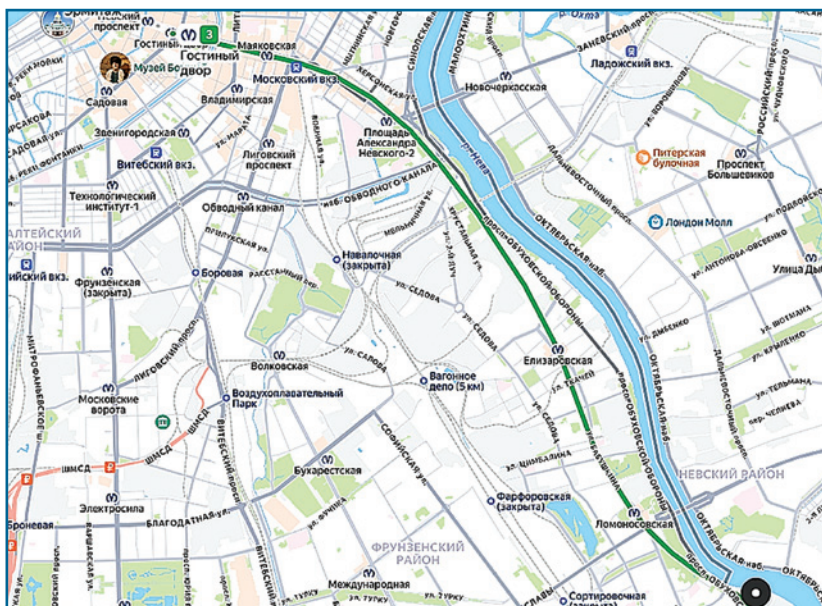


Рис. 3. Аналогичный маршрут с использованием метро и/или наземного транспорта

Подобная оценка для нескольких линий при проработке внутригородского пассажирского водного маршрута позволяет выбрать оптимальный вариант по совокупности факторов. И предпочтительной будет схема, у которой безразмерный показатель эффективности является выше.

Если при реализации проекта предполагается эксплуатация одинаковых судов с аналогичным количеством и моделями двигателей, то показатель, учитывающий экологический след, можно не принимать во внимание.

Интегрированная оценка может быть полезна как при сравнении проектируемого пассажирского внутригородского водного маршрута с уже существующими альтернативными вариантами, так и при определении целесообразности реализации конкретной схемы при выборе среди нескольких рассматриваемых. Тогда потребуется разбивка на отдельные участки (например, от одного причала до другого) и изучение каждого из них. На основе полученных данных может быть сформировано «дерево вариантов», где весом ребра будут служить значения интегрированной оценки эффективности. При этом оптимальный маршрут может быть определен классическими методами теории графов: приоритетный путь с наибольшим весом ребер – задача о самом длинном пути.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на калибровку весовых коэффициентов, поскольку в настоящей работе этому направлению не было уделено должное внимание, а также вопросам автоматизации процессов создания маршрутов с учетом описанной оценки.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Выездное совещание совета Госдумы по вопросам развития пассажирского речного транспорта // Речной транспорт (XXI век). 2023. – № 3(107). – с. 3-6.
2. Моделирование транспортных потоков мегаполиса с введением новых видов водного внутригородского пассажирского транспорта / Селиверстов С.А., Селиверстов Я.А. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2015. – № 2 (30). – с.69-80.
3. Обзор российского опыта по организации планирования развития городской маршрутной сети / М. С. Мельников, Д. Ю. Соболев // Экономика, предпринимательство и право. 2021. – Т. 11, №2. – с. 415-430.
4. Фрактальная геометрия речных сетей / Сидорчук А.Ю. // Геоморфология. 2014. – №1. – с.3-14.
5. О перспективах внедрения автоматизированной системы обеспечения движения

пассажирских судов на внутригородских транспортных маршрутах / Каретников В.В., Кротовская Е.А. // Транспортное дело России. 2026. – №1. – с. 190-193. 6. Планирование маршрутизации движения транспорта в условиях крупного города / Зубарев А.К. // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. – Т. 3, № 1. – с. 161-167. 7. Подходы к формированию эффективной маршрутной сети крупных городов / Якимов М.Р. // Вестник Уральского ГУПС. – 2022. – № 3(55). – с. 107-113. 8. Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов. Транспортное планирование: методы эффективного строительства систем крупных городов (монография. 2-е изд., перераб. и доп.). – Пермь: Агентство

РАДАР, 2022. – 536 с. 9. Современные инфокоммуникационные технологии внутреннего водного транспорта России / Сикарев А.А., Каретников В.В. // Речной транспорт (XXI век). 2009. – № 7(43). – с. 65-68. 10. Основные аспекты использования современных инфокоммуникационных технологий для обеспечения беспилотного судоходства на водном транспорте / Каретников В.В., Пашенко И.В., Зайцев А.И. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2016. – № 1(35). – с. 170-179. 11. Планирование маршрутных сетей морских круизных и паромных линий с учетом динамики изменений пассажиропотока / Майоров Н.Н. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2020. – Т. 12, № 1. – с.

7-16. 12. Стратегические альтернативы организации пассажирских перевозок с использованием внутреннего водного транспорта (на примере Нижегородской области) / Заварзин И.В. // Речной транспорт (XXI век). 2012. – № 1(55). – с. 36-39. 13. Международные и национальные стратегии декарбонизации водного транспорта: анализ мер и тенденций глобальной трансформации / Реуцкий А.С., Семионичев Д.С. // Научно-технический сборник РМРС. 2026. – Т. 56, № 1. – с. 38-60.

Фото предоставлено
компанией «Водоходъ»

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Использование альтернативных тяжелых видов топлива в судовых высокооборотных дизелях: проблемы и их решения

АВТОРЫ: И.И. ВОЛОДИН, аспирант; С.В. ТИТОВ, д.т.н., доцент, начальник Научно-исследовательской службы; Г.С. ЮР, д.т.н., профессор кафедры судовых энергетических установок

УДК 621.431.74-44

Эксплуатация судна подразумевает значительное потребление энергоресурсов, и финансовые расходы на топливо превышают 60% объема всех затрат собственника. Значит, можно сделать вывод: конкурентоспособность транспортных перевозок во многом определяется ценой на горючее. С целью получения существенной дополнительной прибыли – за счет разницы в 1,5-2 раза в стоимости на топливо – взамен дорогого дизельного дистиллятного широкого применение находит утяжеленное по фракционному составу.

Однако в последнем в огромном количестве присутствуют кокс и другие твердые и полутвердые углеводородные соединения, содержание которых может достигать до 5-10%, а в крекинг-топливах – до 18-20% и более. Наличие в горючем таких высокомолекулярных соединений ощутимо увеличивает дымность отработавших газов (ОГ) и обуславливает интенсивное нагарообразование на элементы цилиндро-поршневой группы (ЦПГ), в выпускном тракте и турбокомпрессорах. В итоге ускоряется износ деталей, возрастают расходы на ремонт и техническое обслуживание агрегатов. В дополнение к этому неполное сгорание топлива и несвоевременность подвода теплоты к рабочему телу

повышают удельный эффективный расход топлива. Особенно наглядно все перечисленные недостатки проявляются в увеличении частоты вращения коленчатого вала [1, 2].

Для разрушения высокомолекулярных соединений, асфальтенов и кокса, находящихся внутри капель тяжелого горючего, предлагается использовать паровую внутрикапельную кавитацию [3]. Процесс захлопывания паровозового пузыря сопровождается мощными гидродинамическими, кумулятивными, тепловыми и другими эффектами, обладающими значительной энергией [4]. Пороговое значение кавитационной прочности для жидкого углеводородного топлива определяется его физическими и химическими характеристиками, наличием зародышей кавитации, размером капель распыленного в камере сгорания топлива, давлением и температурой газовой среды [5].

По результатам выполненных авторами настоящей статьи теоретических и экспериментальных исследований в области кавитации были спроектированы, изготовлены, успешно испытаны с подтверждением работоспособности 3 поколения камер сгорания (КС) для высокооборотных судовых дизелей.

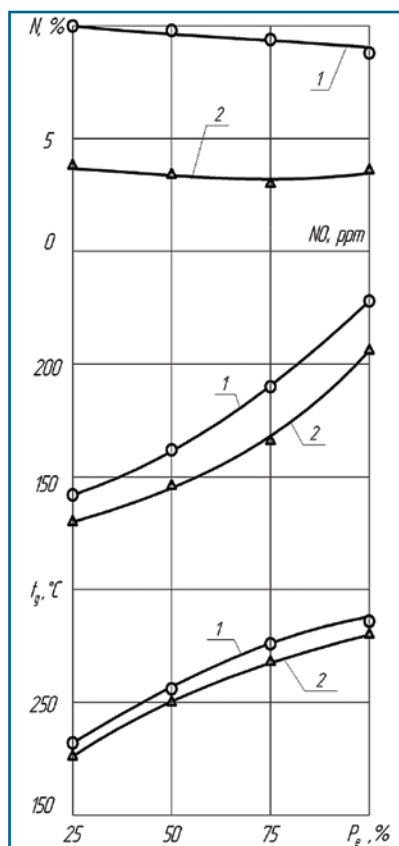
На рис. 1 приведены сравнительные нагрузочные характеристики

отсека дизеля Ч 15/18 с опытной КС третьей модификации при работе на котельном мазуте с содержанием кокса 12,1% [6].

В опытной КС реализован режим пульсационного сгорания с амплитудой, превышающей значения порога кавитационной прочности капель тяжелого топлива.

Как видно из рис. 1, в процессе внутрикапельной кавитации дымность ОГ при работе на мазуте уменьшилась в 1,5-2 раза при одновременном сокращении концентрации оксидов азота на 15-20% и понижении температуры ОГ на 5-7 °С. Сравнение индикаторных диаграмм показало: максимальное давление сгорания и скорость повышения давления по углу поворота коленчатого вала не стали больше. Удельный эффективный расход топлива не увеличился. Это свидетельствует о том факте, что энергия, затраченная на реализацию процесса внутрикапельной кавитации, компенсировалась уменьшением потерь от несвоевременности и неполноты сгорания.

