



Связь между состоянием технического флота и задачами Транспортной стратегии РФ

АВТОРЫ:

В.В. КАШИНА, к.т.н., доцент кафедры «ПитПС»; Е.Г. БУРМИСТРОВ, д.т.н., профессор, проректор по научной и инновационной деятельности; Д.А. МИЛЬЦИН, к.т.н., доцент кафедры «ВПИГТС»; ВГУВТ

Согласно Транспортной стратегии РФ [1], развитие Единой опорной сети внутренних водных путей (ВВП) должно осуществляться по определенным принципам в рамках ключевых направлений, в том числе за счет устранения инфраструктурных ограничений. Речь идет о ликвидации «узких мест» с достижением к 2035 г. нулевой протяженности лимитирующих участков. К последним относятся акватории с недостаточной глубиной для обеспечения гарантированных габаритов судовых ходов; гидротехнические сооружения, имеющие ограниченную пропускную способность; и речные порты, мощность которых не отвечает потребностям.

Однако как показал анализ результатов решения задач, обозначенных в прежнем документе, охватывавшем 2014-2020 годы, запланиро-



ванные показатели по большинству отраслевых индикаторов оказались не выполненными. И сложившаяся непростая ситуация значительно увеличивает предиктивную нагрузку на предстоящий период.

Одним из условий успешного достижения упомянутой цели является эффективная работа технического флота. В настоящее время в его составе самоходные и несамоходные земснаряды, дноочистительная техника, суда – обстановочные, для обслуживания судовых гидротехнических сооружений, изыскательные и промерные, а также мотозавозы, грунтоотвозные шаланды, брандвахты и др.

Комплекс путевых работ включает дноуглубление, выправление, траление, очистку дна, изыскания и др.

По состоянию на начало 2024 г. в оперативном управлении администрации бассейнов ВВП насчитывалось 2261 ед. технического флота, из них 1778 признаны годными к эксплуатации. В навигацию 2023 г. фактически было задействовано 1666 судов.

Вместе с тем, средний возраст флота на текущий момент превысил 45 лет. Подавляющая часть основных фондов характеризуется высокой степенью физического и морального износа, что обуслов-

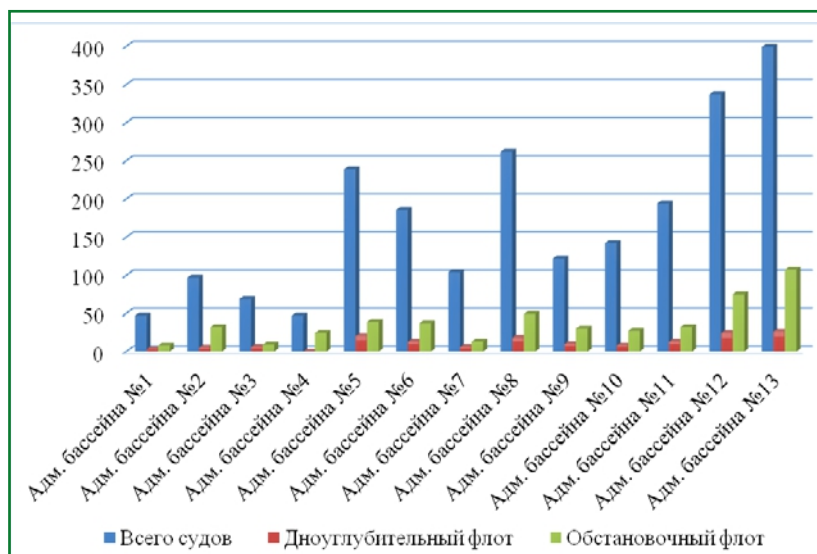
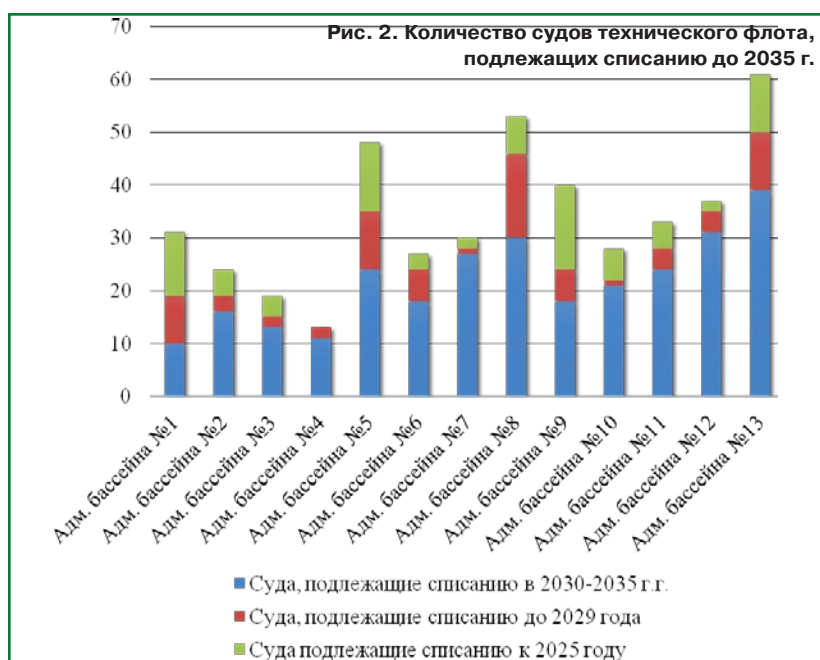


Рис. 1. Распределение количества технического флота по речным бассейнам (обозначены условно)

КСТАТИ

Как показал анализ, запланированные на 2014-2020 годы показатели по большинству отраслевых индикаторов оказались не выполненными. И сложившаяся непростая ситуация значительно увеличивает предиктивную нагрузку на предстоящий период.



ливают значительные затраты на восстановление и поддержание надлежащего технического состояния, а также неизбежное массовое списание тоннажа в ближайшее время.

Очевидно, с учетом нынешних низких темпов поставок новых судов [2, 3] невозможно будет в срок достичь намеченных целей Стратегии.

В целом для реализации положений документа по развитию Единой опорной сети ВВП авторы статьи считают рациональным выполнение следующих мероприятий:

1. Исследование текущих показателей эффективности использования технического флота, оценка его состояния по бассейнам и видам работ;

2. Анализ перспектив постановки судов на средний и капитальный ремонт, выбытия устаревших мощностей;

3. Сравнительная оценка затрат на эксплуатацию нового и существующего флота, средний и капитальный ремонт.

4. Определение оптимального состава, типов и количества судов, способных обеспечить достижение

поставленных целей;

5. Формулирование требований к новому флоту, подготовка программы их проектирования и строительства с учетом технико-экономического обоснования.

Для поиска ответа на вопрос относительно требуемого количества новых судов отправной точкой следует считать оценку состава и технического состояния находящихся на балансе администраций бассейнов единиц (рис. 1), и соответственно, определение их эксплуатационного потенциала.

В связи с ограниченностью сроков, отведенных для строительства флота, важно тщательно изучить возможности поддержания годного состояния существующего тоннажа до момента его замещения вновь поступающими мощностями.

Оценить техническое состояние можно в базовом или расширенном варианте. Во втором случае предполагается исследование большого объема данных с целью определения перспектив эксплуатации и стоимости ремонта отдельных элементов каждого судна, ретроспективный анализ ремонтных работ и прогнозирование мероприятий [4].

С учетом того факта, что численность флота на балансе администраций бассейнов превышает 2000 ед., детально рассмотреть каждую из них в оптимальные сроки не получится. Значит, решать задачи, обозначенные в Стратегии, стоит прежде всего с определения количества и производительности судов, обеспечивающих возможность их эксплуатации в течение установленного документом периода. И оперативный расчет потребностей в новом флоте различного типа рационально выполнять на основе базового варианта анализа.

Цель этого исследования – выявление потенциальной пригодности судов к эксплуатации до 2035 года с учетом влияния совокупности ключевых факторов:

- год постройки;
- текущее техническое состояние: годное, негодное, холодный отстой (с указанием даты его начала);
- наличие выполненных капитальных ремонтов СЭУ, процедур обновления, а также критических замечаний к техническому состоянию со стороны представителя судовладельца.

Для систематизации выходных данных логично распределить все суда на 4 группы:

- не подлежащие списанию до 2035 г.;
- подлежащие списанию в 2030-2035 годах;
- подлежащие списанию в 2026-2029 годах;
- подлежащие списанию к 2025 г.

На рис. 2 представлены обобщенные сведения о количестве судов всех типов, списание которых планируется в указанные сроки.

Естественно, полезной представляется актуализация информации по мере изменения ситуации.

Разделять технический флот на эти категории можно и в зависимости от вида производимой работы.

В результате получится база данных по ожидаемому к 2025, 2030 и 2035 годам количеству судов, находящихся на балансе администраций бассейнов. Такие сведения в наглядной форме позволяют

КСТАТИ

Анализируя состав флота и его техническое состояние, можно определить, в судах какого типа существует наиболее острая потребность. Эти сведения станут основой для формирования технических заданий и проведения предпроектных изысканий.



прогнозировать наличие тоннажа и его суммарную производительность на каждом отрезке времени с градацией по бассейнам, типам и видам работ. Располагая информацией об объемах предстоящей деятельности, удобно выявлять очередность пополнения каждого бассейна различными типами судов заявленной производительности.

Кроме того, анализируя состав флота и его техническое состояние, можно определить, в судах какого типа существует наиболее острая потребность. Эти сведения станут основой для формирования технических заданий и проведения предпроектных изысканий с целью дальнейшей интенсификации процесса разработки проектов, а также для адаптации производственных мощностей верфей к реализации заказов по строительству нового флота.

Принимая во внимание широкий спектр поставленных задач, на базовом этапе рационально

также оценивать перспективы проведения капитальных и средних ремонтов, объемы замены элементов корпусных конструкций и т.д.

Для более детального исследования технического состояния флота с целью определения потенциальных расходов на его обслуживание нужно учитывать влияние дополнительных факторов, связанных со спецификой выполненных ремонтов, особенностями условий эксплуатации и др. Полученные результаты будут основой для планирования затрат на поддержание надлежащего технического состояния судов и для оценки перспектив их эксплуатации после 2035 года. Такие сведения могут оказаться полезными и при планировании распределения флота на судоремонтных предприятиях, при проведении очередного освидетельствования классификационным обществом [5].

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Транспортная стратегия РФ до 2030 г. с прогнозом до 2035 г. (утв. распоряжением правительства РФ от 27.11.2021 г. №3363-р).
2. О достигнутых в 2023 году показателях и планах // Речной транспорт (XXI век). 2024. №2 (110). – с.10-11.
3. Механизмы выработки и принятия решений при формировании программ развития гражданского судостроения / Карышев И.В., Карышева А.А. // Судостроение. 2023. – № 5. – с.16-21.
4. Проблема планирования объемов ремонта корпусов судов при наличии труднопрогнозируемых дефектов корпусных конструкций / Кашина В.В., Бурмистров Е.Г. // Мат. межд.фор. ВГУВТ «Транспорт. Горизонты развития-2022» [Электронный документ]. – Режим доступа: www.vf-река-море.рф/2022/PDF/5_14.pdf.
5. Постановка оптимизационной задачи выбора предприятия для зимнего судоремонта / Бурмистров Е.Г., Зяблов О.К., Кашина В.В. // Речной транспорт (XXI век). 2023. – № 1(105). – с.26-29.

УДК 629.5:004.942

Подходы к формированию информационных моделей для решения внешней задачи проектирования хаусботов

АВТОР:

С.Д. ГОРДЛЕЕВ, начальник Управления научных исследований и инновационной деятельности ВГУВТ

В текущем году завершается действие нынешней редакции Концепции развития круизного туризма, согласно которой в течение ближайших 11 лет объем рынка в данном секторе должен вырасти в 2 раза. Вместе с тем до 2028 г. запланировано строительство круизного и туристического флота, в том числе на электротяге, с динамическими принципами поддержания. И действительно, сейчас на верфях реализуются соответствующие проекты. Однако есть основания полагать, что данная мера хотя и внесет ощутимый вклад в совершенствование отрасли, но окажется недостаточной для достижения намеченных показателей.

В трудах [1, 2, 3, 4] рассмотрены подходы к инвестиционному выбору туристических судов, в частности хаусботов.

Одной из целей исследования применимости таких плавсредств для водного туризма, организации отдыха, досуга и проживания на водных объектах является внешняя задача проектирования, особенно с учетом неоднородности требований потенциальных пользователей.

В работе [5] автор описывает процесс распределения внимания заказчика и проектанта по двум группам проблем, которые упрощенно можно свести к двум направлениям: надстройка (все понятно заказчику) и корпус (основные задачи проектанта и строителя). При этом изучался один из элементов внешней задачи – формирование нагрузки масс в первом приближении, определение центра тяжести исходя из заданной конструктивной схемы корпуса хаусбота.

В настоящей статье главное внимание уделяется вопросам поэтапного формирования архитектуры подобных плавсредств, отраженной в информационной модели, призванной служить базой для программного решения в интересах широкого круга потенциальных пользователей.

На рис. 1 приведена разветвленная структура элементов устройства хаусбота, которые являются приоритетными для заказчиков с точки зрения его эксплуатации, поскольку, как показывает опыт [1], он рассматривается прежде всего в качестве дома на воде (не менее 80% времени), а лишь потом судна.

В [1] показан особый подход к проектированию и строительству плавдач с учетом запросов потребителей в Северной Америке с наглядным сравнением их жилых помещений с таковыми в обычном доме на земельном участке.

Анализ спроса на туристические услуги в России [6] показывает, что в нашей стране укрепляется тенденция по упрощению понимания термина «жилого пространства» на судне до гостиничного, квартирного или дачного.

Рассмотрим несколько подходов к формированию информационных моделей для решения внешней задачи проектирования хаус-





Рис. 1. Структура элементов хаусбота в формате информационной модели «под заказчика» и рассматриваемая область исследования

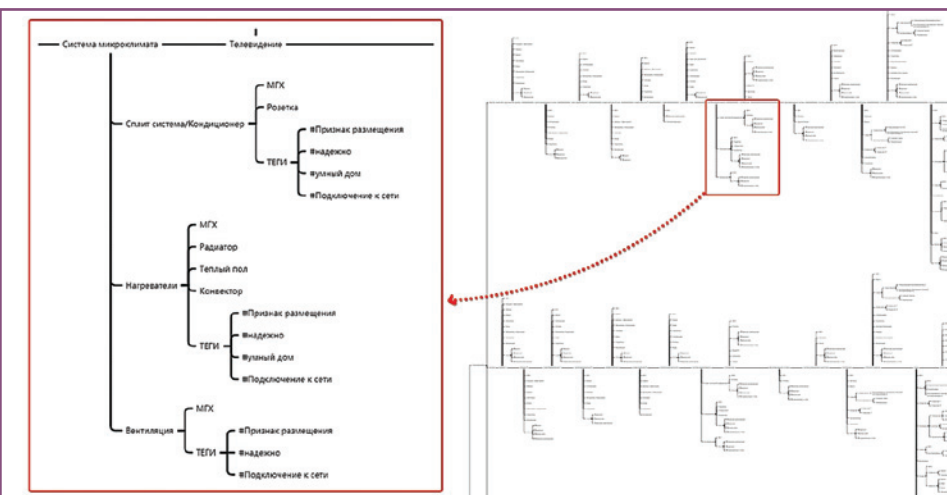


Рис. 2. Ветвь распределения функциональных элементов вербальной модели хаусбота, пример одного из элементов первого уровня

бота: вербальной, математической, табличной и графической.

1. Вербальная модель.

Базируется на определении наибольшего количества функциональ-

ных элементов и пространств хаусбота, которые могут быть использованы при всем множестве вариантов планировок.

Пример такого распределения

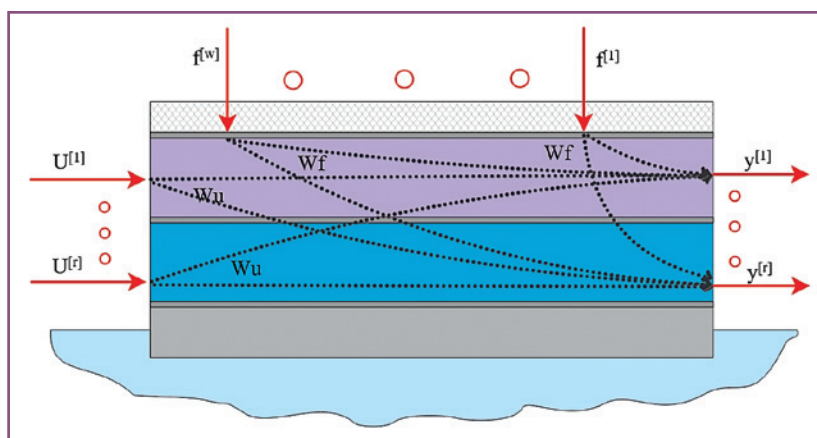


Рис. 3. Структурная схема g -мерного объекта управления – хаусбота. Здесь множества: U – управляющие воздействия, f – внешнее контролируемое возмущение, W – контролируемые возмущающие воздействия, y – выходы управляемых величин или характеристик объекта

функциональных элементов – на рис. 2. Здесь видны состав Мастер-каюты, ее основных элементов (шкафов, кровати, столиков, тумб, оборудования, зашивок, систем и проч.), которые являются важными для заказчиков и при проектировании судна могут быть упущены проектантом, как не существенные с технической точки зрения. Структура данного помещения сформирована по принципу избыточного перечня позиций, подлежащих обсуждению с заказчиком.

Рассматриваемая Мастер-каюта построена по следующей схеме:

Е1. Элементы первого уровня: мебель (кровать, шкафы, тумбы, сейфы и проч.), системы микроклимата, мультимедиа, управления хаусботом; телевидение; пол/настил, потолок/подволок, стены, декор, снабжение и инвентарь. Все эти детали позволяют создать «атмосферу» вокруг заказчика, рисуя ему смысловую картину, а проектанту – понимать фронт и последовательность работ.

Е2. Элементы второго уровня: массо-габаритные характеристики, конструктивные особенности, механизмы, электротехнические приборы, подсветка, электрика и др. Они определяют «глубину» функционала и техническую сложность каждого из элементов первого уровня (Е1).

Е3. Элементы третьего уровня: признаки связанности предыдущих элементов в системы или даже экосистемы (например, «умный дом») должны отражать способы размещения в пространстве, преемственность, надежность, ремонтпригодность и проч. Для упрощения работы с такими системами некоторые позиции лучше обозначать в виде «тегов».

2. Математическая модель.

Выстраивается по аналогии с многомерной системой [7], в которой хаусбот и его состав – многомерный объект управления; системой управления является набор базовых правил и стандартов проектирования, а также существенные требования заказчика.

