

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»**

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОСТРОЙКИ И
ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ
И СООРУЖЕНИЙ**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
г. Севастополь, 26-27 ноября 2025 г.**

Севастополь 2025

УДК [629.5+656.6](06)
ББК 39.4я43
А43

Научный редактор С.В. Василенко, канд. техн. наук, доцент

Организаторы конференции:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»

Оргкомитет конференции:

Председатель: Евстигнеев М.П. – д-р. техн. наук, профессор.

Заместители председателя: Душко В.Р. – канд. техн. наук, доцент.

Бурков Д.В. – канд. техн. наук, доцент.

Члены:

Аблаев А.Р. – канд. техн. наук, доцент.

Курочкин Л.Е. – доцент.

Пархоменко В.Н. – канд. техн. наук, доцент.

Родькина А.В. – канд. техн. наук, доцент.

Сахно К.Н. – д-р техн. наук, доцент.

Холопцев А.В. – д-р геогр. наук, профессор.

Василенко С.В. – канд. техн. наук, доцент (секретарь).

А43 Актуальные вопросы проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений : труды всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 26-27 ноября 2025 г. / М-во науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет ; науч. ред. С.В. Василенко. – Севастополь : СевГУ, 2025. – 217 с.

В сборнике представлены труды конференции по результатам научно-исследовательских работ ученых, аспирантов и студентов в области проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений.

Все труды публикуются в авторской редакции.

УДК [629.5+656.6](06)
ББК 39.4я43

Сборник индексируется в РИНЦ согласно лицензионному договору № 2168-07/2015К от 23.07.2015.

©Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Аблаев А.Р., Приходько А.М., Морева И.Н. Грузовые операции в Арктике	5
Аблаев А.Р., Приходько А.М. Перспективы разработки Систем управления безопасностью (СУБ) для морских автономных надводных судов (МАНС).....	9
Аркин Р.В., Чехов А.А. Тенденции изменений суммарной продолжительности течений в районе Датского пролива в XX-XXI веке....	13
Аркин Р.В., Холопцев А.В. Использование влияния течений и ветров в Средиземном море при следовании судов из пролива Гибралтар на порты Эгейского и Черного морей.....	19
Балашов М.Г. Развитие плавкраностроения в мире	23
Гембатый Е.В., Потапчук К.Н. Анализ экологической и операционной эффективности в результате внедрения судового плана по защите от биообрастания корпуса судна	33
Заименко В.К., Родькина А.В. Предпосылки совершенствования образовательных технологий по дисциплине «Конструкция корпуса судна»	37
Захаров В.В., Петрушечкин А.Ю., Назаров А.Э. Логистика грузоперевозок морем и её роль в управлении водным транспортом.....	41
Иванов М.А., Немчинов Е.С., Иванова О.А., Родькина А.В. Альтернативные технические средства для освоения Штокмановского месторождения	54
Камаев А.С., Балашов М.Г. Выбор материалов и конструкции плавучих морских волнозащитных полупогружных сооружений.....	64
Каминский Б.С. Пути повышения экономичной эксплуатационной скорости судна при использовании ВРШ	69
Канов Л.Н., Стругов И.Ю. Стабилизация режима генератора в составе судовой электростанции	77
Ковтуе А.А., Балашов М.Г. Разработка методики проведения исследования в аэродинамической трубе.....	86
Лисина С.Е. Модульно-платформенная методика: архитектура и технология сборки судов газозовов СПГ ледового класса ARC7.....	92
Литвиненко В.П., Спиридонов В.В., Ландиков Ю.В. Использование объёмной скорости потока энергии для оценки работы дизеля.....	99

Мазин Д.А. Параметрическая модель отказов судовых центробежных насосов и гибридный мониторинг состояния в составе цифрового двойника ...	107
Нестеров О.Ю., Иванов А.Н. Плавающая и дистанционно управляемая модель установки для решения ледотехнических задач и проблем	120
Никитин Е.В. Оценка начальной остойчивости судна в условиях неполной информации о принятом грузе	127
Очеретяный В.А., Куличенко Н.О. Оценка эффективности ротационных форсунок судового парового котла	136
Петрушечкин А.Ю., Захаров В.В., Поползина В.К. Перспективы развития в навигации подводных роботехнических комплексов для решения задач геологоразведки, мониторинга и патрулирования акваторий в тяжелых климатических условиях арктического побережья России	143
Самонов И.А., Дьяченко И.А., Балашов М.Г. Исследование влияния лафетных пожарных стволов на остойчивость судна при пожаротушении	155
Сергеев К.М., Боков Г.В. Перспективы использования «зеленого» аммиака и метанола в качестве альтернативы морских топлив	161
Смолин П.А. Морские автоматические идентификационные системы	168
Терлыч С.В., Стрельникова И.А., Додонов В.И. Кинематика при расчётах тяжеловесных механизированных стрел.....	173
Фадеев Г.А., Душко В.Р. Создание концепта большой языковой модели для прогнозирования дефектов судовых систем	178
Фадиль Аббас С.Р., Иванова О.А., Никонова Е.А. Анализ методов расчёта ледовой ходкости проектируемого ледокола	183
Холопцев А.В., Курочкин Л.Е., Подпорин С.А. Связи межгодовых изменений поверхностной температуры Карибского моря, с запаздывающими по отношению к ним, вариациям температур воздуха над морями у берегов Европы.....	190
Храпин Д.Ю., Мурза П.А. Разработка и анализ моделей бортовой вычислительной сети автономного необитаемого подводного аппарата	209