В качестве одной из главных проблем, препятствующих широкому практическому использованию режима пульсационного горения в дизелях, следует выделить интенсивный износ внутренней поверхно-



сти втулки цилиндра. По высоте она истирается неравномерно, наибольшие повреждения наблюдаются в верхней части, в зоне первого компрессионного кольца.

На рис. 2 схематично показана эпюра износа внутренней стенки цилиндра дизеля 6ЧСП 15/18 [7].

Рассмотрим механизм разрушения поверхности стенки цилиндра при кавитации.

Известно, что судовые дизели интенсивно потребляют смазочное масло, например, в двигателях типа 6ЧСПН 36/45 расход составляет 6-7 г/кВт·ч [7].

На рис. 3 изображен процесс

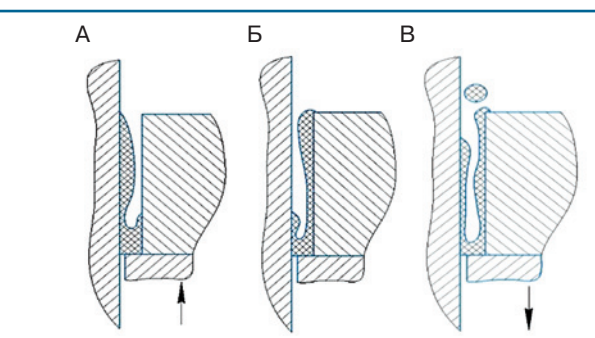


Рис. 3. Формирование капель масла, попадающего в зазор между поршнем и цилиндром [8]

Рис. 1. Нагрузочные характеристики дизеля Ч 15/18 при частоте вращения коленчатого вала 1200 об./мин.: N – дымность отработавших газов по шкале Hartridge, %; NOx – концентрация оксидов азота, ppm; tg – температура отработавших газов, °C; 1 – штатная камера сгорания типа Гессельман; 2 – опытная камера сгорания, содержащая генератор газодинамических колебаний

заброса смазочного масла из картера в КС.

Через поршневые кольца по стенкам масло нагнетается в направлении КС. С течением времени толщина масляного валика увеличивается, и происходит отрыв масла в виде отдельных капель (рис. 3В). Другая часть масла растекается по стенке цилиндра в виде тонкой пленки. При износе деталей ЦПГ, с увеличением зазора между поршнем и цилиндром, усиливается поток масла в КС и повышается его расход на угар.

В пленке и в каплях масла присутствуют мельчайшие парогазовые пузырьки и различные примеси, которые являются зародышами кавитации. При резких колебаниях давления, возникающих в ходе пульсационного сгорания, внутри пленки и капли масла формируется кумулятивная струя [10].

На рис. 4 приведен вид капли масла с кумулятивной струей, направленной к стенке.

Струя жидкости при ударе о поверхность чугуна разрушает графит и кристаллическую решетку. Отслоившиеся от поверхности твердые частицы являются основной причиной интенсивного абразивного износа поверхности втулки цилиндра. При пиролизе масла происходит его газификация, и образуется водород в трех формах: молекулярный, ионы и атомарный. Он разрушает границы зерен металла.

При наводороживании металла электронный потенциал смещается в отрицательную сторону. Это снижает коррозионную стойкость и усиливает процесс коррозии чугуна [11]. Интенсивный износ поверхности при кавитации протекает в форсированном режиме обкатки судовых дизелей [12].

Для уменьшения износа внутренней поверхности цилиндрических втулок высокофорсированных дизелей на практике применяются следующие способы:

1. Зеркало чугунных и стальных втулок покрывают пористым хро-

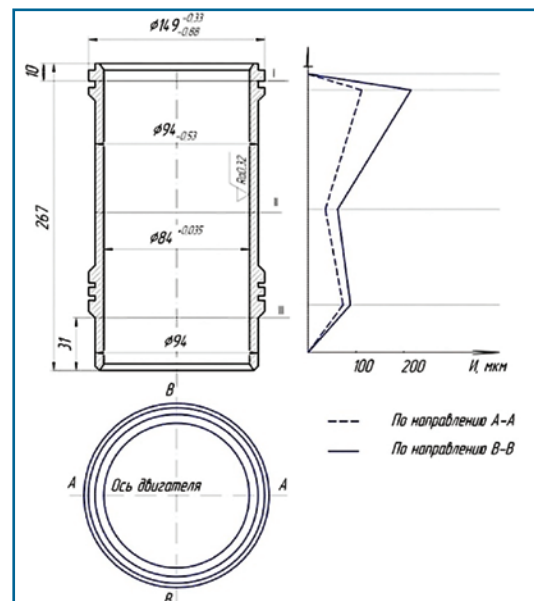


Рис. 2. Эпюра износа стенки цилиндра дизеля

мом. Скорость износа таких поверхностей уменьшается примерно в 2 раза.

2. Упрочнение поверхностей деталей, изготовленных из железо-углеродистых сплавов, осуществляют лазерно-плазменной обработкой. При взаимодействии луча лазера с поверхностью происходит выжигание графита и закалка металлической поверхности [12].

3. В дизелях компаний «WARTSILA» 6L20 и «CUMMINS» в верхней части чугунной втулки вставляют стальное противоизносное кольцо (рис. 5). В технической литературе его часто называют «антиполировочным». Оно значительно уменьшает абразивное изнашивание и увеличивает срок эксплуатации дизелей [14].

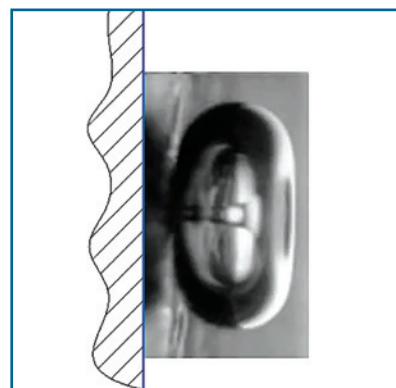


Рис. 4. Формирование кумулятивной струи в капле масла, находящейся около стенки цилиндра [9]



Рис. 5. Вид противоизносного (антиполировочного) кольца

Численное исследование процесса разрушения поверхности металла при кавитации авторы выполняли с помощью инструментария «Ansys Autodyn» [15]. Он позволяет рассчитывать и сравнивать скорость разрушения различных материалов при воздействии кумулятивной масляной струи.

Исследования проводились для чугуна, стали и условного металлического сплава SVP-1, в котором отсутствовали кристаллическая решетка и графит.

Как показали вычисления, чугун разрушается быстрее в 3,5 раза, сталь – в 2,2 раза, по сравнению с условным расчетным сплавом SVP-1.

Для подтверждения достоверности полученных результатов авторы планируют изготовить несколько опытных образцов металлического сплава, определить их физико-химические характеристики

и осуществить экспериментальные исследования скорости разрушения поверхностей при кавитации.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. И.В. Возницкий. Практика использования Морских топлив на судах. – СПб.: 2008. – 123 с.
2. Ю.А. Пахомов, Ю.П. Коробков, Е.В. Дмитриевский, Г.Л. Васильев. Топливо и топливные системы судовых дизелей. – М.: Р. Консульт. – 2004. – 496 с.
3. Технология интенсификации процесса сгорания тяжелого топлива в дизелях / Юр Г.С. // Двигателестроение. 2014. – № 3 – с. 12-15.
4. М.А. Маргулис. Звукохимические реакции и сонолюминисценция – М.: Химия, 1986. – 288 с.
5. Численное исследование процесса обдува взвешенных капель топлива в осциллирующей среде / Дмитриев А.С., Андрищенко С.П., Сибриков Д.А., Титов С.В., Юр Г.С. // Речной транспорт (XXI век). 2016. – № 4 (80). – с. 49–52.
6. Осуществление режима пульсационного горения топлива в камере сгорания дизеля / Юр Г.С. // Морские интеллектуальные технологии. 2018. – № 4(42), Т.4. – с. 129-132.
7. А.О. Токарев, И.Г. Мироненко. Отказы деталей машин. Анализ причин, техническая диагностика и профилактика (учебник). – Изд. «Инфра-Инженерия». 2020. – 215 с.
8. Б.О. Лебедев. Теоретические основы процесса угара масла в дизелях и разработка мероприятий по его сокращению. – Новосибирск: Изд-во НГБВТ, 1998. – 167 с.

9. Движение масла в камеру сгорания поршневого двигателя / Кузнецов Г.К., Дудко П.П. // Двигателестроение, 1963, № 4, – с. 24-26.
10. Acoustic cavitation: the fluid dynamics of non-spherical bubbles / J. Blake, G. Keen, R. Tong, M. Wilson // Philosophical transactions of the royal society of London: mathematical, physical and engineering sciences. 1999. – Vol. 357, № 1751. – p. 251-267.
11. Анализ причин износа внутренней поверхности втулок цилиндра судовых дизелей / Володин И.И., Юр Г.С. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2025. – № 3. – с. 105-107.
12. В.А. Владимиров, Н.Е. Гриншпун. Обкатка судовых дизелей. – М.: Транспорт. 1982. – 159 с.
13. Упрочнение поверхности деталей из железо-углеродистых сплавов лазерно-плазменной обработкой / Токарев А.О., Макагон Л.Д. // Мат. нац. науч.-практ. конф. «Водный транспорт – перспективы повышения конкурентоспособности». – Новосибирск: СГУВТ, 2019. – с. 117-120.
14. Pounder's marine diesel engines and gas turbines eighth. Edition by Doug Wood. yard. – Elsevier Ltd. 2004 – 884 p.
15. Ansys Autodyn [Электронный ресурс]: Математическая модель уравнения JWL, 2020. – Режим доступа: ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v202/en/exd_ag/ds_ex_mat_jwleos.html%23ds_ex_mat_jwleos.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Исследование хладостойкости сварных соединений

АВТОРЫ: М.Г. МЕНЗИЛОВА, к.т.н., доцент; О.Ю. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доцент; Н.Е. ШТЫКИН, обучающийся группы КМ-25 1; К.Д. НОСЫРЕВ, обучающийся группы КМ-25 1

УДК 629.122

В последнее время наблюдается активное развитие судоходства по Северному морскому пути и, как следствие, по впадающим в него рекам Сибири (в том числе, Оби, Енисею и Лене). Здесь флот эксплуатируется в суровых климатических условиях – длительная зима, вечная мерзлота и экстремально низкие температуры. Все это определяет специфический ледовый режим.