На рис. 3 показана структурная схема g -мерного объекта управления – хаусбота при наличии w внешних возмущений – дополнительных требований.

Применение математической модели многомерного по своим параметрам хаусбота, учитывающей наличие g входов и выходов и W возмущающих воздействий, способствует формированию дискретного динамического описания



Рис. 4. Графическая модель необходимости решения задачи внешнего проектирования для хаусботов

независимо от количества и структуры взаимосвязей технологических параметров.

Очевидно, что математический подход описания информационной модели проектирования плавучего дома позволяет охватить все имеющиеся и потенциальные вариации, а также оценить качество проработки и достаточность программного обеспечения, нацеленного на решение проектных и компоновочных задач. Однако это излишне сильно может отдалить и проектанта, и заказчика от конечных целей создания желаемого судна.

3. Табличная модель.

С учетом изложенного, ее формирование представляется рациональным способом, позволяющим оценить выполнимость всех задач проектирования и строительства, достижимость целей заказчика (качество, надежность, безопасность, цена и др.). Именно такой метод создания информационной модели является наиболее универсальным и привычным для проектанта и вместе с тем наглядным для широкого круга потребителей.

Например, если выстраивать логическую связь всего хаусбота на основе вербальной модели в табличной форме, то можно сразу отметить однотипные структуры, в которых легче ориентироваться:

- Жилые пространства: [каюты]+[гостиные];
- Хозяйственный блок: [кухня (камбуз)]+[санузлы(галюны)]+[прачечная]+[кладовые];
- Мебель: [для лежания] + [сидения]+[хранения]+[специальная];
- Техника: [электрическая] + [механическая]+[специальн.];
- Обстройка: [зашивки]+[подволоки] +[слани] и др.

Разумеется, в качестве важного фактора для решения внеш-

ней задачи стоит рассматривать соблюдение модульности элементов. В частности для плавучего дома с длиной не более 8 м это покажется неосуществимым ввиду малости пространств, однако при внесении данного параметра в табличную модель можно получить удачные компоновки при снижении технологических издержек, учесть и гармонизировать требования к эргономике, заказным материалам, конструктивной прочности и т.д. Наглядным примером может служить линейный модуль, находящийся в диапазоне 550-700 мм.

4. Графическая модель.

Включает в себя структуру хаусбота и значимость (вес) каждого элемента, порядок их согласования, сочетания. Позиции ранжируются по «глубине» проработки, открытости/закрытости и могут служить как для внутреннего использования представителями организации – проектировщика, так и для объяснения сути работы заказчиком, подрядчиком.

Поскольку проработка задачи внешнего проектирования – важный базовый этап создания судна в целом, графические модели строятся для лучшего понимания ситуации всеми заинтересованными сторонами.

Несомненно, применение схемотехники при описании графических моделей следует признать весьма эффективным способом, но необходимо учитывать современные тенденции.

Сегодня заказчику, привыкшему оценивать картину глазами, создаются «упрощенные» графические модели – визуализации интерьеров/экстерьера и даже условий, в которых будет эксплуатироваться планируемый плавучий дом. Также необходимо выражать все необходимое и значимое в виде понятных потреби-

телям и широкой общественности диаграмм.

На рис. 4 показана наглядная графическая модель необходимости решения задачи внешнего проектирования для хаусботов.

Как видно, наличие большего вклада в начало проектных работ и учет большего числа факторов при решении задачи внешнего проектирования позволяют существенно снизить финансовые и временные затраты; данное преимущество было выявлено учеными в развитых рынках Европы и Северной Америки [1].

Если учитывать комплексный подход в создании информационных моделей на ранних стадиях проектирования, при этом формируя удачные комбинации вербального-табличного, графического-математического методов, то плавучие объекты для отдыха на воде (хаусботы, плавучие дома, плавучие дачи) могут стать не менее массовым продуктом для гражданского судостроения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. M. Stefan Huebbe. Designing and building a houseboat. 2020. – 340 p.
2. Перспективные направления развития архитектуры круизных судов внутреннего и прибрежного плавания / Любимов В.И., Хлутчин И.В. // Судостроение. 2019. – № 2(843). – с. 9-13.
3. 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.
4. Разработка системы критериев хаусботов с целью обоснования инвестиционного выбора / Гордлеев С.Д., Трухинова О.Л. // Научные проблемы водного транспорта. 2022. – № (73), с. 101-112.
5. Опыт формирования архитектурно-конструктивного типа судна на примере хаусбота с катмаранной базой, учитывающий потребности и компетенции «самостройщиков» / Гордлеев С.Д., Шабала А.Г., Старкова Т.В., Гордлеева В.В. // «Транспорт. Горизонты развития-2024» (мат.межд.науч.-практ. форума ВГУВТ).
6. Данные Росстата в сфере туризма [Электронный документ]. – Режим доступа: rosstat.gov.ru/statistics/turizm.
7. Разработка математической модели многомерного нестационарного объекта управления / Кыргызбай А.К., Асанбеков С.А. // Молодой ученый. 2021. – № 15 (357). – с. 31-34.

Фото из архива редакции

Новое устройство для гашения вибраций судовой энергетической установки

УДК 62-752.2

АВТОРЫ:

В.А. ЧИХАЧЕВ, аспирант; Б.О. ЛЕБЕДЕВ, д.т.н., профессор, кафедра судовых энергетических установок (СЭУ); СГУВТ; В.И. КОЧЕРГИН, д.т.н., доцент, зав. кафедрой технологии транспортного машиностроения и эксплуатации машин СГУПС

Эксплуатация СЭУ неизменно сопровождается вибрационными нагрузками, кратно увеличивающимися с наращиванием энерговооруженности, мощности и скоростных характеристик, а также с уменьшением массы агрегата. Это явление оказывает крайне негативное влияние не только на машину, но и на судно в целом, на параметры надежности его оборудования, вплоть до разрушения конструктивных элементов.

Данная проблема обостряется при нынешней тенденции замены в условиях санкций главных и вспомогательных двигателей европейских изготовителей высокооборотными российскими или китайскими аналогами [1].

По статистике до 80% аварийных ситуаций с энергетическими системами происходят из-за нештатных вибрационных режимов работы; трудоемкость устранения их последствий составляет более 30% общего объема ремонтно-восстановительных мероприятий [2].

Таким образом, необходимо бороться с повышенными вибрациями, поскольку они наряду с крутильными колебаниями (тем более при наличии производственных дефектов в узлах) являются одной из главных причин аварийных разрушений вращающихся частей – роторов турбин, валов и валопроводов [3, 4]. Даже применение высокоточных станков не гарантирует отсутствие в деталях вызывающего дисбаланс смещения центра вращающихся масс.

Известно, что основные источники колебаний корпуса судна – работающие машины и механизмы, прежде всего гребные винты и валопроводы СЭУ. Гребной и промежуточные валы обладают динамическим дисбалансом и неравной жесткостью в различных плоскостях, то есть для них характерно присутствие неодинаковых моментов инерции площади поперечного сечения. Это обуславливает вибрацию валопровода, а значит, и всего корпуса судна, с частотой равной или кратной частоте вращения гребного винта. Неслучайно вопросам борьбы с дисбалансом и резонансными крутильными колебаниями валопроводов, передающимися при работе пропульсивного комплекса на корпус судна, специалистами в последнее время уделяется повышенное внимание [5, 6].

Кроме того, вибрация и шум являются физическими факторами, оказывающими негативное воздействие на организм человека. Повышенный уровень ходовой вибрации на палубах и в помещениях, превышающий установленные нормативы, способен нанести вред здоровью членов экипажа и пассажирам даже при непродолжительном воздействии [7]. Длительное влияние сопровождающего вибрационные процессы шума может быть причиной снижения слуха, заболеваний нервной системы и внутренних органов, а также ухудшения психического состояния человека.

Следовательно, требуется совершенствовать системы гашения вибраций СЭУ.

Нужно оптимизировать существующие принципы и создавать принципиально новые методы и средства виброзащиты.

Наряду с конструктивными решениями по уравниванию и балансировке отдельных механизмов и СЭУ важно

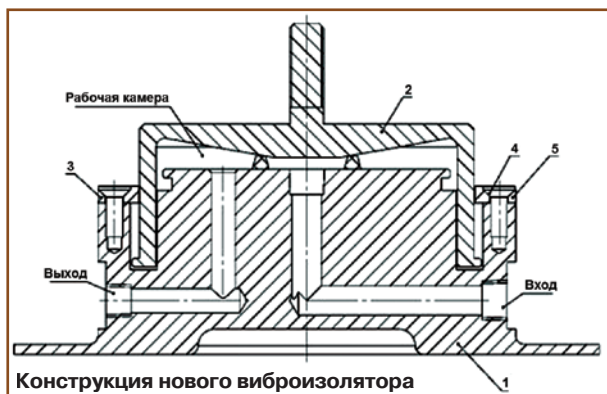
применять различные методы защиты членов экипажа и пассажиров от вибраций судового оборудования. К основным мероприятиям здесь следует отнести снижение интенсивности источников вибрации и диапазона нормируемых частот колебаний за счет специальных устройств динамического гашения колебаний и виброизоляции [8, 9].

Именно последний способ является наиболее распространенным и эффективным в борьбе с вибрацией. Он заключается в уменьшении передачи вибрации от источника возбуждения колебаний к защищаемому объекту с помощью размещения между ними виброизолирующих поддерживающих элементов, чтобы снизить в несколько раз динамические нагрузки, передаваемые на опорные конструкции.

Демпфирующие вибрацию устройства, которые устанавливаются между вибрирующим и защищаемым объектами, называются «виброизоляторами». В большинстве случаев в их конструкции находятся упругие детали в виде рессор, пружин сжатия или растяжения, и демпферов из резины либо иных эластичных материалов.

Все данные варианты организации виброзащиты объединяет один общий недостаток: жесткость упругих элементов обеспечивает эффективное и стабильное рассеивание колебаний при работе СЭУ только в течение определенного срока службы. Это связано с тем, что принцип действия любого демпфера заключается в не-обратимом переводе полученной им энергии в тепло или разрушение материала. Также наряду с возможной потерей демпфирующих свойств существующие конструкции виброизоляторов способны надежно гасить колебания и предотвращать возникновение резонансной вибрации только в жестко определенном диапазоне отношения частоты возбуждающих колебаний к частоте собственных колебаний массы защищаемого объекта, причем точное определение собственных частот колебаний зачастую сложно или практически невозможно. Преимущественное большинство энергетических установок и прочих машинных агрегатов работает в широком диапазоне нагрузок и угловых скоростей вращения, и в этом случае обеспечить эффективную виброизоляцию в требуемом спектре частот не представляется возможным.

Как правило, устройства виброизоляции основных и вспомогательных СЭУ призваны гасить гармоническую возбуждающую силу, имеющую вертикальное направление и приложенную к точке, находящейся на линии, проходящей через центр жесткости виброизолятора и центр масс виброизолируемой установки. То есть виброизолирующий элемент представляет собой систему с одной степенью свободы, колеблющейся только в вертикальном направлении. Принцип работы большинства существующих виброизоляторов базируется на сжатии главной упругой детали – винтовой пружины. Для защиты испытывающей большую нагрузку пружины от физических повреждений могут использоваться окружающие пружину демпфирующие эластомеры, выполняющие роль рассеивателя колебаний. Основным недостатком данной традиционной конструкции является невысокая эффективность виброгашения в направлении верти-



кальной оси за счет трения упругих элементов.

Известны и другие виброизоляторы, принцип действия которых базируется на сжатии пружины совместно с упругодемпфирующим картриджем. Здесь, как и в предыдущем варианте, имеется пружина с сердечником из вибродемпфера и вибродемпфирующая оболочка. Главный упругий элемент, испытывающий значительную нагрузку, – пружина с картриджем, а окружающий пружину демпфирующий эластомер выступает в качестве рассеивателя колебаний и защиты пружины от физических повреждений. Наличие внутреннего картриджа обеспечивает более высокую выносливость и, в итоге, повышение срока эксплуатации. Основные недостатки подобной схемы – невысокая эффективность виброгашения в направлении вертикальной оси за счет трения упругих элементов и сложность конструкции.

Для устранения перечисленных негативных особенностей авторами настоящей статьи предлагается виброизолятор нового образца с опорным демпфирующим картриджем на основе гидравлического сопротивления. Принцип действия гидравлического виброизолятора заключается в несжимаемости жидкости в замкнутом пространстве и в возникновении при действии на опору периодического усилия сил упругости жидкости и сил, компенсирующих вес СЭУ. Применение гидравлических виброопор, обеспечивающих эффективную виброизоляцию в широком диапазоне возмущающих частот, является перспективным направлением виброзащиты машин и механизмов [10]. Одно из специфических свойств такого рода виброзащитных устройств – нелинейность упругих и демпфирующих характеристик, зависящих от текущих значений частоты и амплитуды возмущающих воздействий.

На рис. показана конструкция виброизолятора нового образца, позволяющего обеспечить надежность работы в течение длительного срока службы и возможность корректировки демпфирующих характеристик путем изменения величины рабочего давления и параметров рабочей жидкости. В зависимости от безразмерного отношения частот возбуждающих и вынужденных колебаний за счет изменения коэффициента демпфирования можно уменьшить амплитуды вибраций и избежать возможности возникновения резонансных явлений.

Гидравлическая жидкость подается по входному патрубку через обратный клапан в рабочую камеру. Объем рабочей камеры испытываемого опытного образца предлагаемого варианта виброизолятора составляет 1283,4 см³, ход цапфы опоры равен 32 мм.

Рассмотрим порядок монтажа этого устройства для гашения колебаний. Основание 1 соединяется с основанием (перегородкой судна) с помощью болтов. От

Результаты расчетов массы удерживаемой нагрузки

№ п/п	Объем жидкости, см ³	Рабочее давление жидкости, МПа	Масса удерживаемой нагрузки, кг
1	213,9	0,25	628
2	427,8	0,52	1308
3	641,7	0,79	1987
4	855,6	1,05	2641
5	1069,5	1,3	3270
6	1283,4	1,6	4024

осевого смещения цапфу 2 предохраняют полукольца 3 и 5. Необходимая жесткость опоры и ее демпфирующие свойства обеспечиваются параметрами находящейся в рабочей камере гидравлической жидкости.

В таблицу сведены результаты расчетов массы удерживаемой нагрузки опытным образцом предлагаемой конструкции виброизолятора, выполненных для оценки возможности установки таких устройств на конкретные типы СЭУ.

Приведенные данные свидетельствуют, что максимальная масса удерживаемой нагрузки новым виброизолятором составляет 4024 кг. В настоящее время авторами ведутся исследования по определению амплитудно-частотных характеристик предлагаемого устройства и подготовка мероприятий по их подбору для определенных условий эксплуатации СЭУ.

В заключение важно отметить: в связи с многократным возрастанием отрицательного влияния технической вибрации при росте мощности и скоростных характеристик энергетических установок нужно обеспечивать эксплуатационную надежность виброзащитного оборудования и повышение эффективности его работы; при этом авторский способ совершенствования гашения колебаний СЭУ благодаря относительной простоте конструкции позволяет в полной мере достигать желаемого результата.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Замена силовой установки в условиях санкций на примере пассажирского теплохода пр.485С «Александр Шабалин» / Змитровцов Г.В., Загребельный О.И. // Труды КГРЦ. 2023. – Спец. выпуск 1. – с. 148-151.
2. Виды и причины вибрации энергетических машин / Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н. // Современные наукоемкие технологии. 2015. – № 5. – с. 32-36.
3. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин (обзор) / Смирнов А.Н., Быкова Н.В., Абабков Н.В., Фенстер Б.Р. // Вестник КГТУ. 2014. – № 2. – с. 38-46.
4. Технология исследования разрушения конструкционных материалов в разных условиях нагружения / Пачурин Г.В. // Вестник машиностроения. – 2012. – № 7. – с. 65-68.
5. Расчет резонансных крутильных колебаний валопровода речного пассажирского судна (на примере теплохода «Рапсодия» пр. 82544) / Мартыанов В.В., Окунев В.Н. // Речной транспорт (XXI век). 2023. – № 1(105). – с. 50-52.
6. Расчет крутильных колебаний валопровода дизеля теплохода (на примере двигателя Г70 сухогруза «Волго-Дон-121») / Адамов Е.И., Сикарев С.Н., Отделкин Н.С., Орехов В.А. // Речной транспорт (XXI век). 2023. – № 4(108). – с. 51-54.
7. Способы вибрационной защиты на судах / Романченко М.К. // Журнал университета водных коммуникаций. 2012. – № 3. – с. 63-67.
8. Снижение структурного шума и вибрации на судах (сб. науч. тр.) – Новосибирск: НГАСУ, 2012. – 108 с.
9. Уровни вибрации на морских судах. Санитарные нормы. – М.: Моркнига. 018. – 20 с.
10. Исследование системы виброизоляции сельскохозяйственных силовых установок с гидравлическими виброопорами / Ковалев В.В. // Вестник АГАУ. 2021. – № 12(206). – с.111-116.

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ / SCIENCE WORKS

42 СГУВТ

Е.С. Жендарева, М.Г. Синицын, М.А. Валинкин.

Обоснование транспортно-технологической схемы доставки массовых грузов судами Енисейского речного пароходства в условиях переменных глубин водного пути

44 ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

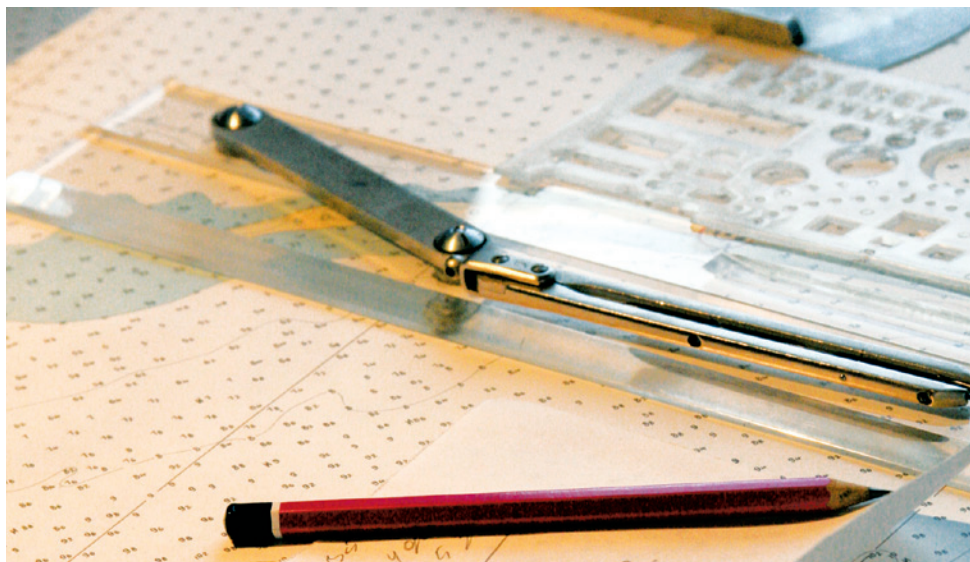
А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, Р.В. Кузнецов, А.Д. Семенов.