ГРУЗОВЫЕ ОПЕРАЦИИ В АРКТИКЕ

Аблаев Алим Рустемович

доцент кафедры СБС

Тел.: +79788100564

E-mail: Arablaev@mail.sevsu.ru

Приходько Андрей Михайлович

доцент кафедры СБС

Тел.: +79184453428

E-mail: Andriyprykhodko@yandex.ru

Морева Ирина Николаевна

доцент кафедры СБС

Тел.: +79788136685

E-mail: i.n.moreva@mail.ru

ФГАОУ ВО «СевГУ», г. Севастополь

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

CARGO OPERATIONS IN THE ARCTIC

Ablaev Alim Rustemovich

Associate Professor, SBS Department

Prikhodko Andrey Mikhailovich

Associate Professor, SBS Department

Moreva Irina Nikolaevna

Associate Professor, SBS Department

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. Грузовые операции, осуществляемые на Северном морском пути (СМП) и в арктическом регионе, являются важным компонентом Трансарктического транспортного коридора (ТТК), характеризующегося высокой степенью сложности вследствие экстремальных климатических условий, значительной удаленности от ключевых транспортных узлов и ограниченного уровня развития инфраструктуры. Комплексный анализ накопленного опыта в данной сфере может способствовать оптимизации логистических процессов и повышению эффективности транспортных перевозок. ТТК – это масштабный проект модернизации транспортной инфраструктуры России, включающий в себя Северный морской путь как ключевой элемент. ТТК объединяет морской, железнодорожный и автомобильный транспорт, используя потенциал крупнейших рек Сибири.

Ключевые слова: Трансарктический транспортный коридор, Северный морской путь, Арктика, Крайний Север, Дальний Восток, низкие температуры, грузовые операции.

ABSTRACT. Cargo operations conducted along the Northern Sea Route (NSR) and in the Arctic region constitute a vital component of the Trans-Arctic Transport Corridor (TATC). These operations are characterized by a high degree of complexity due to extreme climatic conditions, significant remoteness from key transport hubs, and a limited level of infrastructure development. A comprehensive analysis of accumulated experience in this field can contribute to the optimization of logistical processes and enhance the efficiency of transportation. The TATC is a large-scale project for the modernization of Russia's transport infrastructure, with the Northern Sea Route serving as its key element. The corridor integrates maritime, railway, and road transport, leveraging the potential of Siberia's largest rivers.

Keywords: Trans-Arctic Transport Corridor, Northern Sea Route, Arctic, Far North, Far East, low temperatures, cargo operations.

В контексте концепции развития Трансарктического транспортного коридора, представляющего собой интеграцию морского, железнодорожного и автомобильного видов транспорта, интересен опыт проведения грузовых операций по доставке оборудования на Усть-Среднеканскую ГЭС.

Гидроэлектростанция возведена в сложных природных условиях Восточной Сибири. Толщина вечной мерзлоты в месте расположения ГЭС достигает 300 метров, температура воздуха зимой снижается до – 60 градусов. Грузовая операция проводилась в порту Магадан в условиях низких температур декабря месяца.

Сложность данной грузовой операции заключалась в необходимости укрепления причала в порту выгрузки Магадан для приема тяжеловесного груза. Для выполнения этой задачи были завезены соответствующие материалы. На следующем этапе осуществлялась доставка грузов от причала в порту Магадан до Усть-Среднеканской ГЭС по труднодоступной местности Восточной Сибири.

В ходе реализации проекта по перевалке тяжеловесных грузов на Усть-Среднеканской ГЭС была выявлена необходимость проведения дополнительных подготовительных мероприятий по усилению конструкции причала для обеспечения безопасного проведения грузовых операций с тяжеловесными грузами.

Укрепление причалов для грузовых операций с тяжеловесными грузами в условиях Крайнего Севера и Арктики требует значительных ресурсов, знаний и навыков. Для проведения работ могут быть использованы различные методы.

Геотехнические исследования: перед началом работ проводится детальное исследование грунта и его характеристик, чтобы определить его несущую способность и выбрать наиболее подходящий метод укрепления.

Использование свай: одним из наиболее распространенных методов является забивка свай. Сваи могут быть железобетонными, металлическими или деревянными. Они погружаются в грунт на значительную глубину, обеспечивая прочное основание для причала.

Укладка бетонных плит: на укрепленный грунт укладываются бетонные плиты, которые создают прочное и ровное основание для причала.

Гидроизоляция: в условиях Крайнего Севера и Арктики важно обеспечить надежную гидроизоляцию причала, чтобы предотвратить разрушение конструкции из-за замерзания и оттаивания воды.