Как известно, металл и сварные швы на морозе становятся хрупкими, теряют пластичность, что при ледовых нагрузках или ударах чревато образованием сквозных трещин в корпусе, его разрушением и даже гибелью судна [3]. Значит, актуальной темой для исследования представляется проверка сварных швов на хладостойкость.

В связи с этим сотрудники кафедры «Теория корабля, судостроение и технологии материалов» СГУВТ провели соответствующие лабораторные эксперименты – испытания образцов размером 80х200 мм из стали СтЗСП

(рис. 1), сваренных стальной проволокой без омеднения и с медным покрытием.

Данная проволока предназначена для автоматической и полуавтоматической сварки/наплавки в среде углекислого газа (CO_2) или аргонно-углекислотных смесей ($\text{Ar}+\text{CO}_2$). Обе марки обладают высокими эксплуатационными свойствами и применяются для соединения углеродистых и низ-

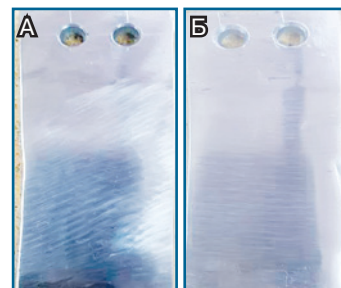


Рис. 1. Экспериментальные образцы, сваренные стальной проволокой без омеднения (А) и с медным покрытием (Б)

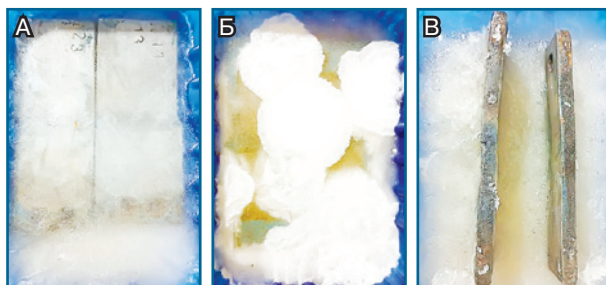


Рис. 2. Заморозка экспериментальных образцов: полное погружение в пресную (А) и морскую (Б) воду, а также частичное погружение в морскую воду (В)

колегируемых сталей (с пределом текучести ≤ 500 МПа), включая судостроительные стали нормальной

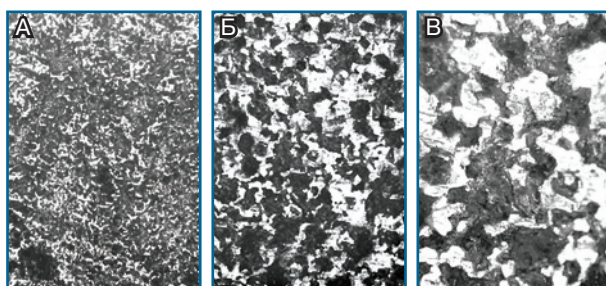


Рис. 4. Поверхность экспериментального образца до заморозки в пресной воде (сварное соединение сварочной проволоки без омеднения), с увеличением: А – x50; Б – x200; В – x500

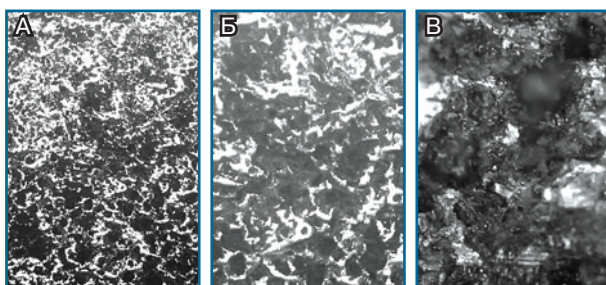


Рис. 6. Поверхность экспериментального образца до заморозки в пресной воде (сварное соединение с проволокой с медным покрытием), с увеличением: А – x50; Б – x200; В – x500

и повышенной прочности. Проволока подходит для однопроходной и многопроходной сварки, а также для выполнения швов в любых пространственных положениях [4].

Перед проведением экспериментов поверхность всех образцов анализировалась с помощью оптического микроскопа «Микромед Полар 1»,

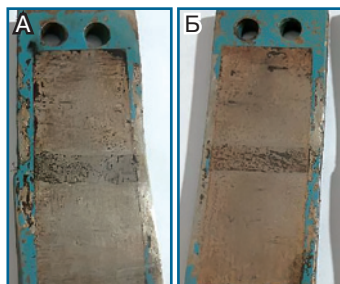


Рис. 8. Экспериментальные образцы, сваренные проволокой и замороженные в морской воде: А – без омеднения; Б – с медным покрытием

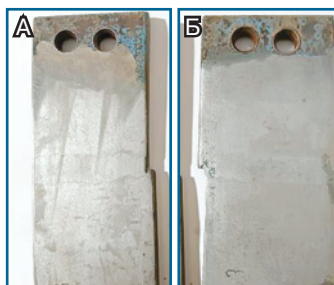


Рис. 3. Экспериментальные образцы, сваренные проволокой и замороженные в пресной воде: А – без омеднения; Б – с медным покрытием

обеспечивающего увеличение в диапазоне от 50 до 500 крат. Каждая заготовка помещалась в центр предметного стекла, фиксировалась и изучалась при трех настройках: x50, x200, x500.

Было создано 3 партии образцов, по 2 ед. в каждой – со сварным соединением проволокой без омеднения и с медным покрытием. Все заготовки подвергались

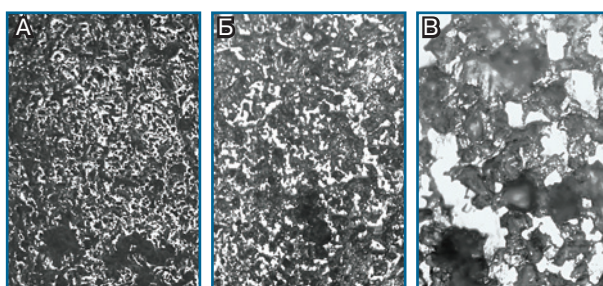


Рис. 5. Поверхность экспериментального образца, замороженного в пресной воде (сварное соединение с проволокой без омеднения), с увеличением: А – x50; Б – x200; В – x500

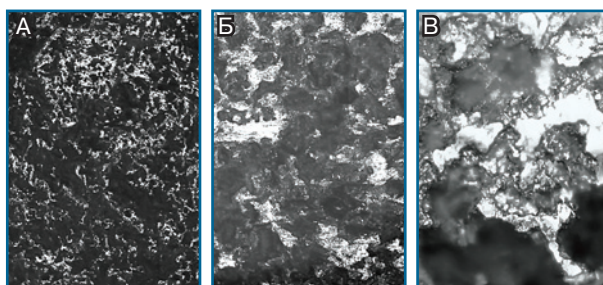


Рис. 7. Поверхность экспериментального образца, замороженного в пресной воде (сварное соединение с проволокой с медным покрытием), с увеличением: А – x50; Б – x200; В – x500

заморозке в морозильной камере при температуре

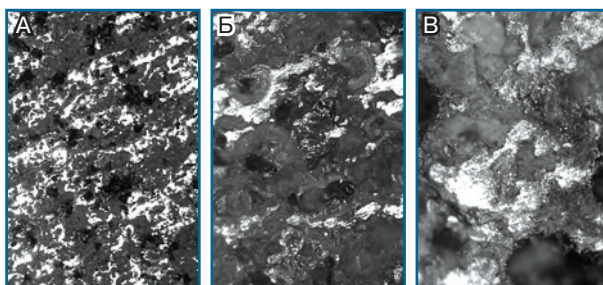


Рис. 9. Поверхность экспериментального образца до заморозки в морской воде (сварное соединение с проволокой без омеднения), с увеличением: А – x50; Б – x200; В – x500

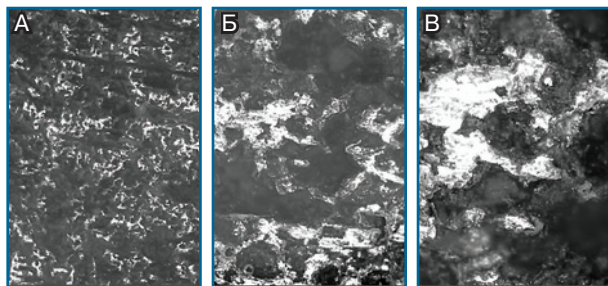


Рис. 10. Поверхность экспериментального образца, замороженного в морской воде (сварное соединение с проволокой без омеднения), с увеличением: А – х50; Б – х200; В – х500

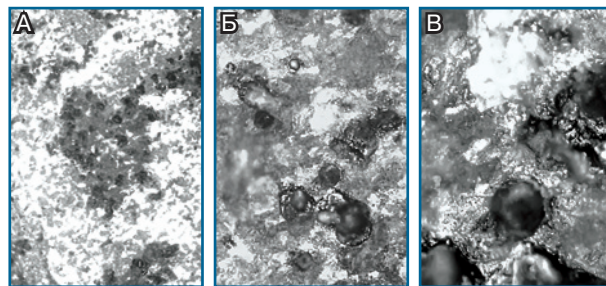


Рис. 11. Поверхность экспериментального образца до заморозки в морской воде (сварное соединение с проволокой с медным покрытием), с увеличением: А – х50; Б – х200; В – х500

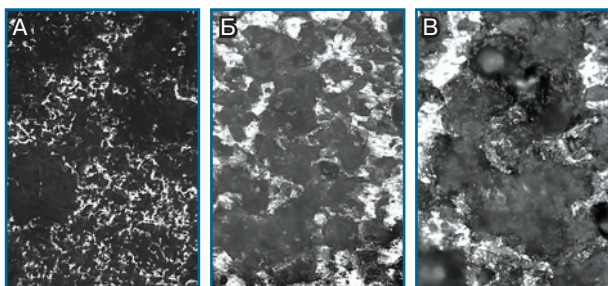


Рис. 12. Поверхность экспериментального образца, замороженного в морской воде (сварное соединение с проволокой с медным покрытием), с увеличением: А – х50; Б – х200; В – х500

-24°C и выдерживались там в течение 6 месяцев (имитация периода зимовки судна) с полным и частичным погружением в морскую, а также в пресную воду (рис.