Метод формирования плана контейнерной площадки портового терминала

47 СГУВТ, ИТПМ СО РАН

В.И. Кузьмин, И.П. Гуляев, Д.В. Сергачев, А.С. Тамбовцев, П.А. Тырышкин, Б.В. Палагушкин, О.Ю. Лебедев, М.Г. Мензилова.

Плазменное напыление покрытий для защиты ДРК судов от гидроабразивного и кавитационного износов



50 ВГУВТ

Н.В. Кочкурова, В.А. Филиппычева.

Коррозионный износ причальных портовых сооружений из металлического шпунта и его учет при оценке их работоспособности

55 ВГУВТ, ИПФ РАН

М.С. Манакова, С.В. Васькин.

Оптимизация характеристик теплохода – сборщика отходов в системе внесудовой очистки в зависимости от интенсивности движения флота

59 АННОТАЦИИ

60 ANNOTATIONS

61 ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта (СГУВТ)

ТЕМА: Обоснование транспортно-технологической схемы доставки массовых грузов судами Енисейского речного пароходства (ЕРП) в условиях переменных глубин водного пути

АВТОРЫ: Е.С. ЖЕНДАРЕВА, к.э.н., доцент; М.Г. СИНИЦЫН, к.т.н.; кафедра «Управление транспортным процессом»; М.А. ВАЛЫНКИН, главный диспетчер диспетчерского отдела управления эксплуатации флота ЕРП

УДК 656.621/.626

Река Енисей является главной транспортной артерией Красноярского края, по которой почти безальтернативно флотом осуществляется доставка товаров в северные районы. Это обусловлено тем фактом, что в настоящее время там отсутствует железная дорога, и в обозримой перспективе ее строительство не планируется. А Севморпуть, который возможно эксплуатировать круглый год, невыгоден грузовладельцам, несущим значительные транспортные издержки из-за дороговизны ледокольной проводки [1, 2].

Таким образом, ведущая роль речной коммуникации в регионе не только сохраняется, но и будет возрастать, несмотря на негативные тенденции в отрасли.

Вообще массовые строительные грузы (щебень и песок) в северные районы края традиционно доставляются именно судами как наиболее экономически эффективным способом, по сравнению с наземными видами транспорта [3, 4]. Однако в связи с ограниченным периодом речной навигации и неравномерностью грузопотоков требуется применение транспортно-технологических схем перевозки плановой продукции с наименьшими затратами.

Реализация множества инвестиционных проектов в Норильском промышленном районе, а также разработка новых нефтегазовых месторождений обеспечили существенный рост грузооборота речного транспорта в регионе.

Так, объем перевозок ЕРП в 2019-2022 годах увеличился с 3228 до 3746 тыс. т (+16%), а грузооборот – с 2349 до 3190 млн т-км (+35,8%), что привело к острому дефициту судов. В 2023 г. показатели стабилизировались на уровне 3022 тыс. т и 2785 млн т-км соответственно.

Диаграмма изменения объемов перевозок грузов флотом компании представлена на рис.1.

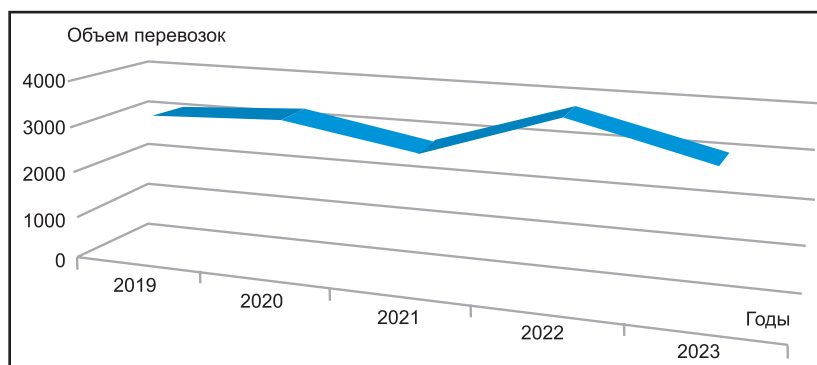


Рис. 1. Диаграмма изменения объемов перевозок грузов судами ЕРП



Караван составов в устье р.Большая Хета

В 2024 году в рабочем ядре пароходства насчитывается 408 ед. флота, в том числе 128 самоходного и 280 несамоходного.

Предприятие планомерно занимается переоборудованием действующих буксиров и барж для повышения класса плавания до «М», «М-ПР» и «М-СП» с целью наращивания мощности судов, задействованных в Енисейском заливе. Кроме того, на Самусьском ССРЗ по заказу ЕРП строятся 10 барж класса «М-СП» грузоподъемностью 3000 т, 6 из которых уже спущены на воду и вовлечены в транспортный процесс, а поставка 4 намечена на 2024 г. [5]

Основными технико-производственными рисками пароходства являются сложная судоходная обстановка, обусловленная климатическими условиями, низкими уровнями воды на р.Енисей вследствие сокращения объемов водосброса на Красноярской ГЭС, и как результат, высокая вероятность возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации флота. Именно влияние данной группы рисков на деятельность предприятия и необходимость их

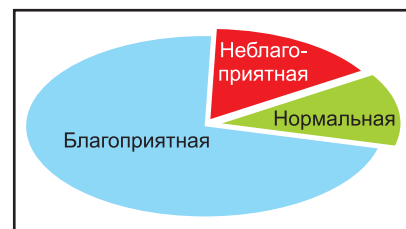


Рис. 2. Вероятности установления глубин

Оптимальные варианты составов при различных глубинах

Глубина	Состав
Благоприятная	1741+2*Р-56
Нормальная	1741+2*Р-56
Неблагоприятная	1741+2*РВ-1800

снижения стали предметом изучения в рамках описываемого в настоящей статье исследования.

Начиная с навигации-2022 на верхнем участке р.Енисей произошло ощутимое падение глубин. Данное обстоятельство вынудило руководство компании оперативно корректировать здесь работу флота, тогда как на нижнем участке реки подобные проблемы отсутствуют.

Анализ многолетних значений глубины на верхнем участке позволил разделить их на 3 группы: неблагоприятная – 1,9 м; нормальная – 2,6 м; благоприятная – 2,9 м, а также вычислить вероятности их появления (рис. 2).

Для каждого случая формировался оптимальный состав; всего рассматривалось 4 их типа: 1741+2*Р-56; 1741+2*РВ-1800; Р-14А+РВ-1800; Р-14А+2*Р-56. За основной критерий принималась себестоимость перевозок.

Полученные результаты сведены в таблицу.

Технико-экономическое обоснование транспортно-технологических схем доставки массовых грузов [6] (на примере щебня из порта Красноярск в порт Дудинка) выполнялось для 3 вариантов (рис. 3).

На основе результатов исследования были приняты

конкретные меры по оптимизации работы: крупнотоннажный флот эксплуатируется ниже устья р.Ангара, а на участке р.Енисей между городами Красноярск и Лесосибирск задействованы мелко- и среднетоннажные суда [6]. Такой подход позволяет речникам маневрировать, обеспечивать запланированные перевозки грузов и пассажиров, гарантировать безопасность судоходства в условиях мелководья.

В области теории и практики организации перевозок грузов речным транспортом выделяются две ключевые схемы: маршрутная и немаршрутная [7]. При первой товар перемещается в одном судне от начального пункта до конечного, без каких-либо перегрузок в процессе доставки. Вторая, подразумевающая перегрузочные операции, имеет несколько разновидностей, включая догрузку, отгрузку, перевалку, а также процедуры, связанные с изменением состава и сменой тягового средства.

По всем рассмотренным в ходе исследования вариантам оптимальной оказалась именно немаршрутная схема. Расчеты показали, что наиболее выгодной является схема доставки № 3: щебень перевозится между портами Красноярск и Лесосибирск железнодорожным транспортом, затем с помощью порталных кранов продукция погружается в несамоходные суда пр. 16801, а далее в составе теплохода пр. 758 АМ отправляется в морской порт Дудинка.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Водный транспорт в системе транспортных коридоров Сибири / Масленников С.Н., Силицын М.Г. // Политранспортные системы (мат. XII Межд. научн.-техн. конф. в 3 ч.). – Новосибирск: СГУПС, 2022. – с. 15-19.
2. Перспективные транспортно-логистические схемы доставки продукции заполярного транспортного филиала ПАО «ГМК «Норильский Никель» / Жендарева Е.С., Новаков А.А., Хайдарова М.М. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2022. – № 4. – с. 52-56.
3. Логистика как драйвер развития коммерческих предприятий труднодоступных регионов на примере Норильского промышленного района / Силицын М.Г., Масленников С.Н., Силицын Г.Я. // Транспортное дело России. 2023. – № 5. – с. 92-95.
4. Проблемы и перспективы транспортного обслуживания Енисейского бассейна (сб. «Интеллектуальный потенциал Сибири», мат. конф.) / Бретоусов Н., Жендарева Е.С. // ... 2021. – с. 17-20.
5. Енисейское речное пароходство. Официальный сайт [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.e-river.ru/>.
6. Совершенствование с помощью логистических принципов параметров взаимодействия внутреннего водного и наземных видов транспорта при передаче грузов / Жендарева Е.С., Кадникова Е.С., Гюнтер А.В., Попов В.Н., Новаков А.А. // Речной транспорт (XXI век). 2022. – № 2 (102). – с. 37-40.
7. Экспедиционно-маршрутная система организации перевозок грузов в Енисейском и Ленском бассейнах / Силицын Г.Я. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2023. – № 4. – с. 75-78.

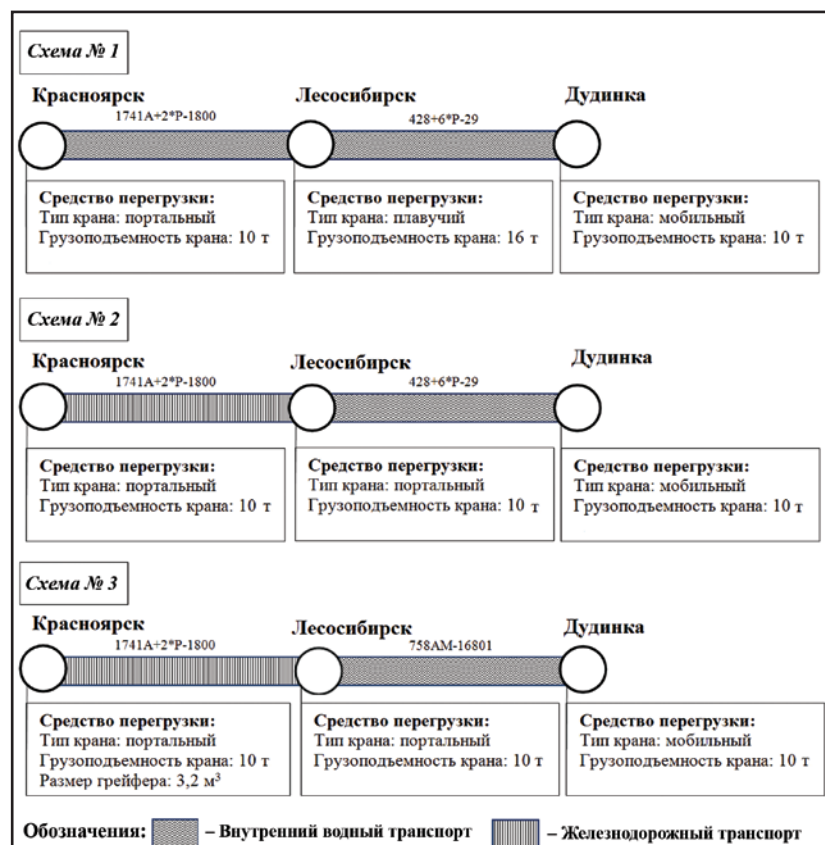


Рис. 3. Транспортно-технологические схемы доставки массовых грузов по маршруту «порт Красноярск – порт Дудинка»

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

ТЕМА: Метод формирования плана контейнерной площадки портового терминала

АВТОРЫ: А.Л. КУЗНЕЦОВ, д.т.н., профессор, А.В. КИРИЧЕНКО, д.т.н., профессор, зав. кафедрой; Р.В. КУЗНЕЦОВ, аспирант; кафедра портов и грузовых терминалов; А.Д. СЕМЕНОВ; инженер-технолог «Ленморниипроект»

УДК 656.6

Новые экономические условия обусловили развитие в России в составе единой транспортно-логистической системы сети портовых контейнерных терминалов [1-2]; и актуальной задачей представляется разработка методов их цифрового проектирования [3].

При наличии соответствующего инструментария возможно будет не только получать доступ к информации о системе в виде формул, которые путем изменения параметров позволят учитывать требования к составным элементам, но и сравнить большое количество различных вариантов за короткий промежуток времени, способствуя принятию обоснованных инженерных решений.

Одной из наиболее важных зон любого контейнерного терминала является складская площадка [4-5], а значит, эффективность функционирования всего предприятия зависит от принципа размещения грузовых штабелей.

В настоящей статье рассматривается алгоритм формирования предварительного плана контейнерной площадки портового терминала, предназначенный для использования на ранних стадиях проектирования таких объектов с целью оперативного анализа вариантов.

Именно способ производства технологических операций определяет конфигурацию контейнерной площадки, включая расположение штабелей относительно линии причала, их ширину, высоту складирования, расстояния между контейнерами и штабелями [6-7].

На складе обычно применяется следующая техника: автоконтейнеровоз (SC), штабелер порожних контейнеров (ECH), ричстакер (RS), козловые краны – на пневмокошечном ходу (RTG), на рельсовом ходу (RMG) и автоматизированные (ASC).

Штабеля размещают, как правило, параллельно линии причала; однако удобнее перпендикулярно, когда задействуются SC и ASC (рис. 1).

Типовые габариты штабелей для разных видов оборудования представлены в [8-10]. Для выбранной технологии необходимо соблюдать расстояния (рис. 2) между контейнерами и для проезда транспортных средств.

Ширина технологического проезда между штабелями А зависит от применяемых средств.

Ширина штабеля В определяется шириной штабеля n_w , а также шириной одного контейнера W и расстоянием между контейнерами С:

$$B = n_w \cdot W + (n_w - 1) \cdot C$$

Длина штабеля D зависит от количества секций n_l , длины контейнера L и расстояния между контейнерами Е:

$$D = n_l \cdot L + (n_l - 1) \cdot E$$

В штабелях из рефрижераторных контейнеров расстояние между секциями Н используется для размещения оборудования, подающего электричество.

Общая длина штабеля G равна:

$$G = n_l \cdot (L_2 + H)$$

Для терминалов, где задействованы ASC, в торцевых частях штабеля предусматривается расстояние (минимум 35 м) для парковки транспорта в зоне обмена (передачи).

Зоны складирования контейнеров определяются типами последних. Кроме различий по длине (20', 40', 45') в общем случае можно выделить зоны складирования контейнеров: груженых, порожних, рефрижераторных и с опасными грузами. Их расположение обуславливается технологией выполнения операций и конфигурацией терминала.

На рис. 3-5 показаны планы нескольких контейнер-

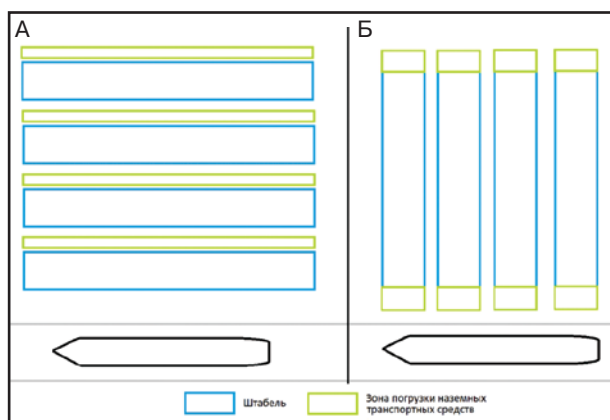


Рис. 1. Расположение штабелей контейнеров относительно линии причала: А – для технологии с RTG, RMG, ECH и RS; Б – с SC и ASC

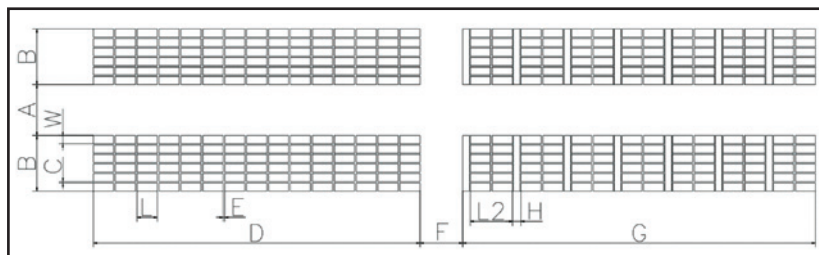


Рис. 2. Параметры контейнерной площадки



Рис. 3. Контейнерный терминал порта Санкт-Петербург



Рис. 4. Контейнерный терминал порта Антверпен (Бельгия)

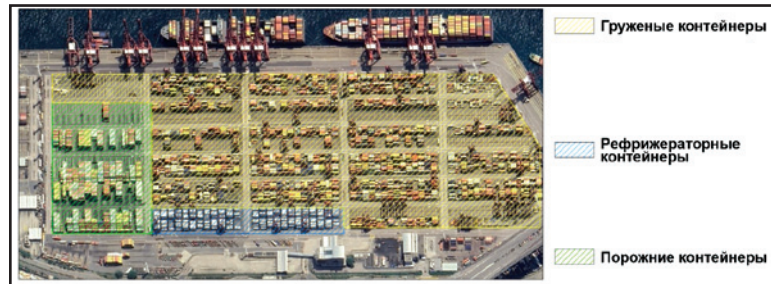


Рис. 5. Контейнерный терминал порта Гонконг (Китай)

ных терминалов мира с выделенными зонами складирования.

За исходные данные для разработки авторского алгоритма принимаются: количество контейнеров на складе – грузевых, рефрижераторных, порожних; ширина штабеля в контейнерах, высота складирования, общая длина причальной стенки, длина расчетного судна, количество причалов.

Вводится допущение о том, что общая длина одного ряда штабелей равна длине причального фронта, длине расчетного судна. При этом считается, что причальная линия состоит из нескольких взаимозаменяемых причалов, принимающих расчетные суда максимальной длины L_{ship} . А между единицами флота должен обеспечиваться интервал Δ , обычно равный 10% их длины.