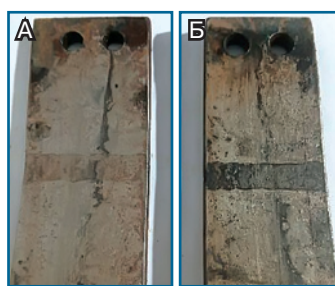


Рис. 13. Экспериментальные образцы, сваренные проволокой и частично погруженные в морскую воду: А – без омеднения; Б – с медным покрытием

2).

На рис. 3 показаны заготовки, замороженные в пресной воде на 6 месяцев; на рис. 4 и 5 – поверхности образцов, сваренных проволокой без омеднения с увеличением х50, х200, х500, до и после заморозки соответственно; на рис. 6 и 7 – сваренных проволокой с медным покрытием, с увеличением х50, х200, х500, до и после заморозки.

На рис. 8 представлены образцы, замороженные в

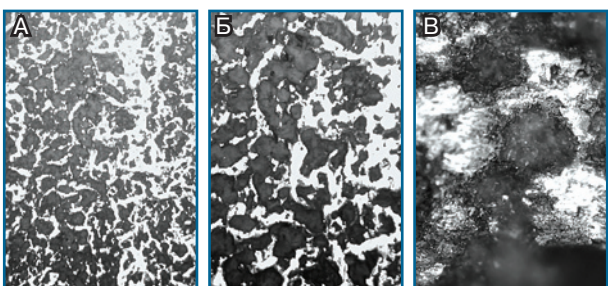


Рис. 14. Поверхность экспериментального образца, частично погруженного в морскую воду до заморозки (сварное соединение с проволокой без омеднения), с увеличением: А – х50; Б – х200; В – х500

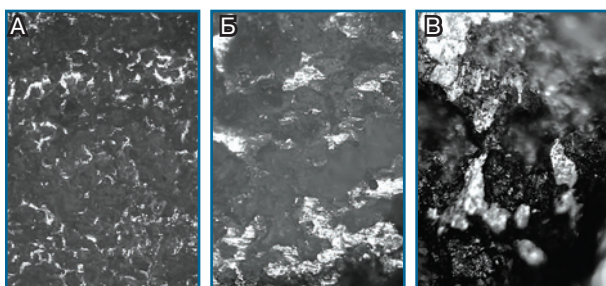


Рис. 15. Поверхность экспериментального образца, частично погруженного в морскую воду после заморозки (сварное соединение с проволокой без омеднения), с увеличением: А – х50; Б – х200; В – х500

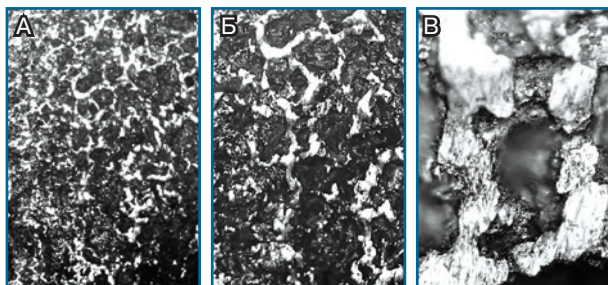


Рис. 16. Поверхность экспериментального образца, частично погруженного в морскую воду до заморозки (сварное соединение с проволокой с медным покрытием), с увеличением: А – х50; Б – х200; В – х500

морской воде на 6 месяцев; на рис. 9 и 10 – поверхности заготовок, сваренных проволокой без омеднения, с увеличением х50, х200, х500, до и после заморозки соответственно; на рис. 11 и 12 – сваренных проволокой с медным покрытием, с увеличением х50, х200, х500, до и после заморозки.

На рис. 13 показаны образцы, частично погруженные в морскую воду после 6-месячной заморозки; на рис. 14 и 15 – поверхности заготовок, сваренных проволокой без омеднения, с увеличением х50, х200, х500, до и после заморозки соответственно; на рис. 16 и 17 – сваренных проволокой с медным покрытием, с увеличением х50, х200, х500, до и после заморозки.

На следующем этапе осуществлялось исследование хладостойкости сварных соединений на лабораторной

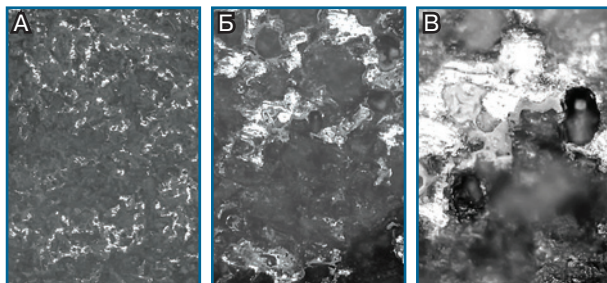


Рис. 17. Поверхность экспериментального образца, частично погруженного в морскую воду после заморозки (сварное соединение с проволокой с медным покрытием), с увеличением: А – $\times 50$; Б – $\times 200$; В – $\times 500$

установке (рис. 18), состоящей из станины 1, имеющей два соосных кронштейна, через которые пропущен шток 2. На штоке свободно надет груз 3, поднимающийся посредством поворота улитки 4. На нижнем конце штока укреплен боек 5 со сменным индентором 6 – шариком диаметром 10 мм, изготовленным из твердого сплава.

При повороте улитки 4 груз поднимался на высоту 0,5 м, затем срывался с улитки и свободно падал.

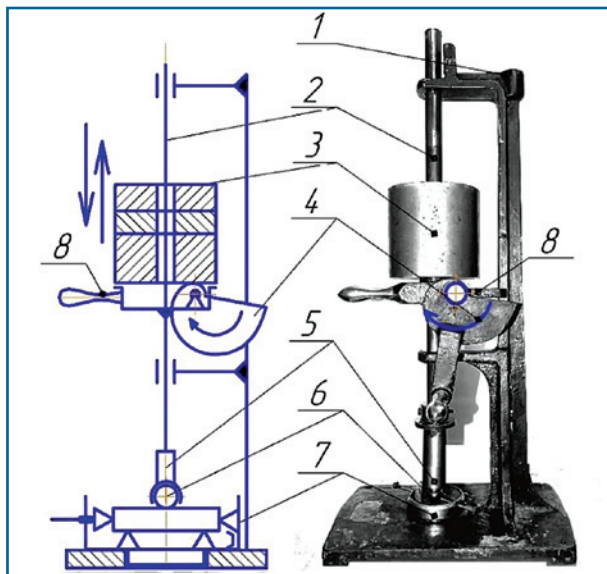


Рис. 18. Внешний вид лабораторной установки: 1 – станина; 2 – шток; 3 – грузы; 4 – улитка; 5 – боек; 6 – сменный индентор; 7 – узел крепления образца; 8 – ручка подъемника

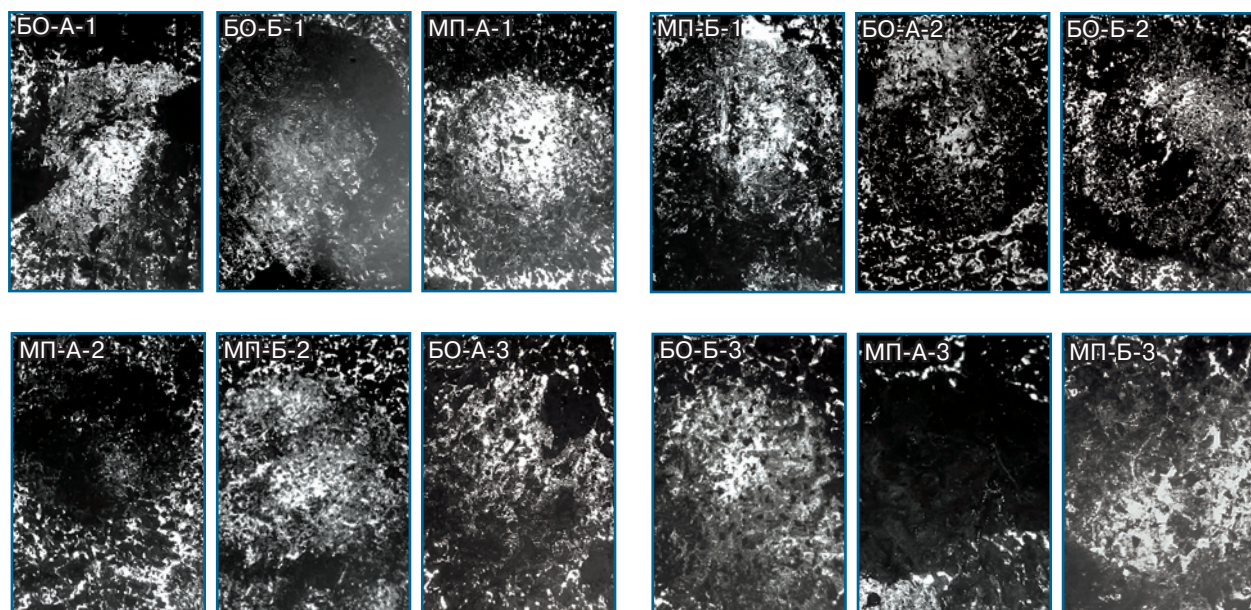


Рис. 19. Внешний вид образцов (БО – сварочная проволока без омеднения; МП – с медным покрытием) после ударного воздействия: А – 1 удар; Б – 10 ударов; 1 – заморозка в пресной воде; 2 – заморозка в морской воде; 3 – частичная заморозка в морской воде

Импульс усилия, создававшийся при этом, передавался через подъемник с ручкой 8 на боек. Подъемник необходим для поднятия штока с грузом при установке и съеме узла крепления испытуемого образца 7, при оценке полученных образцом повреждений [5].

Масса свободно падающего груза составляла 3,3 кг, высота сбрасывания – 50 см.

Ударные воздействия на испытываемые образцы про-

изводились 1 (рис. 19А) и 10 раз (рис. 19Б). Поверхность всех заготовок после ударно-цикли-

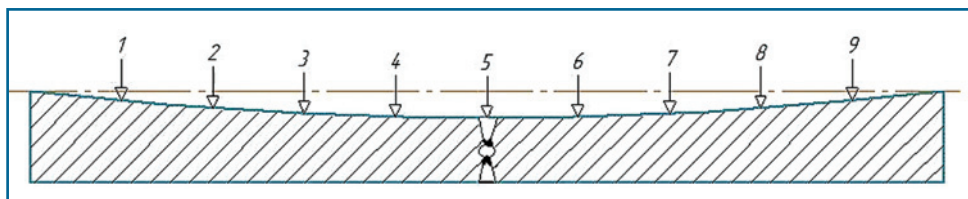


Рис. 20. Места измерения стрелки прогиба образцов

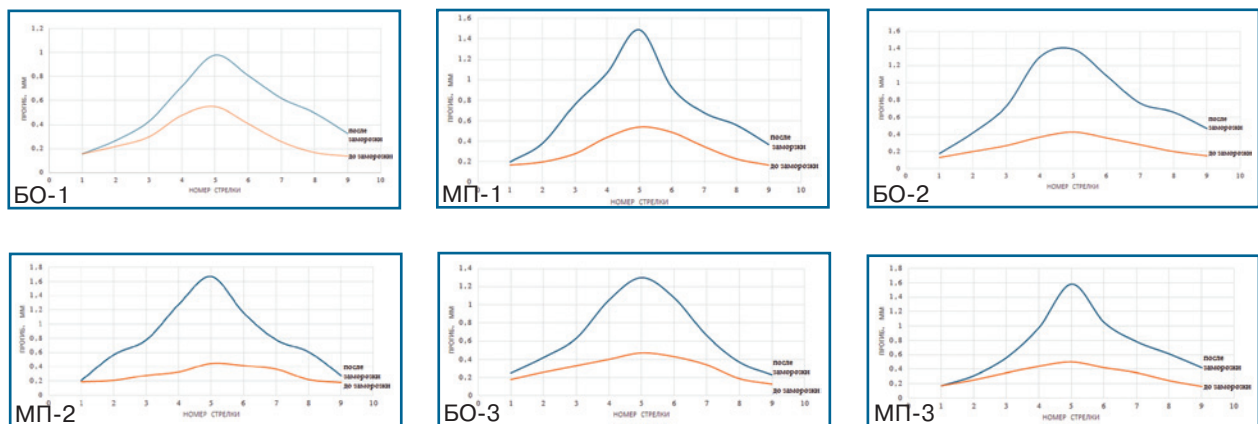


Рис. 21. Стрелки прогиба образцов без омеднения (БО) и с медным покрытием (МП) до («красное») и после («синее») заморозки: 1 – в пресной воде; 2 – в морской воде; 3 – частичной в морской воде

Стрелки прогиба образцов до (таблица 1) и после (таблица 2) заморозки

Проволока	Значения стрелок прогиба образцов, мм								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Заморозка в пресной воде									
БО	0,16	0,22	0,30	0,48	0,55	0,41	0,36	0,17	0,14
МП	0,17	0,20	0,28	0,44	0,54	0,49	0,35	0,23	0,17
Заморозка в морской воде									
БО	0,13	0,23	0,27	0,31	0,43	0,36	0,28	0,20	0,15
МП	0,19	0,21	0,28	0,33	0,45	0,42	0,37	0,22	0,18
Частичная заморозка в морской воде									
БО	0,18	0,16	0,25	0,31	0,47	0,43	0,34	0,19	0,13
МП	0,17	0,25	0,31	0,44	0,50	0,39	0,35	0,24	0,16

Проволока	Значения стрелок прогиба образцов, мм								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Заморозка в пресной воде									
БО	0,16	0,27	0,43	0,72	0,98	0,81	0,62	0,50	0,33
МП	0,20	0,38	0,76	1,07	1,49	0,93	0,68	0,56	0,37
Заморозка в морской воде									
БО	0,18	0,42	0,63	1,30	1,39	1,08	0,76	0,66	0,47
МП	0,21	0,57	0,78	1,28	1,67	1,16	0,78	0,61	0,28
Частичная заморозка в морской воде									
БО	0,25	0,42	0,63	1,05	1,30	1,08	0,66	0,37	0,23
МП	0,17	0,31	0,56	0,98	1,58	1,05	0,78	0,61	0,42

ского воздействия исследовалась под микроскопом с увеличением х50.

У всех образцов после 6-месячной заморозки значительно увеличилась стрелка прогиба (рис. 20).

В таблицу 1 сведены значения стрелок прогиба образцов до проведения экспериментов, в таблицу 2 – после 6-месячной заморозки.

На рис. 21 показаны результаты измерений стрелок прогиба заготовок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее существенное влияние на прочность сварного шва оказывают конструкционные материалы, применяемые при сварке корпуса судна. Низкие температуры (ледовая нагрузка) создают дополнительные концентраторы напряжений в сварном шве и околошовном пространстве. Применительно к судам, важнейшей особенностью сталей является наличие серьезного изменения их механических свойств (вязко-хрупкого перехода) при пониженных температурах и, как следствие, возможность появления хрупких разрушений [6].

По результатам выполненного исследования можно сделать вывод: при использовании сварочной проволоки без наружного омеднения концентрация напряжений

в околошовной зоне и в сварном шве меньше, чем в случае с наружным медным покрытием. Это обусловлено разной температурной расширяемостью корпуса судна и применяемыми сварочными материалами.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Правила Российского классификационного общества. Часть 10. Материалы и сварка. – М., 2015. – 437 с.
2. ГОСТ 9454-78. Метод испытаний на ударный изгиб при пониженных, комнатной и повышенных температурах.
3. Исследование коррозионной стойкости сталей к воздействию морской воды / Худякова Л.П., Флегентов И.А., Харисов Р.А., Жевелев О.Ю., Шестаков А.А., Фархетдинов И.Р. // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2020. – № 4(126). – с. 88-98.
4. Исследование применимости сварных штевней взамен литых на ледоколах и судах ледового плавания / Крыжович Г.Б., А.А. Петров // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2017. – Т. 9, № 1. – с. 132-142.
5. Экспериментальные исследования ледостойких и противоборающихся покрытий к ударно-циклическому воздействию / Мензилова М.Г., Лебедев О.Ю., Токарев А.О. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2024. – № 1. – с. 5-11.
6. Исследование коррозионной стойкости сварных соединений к воздействию агрессивной среды / Лебедев О.Ю., Мензилова М.Г., Титов С.В., Березовский И.А. // Речной транспорт (XXI век). 2025. – № 2(114). – с. 54-57.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Сравнительный анализ эффективности применения альтернативных видов топлива в главных судовых дизелях для обеспечения экологической безопасности и энергоэффективности

АВТОРЫ: С.М. ИСТОМИН, аспирант; В.С. ГУСАКОВ, аспирант; Д.С. ТЕЛЬЦОВ, ассистент; С.П. АНДРЮЩЕНКО, к.т.н., доцент, зав.кафедрой; Д.А. СИБРИКОВ, к.т.н., доцент; О.Б. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доцент; Б.О. ЛЕБЕДЕВ, д.т.н., профессор; кафедра «Судовые энергетические установки»

УДК: 662.6/.9

Кнастоящему моменту судовладельцы по всему миру столкнулись с тройственным кризисом: волатильность цен на традиционное нефтяное топливо, исчерпание легкодоступных запасов нефти и беспрецедентное ужесточение экологических стандартов. Последнее связано с принятием в 2023 г. Международной морской организацией (ИМО) Стратегии по сокращению выбросов парниковых газов, предусматривающей «в районе или около 2050 г.» достижение чистого нулевого уровня. Значит, требуется не просто эволюционное развитие существующих технологий, а революционный переход на новые энергоносители [6].

При этом необходимо устранять противоречие – между высоким декларируемым экологическим потенциалом альтернативных видов топлива (АТ) и неопределенностью их влияния на параметры рабочего процесса, топливную экономичность и надежность главных судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС). Данным обстоятельством и обусловлена актуальность темы проводимого авторами исследования. Ведь эксплуатация дизеля на топливе с непривычными физико-химическими свойствами (низкое цетановое число (ЦЧ), малая вязкость, фазовая нестабильность, пониженная смазывающая способность) влечет за собой риски нарушения процесса топливоподачи, ухудшение кавитационной стойкости плунжерных пар и изменение динамики сгорания [1 и 3].