На основании перечисленных характеристик осуществляются предварительные вычисления:

1. Длина одного штабеля в секциях:

$$L'_{stack} = \left\lceil \frac{L_{ship}}{6} \right\rceil.$$

Полученное количество секций округляется в большую сторону, чтобы обеспечить нужную вместимость склада.

2. Требуемое количество секций для каждого типа контейнеров:

$$n_i = \left\lceil \frac{E_i}{w \cdot h} \right\rceil,$$

где E_i – количество контейнеров i -го типа на складе, TEU;

w – ширина секции в контейнерах;

h – высота складирования.

3. Пространство, которое занимают рефрижераторные контейнеры относительно грузевых:

$$\Delta_{ref} = \frac{n_{ref}}{n_{laden}}.$$

Далее определяется конфигурация контейнерной площадки. В рассматриваемом алгоритме принято: если доля рефрижераторных контейнеров превышает 30% количества грузевых, то для тех и для других предусматриваются отдельные штабеля; иначе они будут размещены в одном штабеле (пример представлен на рис. 6).

Если рефрижераторные контейнеры располагаются в одном штабеле с грузевыми, возможны две конфигурации: асимметричное и симметричное расположение первых (рис. 7).

Общий алгоритм – блок-схема алгоритма формирования плана контейнерного штабеля портового терминала

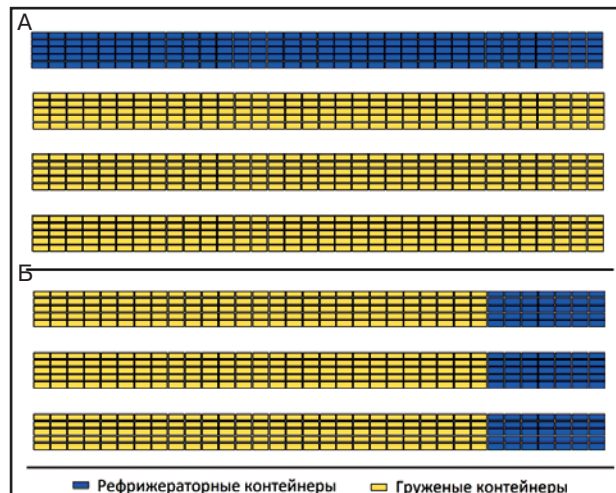


Рис. 6. Примеры расположения рефрижераторных контейнеров: А – в отдельных штабелях; Б – в одном штабеле с грузевыми контейнерами

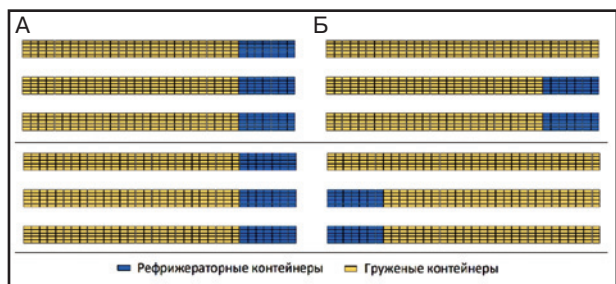
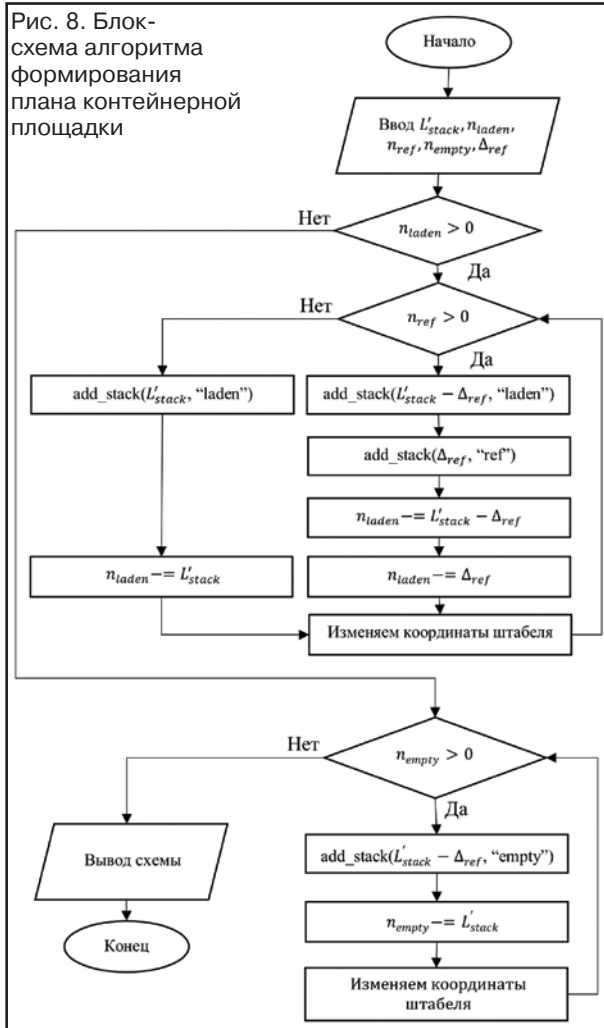


Рис. 7. Примеры расположения рефрижераторных контейнеров: А – асимметричное; Б – симметричное



Рис. 8. Блок-схема алгоритма формирования плана контейнерной площадки



нала на основании рассчитанных данных для случая, когда рефрижераторные контейнеры составляют менее 30% вместимости, показан на рис. 8, а для соответствующей процедуры «add_stack» («добавить штабель») – на рис. 9.

Пример плана контейнерного штабеля терминала, сгенерированного с помощью описанного принципа, представлен на рис. 10.

Предлагаемый подход может быть полезен при анализе различных вариантов конфигурации контейнерного терминала. Дополнением описанного метода является алгоритм создания плана терминала на ограниченной территории [11]. Эта программа способна решать две технические задачи по определению: необходимой площади терминала с заданной вместимостью склада и грузооборота, который сможет освоить предприятие с конкретной территорией.

Вместе с тем, авторский принцип стоит рассматривать как часть системы генерации плана всего контейнерного терминала, который

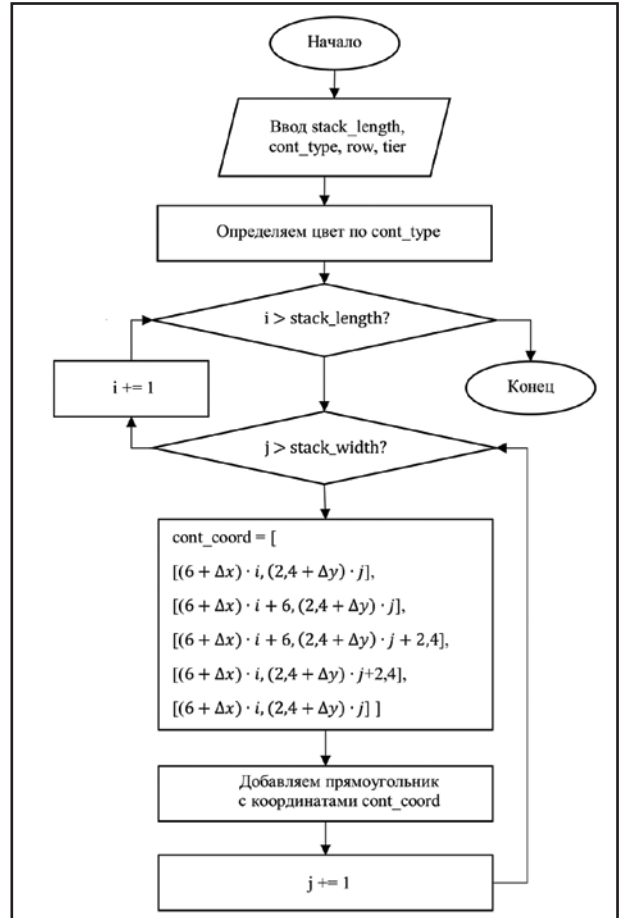


Рис. 9. Блок-схема для процедуры «add_stack» («добавить штабель»)

включает причальный и железнодорожный грузовые фронты, зоны таможенного контроля контейнеров, административную и ремонтную, а также технологическое оборудование.

Подобная система применяется стивидорными и проектными организациями для оптимизации технологических решений на начальных стадиях работ [12]; она может быть использована в частности для выбора места

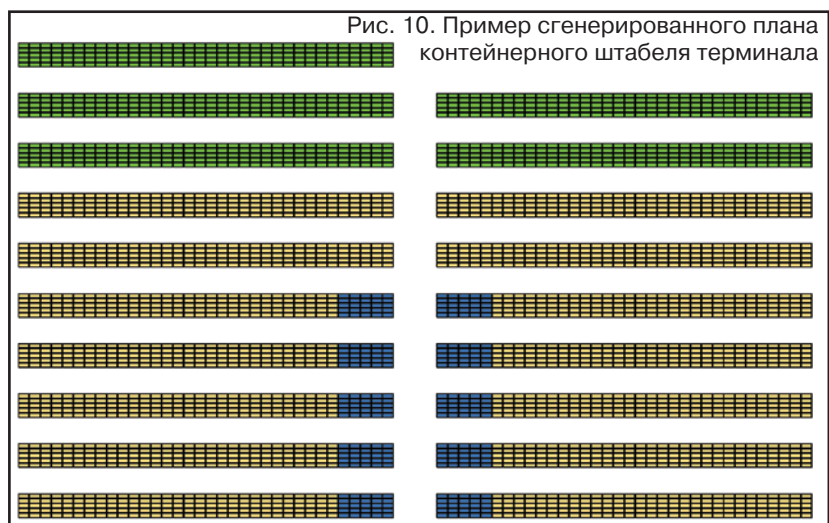


Рис. 10. Пример сгенерированного плана контейнерного штабеля терминала

расположения контейнерного терминала.

Следующий этап развития представленного подхода – оценка объемов строительства объекта.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Containerisation, box logistics and global supply chains: the integration of ports and liner shipping networks / T. Notteboom, J. Rodrigue // Maritime economics & logistics. 2008. – Vol. 10. – p. 152-174. 2. Принципы формирования транспортных систем доставки сборных грузов / Изотов О.А. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2021. – Т. 13, № 2. – с. 169-175. 3. Дискретно-событийное моделирование грузовых фронтов контейнерного терминала / Кузнецов А.Л., Галин А.В., Попов Г.Б. // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. 2023. – Т. 15, № 4. – с. 589-602. 4. Analysis on high throughput layout of container yards / K. Byung, H. Loo, P. Ek // International journal of production research. 2018. – Vol. 56, I. 16. – p. 5345-5364. 5. Simulation-based optimization for yard design at mega container terminal under uncertainty / Y. Zhou, W.

Wang, X. Song, Z. Guo // Mathematical problems in engineering. 2016. – Vol. 123X – p. 1024. 6. СП 350.1326000.2018 Нормы технологического проектирования морских портов – М.: Стандартинформ. 2018. – 226 с. 7. СП 316.1325800.2017 Терминал контейнерные. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ. 2018. – 58 с. 8. Thoresen C. A. et al. Port designer's handbook. – London, UK: ICE Publishing. 2014. – 607 p. 9. UNCTAD. Port development. A handbook for planners in developing countries. – New York, USA: UNCTAD. 1985. – 243 p. 10. А.Л. Кузнецов, А.В. Кириченко, О.В. Соляков, А.Д. Семенов. Морские контейнерные перевозки (монография). – М.: Моркнига, 2019. – 412 с. 11. Автоматизация расчета пропускной способности терминала на основании данных о границах территории / Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Сампиев А.М., Семенов А.Д. // Морские интеллектуальные технологии. 2023 – № 2, ч. 1, – с. 269-273. 12. Совершенствование методики расчета универсальных портовых причалов генеральных грузов / Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Семенов А.Д., Грицун И.А. // Речной транспорт (XXI век). 2022. – № 4(104) – с. 55-60.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Сибирский государственный университет водного транспорта» (СГУВТ), Институт теоретической и прикладной механики им. Христиановича (ИТПМ) СО РАН

ТЕМА: Плазменное напыление покрытий для защиты ДРК судов от гидроабразивного и кавитационного износов

АВТОРЫ: В.И. КУЗЬМИН, к.т.н., ст.науч.сотр.; И.П. ГУЛЯЕВ, к.ф.-м.н., ст. науч. сотр.; Д.В. СЕРГАЧЁВ, к.ф.-м.н., мл. науч. сотр.; А.С. ТАМБОВЦЕВ, к.ф.-м.н., мл. науч. сотр.; П. А. ТЫРЫШКИН, инженер-исследователь; лаборатория № 9 ИТПМ; Б.В. ПАЛАГУШКИН, д.т.н., профессор, проректор по научной работе, зав.кафедрой «ЭОиА»; О.Ю. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доцент, зав. каф. «ТКСиТМ»; М.Г. МЕНЗИЛОВА, к.т.н., доцент кафедры «ТКСиТМ»; СГУВТ

УДК: 621.762.2

Явление кавитационной эрозии лопастей гребных винтов (ГВ), особенно высокооборотных, известно специалистам давно и представляет серьезную проблему, нерешенную до настоящего времени.

Схлопывание пузырьков газа, образующихся при кавитации, приводит к образованию микроструй жидкости, скорость которых превышает 120 м/с [1-3], а давление ударной волны может быть 1,5 ГПа [4, 5].

Различают три стадии кавитации [6, 7]:

1. Вихревая – имеет место в ядрах, сбегаящих с концов вихрей, где давление достигает критической величины;

2. Пузырьковая – характерно появление отдельных пузырей;

3. Пленочная – по мере увеличения скорости растут размеры воздушно-водяной каверны, которая может замыкаться далеко за пределами лопасти; данная стадия может переходить в режим суперкавитации.

Как свидетельствует накопленный опыт, наиболее опасным считается второй случай, когда фиксируются весьма значительные кавитационные разрушения ГВ. Они чреваты не только ограничением срока службы детали, но и ощутимым снижением пропульсивного КПД двигателей, а значит, заметно увеличивают расход топлива. Кроме того, для судов, эксплуатирующихся в условиях мелководья, ситуация ухудшается из-за разрушения материала ГВ вследствие значительной гидроабразивной и ударноабразивной эрозии. По интенсив-

ности негативного влияния износ от воздействия взвеси частиц песка и гравия нередко существенно превосходит кавитационную эрозию [8].

Один из наиболее эффективных способов борьбы с кавитационными и гидроабразивными разрушениями – применение износостойких покрытий [9, 16]. Технология их нанесения была разработана еще в 1980-х годах [10]. Слой из самофлюсующихся сплавов Ni-Cr-B-Si-C напылялся с помощью аргон-азотной плазмы с последующим газопламенным оплавлением. Последняя операция была обязательной, поскольку использовавшееся тогда в промышленности оборудование не позволяло получать высокоплотные покрытия с достаточным уровнем адгезионной и когезионной прочности [11]. За счет оплавления уменьшалась пористость слоя с 8-15 % до практически монолитной структуры и на порядок улучшался конечный результат. Между тем, данная процедура по сложности, трудозатратам и продолжительности в разы превышала непосредственно плазменное напыление.

Благодаря исследованиям и разработкам плазмотронов (генераторов термической плазмы) для атмосферного плазменного напыления порошковых материалов, проводившимся учеными ИТПМ, было создано новое поколение приборов, позволяющих исключить этап оплавления и получать покрытия с недостижимыми ранее свойствами.

Имеющийся опыт применения различных методов газотермического напыления однозначно доказывает:



Сверхзвуковое воздушно-плазменное напыление износостойкого покрытия WC/10Co4Cr на рабочую поверхность детали гидравлического оборудования

Характеристики порошковых материалов для напыления

Материал	Хим. состав, вес., %	Фракция, мкм
WC/10Co4Cr	WC – 86; Co – 10; Cr – 4	15-38
ПР-НХ16СР3	Ni – основа; Cr – 16; Si – 3,2; B – 2,7; C – 0,75	20-63
ПВ-Н85Ю15	Ni – основа; Al – 15	40-100
ПВ-Н55Т45	Ni – основа; Ti – 45	40-100
ПР- БрОФ10-1	Cu – основа; Sn – 10; P – 1	40-100

высококачественное плотное покрытие достигается только при использовании высокоскоростных (сверхзвуковых) технологий, обеспечивающих скорость напыляемых частиц на уровне 600 м/с и выше [12, 13].

Из всех известных на сегодняшний день газотермических способов нанесения покрытий лишь плазменное напыление за счет своих энергетических возможностей и гибкости регулирования параметров напылительного потока является самым технологичным и высокопроизводительным методом формирования различных функциональных покрытий.

Именно поэтому коллектив авторов на базе изобретенного ранее электродугового плазмотрона с секционированной межэлектродной вставкой «ПНК-50» разработал вариант прибора, генерирующего сверхзвуковые потоки термической (воздушной) плазмы [14]. Модель можно рассматривать как предпромышленный образец, поскольку им дополняется созданная и изготавливаемая в ИТПМ полнокомплектная установка плазменного напыления порошковых материалов «Термоплазма 50-04».

На фото 1 показан процесс сверхзвукового воздушно-плазменного напыления износостойкого покрытия

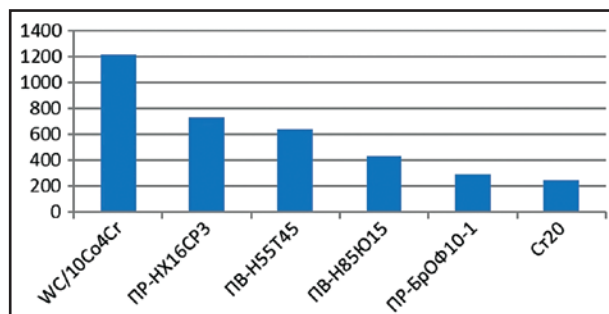


Рис. 1. Микротвердость HV₁₀₀ покрытий, полученных сверхзвуковым воздушно-плазменным напылением

WC/10Co4Cr (карбид-вольфрама на кобальт-хромовой связке) на рабочую поверхность детали гидравлического оборудования.

Экспериментальная линейка порошковых материалов для напыления экспериментальных покрытий, их химический и фракционный состав (таблица) выбиралась с учетом опыта авторов статьи по защите деталей движительно-рулевого комплекса (ДРК) речных судов с помощью покрытий, нанесенных дозвуковыми потоками термической плазмы.

На этот раз покрытия толщиной 300-360 мкм наносились на плоские образцы из стали 20 (Ст20) размером 75х25х3 мм. Перемещение плазмотрона относительно обрабатываемой поверхности осуществлялось посредством робота «YASKAWA MH12». В процессе напыления заготовки охлаждались сжатым воздухом.

Измерения микротвердости полученных покрытий подтвердили ее значительное увеличение по сравнению с паспортными данными порошковых материалов, что обусловлено формированием субмелкозернистой структуры. Так, в труде [15] показано, что покрытие из карбида бора на никелевой связке, полученное с применением порошкового материала фракцией 40-100 мкм, характеризуется нанокристаллической структурой с размером зерен менее 20 нм.