Целью настоящей статьи является систематизация и сравнительный анализ известных из научной литературы сведений о влиянии различных АТ (сжиженный природный газ (СПГ), спиртотопливные эмульсии, биотопливо, пиролизное топливо, водород) на эксплуатационные и экологические характеристики главных судовых дизелей.

Соответственно, нужно решить ряд задач:

1. Провести компаративный анализ физико-химических свойств перспективных АТ применительно к условиям их использования в судовых дизелях.
2. Выявить закономерности влияния АТ на показатели рабочего процесса (давление, температура, скорость сгорания) и топливную экономичность.
3. Обобщить известные конструкторско-технологические решения по адаптации топливных систем СДВС для работы на АТ.
4. Оценить экологическую эффективность применения различных АТ для снижения выбросов: NO_x , SO_x , твердых частиц и CO_2 .

Степень изученности обозначенной проблемы следует признать высокой, но фрагментарной. Фундаментальные

основы работы дизелей на газах и спиртах изложены в трудах российских ученых, таких как В.Р. Ведрученко и А.В. Штиб. Среди современных зарубежных исследований выделяются труды по применению биотоплива и аммиака, опубликованные в материалах SPE и других международных обществ. Активно развивается направление двухтопливных (dual-fuel) двигателей, что подтверждается инженерными решениями компании «Caterpillar» (серия M 34 DF) и успешными испытаниями водородных модификаций фирмы «Newlight». Однако комплексных работ, сравнивающих все основные направления (от СПГ до водорода) в единой системе «топливо – рабочий процесс – экология – надежность», в открытой печати представлено недостаточно [1, 6, 2, 5].

Теоретическую базу исследования составили научные труды в области дизелестроения, химмотологии и теплотехники, а также нормативные документы ИМО.

Методологическая основа работы базируется на общенаучных и специальных методах познания:

- системный анализ использован для рассмотрения судовой энергетической установки (СЭУ) как единого комплекса, где выбор топлива влияет на взаимосвязанные подсистемы (топливоподготовку, топливоподачу, газообмен, утилизацию тепла);
- метод сравнительного анализа позволил сопоставить разрозненные экспериментальные данные различных авторов по теплотворной способности, ЦЧ и эмиссионным характеристикам АТ;
- метод классификации применен для структурирования АТ по агрегатному состоянию, происхождению и способу применения в дизеле;
- анализ научных статей (в том числе из журналов перечня ВАК Минобрнауки России), патентов и материалов отраслевых конференций за период 2018-2025 годов позволил выявить современные тенденции.

Пригодность топлива для использования в главном судовом дизеле определяется совокупностью физико-химических свойств, среди которых важнейшими являются ЦЧ, низшая теплота сгорания (НТС), вязкость, смазывающая способность и температура вспышки.

В таблице 1 представлен сравнительный анализ этих свойств на основе информации из [1, 3, 6].

Анализ показывает, что ни один из видов АТ не является идеальным заменителем (то есть готовым к использованию без модификации двигателя). Наибольшие сложности ожидают судовых механиков при работе с низкоцетановым горючем (спирты, газ). Низкое ЦЧ метанола и этанола удлиняет период задержки воспламенения, что приводит к жесткой работе дизеля и росту динамических нагрузок. Здесь возможно применение

Таблица 1

**Сравнительная характеристика свойств традиционных
и альтернативных видов топлива**

Показатель	Дизтопливо (эталон)	СПГ (метан)	Метанол	Этанол	Биодизель	Водород
Агрегатное состояние при 20°C	Жидкость	Сжатый/сжиж. газ	Жидкость	Жидкость	Жидкость	Сжатый/сжиж. газ
Цетановое число	40-55	~0 (метановое число ~80)	3-5	8-10	45-65	-
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	42,5	50,0 (на 1 кг)	19,9	26,8	37,5	120,0
Низшая теплота сгорания, кДж/м ³	~36 000	~23000 (жидк.)	15 800	21 400	~34 000	10800 (жидк.)
Смазывающая способность	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая	Высокая	Очень низкая
Температура вспышки, °C	>60	-188	11	13	>120	-253

запального дизельного топлива (в двухтопливных схемах) или использование цетаноповышающих присадок [3].

ВЛИЯНИЕ АТ НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС И ТОПЛИВНУЮ АППАРАТУРУ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ИМО

1. Сжиженный природный газ (СПГ)

Как отмечает В.А. Сорокин, на ближайшую перспективу СПГ является доминирующим АТ. Перевод СДВС на газодизельный цикл (с воспламенением от запальной порции дизтоплива) или на газовый (с искровым зажиганием) требует серьезной модернизации.

Основные закономерности рабочего процесса:

- высокое метановое число обеспечивает детонационную стойкость, но требует увеличения степени сжатия;
- отсутствие серы в СПГ кардинально снижает выбросы SO_x и твердых частиц;
- ухудшение смазывающей способности, что требует применения специальных присадок или использования микропримесей масла для защиты плунжерных пар [2, 9].

2. Спиртотопливные эмульсии

Применение метанола и этанола в виде эмульсий с дизельным топливом является менее затратным способом снижения токсичности без глубокой переделки двигателя.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что добавка спиртов (до 20-30%) приводит к следующим результатам:

- снижение дымности ОГ, поскольку спирты содержат кислород и способствуют более полному сгоранию;
- рост удельного эффективного расхода топлива, обусловленный меньшей теплотой сгорания смеси;
- проблемы стабильности: эмульсии склонны к расслоению, для их гомогенизации требуются специальные смесители (например, гидродинамические установки); патентные исследования показывают, что для улучшения противозносных свойств таких эмульсий необходимо введение сложных композиций присадок (алкилсульфинимид + стеарат калия) [3, 10].

3. Биотопливо и пиролизное масло

Биотопливо обладает хорошей совместимостью с дизелями (высокое ЦЧ), однако имеет низкую окисли-

тельную стабильность и склонность к биологическому поражению при хранении. Пиролизное масло, получаемое из древесных отходов, является заманчивым, но сложным горючим. Его большая кислотность, высокое содержание воды и нестабильность требуют либо серьезной облагораживающей обработки (каталитическая модернизация), либо применения в смесях с очень низким содержанием серы, как показано в трудах [4, 6].

4. Водород

Водород рассматривается как топливо дальней перспективы. Успешные испытания, проведенные компанией «Newlight», демонстрируют принципиальную возможность работы дизеля на водородо-топливной смеси (до 60% замещения).

Ключевые особенности рабочего процесса:

- очень широкая концентрация пределов воспламенения позволяет эффективно регулировать нагрузку;
- быстрота сгорания приближает цикл к идеальному циклу Отто;
- проблемы: высокая температура сгорания (рост SO_x) и чрезвычайно низкая плотность, требующая систем хранения под высоким давлением или в сжиженном виде, что весьма энергозатратно [5].

Сравнительный анализ экологических показателей (таблица 2) показывает, что каждый вид топлива имеет свой профиль воздействия. С точки зрения действующих ограничений (Tier III), наибольшие преимущества дает переход на СПГ и спирты, позволяя резко сократить выбросы серы и твердых частиц. Однако проблемой водорода и спиртов является образование NO_x при высокотемпературном сгорании. Значит, нужна комбинация АТ с системами рециркуляции отработавших газов или селективного каталитического восстановления.

Кстати, исследования в области применения пиролизного топлива представляются не менее актуальными, так как оно может изготавливаться из пластиковых отходов, ежегодный рост количества которых в дальнейшем обусловит необходимость их масштабной переработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы, соответствующие поставленным задачам:

1. Свойства топлива

Ни одно из рассмотренных АТ не является полностью взаимозаменяемым с традиционным дизельным топли-

Таблица 2

Эмиссионные характеристики альтернативных видов топлива (в сравнении с ДТ)

Тип топлива	Выбросы CO ₂	Выбросы SO _x	Выбросы NO _x	Твердые частицы
СПГ	Снижение на 10-20%	Почти 0	Снижение (при газовом цикле)	Значительное снижение
Метанол/Этанол	Зависит от сырья	Почти 0	Снижение	Снижение
Биодизель	Теоретически нейтрально	Почти 0	Разнонаправленно	Снижение
Водород (зеленый)	0	0	Рост (из-за высоких t)	0
Пиролизное топливо	Нейтрально/низкий	Низкие	Требуется изучения	Требуется изучения

вом. Ключевые недостатки заключаются в низкой объемной теплоте сгорания (требуется увеличение запаса хода или наращивание объемов топливных танков), низком ЦЧ спиртов и газов (нужно корректировать угол опережения впрыска или задействовать двухтопливную схему) и слабой смазывающей способности (повышается износ топливной аппаратуры высокого давления).

2. Влияние на рабочий процесс

Наблюдаются общие закономерности: работа на кислородосодержащем топливе (спирты, биодизель) улучшает полноту сгорания и снижает дымность, но увеличивает удельный расход горючего; работа на газовом топливе (СПГ, водород) требует решения проблемы управления фазой газораспределения и моментом воспламенения.

3. Технические решения

Для внедрения АТ необходима адаптация топливной системы: применение двухтопливных схем (dual-fuel), установка гомогенизаторов для эмульсий, использование присадок, повышающих ЦЧ и смазывающую способность, а также модернизация систем хранения и подачи горючего.

4. Экологическая эффективность

Наибольший вклад в снижение «углеродного следа» (декарбонизацию) вносят так называемые «зеленые» водород и аммиак, однако их коммерческое использование сдерживается стоимостью и инфраструктурными проблемами. В среднесрочной перспективе (до 2035 г.) доминирующую роль будут играть СПГ и биотопливо как наиболее технологически готовые решения для выполнения текущих требований ИМО.

Очевидно, что работы в области применения пиролизного топлива в отдаленной перспективе внесут большой вклад в мировую экологию.

Теоретическая значимость авторского исследования: систематизация разрозненных данных и выявление

корреляций между свойствами топлива и параметрами рабочего процесса СДВС.

Практическая значимость: выводы и сравнительные таблицы могут быть использованы инженерными службами судоходных компаний и проектными организациями при выборе стратегии перевода флота на низкоуглеродные виды топлива.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. В.Р. Ведрученко, А.В. Штиб. Альтернативные виды топлива для судовых дизелей (монография). – Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 204 с.
2. Двухтопливный двигатель М 34 DF (технические характеристики) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: caterpillar.com.
3. Смесеые топлива на спиртовой основе: проблемы и решения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: GlobeCore.com.
4. А.Р. Албаев, Ф.М. Гумеров, В.Г., Семенов и др. Производство и применение биодизеля (справочное пособие). – М.: АПР и ППРО, 2006. – 80 с.
5. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / Макаров В.А., Илатовский Ю.В. – М.: Россия, 2007. – 480 с.
6. Ж.А. Хачика. Прогнозирование параметров рабочего процесса дизеля при использовании спиртно-дизельных топлив (автореф. дисс. канд. техн. наук). – Барнаул, 2005. – 16 с.
7. В.А. Звонов, В.И. Черных, В.К. Балакин. Метанол как топливо для транспортных дизелей. – Харьков: Основа, 1990. – 150 с.
8. В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко. Работа дизелей на нетрадиционных топливах – М.: Изд-во «Легион-Авто дата», 2008. – 464 с.
9. А.С. Филатова. Исследование влияния добавки эфиральдегидной фракции этилового спирта в дизельное топливо на показатели работы дизельного двигателя (автореф. дисс. канд. техн. наук). – Омск, 2002. – 16 с.
10. С.Н. Девянин, В.И. Мальчук. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2007. – 360 с.

АННОТАЦИИ

Перспективные направления развития региональной портовой инфраструктуры (на примере Самарской области) / Новикова Т.Е., Митрошин С.Г., Лучкова М.Л. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.18-23.

Рассматриваются перспективные направления развития портовой инфраструктуры Самарской области как стратегического участника международного транспортного коридора «Север–Юг». Анализируется текущее состояние местных речных портов, оценивается возможность применения концептуального подхода к улучшению материально-технической базы и реализации технологии «умный порт» с определением экономической эффективности.

Ключевые слова: Самарская область, портовая инфраструктура, развитие, интеллектуальные системы, «умный порт», эффективность.

Контакты: novikova2009@inbox.ru, priemnayakp@vgavt-nn.ru, mariya.harlanova@mail.ru

Активизация судоходства на «малых» реках – серьезный импульс развития регионов России / Гордлеев С.Д., Лапшин Л.М., Григорьев И.А. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.23-26.

Обосновывается целесообразность активизации судоходства на «малых» реках с целью экономического и социального развития прилегающих территорий. Рассматриваются различные сценарии.

Ключевые слова: «малые» реки, судоходство, регионы, развитие, эффективность.

Контакты: Gordleev.sd@vsuwt.ru, lm.lapshin@mail.ru, grigoryev-i.a@yandex.ru

Морфодинамика и мерзлотные условия устьевого бара р.Яна и их влияние на состояние судоходной трассы / Завадский А.С., Чалов Р.С., Сахаров А.И., Ботавин Д.В. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.32-36.

Устанавливаются закономерности распространения в судоходной бороздине Заманиха многолетней и сезонной мерзлоты. Обоснованы варианты оптимизации положения фарватера на лимитирующем участке с учетом условий залегания мерзлых и талых грунтов, позволяющие уменьшить объемы разработки мерзлых грунтов в 2-3 раза, по сравнению с современными объемами дноуглубления.

Ключевые слова: река Яна, устьевой бар, водный путь, судоходство, оптимизация.

Контакты: az200611@rambler.ru, rschalov@mail.ru, saharovAI@abvvp.ru, dmitry_botavin@mail.ru

Применение логико-вероятностного подхода для формирования комплексной методики обоснования технологий внепортовой обработки флота / Кириченко А.В., Туров Д.Е. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.36-41.

Описывается комплексная методика обоснования выбора технологий внепортовой обработки судов, ориентированная на условия Арктической зоны Российской Федерации и рейдовые операции в ограниченных акваториях. Особое внимание уделено комбинированным технологиям, где риск вычисляется как произведение вероятностей отказов независимых подсистем.

Ключевые слова: «северный завоз», внепортовая обработка судов, логико-вероятностное моделирование, управление рисками, многокритериальный анализ.

Контакты: a.v.kirichenko@mail.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Модельно-алгоритмическое обеспечение процедуры оценки технического состояния металлического корпуса судна / Кирсанова Д.А., Соловьев А.В., Федосенко Ю.С., // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.41-43.

Представлена авторская концепция построения модельно-алгоритмического обеспечения для цифровой системы поддержки принятия решений, предназначенной для оценки технического состояния металлического корпуса судна.

Ключевые слова: корпус судна, техническое состояние, оценка, метод анализа иерархий, экспертная шкала.

Контакты: kirsanova_dasha@bk.ru, avsolovev@rfclass.ru, fds1707@mail.ru

Современное состояние и технологические проблемы перегрузки сыпучих грузов на универсальных терминалах в морских портах России / Соколов А.И., Соколова И.А., Каретников В.В., Семенов В.В. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.43-47.

Приводятся результаты анализа технологических проблем традиционных схем перегрузки сыпучих грузов на универсальных терминалах в морских портах России, их распределения в виде матрицы по пяти группам. Формулируются критерии перехода к контейнерно-ориентированной технологии перевалки.

Ключевые слова: морской порт, сыпучий груз, универсальный терминал; контейнерно-ориентированная технология.

Контакты: sokolov.ai@bk.ru, ia.sokolova@list.ru, kaf_svp@gumrf.ru

Интегрированная оценка факторов, влияющих на построение внутригородского пассажирского водного маршрута / Каретников В.В., Кротовская Е.А. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.47-51.

Рассматриваются методы, с помощью которых возможно реализовать синтез маршрутной сети для водного транспорта; описываются их преимущества и недостатки. Предлагается использование интегрированной оценки факторов, влияющих на построении маршрутных линий с учетом специфических особенностей водного транспорта.

Ключевые слова: водный транспорт, перевозка пассажиров, транспортная сеть, теория графов, интегрированная оценка факторов.

Контакты: karetnikovvv@gumrf.ru, kaf_svp@gumrf.ru

Использование альтернативных тяжелых видов топлива в судовых высокооборотных дизелях: проблемы и их решения / Володин И.И., Титов С.В., Юр Г.С. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.51-53.

Представлены результаты экспериментального исследования рабочего процесса высокооборотного дизеля Ч 15/18 на котельном мазуте в качестве альтернативного топлива; применения камеры сгорания третьего поколения в режиме пульсационного горения с использованием внутрикапельной кавитации; вычислений скорости разрушения в процессе кавитации поверхностей чугуна, стали и экспериментального сплава.

Ключевые слова: высокооборотный дизель, тяжелое топливо, камера сгорания, пульсационное горение, внутрикапельная кавитация, абразивный износ.

Контакты: ivan_volodin_357@mail.ru, svcom@bk.ru, gs.yur@yandex.ru

Исследование хладостойкости сварных соединений / Мензилова М.Г., Лебедев О.Ю., Штыкин Н.Е., Носырев К.Д. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.53-57.

Приводятся результаты испытаний сварочной проволоки без омеднения и с медным покрытием на хладостойкость и прочность в ледовых условиях согласно требованиям Правил Российского классификационного общества и ГОСТ 9454-78, которые включают комплекс методов неразрушающих испытаний.

Ключевые слова: сварное соединение, хладостойкость, испытания, агрессивная среда.

Контакты: AGEM0492@yandex.ru, olegleb@yandex.ru, shtykiN02@yandex.ru, rwa167@mail.ru

Сравнительный анализ эффективности применения альтернативных видов топлива в главных судовых дизелях для обеспечения экологической безопасности и энергоэффективности / Истомин С.М., Гусаков В.С., Тельцов Д.С., Андрущенко С.П., Сибриков Д.А., Лебедев О.Б., Лебедев Б.О. // Речной транспорт (XXI век). 2026. – № 3 (119). – с.58-60.

Приводятся результаты сравнительного анализа физико-химических и моторных свойств перспективных видов альтернативного топлива для оценки закономерности их влияния на эксплуатационные и экологические характеристики судовых ДВС. Выявлены ключевые закономерности изменения рабочего процесса, систематизированы технические решения по адаптации топливной аппаратуры.

Ключевые слова: судовой дизель, альтернативное топливо, эксплуатационные характеристики, эффективность, экологичность.

Контакты: lstomin.sm@mail.ru, gusakovnkru@hotmail.com, telcov.dmitrii@mail.ru, andrusinko@rambler.ru, sibrikov@nsawt.ru, razor1987@list.ru, lebedevbo@list.ru

ANNOTATIONS

The perspective ways for development of regional port infrastructure (on the example of Samara region) / T. Novikova, S. Mitroshin, M. Luchkova // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.18-23.

Describes perspective ways for development of port infrastructure in Samara region as a strategic participant of North-South international transport corridor. Analyses current state of regional river ports, estimates possibility of applying conceptual approach to improve material-technical base and realization of technology «smart port» with definition of economical effectiveness.

Keywords: Samara region, port infrastructure, development, intelligent systems, «smart port», effectiveness.

Contacts: novikova2009@inbox.ru, priemnayakp@vgavt-nn.ru, mariya.harlanova@mail.ru

The intensification of shipping on «small» rivers – a significant impulse for development of Russia's regions / S. Gordleev, L. Lapshin, I. Grigoryev // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.23-26.

Substantiates rationality of intensifying shipping on «small» rivers for the purpose of promoting economical and social development of surrounding territories. Considers various scenarios.

Keywords: «small» rivers, shipping, regions, development, effectiveness.