На рис. 1 приведено распределение микротвердости нанесенных сверхзвуковыми потоками плазмы покрытий.

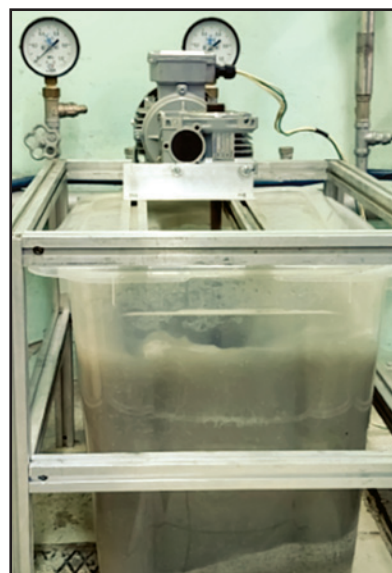
Наибольшее повышение величины микротвердости (~в 2,5 раза) было получено на покрытии из бронзового порошкового материала ПР-БрОФ10-1.

С целью испытаний образцов с покрытиями на стойкость к гидроабразивному износу был создан экспериментальный стенд – конструкция из пластикового бака емкостью 100 л, двигателя с частотным преобразователем и штока с узлом крепления заготовок (фото 2).

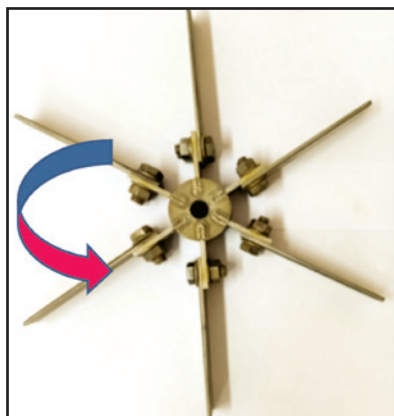
В емкость заливалась вода и засыпался абразив (электрокорунд «25 А» фракции 400-500 мкм) с объемным соотношением 1:1.

Образцы на оснастке устанавливались таким образом, чтобы при их вращении взвесь абразива в воде натекала по нормали к напыленным поверхностям заготовок (фото 3).

Оснастка с закрепленными образцами размещалась на штоке, который соосно соединялся с валом двигателя. Длина штока выбиралась из условия нахождения оснастки в непосредственной близости от дна пластикового бака (на расстоянии ~130-150 мм). Частота вращения оснастки регулировалась с помощью частотного преобразователя; в ходе испытаний она составляла 240



Экспериментальный стенд для испытаний покрытий на стойкость к гидроабразивному износу



Оснастка с закрепленными образцами

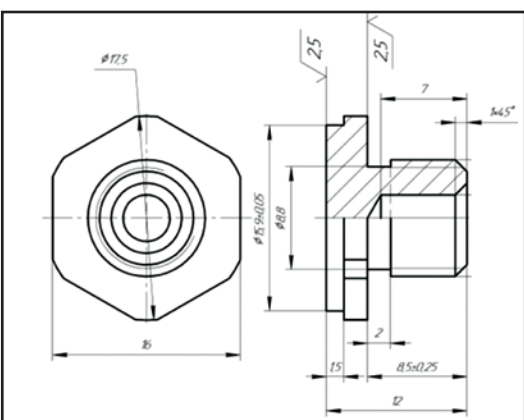
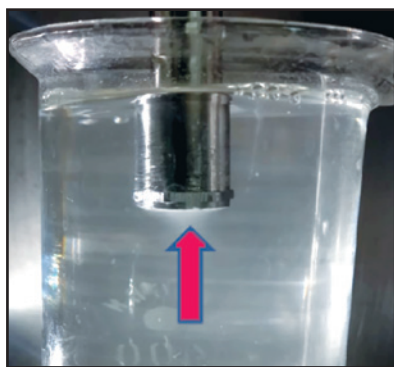


Рис. 3. Образец для испытаний напыленных покрытий на кавитационную стойкость



Ультразвуковые возбуждения кавитации

Его износ в условиях сухого абразивного трения в 43,5 раза меньше контрольного образца из стали 20 без покрытия.

В связи с этим для сравнительных испытаний кавитационной стойкости, по сравнению с образцом из стали 20 без покрытия, было выбрано покрытие на основе карбида вольфрама WC/10Co4Cr. На плоскую поверхность заготовки оно также наносилось по технологии сверхзвукового воздушно-плазменного напыления с помощью робота «YASKAWA MH12». Толщина слоя составляла ~ 480 мкм.

об/мин. При этом скорость движения дальних граней образцов равнялась 3,23 м/с, ближних — 0,75 м/с.

Образцы с покрытиями подвергались гидроабразивному воздействию в течение 16 ч, после чего посредством взвешивания определялась эрозия материалов.

На рис. 2 приведены результаты испытаний покрытий на гидроабразивную стойкость.

Как видно, наилучшую износостойкость к гидроабразивному воздействию имеет покрытие на основе карбида вольфрама WC/10Co4Cr.

Аналогичные данные были получены ранее при испытаниях стойкости заготовок в условиях сухого абразивного трения по стандарту ASTM G65-04 и при испытаниях стойкости покрытий к трению-скольжению по стандарту ASTM G133. Тогда наилучшие результаты тоже продемонстрировал материал на основе карбида вольфрама.

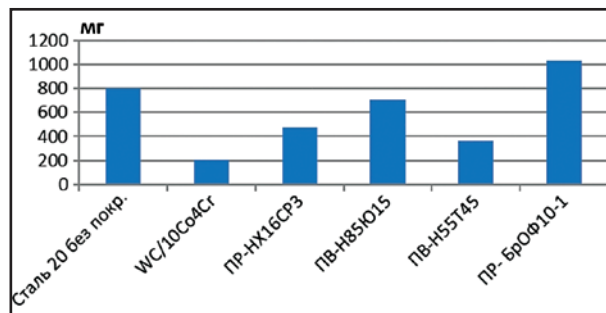


Рис. 2. Эрозия материала покрытий и образца из стали 20 без покрытия после 16-часовых испытаний на гидроабразивную стойкость

На рис. 3 приведен чертеж образца, использовавшегося в экспериментах.

Исследования влияния кавитационной эрозии осуществлялись с применением лабораторного ультразвукового комплекса «ЛУК-0,5/20-0» по стандарту ASTM G32. Для возбуждения кавитации на изучаемой поверхности заготовка через резьбовое соединение крепилась к ультразвуковому генератору и вместе с ним опускалась в воду на глубину 15-20 мм (фото 4). Амплитуда колебаний равнялась 50 мкм, а их частота — 20 кГц. Испытания выполнялись в течение 14 ч. Каждый час на лабораторных весах «Ohaus PX224» (точность измерений — 0,1 мг) выполнялось контрольное взвешивание и, таким образом, определялась потеря массы. Также после каждого часа эксперимента с помощью профилометра «Mahr Marsurf PS10» измерялась шероховатость поверхности заготовок.

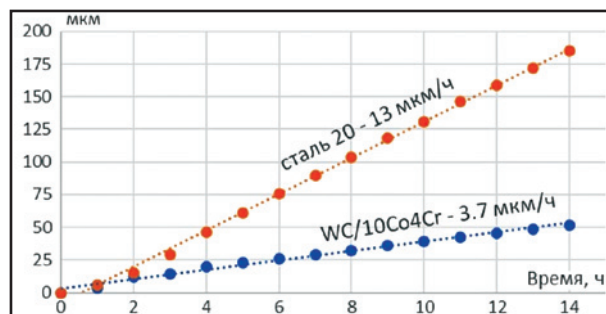


Рис. 4. Динамика эрозии поверхности образцов с износостойким покрытием WC/10Co4Cr и из стали 20 без покрытия в процессе испытаний на кавитационную стойкость

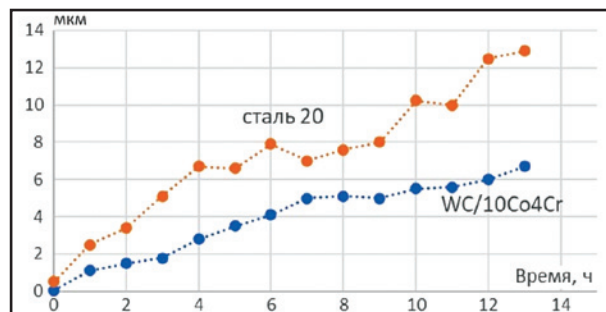


Рис. 5. Динамика изменения шероховатости поверхности образцов с износостойким покрытием WC/10Co4Cr и из стали 20 без покрытия в ходе испытаний на кавитационную стойкость

На рис. 4 показана динамика эрозии поверхности образцов с износостойким покрытием WC/10Co4Cr и из стали 20 без покрытия.

Как видно, кавитационная эрозия образца из стали 20 после 14 ч испытаний почти в 4 раза превышает эрозию поверхности с износостойким покрытием WC/10Co4Cr.

На рис. 5 приведен график изменения шероховатости поверхности заготовок в ходе испытаний на кавитационную стойкость.

График динамики изменения шероховатости поверхности образцов наглядно демонстрирует эффективность защитного покрытия на основе карбида вольфрама. После 14 ч испытаний шероховатость поверхности образца без покрытия практически в 2 раза превышает таковую у износостойкого покрытия.

Следовательно, результаты экспериментов позволяют рекомендовать в качестве защиты для деталей, эксплуатирующихся в условиях одновременного гидроабразивного и кавитационного износов, плазменные покрытия на основе карбида вольфрама.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Experimental investigation of cavitation bubble collapse in the neighborhood of a solid boundary / W. Lauterborn, H. Bolle // J. Fluid Mech. 1975. – Vol. 72, № 2. – p. 391-399. 2. Collapse of an initially spherical vapor cavity in the neighborhood of a solid boundary / M. Plesset, R. Chapman // J. fluid mech. 1971. – Vol. 47. – p. 283-290. 3. Relationship between cavitation structures and cavitation damage / M. Dular etc. // Wear. 2004. – Vol. 257, № 11. – p. 1176-1184. 4. Cavitation and Bubble dynamics / C. Brennen // Oxford university press. 1995. – Chapt. 3. – p. 80. 5. Shock wave emission from a cloud of bubbles / E.A. Brujan etc. // Soft matter. 2012. – Vol. 8, № 21. – p. 5777-5783. 6. Справочник по теории корабля (под редакцией Войткунского Я.И.). – Л.: Судостроение, 1986. 7. Исследования интенсивности кавита-

ционного износа / Мартынов Н.Д., Петрин С.А., Библик О.Ю., Махетов А.С. // Молодой ученый. 2017. – № 18 (152). – с. 58-63. 8. А.О. Токарев, С.Н. Иванчик, И.С. Иванчик. Анализ причин и профилактика аварий деталей судовой техники – Новосибирск: НГАВТ, 2010. – 250 с. 9. Cavitation erosion in hydraulic turbine components and mitigation by coatings: current status and future needs / R. Singh etc. // J. Mater. eng. perform. 2012. – Vol. 21, № 7. – p. 1539-1551. 10. Плазменное упрочнение гребных винтов / Арабьян Л.К., Бекетов А.И., Голубев Н.Ф., Гельман Н.М. // Речной транспорт. 1983. – № 1. – с. 33-35. 11. Структура малоуглеродистой стали с износостойким покрытием после термообработки ламинарной струей азотной плазмы / Арабьян Л.К., Засыпкин И.М., Кузьмин В.И., Токарев А.О. // Изв. СО АН СССР (серия технических наук). 1990. – Вып. 2. – с. 99-104. 12. Effect of spray particle velocity on cavitation erosion resistance characteristics of HVOF and HVAF processed 86WC-10Co4Cr hydro turbine coatings / R. Kumar, M. Kamaraj, S. Seetharamu, T. Pramod, P. Sampathkumaran // Journal of thermal spray technology. 2016. – № 25(6). – p. 1217-1230. 13. Cavitation and sand slurry erosion resistances of WC-10Co-4Cr coatings / Q. Wang, Z. Tang, L. Cha // Journal of materials engineering and performance. 2015. – № 24(6). – p. 2435-2443. 14. Supersonic DC plasma torch for deposition of high-density wear-resistant coatings / V. Kuzmin, I. Gulyaev, D. Sergachev, S. Vashchenko, O. Kovalev, E. Kornienko, A. Tuezov, B. Palagushkin // Materials today: proceedings. 2020. – Vol. 9, Part 5. – p. 2152-2156. 15. Структурные особенности плазменных покрытий В4С-Ni-P / Корниенко Е., Кузьмин В., Ложкин В., Гуляев И., Сивков А., Ивашутенко А., Рахматуллин И., Сергачев Д., Безрукова В. // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). 2017. – № 3(76). – с. 42-50. 16. Технологический ресурс повышения эффективности судового движительного комплекса / Арабьян Л.К., Кузьмин В.И., Токарев А.О., Мензилова М.Г. // Речной транспорт (XXI век). 2021. – № 1(97). – с. 48-49.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ)

ТЕМА: Коррозионный износ причальных портовых сооружений из металлического шпунта и его учет при оценке их работоспособности

АВТОРЫ: Н.В. КОЧКУРОВА, к.т.н., доцент; В.А. ФИЛИППЫЧЕВА, аспирант; кафедра «ВПИГС»

УДК 627.2

Совершенствование речных портовых причальных сооружений (ПС) является одной из важных задач, обозначенных в Стратегии развития транспортной системы РФ до 2030 года.

Между тем сохранность, безопасность и эффективность эксплуатации в течение всего срока службы этих объектов должны обеспечиваться в результате их комплексного контроля, обследования и мониторинга технического состояния (ТС), что регламентируется соответствующим документом – ГОСТ 54523-2011.

Цель оценки ТС – выявление дефектов и определение физиче-

ского износа конструкций [1, 2, 3, 4, 6].

В зависимости от обнаруженных дефектов – малозначительных, значительных и критических – объекту присваивается категория ТС – работоспособное, ограниченно-работоспособное, неработоспособное и предельное. Появление или устранение дефектов может обуславливать изменение категории ТС.

К основным видам дефектов, определяющих работоспособное состояние стенки сооружения из металлического шпунта, относят: изменение наклона относительно проектного положения стенки; выход шпунтин из замков, разры-

вы, сквозные отверстия; поражение коррозией; горизонтальное смещение верха; относительный прогиб борта.

Весомость шпунтовой стенки, как главного несущего элемента ПС из шпунта в общей совокупности элементов сооружения достигает 40%.

Результаты обследований ТС ПС из металлического шпунта показывают, что его коррозия является одной из наиболее часто встречающихся и интенсивно проявляющихся проблем.

Шпунт типа Ларсен – достаточно распространенная конструкция ПС. Ее особенность заключается в синусоидной забивке с чередо-

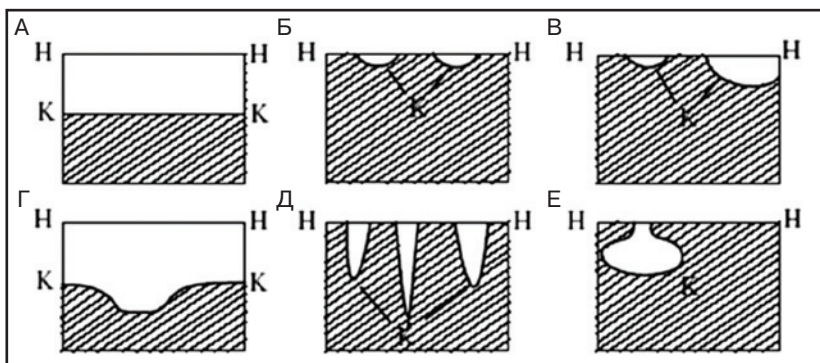


Рис. 1. Схематическое изображение различных видов коррозии: А – равномерная; Б – пятнами; В, Г – язвами; Д – точечная (питтинг); Е – подповерхностная; НН – исходная поверхность металла; КК – рельеф поверхности, измененный вследствие коррозии

ванием выпуклых и вогнутых элементов. Таким образом, воздействие воды акватории происходит только с лицевой стороны стенки, и коррозия металла происходит с внешней стороны выпуклого шпунта и внутренней стороны вогнутого шпунта. Коррозии подвергаются также боковые стенки конструкции и ее внутренняя часть, обращенная к грунту, в результате воздействия грунтовых вод. Однако из-за нехарактерности такой коррозии для сооружений центральной части России и в связи с отсутствием данных обследований в настоящей работе такая коррозия не рассматривалась.

Физический износ связан со скоростью коррозии, которая в свою очередь зависит от естественных условий конкретного бассейна, основными из которых являются: температура воды; температура и влажность воздуха; колебания уровня воды; скорость течений; уровень солнечной радиации; агрессивность грунтовой и морской воды; вид и химическая активность перерабатываемого на причале груза; химический состав стали; конструктивное исполнение и место расположения сечения по отношению к уровню воды.

Степень агрессивности среды по отношению к металлическим конструкциям в подводной части сооружения зависит от химического состава воды, ее температуры, скорости течения, наличия агрессивных соединений, попадающих в воду. Элементы, расположенные в грунте, коррозии практически не подвергаются. В зоне переменного уровня воздействуют все перечисленные агрессивные факторы. В надводной зоне скорость коррозии зависит от темпе-

ратуры, влажности и агрессивности воздуха.

В результате действия агрессивной среды и других факторов происходят различные виды разрушения металла под влиянием коррозии. Ее формы весьма разнообразны и проявляются в виде язв, пятен, точек и др. (рис. 1).

Когда коррозия протекает со скоростью, почти одинаковой по всей поверхности, то последняя становится лишь немного более шероховатой, чем исходная. Чаше наблюдается различная скорость коррозии на отдельных участках – пятнами, язвами. Если язвы имеют малое сечение, но относительно большую глубину, то их называют «точечной коррозией (питтингом)». В некоторых условиях маленькая язва распространяется вглубь и вширь под поверхность.

Неравномерная коррозия считается значительно более опасной, чем равномерная, поскольку при сравнительно небольшом количестве окисленного металла вызывает ощутимое уменьшение сечения в отдельных местах.

Язвенная или точечная коррозия способна привести к образованию сквозных отверстий, например в листовом материале, при малой потере металла.

Приведенная классификация является условной. Возможны многочисленные формы разрушений между характерными типами (см. рис. 1).

Некоторые сплавы подвержены своеобразному виду коррозии, протекающей только по границам кристаллитов (рис. 2), которые оказываются отделенными друг от друга тонким слоем продуктов коррозии (межкристаллитная коррозия). Здесь потери металла очень малы,

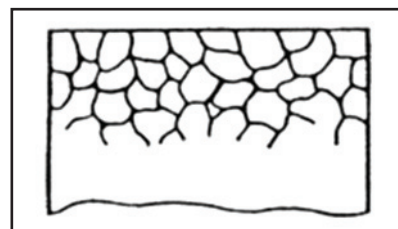


Рис. 2. Схематическое изображение полиэдров (кристаллитов) металлического образца, испытавшего межкристаллитную коррозию

но сплав теряет прочность. Это – очень опасный вид коррозии, который нельзя обнаружить при наружном осмотре изделия.

Конструкции портовых ПС относятся к крупногабаритным несущим и состоят из отдельных элементов, связанных между собой неподвижными соединениями. Напряженное состояние элементов является однородным, когда все элементы при эксплуатации конструкции находятся в одинаковом состоянии растяжения–сжатия под действием внешних сил. Восприятие усилий элементами и их работа в едином комплексе позволяют достичь рационального напряженного состояния и обеспечения наименьшего веса при нужной прочности.

Для стального шпунта одноанкерного больверка напряжения при изгибе рассчитываются по закону Гука:

$$\sigma_x = E \cdot \varepsilon_x, \quad (1)$$

где E – модуль упругости; ε_x – относительная линейная деформация.

Связь между внутренними усилиями с нормальными напряжениями в сечении балки определяется из системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma F_x = 0 \quad N = 0 \quad \int_A \sigma_x \cdot dA \\ \Sigma M_y = 0 \quad M_y = 0 \quad \int_A \sigma_x \cdot z \cdot dA \\ \Sigma M_z = 0 \quad M_z = M_0 \quad \int_A \sigma_x \cdot y \cdot dA = M_0 \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Относительная линейная деформация ε_x балки:

$$\varepsilon_x = \frac{y}{\rho}, \quad (3)$$

где ρ – радиус кривизны балки. Распределение нормальных напряжений по сечению балки:

$$\sigma_x = E \cdot \frac{y}{\rho}. \quad (4)$$

Подставляя это соотношение в выражение (2), получим:

$$\left. \begin{aligned} N &= \int_A \sigma_x \cdot dA = 0 \quad \frac{E}{\rho} \int_A y \cdot dA = 0 \quad S_z = 0 \\ M_y &= \int_A \sigma_x \cdot z \cdot dA = 0 \quad \frac{E}{\rho} \int_A y \cdot z \cdot dA = 0 \quad J_{yz} = 0 \\ M_x &= \int_A \sigma_x \cdot y \cdot dA = M_0 \quad \frac{E}{\rho} \int_A y^2 \cdot dA = M_z \quad \frac{E}{\rho} J_z = M_z \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Кривизна балки из последнего уравнения:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_z}{E \cdot J_z} \quad (6)$$

Нормальные напряжения при изгибе:

$$\sigma_x = \frac{M_z \cdot y}{J_z} = \frac{M_z}{W_z}, \quad (7)$$

где W_z – осевой момент сопротивления.

Вычисление значения прочности шпунта одноанкерного ПС при изгибе выполняется на основе оценки момента сопротивления сечения при его коррозионном износе. При этом рассчитывается момент инерции шпунта относительно нейтральной оси $x-x$, проходящей по замковому соединению.

Момент сопротивления сечения:

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = , \quad (8)$$

где I_x – момент инерции шпунта относительно нейтральной оси $x-x$, проходящей по замковому соединению;

y_{\max} – высота сечения шпунта.

В результате коррозии толщина полки шпунта уменьшится на величину D , и момент сопротивления с учетом коррозии будет равен:

$$W_{xd} = W_x - W_d. \quad (9)$$

Момент сопротивления опреде-

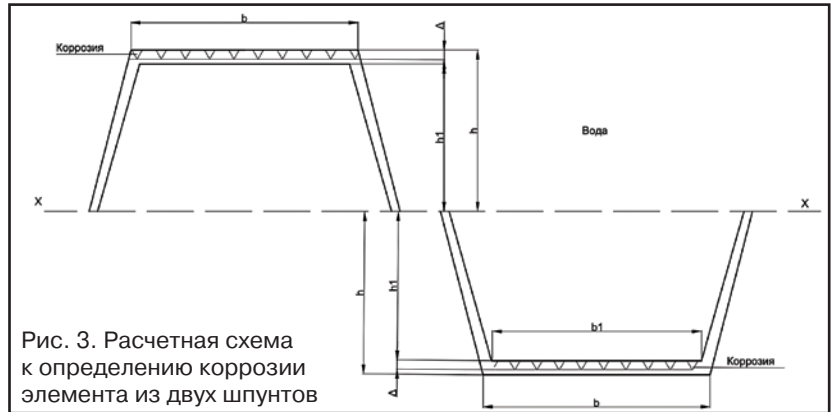


Рис. 3. Расчетная схема к определению коррозии элемента из двух шпунтов

лялся для случая, когда при расположении воды со стороны выпуклой стороны шпунта коррозия будет происходить с внешней его части (выпуклой), а коррозия вогнутой шпунта – с внутренней стороны (рис. 3). Также учитывалось, что коррозионный износ двух стенок составляет примерно 40% величины коррозии полки [2].

Исследование влияния коррозии и определение прочности шпунта при его коррозионном износе осуществлялись на примере некоторых ПС, конструкций из металлического шпунта Ларсен IV, расположенных в городах Череповец, Ярославль, Кострома и Тольятти. Параметры ТС принимались по материалам обследований и полученным данным дефектации сооружений. Расчет параметров прочности сечения при изгибе в виде моментов инерции и сопротивления при коррозионном износе производился при средних, максимальных и минимальных показателях коррозии. Учитывался коррозионный износ лицевой поверхности стенки со стороны акватории.

Остаточный момент сопротивления шпунта в результате коррозии определяется разницей между

моментом сопротивления целого шпунта и моментом сопротивления его корродированного участка.

На рис. 4 показаны зависимости моментов сопротивлений корродированных участков и целого шпунта от размера коррозии.

Момент сопротивления вогнутой части шпунта несколько меньше, чем выпуклой, что определяется его геометрией. Однако момент сопротивления одного шпунта с коррозией с вогнутой стороны больше, чем момент сопротивления шпунта с коррозией с выпуклой стороны при равной величине коррозии. Это значит, что одинаковая величина коррозии выпуклой и вогнутой частей шпунта по-разному влияет на его прочность. Выпуклые шпунты, расположенные в общем причальном фронте, имеют меньшую прочность при коррозионном износе, чем вогнутые.

Зависимость момента сопротивления от физического износа при средних значениях коррозии представлена на рис. 5.

Как видно, зависимость момента сопротивления имеет линейный характер. При нулевой коррозии момент сопротивления равен

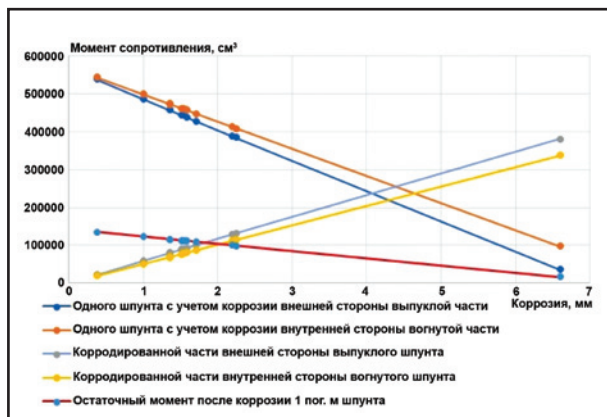


Рис. 4. Зависимость момента сопротивления от величины коррозии

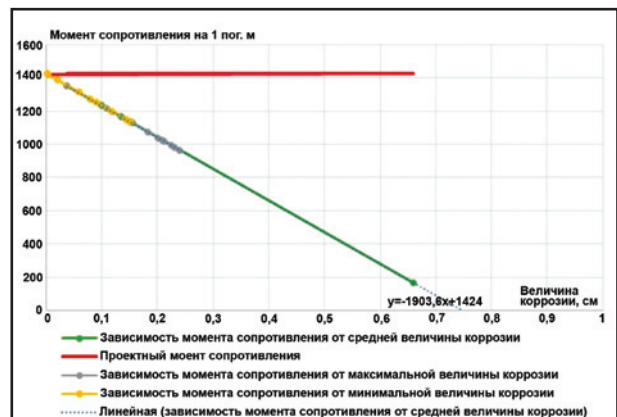


Рис. 5. Зависимость момента сопротивления от физического износа шпунта при средних значениях коррозии

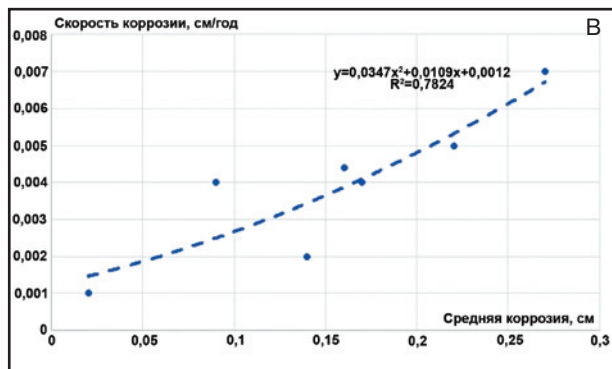
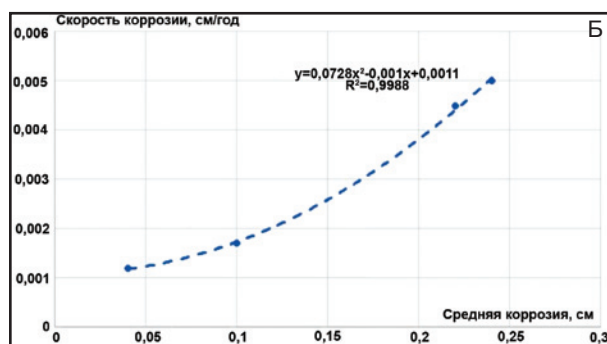
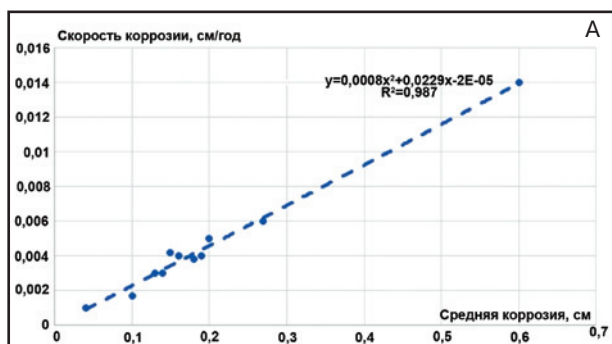


Рис. 6. Зависимости скорости коррозии от величины коррозии в разных зонах по высоте причального сооружения в зонах: А – надводной; Б – подводной; В – переменного уровня воды

1427 см³/м, то есть предельный. Величина коррозии 0,748 см является критической, при достижении которой прочность шпунта при изгибе не будет обеспечена.

Распространение коррозии происходит по всему шпунтовому ряду в длину и высоту сооружений, скорость варьируется от 0,0006 до 0,014 см/год. Более высокая скорость коррозии определена в секциях, где перегружался химически агрессивный груз.

Скорость коррозии в различных зонах по высоте сооружения рассчитывалась для трех зон – надводной, подводной и переменного уровня воды (рис. 6). Полученные данные в виде поля точек были аппроксимированы полиномом второго порядка. Однако, поле точек относится преимущественно к диапазону изменения средней коррозии от 0,01 до 0,3 см, и только одна точка с величиной коррозии 0,6 см, наблюдавшейся в надводной зоне, выбивается из общего множества. Это объясняется тем, что увеличенная коррозия была на причале с химически агрессивным грузом.

Если рассматривать только сопоставимые условия и не учитывать выбивающееся значение на совмещенном графике (рис. 7), то аппрок-

симирующие зависимости наглядно показывают особенность изменения скорости коррозии в разных зонах по высоте сооружения. В зоне переменного уровня воды скорость коррозии выше, по сравнению с другими зонами, и в подводной зоне она самая низкая.

Оценка несущей способности шпунта при его коррозионном износе осуществлялась по следующей методике.

Выполняется расчет ПС графоаналитическим методом упругой линии [3] с определением эпюры изгибающих моментов от действующих сил. Эпюра изгибающих моментов сопоставляется с графиком коррозии по высоте шпунта или схемой с местами расположения коррозии. В расчетных сечениях по высоте рассчитываются изгибающие моменты от действующих сил по формуле:

$$M_{np} = X_{np} \cdot \eta, \quad (10)$$

где η – полюсное расстояние (принимается в масштабе сил при построении силового многоугольника).

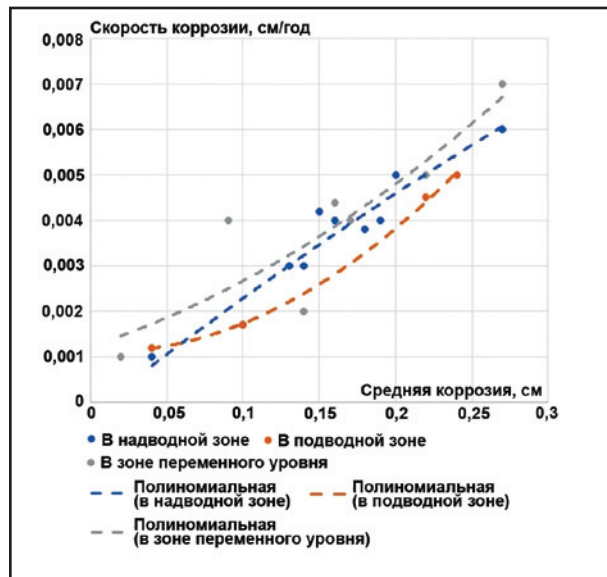


Рис. 7. Совмещенный график зависимости скорости коррозии

Вычисляются моменты сопротивления:

$$W_{расч} = \frac{M}{R_y}, \quad (11)$$

где R_y – расчетное сопротивление стали шпунта, кПа;

M – изгибающий момент в пролете лицевой стенки, действующий на 1 пог. м, кНм.

Полученные моменты сопротивления сравниваются с предельными при коррозионном износе.

Для рассматриваемой задачи сопоставление по высоте сооружения зон коррозионного износа и веревочного многоугольника упругой линии шпунта приведено на рис. 8.

Вычисленные значения моментов изгибающих и сопротивления сведены в таблицу 1 и показаны графически на рис. 9.

Как видно, предельный момент сопротивления шпунта с коррозией 6 мм составляет 281 см³. Но сечение, где обнаружена такая большая величина коррозии, находится в верхней части шпунта. Здесь действующие нагрузки вызывают небольшой

Результаты расчета моментов сопротивления

Таблица 1

Зона по высоте сооружения	Величина коррозии, мм	Изгибающий момент от действующих нагрузок, кНм	Момент сопротивления при действующих нагрузках, см ³	Предельный момент сопротивления при коррозионном износе, см ³	Предельный момент шпунта в проектном состоянии, см ³
Надводная	6,0	9,9	45	281	1427
Переменного уровня	0,2	18,0	82	1388	
Подводная	2,4	243,0	1100	965	

изгибающий момент, и несмотря на большую величину коррозии существует значительный запас прочности. Сечение, где обнаружена коррозия 2,4 мм приходится на наиболее нагруженную пролетную часть шпунта, где от действующих нагрузок возникает значительный изгибающий момент, а момент сопротивления 1100 см³ превышает предельный для этого значения коррозии.

Согласно ГОСТ 54523-2011 шпунтовая стенка, имеющая дефект «поражение коррозией», находится в работоспособном состоянии при средней остаточной толщине металла в горизонтальном сечении не менее 75% проектной.

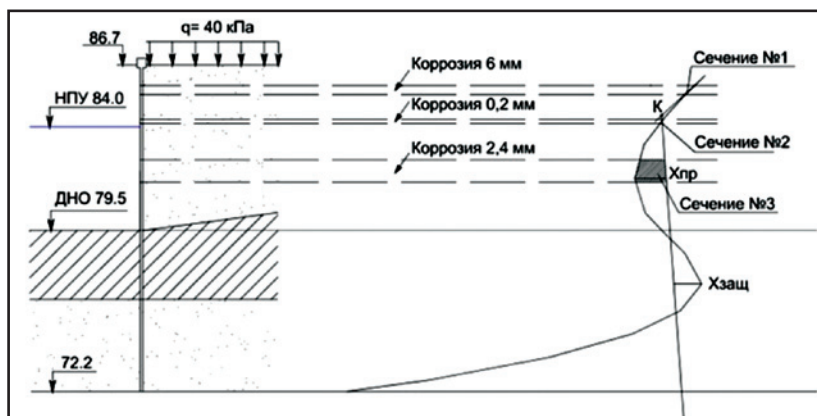


Рис. 8. Сопоставление веревочного многоугольника и зон коррозионного износа

Параметры коррозионного износа шпунта

Таблица 2

Зона по высоте сооружения	Величина коррозии, мм	Нормативная толщина шпунта, мм	Остаточная толщина шпунта		Нормативная остаточная толщина шпунта (ГОСТ 54523-2011)		Запас прочности, %
			м	%	м	%	
Надводная	6,0	14,8	8,8	59,5	11,1	75	-15,5
Переменного уровня	0,2		14,6	98,6			23,6
Подводная	2,4		12,4	83,8			8,8

В таблице 2 приведены данные по остаточной толщине шпунта при коррозионном износе в разных зонах по высоте сооружения. При этом в надводной зоне остаточная толщина 59,5% меньше нормативной по ГОСТ 54523-2011 – 75%, и запас прочности соответственно

отсутствует. В подводной зоне запас прочности равен 8,8%.

Но если рассматривать запас прочности конструкции как отношение момента сопротивления от действующих нагрузок и предельного момента сопротивления при коррозионном износе (таблица 2), то картина полностью меняется (рис. 10 и 11). В надводной зоне при

действующих небольших изгибающих моментах запас прочности велик и составляет 84% (рис. 10), при этом величина износа равна 40,5%, что больше допустимого по ГОСТ 54523-2011 – 25%. В подводной зоне возникают значительные изгибающие моменты, и прочность не обеспечивается, хотя износ достигает лишь 16%.