Contacts: Gordleev.sd@vsuwt.ru, lm.lapshin@mail.ru, grigoryev-i.a@yandex.ru

Morphodynamics and permafrost conditions of estuarine bar of river Yana and their influence on condition of shipping route / A. Zavadskiy, R. Chalov, A. Sakharov, D. Botavin // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.32-36.

Establishes patterns of distribution of permafrost and seasonal frost in navigable Zamanikha furrow. Substantiates variants for optimization of fairway position in limiting section with taking into account conditions of layering of frozen and thawed soils, which make it possible to reduce volume of frozen soil excavation by 2-3 times compared to current dredging volumes.

Key words: river Yana, estuarine bar, water way, shipping, optimization.

Contacts: az200611@rambler.ru, rschalov@mail.ru, saharovAI@abvvp.ru, dmitry_botavin@mail.ru

Application of logical-probabilistic approach to formation of comprehensive method to justify off-port fleet processing / A. Kirichenko, D. Turov // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.36-41.

Describes comprehensive method to justify choice of off-port ships processing technologies, aimed on conditions of Arctic zone of Russian and roadstead operations in limited water areas. Pays special attention for combined technologies, where risk is calculated as a product of failure probabilities of independent subsystems.

Key words: «northern delivery», off-port ships processing, logical-probabilistic modelling, risk management, multi-criteria analysis.

Contacts: a.v.kirichenko@mail.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Model-algorithmic support for procedure of assessing technical condition of the ship's metal hull / D. Kirsanova, A. Solovyev, Y. Fedosenko // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.41-43.

Shows the author's construction of model-algorithmic support for digital decision support system intended for assessing technical condition of ship's metal hull.

Key words: ship's hull, technical condition, assessment, analytic hierarchy process, expert scale.

Contacts: kirsanova_dasha@bk.ru, avsolovev@rfclass.ru, fds1707@mail.ru

Current state and technological problems of bulk cargo handling at general-purpose terminals of seaports in Russia / A. Sokolov, I. Sokolova, V. Karetnikov, V. Semenov // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.43-47.

Shows the results of analysis of technological problems of traditional schemes of bulk cargo handling at general-purpose terminals of seaports in Russia, their systematization into matrix by five groups. Formulates criteria for transition to container-oriented handling technology.

Key words: seaport, bulk cargo, general-purpose terminal, container-oriented technology.

Contacts: sokolov.ai@bk.ru, ia.sokolova@list.ru, kaf_svp@gumrf.ru

Integrated assessment of factors which influence on design of intra-city passenger water route / V. Karetnikov, E. Krotovskaya // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.47-51.

Describes various methods that can be employed to establish route network for water transport; analyses their advantages and disadvantages. Offers integrated assessment of factors which influence on design of route lines with taking into account distinctive characteristics of water transport.

Key words: water transport, passenger transportations, transport network, graph theory, integrated factor assessment.

Contacts: karetnikovvv@gumrf.ru, kaf_svp@gumrf.ru

Using of alternative heavy fuels in ship high speed diesel engines: problems and their solutions / I. Volodin, S. Titov, G. Yur // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.51-53.

Shows the results of experimental study of working process of high-speed diesel engine Ch 15/18 on boiler oil as alternative fuel; application of third-generation combustion chamber in pulsation combustion mode using intra-drip cavitation; calculations of rate of destruction during cavitation of surfaces of cast iron, steel and experimental alloy.

Key words: high speed diesel engine, heavy fuel, combustion chamber, pulsation combustion, intra-drip cavitation, abrasive wear.

Contacts: ivan_volodin_357@mail.ru, svtcom@bk.ru, gs.yur@yandex.ru

The research of cold resistance of welded joints / M. Menzilova, O. Lebedev, N. Shtykin, K. Nosyrev // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.53-57.

Shows the results of tests of welding wire without copper coating and with it for cold resistance and strength in ice conditions, in accordance with the requirements of the Rules of Russian classification society and GOST 9454-78, which include set of non destructive testing methods.

Key words: welded joint, cold resistance, tests, aggressive environment.

Contacts: AGEM0492@yandex.ru, olegleb@yandex.ru, shtykiN02@yandex.ru, rwa167@mail.ru

Comparative analysis of efficiency of using alternative fuels in main ship diesel engines to ensure environmental safety and energy efficiency / S. Istomin, V. Gusakov, D. Tel'tsov, S. Andryushchenko, D. Sibrikov, O. Lebedev, B. Lebedev // River transport (XXIst century), 2026. – № 3 (119). – p.58-60.

Shows the results of comparative analysis of physicochemical and motor properties of promising types of alternative fuels to assess patterns of their influence on operational and environmental characteristics of ship internal combustion engines. Identifies key patterns of changes in operating process, systematizes technical solutions for adaptation fuel equipment.

Key words: ship diesel, alternative fuel, performance characteristics, efficiency, environmental friendliness.

Contacts: Istomin.sm@mail.ru, gusakovnkru@hotmail.com, telcov.dmitrii@mail.ru, andrusinko@rambler.ru, sibrikov@nsawt.ru, razor1987@list.ru, lebedevbo@list.ru

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

Профессиональный журнал **«Речной транспорт (XXI век)»** включен в «Перечень ВАК», в котором публикуются основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата, доктора наук.

С 2008 года журнал включен в базу данных Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Основная цель журнала: публикация значимых научных результатов фундаментальных и прикладных исследований, разработок, выполненных в научных организациях, учебных заведениях, на предприятиях водного транспорта по широкому спектру теоретических и прикладных проблем отрасли.

Основные группы специальностей (в соответствии с Номенклатурой научных специальностей, согласно приказу Минобрнауки России от 24.02.2021 г, № 118):

2.5. Машиностроение. 2.5.11. Наземные транспортно-технологические средства и комплексы. 2.5.17. Теория корабля и строительная механика. 2.5.18. Проектирование и конструкция судов. 2.5.19. Технология судостроения, судоремонта и организация судостроительного производства. 2.5.20. Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные).

2.9. Транспортные системы. 2.9.4. Управление процессами перевозок. 2.9.7. Эксплуатация

водного транспорта, водные пути сообщения и гидрография. 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы. 2.9.9. Логистические транспортные системы. 2.9.10. Техносферная безопасность транспортных систем.

Статьи публикуются только на русском языке, аннотации – на русском и английском языках.

Публикация одобренных научных статей в журнале бесплатна, в порядке общей очереди поступивших в редакцию материалов.

Читательская аудитория: руководители, профессорско-преподавательский состав, аспиранты, сотрудники вузов; работники научных, исследовательских и проектных организаций, пред-

приятий водного транспорта России и зарубежных стран.

Архив научных публикаций (полные тексты научных матери-

алов с аннотациями) находится в открытом доступе на сайте журнала по адресу: <http://www.rivtrans.ru/content/science>; перечни авторов, названий их статей и аннота-

ции размещаются также на сайте Научной электронной библиотеки: www.e-library.ru.

ПОРЯДОК РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ПУБЛИКАЦИИ МАТЕРИАЛОВ

Подтверждением факта поступления материала в редакцию является официальное письмо, направленное редакцией в адрес автора по электронной почте по его запросу.

Все поступающие в редакцию статьи тщательно анализируются, отбираются по критериям новизны, актуальности, научно-практической значимости, возможности практического применения на водном транспорте предлагаемых методов и технологий.

Все научные статьи, поступившие в редакцию, подлежат обязательному рецензированию в следующем порядке:

1) Ответственный редактор, утвержденный на заседании Редакционного совета журнала, определяет соответствие статьи научному профилю журнала, требованиям к оформлению и направляет ее на рассмотрение главному редактору (или его заместителю), который оценивает научный уровень статьи и передает ее на рецензирование доктору или кандидату наук – признанному специалисту в соответствующей области научных исследований – члену Редакционного совета журнала.

В случае необходимости, к рецензированию могут привлекаться дополнительные сторонние рецензенты.

2) Срок рецензирования устанавливается ответственным редактором с учетом даты выхода очередного номера журнала; он не должен превышать двух месяцев.

3) В рецензии указываются:

- соответствие названия статьи ее содержанию;
- научная новизна результатов исследования и их практическая значимость;



- наличие актуальных ссылок на литературные источники по теме статьи;

- четкость изложения материала и качество оформления статьи;
- целесообразность публикации статьи в журнале;

- замечания и рекомендации автору статьи, необходимость ее доработки;

- рекомендации о публикации статьи в журнале или ее отклонение.

Рецензия оформляется на официальном бланке редакции журнала, подписывается уполномоченным лицом, заверяется печатью.

5. Рецензирование носит конфиденциальный характер. По письменному запросу (в электронном виде) редакция журнала направляет копию рецензии автору, а также в ВАК (по требованию).

6. Статья, исправленная редакцией, при необходимости и согласии автора направляется на рецензирование повторно. Статья, не рекомендованная к публикации, к повторному рассмотрению не принимается.

Наличие положительной

рецензии не является достаточным основанием для публикации статьи. Окончательное решение о целесообразности публикации принимается на заседании Редакционной коллегии.

В случае принятия решения о публикации статьи ответственный редактор журнала информирует об этом автора по его письменному запросу (в электронном виде) и сообщает сроки публикации.

Материалы, отклоненные из-за нарушения требований по оформлению или как не отвечающие тематике журнала, не публикуются и не возвращаются. Редакционная коллегия не вступает в дискуссию с авторами не одобренных материалов.

Оригиналы рецензий хранятся в редакции Журнала в течение пяти лет.

После одобрения материалов, согласования различных вопросов с автором (при необходимости) Редакционная коллегия письменно информирует (по электронной почте) о принятом решении по опубликованию статьи, в противном случае она направляет автору мотивированный отказ.

ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ РАЗМЕЩЕНЫ НА ОФИЦИАЛЬНОМ САЙТЕ ЖУРНАЛА В СЕТИ ИНТЕРНЕТ ПО АДРЕСУ: WWW.RIVTRANS.RU, В РАЗДЕЛЕ «НАУКА»