Рис. 11. Соотношение износа и остаточной толщины шпунта в разных зонах по высоте сооружения

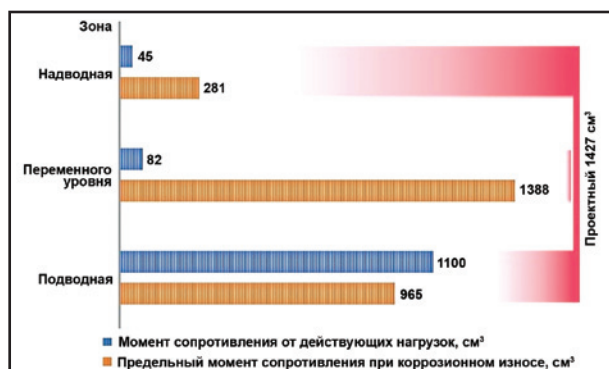


Рис. 9. Соотношение расчетных моментов сопротивления и предельного проектного

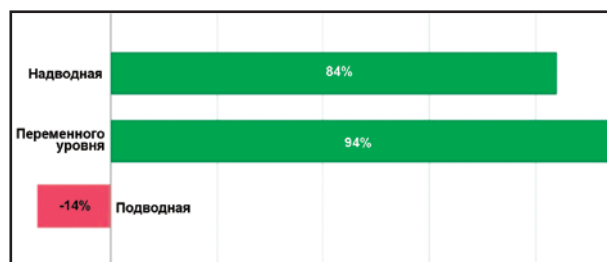


Рис. 10. Запас прочности (%) в разных зонах по высоте сооружения

Вывод: при оценке работоспособности сооружения при дефекте металлического шпунта «поражение коррозией» постоянную его величину по высоте, как регламентировано ГОСТ 54523-2011, принимать нецелесообразно. Необходимо рассматривать влияние дефекта в зависимости от его местоположения по высоте сооружения и загруженности сечения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ Р 54523-2011 Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2012. 2. Особенности методов оценки технического состояния тонкой шпунтовой стенки причального сооружения / Егоров С. В., Гарибин П.А. // Речной

транспорт (XXI век). 2024. – № 1(109). – с. 28-34. 3. Влияние расположения разгрузочных свай в обратной засыпке на напряженно-деформированное состояние больверка / Подкорытова Д.А. // Научные проблемы водного транспорта. 2021. – № 66. – с. 165-175. 4. М.А. Сахненко. Методика оценки коэффициента надежности морских причалов с учетом сроков эксплуатации (дисс. канд. техн. наук). – 262 с. 4. Указания по проектированию причальных набережных (СН-РФ 54.1-85, Минречфлот РСФСР). – М.:

Гипроречтранс, 1985. 6. Исследование влияния коррозии конструкции на напряженно-деформированное состояние портовых причальных сооружений из металлического шпунта / Кочурова Н.В. // Вестник ВГАВТ. 2005. – № 12. – с. 186-192.

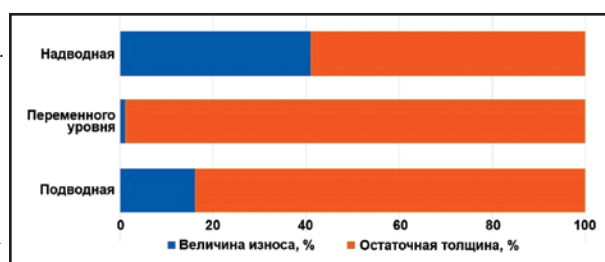


Рис. 11. Соотношение износа и остаточной толщины шпунта в разных зонах по высоте сооружения

УЧРЕЖДЕНИЯ: Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ), Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук (ИПФ РАН)

ТЕМА: Оптимизация характеристик теплохода – сборщика отходов в системе внесудовой очистки в зависимости от интенсивности движения флота

АВТОРЫ: М.С. МАНАКОВА, инженер лаборатории электромагнитного окружения Земли отдела геофизической электродинамики ИПФ РАН; С.В. ВАСЬКИН, к.т.н., доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов ВГУВТ

УДК 504.054, 656.62

В Стратегии развития внутреннего водного транспорта РФ до 2030 г. в качестве одной из важных задач обозначено совершенствование комплексного обслуживания речных судов, в том числе процессов приема и обработки хозяйственно-бытовых и нефтесодержащих вод и других отходов.

Эти функции выполняет флот экологического назначения. В настоящее время он представлен теплоходами-сборщиками постройки 1960-70-х годов. Однако их вынужденно и постепенно выводят из эксплуатации, нередко заменяя специально переоборудованными танкерами, водолеями и другими плавсредствами.

Между тем, суда-сборщики являются частью целой системы по сбору судовых отходов, эффективность которой во многом зависит от количества и параметров такого флота, эксплуатирующегося на конкретном участке акватории с определенной интенсивностью движения [1].

Для оптимизации характеристик теплохода-сборщика авторами статьи

была разработана численная модель работы внесудовых водоохраных средств в речном порту, сочетающая элементы вероятностного и имитационного моделирования. В предлагаемом варианте количество и тип судов, подающих заявки на сдачу в порту сточных и нефтесодержащих вод (СВ и НВ), случайны и зависят от интенсивности движения флота. Эксплуатация теплохода-сборщика описывается имитационной моделью, учитывающей все технологические операции, связанные со сбором и транспортировкой отходов. Такой принцип позволяет симитировать работу системы и рассмотреть параметры и возможности оптимизации основного ее элемента – судна-сборщика [2].

В описываемой модели рассматривается некий виртуальный речной порт, оборудованный причалом, рейдом и береговыми сооружениями для приема судовых отходов с судов-сборщиков. Через порт следует поток транзитного флота различного типа, часть единиц которого подает заявки на обслуживание. Поскольку

образующиеся на судах твердые бытовые отходы имеют относительно небольшую массу и занимают малый объем, по сравнению с НВ и СВ, то в качестве сдаваемого мусора они не принимались во внимание.

Суда-сборщики дислоцируются рядом с береговыми приемными сооружениями и находятся в режиме ожидания до тех пор, пока не появится хотя бы одно транспортное судно, которому необходимо сдать накопившиеся отходы. При получении заявки теплоход-сборщик направляется к заказчику. При этом пассажирский флот обслуживается у причала, а грузовой – на рейде. Подойдя к нужному судну, сборщик выполняет вспомогательные операции (швартовка, присоединение шлангов) и принимает отходы. Продолжительность вспомогательных операций в реальности сильно отличается у разных типов обслуживаемых судов, применяемого оборудования, погодных условий и пр. Соответственно при моделировании период для этих процедур был принят как

детерминированная величина равная 15 мин. [2, 3].

Для выявления из общего потока флота, которому необходимо сдать накопившиеся отходы, было введено условие:

$$t_i + t_{\text{ЭХВП}} > t_a^{\text{CB}}, \quad (1)$$

где t_i – время, прошедшее с момента последней сдачи судном СВ до момента его прихода в рассматриваемый порт; задается случайным образом от 0 до t_a^{CB} ;

$t_{\text{ЭХВП}}$ – экологическая характеристика водного пути;

t_a^{CB} – автономность плавания судна по СВ.

Поскольку Санитарными правилами СП 2.5.3650-20 срок хранения СВ на борту судна ограничен 6 сут., в качестве максимальной автономности плавания флота по СВ принималось именно это значение, даже если вместимость судовых сборных цистерн позволяла накапливать стоки более длительный период.

Размерность приведенных величин должна быть одинаковой и выражаться как время – минуты, часы, сутки и т.д.

Если указанное условие выполняется, то судно подает заявку на сдачу сточных вод.

Фактическое количество накопленных на борту СВ (\tilde{V}_{CB}) определяется на основании Правил предотвращения загрязнения окружающей среды с судов так:

$$\tilde{V}_{\text{CB}} = Q_{\text{CB}} \cdot t_i \cdot n_{\text{чел}}, \quad (2)$$

где Q_{CB} – удельное значение накопления сточных вод, м³/ (человек*сут.), зависящее от типа единицы флота;

$n_{\text{чел}}$ – количество людей на борту, человек.

В конкретном случае размерность t_i равняется суткам.

Фактическое количество НВ (\tilde{V}_{HB}) задается случайным образом от 0 до V_{HB} . Поскольку НВ не имеют такого ограничения по времени хранения, как СВ, то при моделировании процесса сбора судовых отходов было установлено требование, при котором транспортное судно должно сдавать НВ только тогда, когда цистерны для данных отходов, расположенные на его борту, будут заполнены более чем на 80%:

$$\tilde{V}_{\text{HB}} > 0,8 \cdot V_{\text{HB}}, \quad (3)$$

где V_{HB} – объем цистерн нефтесодержащих вод, м³.

Если это условие выполняется, то судно сдает нефтесодержащие воды.

Согласно разработанной модели, при приеме СВ у транспортного флота теплоход-сборщик использует собственные насосы, если их производительность выше таковой у обслуживаемого судна. Иначе флот сдает СВ, задействуя собственные насосы. При приеме НВ применяются только насосы теплохода-сборщика.

Время полной сдачи судовых отходов t_{CD} зависит от количества их видов и производительности соответствующих насосов:

$$t_{\text{co}} = \max \left(\frac{\tilde{V}_{\text{CB}}}{q_{\text{CB}}}, \frac{\tilde{V}_{\text{HB}}}{q_{\text{HB}}} \right), \quad (4)$$

где q_{CB}^* – производительность насосов сточных вод транспортного судна, (м³/сут.),

$q_{\text{CB}} = q_{\text{CB}}^{\text{св}}$, если таковых насосов нет, то – судна-сборщика: $q_{\text{CB}}^* = q_{\text{CB}}^{\text{сб}}$;

$q_{\text{HB}}^{\text{сб}}$ – производительность насосов нефтесодержащих вод судна-сборщика, (м³/сут.).

Численное моделирование системы сбора судовых отходов было реализовано на языке программирования «C++» с последующей обработкой результатов с помощью стандартных функций пакетов «NumPy» и «SciPy» языка «Python». В ходе работы на начальных этапах исследований рассматривались следующие параметры, которые могут влиять на эффективность функционирования системы:

– поток судов, то есть среднее количество единиц флота, проходящих через границы порта в течение суток;

– экологическая характеристика водного пути (ЭХВП), равная минимально допустимой автономности плавания судна, определяемая количеством и дислокацией приемных устройств в районе предполагаемой эксплуатации судна;

– расстояния от причала и рейда до места базирования теплохода-сборщика;

– количество судов-сборщиков и их параметры: вместимость сборных цистерн СВ и НВ, средняя скорость движения, производительность насосов для перекачки СВ и НВ.

В качестве критериев эффективности системы сбора судовых отходов были выбраны такие показатели, как количество обслуженных за сутки судов и среднее время их обработки.

На первом этапе исследования было уменьшено количество параметров, за счет исключения менее значимых.

Параметр «поток судов», описываемый распределением Пуассона [4], определяет общую нагрузку на систему сбора отходов. Для выбора значений этого параметра использовалась информация, предоставленная администрацией Волжского бассейна. Тип судна, следующего мимо порта, выбирался случайным образом; а на основании сведений, содержащихся в базе данных Российского классификационного общества, определялись необходимые характеристики. При этом был отсеян маломерный, обстановочный и прочий мелкий флот, вклад которого в общий объем судовых отходов незначителен.

На основании сбора и анализа фактических сведений каждый из указанных параметров варьировался в интервалах: ЭХВП – от 0,2 до 3 сут.; расстояние от причала до места базирования теплохода-сборщика – от 1 до 5 км; расстояние от рейда до места базирования теплохода-сборщика – от 2 до 10 км; средняя скорость теплохода-сборщика – от 6 до 14 км/ч; суммарная вместимость сборных цистерн по СВ – от 40 до 120 м³, по НВ – от 20 до 60 м³; производительность насосов по СВ – от 40 до 120 м³/ч, по НВ – от 20 до 60 м³/ч.

Поскольку количество возможных вариантов для проведения численного моделирования оказалось чрезвычайно большим, предварительно оценивалась влияние отдельных параметров на функционирование системы. В результате было установлено, что увеличение средней скорости сборщика выше 10 км/ч практически не приводит к росту числа обслуживаемых судов. Влияние на количество обработанного флота критериев «расстояние от причала до места базирования теплохода-сборщика» и «расстояние от рейда до места базирования теплохода-сборщика» заметно при низких скоростях – до 10 км/ч. При скорости движения сборщика со скоростью 10 км/ч и выше увеличение преодолеваемого им расстояния в 4 раза ведет к снижению числа обслуженных единиц флота примерно на 10%. В связи с этим даже при максимальных значениях, выбранных в качестве опорных, влияние этого параметра намного меньше, чем других [5].

Таким образом, при дальнейших исследованиях в качестве основных значимых параметров принимались поток судов, ЭХВП, вместимость сборных цистерн и производительность насосов сборщика. Кроме того,

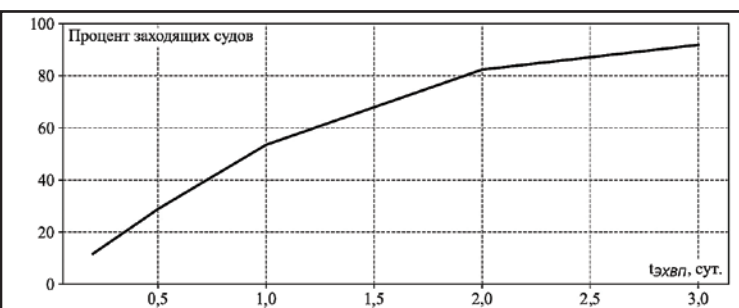


Рис. 1. Процентное соотношение количества заходящих в порт судов от ЭХВП

по итогам ранее осуществленного численного моделирования удалось выяснить, что при действующих сегодня нормативах образования на судах СВ и НВ их соотношение при сдаче составляет примерно 5:1.

Важно отметить, что при моделировании была получена зависимость, отражающая процентное соотношение количества заходящих в речной порт транспортных судов для сдачи отходов от ЭХВП (рис. 1).

Для оптимизации системы сбора судовых СВ и НВ с помощью сборщика выбирались два его параметра — «объем цистерн СВ» (V_{CB}) и «производительность насосов СВ» (q_{CB}), которые могут оказывать влияние на проектирование и стоимость теплохода экологического назначения. При этом, как удалось установить ранее: $V_{NB}=V_{CB}/5$, $q_{NB}=q_{CB}/5$. Значения остальных параметров системы: «поток судов» = 25 ед. в сут., «ЭХВП» = 1 сут., «расстояние от причала до места базирования теплохода-сборщика» = 3000 м, «расстояние от рейда до места базирования теплохода-сборщика» = 6000 м, «скорость теплохода-сборщика» = 10 км/ч.

Численное моделирование выполнялось по сетке параметров V_{CB} и q_{CB} . Туда был включен набор их возможных значений (таблица 1).

Важный критерий оптимизации рассматриваемой системы — время, в течение которого транспортное судно находится в порту на сдаче накопившихся отходов. Поэтому в качестве третьего критерия оптимизации принималась минимизация

«времени, проведенного судном в порту», состоящего из периодов ожидания и непосредственно обработки. Данный параметр является статистической величиной, характеризуемой средним значением. Этому критерию присваивается более высокая степень значимости, по сравнению с указанными двумя другими, поскольку при сокращении времени, проведенного транспортным судном в порту, возрастает пропускная способность не только самого порта, но и водного пути в целом.

Важно отметить, что данный параметр напрямую зависит от других ключевых параметров оптимизации — «объема цистерн СВ» и «производительности насосов СВ». Чем выше производительность насосов и больше объем цистерн, тем быстрее транспортное судно будет обслужено в порту. При этом существуют ограничения по объему и производительности, связанные прежде всего с проектированием теплохода экологического назначения, а также экономическими показателями. Для получения более точных результатов построения сетки параметров по таблице 1 требовалось указывать промежуточные значения ключевых величин, в том числе упомянутого времени. Соответственно проводилась интерполяция результатов моделирования.

В рассматриваемом случае (при многокритериальной оптимизации) в качестве целевой функции выбиралась мультипликативная функция скаляризации. Степень значимости задавалась так: критерий «время, проведенное судном в порту» — $1/2$, «объем цистерн СВ» и «производительность насосов СВ» — $1/4$.

Таким образом, целевая функция при оптимизации работы системы сбора судовых отходов с помощью теплохода-сборщика имеет вид:

$$F(V_{CB}, q_{CB}) = t^{1/2} (V_{CB} \cdot q_{CB}) \cdot V_{CB}^{1/4} \cdot q_{CB}^{1/4} \rightarrow \min, \quad (5)$$

где t — среднее время, проведенное транспортным судном в порту;
 V_{CB} — объем цистерн СВ;
 q_{CB} — производительность насосов по СВ.

Выбранная в качестве целевой мультипликативная функция скаляризации обладает главным преимуществом — независимостью от размерностей оперируемых величин.

Существуют и другие способы определения оптимальных параметров при многокритериальной оптимизации. Так, например, в статье [6] используется метод идеальной точки. Но его отличает ряд недостатков, важным из которых является поиск необходимых коэффициентов для суммирования величин с неодинаковыми размерностями; а это ощутимо продляет время для их подбора. Чтобы избежать трудностей при выборе необходимых коэффициентов, было решено воспользоваться мультипликативной функцией, поскольку произведение величин позволяет исключить зависимость от размерности и дает возможность оценить необходимые оптимальные критерии.

Соответственно, целью многокритериальной оптимизации системы сбора судовых отходов посредством теплохода-сборщика было определение минимума целевой функции.

На рис. 2 показан пример целевой функции для потока судов, проходящих мимо рассматриваемого речного порта, величина которого равна 5 ед. флота в сут.

Здесь по горизонтальной оси отложен объем цистерн СВ, по вертикальной — производительность насосов СВ. Цвет, обозначающий логарифм целевой функции, позволяет продемонстрировать ее изменчивость: красный оттенок показывает большее значение, а синий — меньшее. Белый символ (звезда) — оптимальная, а именно минимальная целевая функция при многокритериальной оптимизации.

На рис. 3 представлен результат оптимизации работы системы сбора судовых отходов в речном порту с помощью теплохода-сборщика при потоке флота равном 5, 10, 15, 20, 25 ед. в сут.

С учетом этого можно сделать вывод: увеличение параметра системы «поток судов» приводит к росту значений оптимизируемых

Сетка параметров моделирования при оптимизации системы

Таблица 1

Параметр	Значение							
«Объем цистерн СВ», м ³	10	20	30	40	60	80	100	130
«Производительность насоса СВ», м ³ /ч	10	20	30	40	60	80	100	130

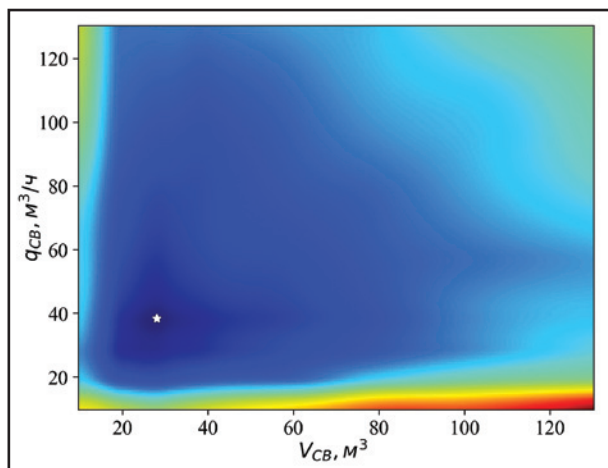


Рис. 2. Пример расчета целевой функции при потоке судов, проходящих мимо порта, равном 5 ед. в сут.

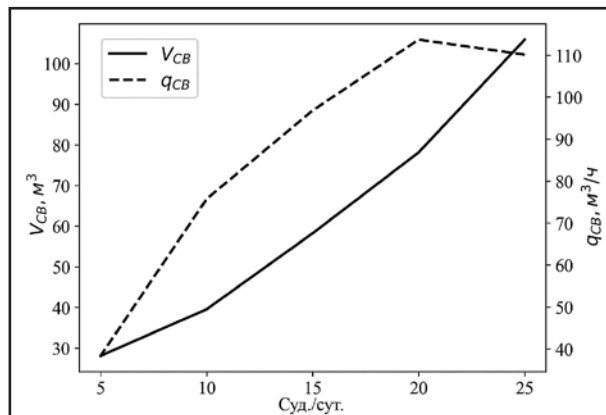


Рис. 3. Результат оптимизации работы системы сбора судовых отходов с помощью теплохода-сборщика при различных потоках судов в сут.

Сводная таблица результатов численного моделирования системы сбора судовых отходов с помощью теплохода-сборщика

Таблица 2

	ЭХВП, сут.					«Объем цистерн СВ» V_{CB} , м³	«Производительность насосов СВ» q_{CB} , м³/ч	«Время, проведенное судном в порту», ч	Загруженность системы сбора судовых отходов с теплоходом-сборщиком, %
	0,2	0,5	1	2	3				
Поток судов, суд./сут.	23	9	5	3	3	28	38	2,8	27
	46	19	10	7	6	40	76	2,5	37
	69	28	15	10	9	58	97	2,6	47
	92	37	20	13	12	78	114	2,9	56
	115	46	25	16	15	106	110	3,7	67

характеристик системы сбора судовых отходов в речном порту с помощью теплохода-сборщика – «объем цистерн СВ» и «производительность насосов СВ».

На основании данных, полученных по итогам численного моделирования, была составлена сводная таблица 2 по главным результатам оптимизации. При этом, используя выведенную ранее зависимость, отражающую процентное соотношение количества заходящих в порт судов (см. рис. 2), удалось получить оптимальные значения (таблица 2) трех отобранных критериев в зависимости от значений ЭХВП и потока судов на конкретном участке водного пути.

Как показали расчеты, при увеличении в 5 раз потока судов, проходящих мимо порта, загруженность системы сбора у них отходов с помощью теплохода-сборщика возрастает в 2,48 раза. Но при этом такой же большой скачок наблюдается и в увеличении значений параметров теплохода-сборщика «объем цистерн СВ» и «производительность насосов СВ», которые возрастают в 3,79 и в 2,89 раз соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая модель функционирования системы сбора судовых отходов с помощью специализированного флота экологического назначения позволяет решить задачу соответствия характеристик сборщиков интенсивности судоходства на определенном участке водного пути с учетом ЭХВП.

С помощью авторского подхода можно оптимизировать, сократить время, проведенное транспортным судном в речном порту, с целью повышения пропускной способности порта и водного пути в целом.

Кроме того, выявленные параметры теплохода-сборщика являются наиболее рациональными для заданных условий эксплуатации и могут быть использованы при проектировании судов данного типа.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Совершенствование системы обеспечения безопасности эксплуатации судов для окружающей среды / Новиков В.К., Савельев В.Г., Минаева И.А. // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 5. – с.76-78.
2. Моделирование нагрузки на внесудовые водоохранные средства

- / Васькин С.В., Дмитриева М.С. // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. – №. 3(79). – с. 38-46.
3. Системный анализ технологических процессов погрузо-разгрузочных работ в порту на примере эксплуатации нефтеналивного причала / Устинов В.В., Зеленков Г.А. // Транспортное дело России. 2012. – № 3. – с. 58-62.
3. Приказ МРФ от 20.08.2009 г. № 140 «Об утверждении Общих правил плавания и стоянки судов в морских портах РФ на подходах к ним» (с изм. от 22.03.2010 г.) // Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. 2009. – т. 19.
4. А.Л. Лифшиц, Э.А. Мальц. Статистическое моделирование систем массового обслуживания. – М.: Советское радио, 248 с.
5. Влияние скорости судна-сборщика на эффективность работы системы сбора судовых отходов // Научные проблемы водного транспорта. 024. – № 78. – с.76-83.
6. Многокритериальная оптимизация транспортных систем массового обслуживания / Балясников В.В., Богданов А.А., Маслаков В.П., Староселец В.Г. // Транспорт РФ. 2012. – №. 6 (43). – с. 73-76.

АННОТАЦИИ

Связь между состоянием технического флота и задачами Транспортной стратегии РФ / Кашина В.В., Бурмистров Е.Г., Мильцин Д.А. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с. 34-36.

Рассматривается проблема реализации мероприятий, направленных на развитие Единой опорной сети внутренних водных путей. Выстраивается связь между текущим составом эксплуатирующегося технического флота и реализацией Транспортной стратегии РФ до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Предлагается принцип выявления потенциальной пригодности судов к эксплуатации до 2035 года с учетом влияния совокупности ключевых факторов.

Ключевые слова: путевой флот, техническое состояние, внутренние водные пути.

Контакты: lrtot@mail.ru, burmistrov_e_g@mail.ru, miltsinda@mail.ru

Подходы к формированию информационных моделей для решения внешней задачи проектирования хаусботов / Гордлеев С.Д. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с. 36-38.

Рассматриваются подходы к формированию информационных моделей для создания хаусботов. Предлагается системный принцип организации проектных работ на начальных стадиях. Проводится оценка использования информационных моделей, описываются различные способы управления процессами решения внешней проектной задачи, учитывающие опыт взаимодействия исполнителей и заказчиков.

Ключевые слова: хаусбот, дом на воде, судовая архитектура, внешняя задача проектирования, информационная модель.

Контакты: Gordleev.sd@vsuwt.ru

Новое устройство для гашения вибраций судовой энергетической установки / Чихачев В.А., Лебедев Б.О., Кочергин В.И. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с. 39-40.

Обосновывается необходимость гашения вибраций и шума при работе судовой энергетической установки. Приводятся результаты анализа основных недостатков существующих демпфирующих устройств. Предлагается виброизолятор нового образца с опорным демпфирующим картриджем на основе гидравлического сопротивления.

Ключевые слова: вибрация, судовая энергетическая установка, виброизолятор, гидравлическая виброопора.

Контакты: chihachev.v97@yandex.ru, lebedevbo@list.ru, vkplus2011@yandex.ru

Обоснование транспортно-технологической схемы доставки массовых грузов судами Енисейского пароходства в условиях переменных глубин водного пути / Жендарева Е.С., Ситницын М.Г., Валинкин М.А. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с. 42-43.

Приводятся результаты технико-экономического обоснования оптимальных (по критерию минимума себестоимости элементов транспортного процесса) схем доставки с участием речного флота массовых строительных грузов в северные районы Красноярского края в условиях переменных глубин р.Енисей на участке между городами Красноярск и Лесосибирск.

Ключевые слова: речной транспорт, речной порт, транспортно-технологическая схема доставки, условия навигации.

Контакты: e.s.zhendareva@nsawt.ru, m.g.sinitcyn@nsawt.ru, markovnik_921@mail.ru

Метод формирования плана контейнерной площадки портового терминала / Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Кузнецов Р.В., Семенов А.Д. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с. 44-47.

Предлагается метод генерации плана контейнерной площадки портового терминала. Рассматриваются основные геометрические характеристики и технологии выполнения операций, влияющие на форму штабеля; зоны контейнерной площадки.

Ключевые слова: портовый терминал, контейнерная площадка, штабель, проектирование, метод.

Контакты: thunder1950@yandex.ru, kirichenkoav@gumrf.ru, kuznecovrv@gumrf.ru, asemyonov054@gmail.com

Плазменное напыление покрытий для защиты ДПК судов от гидроабразивного и кавитационного износов / Кузьмин В.И., Гуляев И.П., Сергачев Д.В., Тамбовцев А.С., Тырышкин Н.А., Палагушкин Б.В., Лебедев О.Ю., Мензилова М.Г. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с. 47-50.

Представлены результаты научно-исследовательской работы по нанесению покрытий, предназначенных для защиты рабочих поверхностей деталей машин и механизмов, работающих в условиях гидроабразивного и кавитационного износов. Покрытия наносились методом сверхзвукового атмосферного плазменного напыления порошковых материалов с использованием воздуха в качестве плазмообразующего газа.

Ключевые слова: плазмотрон, сверхзвуковое плазменное напыление, атмосферное плазменное напыление (APS), пористость, микротвердость, защитные покрытия.

Контакты: vikuzmin57@mail.ru, gulyaev@itam.nsc.ru, sergachev.mitia2015@yandex.ru, alsetams@gmail.com, pavel99730@gmail.com, 9134889132@mail.ru, ofegleb@yandex.ru, agem0492@yandex.ru

Коррозионный износ причальных портовых сооружений из металлического шпунта и его учет при оценке их работоспособности / Кочкурова Н.В., Филиппичева В.А. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с. 50-55.

Исследуется влияние коррозии металлических конструкций портовых причальных сооружений на их прочностные параметры. Выводится зависимость изменения скорости коррозии по высоте объекта. Описываются методика и особенности определения работоспособности конструкции при коррозионном износе.

Ключевые слова: причальное сооружение, шпунтовая стенка, коррозия, техническое состояние, работоспособность.

Контакты: kochkurovanatally@mail.ru

Оптимизация характеристик теплохода-сборщика отходов в системе внесудовой очистки в зависимости от интенсивности движения флота / Манакова М.С., Васькин С.В. // Речной транспорт (XXI век). 2024. – № 3 (111). – с. 55-58.

Описывается авторская математическая модель многокритериальной оптимизации системы приема судовых отходов в речном порту посредством теплохода-сборщика. Приводятся полученные в

результате численного моделирования оптимальные значения характеристик теплохода-сборщика в зависимости от интенсивности движения флота и месторасположения приемных сооружений на водных путях.

Ключевые слова: судовые отходы, внесудовая очистка, теплоход-сборщик, оптимизация, экологическая безопасность

Контакты: margarita@ipfran.ru, serwaskin@mail.ru

ANNOTATIONS

The relationship between condition of technical fleet and objectives of Transport strategy of Russian Federation / V. Kashina, E. Burmistrov, D. Miltsyn // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 34-36.

Describes the problem of realization activities aimed at development of unified backbone network of inland waterways. Creates relationship between current structure of operating technical fleet and objectives of Transport strategy of Russian Federation until 2030 with forecast for period up to 2035. Suggests the principle to identify potential suitability ships for operation until 2035 with taking into account influence of key factors combination.

Key words: track fleet, technical condition, inland waterways.

Contacts: lrtof@mail.ru, burmistrov_e_g@mail.ru, miltsinda@mail.ru

Approaches to formation of information models to solve external task of design houseboats / S. Gordleev // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 36-38.

Considers approaches to formation of information models for development houseboats. Suggests system principle of organizing design work on initial stages. Estimates using of information models, describes various ways of managing processes to solve external project based on experience of interaction between customer and contractor.

Key words: houseboat, ship architecture, external design task, information model.

Contacts: Gordleev.sd@vsuwt.ru

New device for damping vibrations of ship's power plant / V. Chikhachev, B. Lebedev, V. Kochergin // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 39-40.

Substantiates the need to suppress vibrations and noise during the operation of ship's power plant. Shows the results of analysis of main disadvantages of existing damping devices. Suggests new type vibration isolator with support damping cartridge based on hydraulic resistance.

Key words: vibration, ship's power plant, vibration isolator, hydraulic vibration support.

Contacts: chikhachev.v97@yandex.ru, lebedevbo@list.ru, vkplus2011@yandex.ru

The substantiation of transport and technological scheme of bulk cargo delivery by ships of Yenisei shipping company in conditions of variable depths of waterway / E. Zhendareva, M. Sinitsyn, M. Valynkin // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 42-43.

Describes the results of technical and economical substantiation of optimal (according to criterion of minimum cost of elements of transport process) schemes of delivery with participation of river fleet of bulk cargo to northern regions of Krasnoyarsk territory in conditions of variable depths of river Yenisei on area between cities of Krasnoyarsk and Lesosibirsk.

Key words: river fleet, river port, transport and technological scheme of delivery, navigation conditions.

Contacts: e.s.zhendareva@nsawt.ru, m.g.sinitsyn@nsawt.ru, markovnik_921@mail.ru

The method of forming plan of port terminal's container yard / A. Kuznetsov, A. Kirichenko, R. Kuznetsov, A. Semenov // River transport (XXIst century). 2024. – № 2 (110). – p. 44-47.

Suggests the method of generating plan of port terminal's container yard. Describes main geometrical characteristics and technologies of operating, which influence on stack's form, zone of container yard.

Key words: port terminal, container yard, stack, design, method.

Contacts: thunder1950@yandex.ru, kirichenkoav@gumrf.ru, kuznecovrv@gumrf.ru, asemyonov054@gmail.com

Plasma spraying of coatings to protect ships' SST from hydroabrasive and cavitation wear / V. Kuzmin, I. Gulyaev, D. Sergachev, A. Tambovtsev, B. Palagushkin, O. Lebedev, M. Menzilova // River transport (XXIst century). 2024. – № 3 (111). – p. 47-50.

Presents the results of research work on application of coatings designed to protect working surfaces of machine parts and mechanisms operating under conditions of hydroabrasive and cavitation wear. Coatings produced by supersonic atmospheric plasma spraying of powder materials using air as a plasma gas.

Key words: propeller screw, plasma torch, supersonic plasma spraying, APS, porosity, microhardness, protective coating.

Contacts: vikuzmin57@mail.ru, gulyaev@itam.nsc.ru, sergachev.mitia2015@yandex.ru, alsetams@gmail.com, pavel99730@gmail.com, 9134889132@mail.ru, diegleb@yandex.ru, agem0492@yandex.ru

Corrosion wear of berthing port structures made of sheet metal pile and its consideration in assessing their operability / N. Kochkurova, V. Filippicheva // River transport (XXIst century). 2024. – № 3 (111). – p. 50-55.

Researches influence of corrosion of berthing port facilities' metal structures on their strength parameters. Defines dependence of change corrosion speed on objects's height. Describes the method and features to determine structure's operability with corrosion wear.

Key words: berthing structure, sheet pile wall, corrosion, technical condition, operability.

Contacts: kochkurovanataly@mail.ru

Optimization of waste collector vessel's characteristics in off-ship cleaning system depending on intensity of fleet movement / M. Manakova, S. Vas'kin // River transport (XXIst century). 2024. – № 3 (111). – p. 55-58.

Describes the author's mathematical model of multi-criteria optimization of ship waste receiving system in river port by collector vessel. Shows obtained as a result of numerical modeling optimal values of the collector vessel's characteristics depending on intensity of fleet movement and location of receiving facilities on waterways.

Key words: ship waste, off-ship cleaning, collector vessel, optimization, environmental safety

Contacts: margarita@ipfran.ru, serwaskin@mail.ru

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

Профессиональный журнал речников «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

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 обя-



завки 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.

зательному 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 сторон-

Читательская аудитория: руководители, профессорско-преподавательский состав, аспиранты, сотрудники вузов; работники научных, исследовательских и проектных организаций, предприятий водного транспорта России и зарубежных стран.

Архив научных публикаций (полные тексты научных материалов с аннотациями) находится в открытом доступе на сайте журнала по адресу: <http://www.rivtrans.ru/content/science>; перечни авторов, названий их статей и аннотации размещаются также на сайте Научной электронной библиотеки: www.e-library.ru.

ние 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 отве-

чающие 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

Содержание статей должно соответствовать тематике журнала.

Статьи необходимо в приоритетном порядке направлять в редакцию в электронном виде на имя ответственного секретаря Кобранова Сергея Михайловича (тел.: 8-903-788-86-37) по адресу: gekarus@bk.ru, а также извещать по указанному телефону о факте отправки материала для контроля его поступления.

Почтовый адрес редакции: 117648, г. Москва, Северное Чертаново мкрн., д. 3 «В», к.232, для главного редактора Кобранова М.Е.

1. Материал должен являться оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.

К материалу желательно прикладывать сведения о результатах его проверки с помощью программы antiplagiat.ru – копию последней страницы отчета.

2. Авторам с ученой степенью необходимо прикладывать к материалу одну внешнюю рецензию с рекомендацией к опубликованию, подписанную руководителем организации (ректором, директором) или лицом, ответственным за научное направление (проректором по научной работе, секретарем Ученого совета, заместителем директора) и заверенную печатью, а также Экспертное заключение.

Наряду с этим аспирантам, соискателям, не имеющим ученой степени, необходимо прикладывать и отзыв научного руководителя.

3. Рекомендованный объем статьи (включая пробелы): 16 тыс. знаков (0,5 авт. листа) – для аспирантов, соискателей ученой степени; 32 тыс. знаков (1 авт. лист) – для авторов, имеющих ученую степень.

4. Материал должен обязательно содержать следующие позиции:

а) Учреждение – полное и сокращенное название организации, где выполнялась работа.

б) Тема – название статьи.

в) Автор(ы) – имя, фамилия, отчество, должность, ученое звание, ученая степень, кафедре, подразделение (факультет, кафедра).

г) Номер УДК.

д) Аннотация на русском языке (2-3 предложения).

е) Аннотация на английском языке (2-3 предложения).

ж) Список ключевых слов (не более 5).

з) Текст статьи. Рекомендованная структура: актуальность, существующие проблемы, краткий литературный обзор, постановка и описание задачи, изложение методов решения, обсуждение основных результатов, заключение (выводы, предложения).

и) Список использованной литературы (не более 10 ссылок на актуальные научные работы,

опубликованные за последние 10 лет в рецензируемых изданиях, индексируемых в базе данных РИНЦ); его следует оформлять в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления»; желательно присутствие ссылки минимум на одну публикацию в журнале «Речной транспорт (XXI век)».

5. Технические требования к материалам:

Текст статьи должен быть набран в электронном виде, в документе формата DOC (Microsoft Word 2003-2010), или в другом аналогичном российском формате для отечественного редактора, без применения автоматической расстановки переносов. Форматирование: шрифт Times New Roman – 14 размер, одинарный интервал, поля; левое – 2 см, правое – 1 см, нижнее – 2 см, верхнее – 2 см.

Все формулы должны быть набраны посредством программы Microsoft Equation 3.0. Все растровые фото, схемы, диаграммы, графики и др. иллюстрации должны быть сохранены отдельно от статьи (с обязательными ссылками на них в тексте) в формате JPG, векторные изображения – в формате EPS.

6. Статьи, оформленные с нарушением перечисленных требований, редакцией не рассматриваются.