Теплоизоляция: в условиях вечной мерзлоты для предотвращения промерзания грунта под причалом может быть использована теплоизоляция.

Мониторинг состояния причала: после завершения строительства или модернизации проводится регулярный мониторинг состояния причала, чтобы своевременно выявлять и устранять возможные дефекты.

Одной из ключевых проблем в процессе транспортировки груза с судна до конечного потребителя стало отсутствие инфраструктуры, обеспечивающей безопасность перемещения от причала до пункта назначения. В суровых климатических условиях Якутии и Магаданской области для безопасной транспортировки через реки при отсутствии мостов существует практика создания ледяных переправ. Процесс создания ледяной переправы через реку называется нахолаживанием. Этот термин описывает процесс искусственного усиления ледяного покрова для обеспечения его достаточной прочности и толщины, чтобы по нему могли передвигаться транспортные средства.

В условиях Крайнего Севера, особенно в арктической зоне, где инфраструктура ограничена, использование грузовых барж и буксиров является распространённым методом для обеспечения логистических операций. Это позволяет доставлять грузы в труднодоступные места, где нет оборудованных причалов. Баржа и буксир грузятся на судно как средство для выполнения грузовых операций. По прибытии в пункт выгрузки баржа и буксиры спускаются с судна на воду и используются для перевалки грузов на необорудованный берег.

На этапе планирования грузовой операции без подхода к причалу важно предусмотреть место расположения на судне буксиров и грузовых барж, а также метод их крепления.

Распространение накопленного опыта осуществления грузовых операций способствует оптимизации уровня безопасности и повышению эффективности эксплуатации Северного морского пути как ключевого элемента Трансарктического транспортного коридора.

Рассмотренный опыт проведения грузовых операций предлагается интегрировать в образовательные программы для студентов.

Исследование вышеупомянутых аспектов грузовых операций обеспечит углубление системы подготовки студентов к профессиональной деятельности в суровых климатических условиях.

Библиографический список

1. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части государственного регулирования торгового мореплавания в акватории Северного морского пути: федеральный закон от 28.07.2012 № 132-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2012. – № 31. – 4321 с.

2. Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года: распоряжение Правительства РФ от 28.10.2019 № 2553-р (ред. от 12.05.2025) // Собрание законодательства РФ. – 2019. – № 44. – 6258 с.

3. Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 г.: распоряжение Правительства РФ от 01.08.2022 № 2115-р // Собрание законодательства РФ. – 2022. – № 32. – 5969 с.

4. Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс): принят резолюциями MSC.385(94) и MEPC.264(68) с поправками. – Лондон: Международная морская организация, 2016. – 84 с.

5. Журавель В.П., Гриняев С.Н. Трансарктический транспортный коридор: политико-экономический и стратегический потенциал для России // Арктика и Север. – 2025. – № 60. – doi:10.37482/issn2221-2698.2025.60.135.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТЬЮ (СУБ) ДЛЯ МОРСКИХ АВТОНОМНЫХ
НАДВОДНЫХ СУДОВ (МАНС)**

Аблаев Алим Рустемович

доцент кафедры СиБС

E-mail: Arablaev@mail.sevsu.ru

Приходько Андрей Михайлович

доцент кафедры СиБС

E-mail: Andriyprykhodko@yandex.ru

ФГАОУ ВО «СГУ», г. Севастополь

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF SAFETY MANAGEMENT
SYSTEMS (SMS) FOR MARINE AUTONOMOUS SURFACE VESSELS (MASVS)**

Ablaev Alim Rustemovich

Associate Professor of the Department of SIBS

Prikhodko Andrey Mikhailovich

Associate Professor of the Department of SIBS

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. В профессиональном сообществе морских специалистов России и мира активно обсуждаются перспективы развития морских автономных надводных судов (МАНС). Ключевым направлением дальнейших исследований и разработок в этой области является анализ и оценка возможностей создания и внедрения систем управления безопасностью (СУБ) для МАНС.

Ключевые слова: Морские автономные надводные суда (МАНС), Международный кодекс по управлению безопасностью (МКУБ), Система управления безопасностью (СУБ), Центр дистанционного управления судном (ЦДУ), внешний капитан, внешний экипаж.

ABSTRACT. The professional community of marine specialists in Russia and around the world is actively discussing the prospects for the development of marine autonomous surface vessels (MASS). A key area of further research and development in this field is the analysis and evaluation of the possibilities for creating and implementing safety management systems (SMS) for MASS.

Keywords: Marine Autonomous Surface Vessels (MASS), International Safety Management Code (ISM Code), Safety Management System (SMS), Vessel Remote Control Center (VRCC), external captain, external crew.

В процессе разработки систем управления безопасностью СУБ для МАНС в Российской Федерации необходимо учитывать комплекс основополагающих

нормативных документов, регулирующих сферу морского судоходства и обеспечивающих высокий уровень безопасности. Нижеперечисленные документы представляют собой фундаментальную основу для разработки и внедрения СУБ для надежной и безопасной эксплуатации МАНС.

Федеральный закон от 10.07.2023 N 294-ФЗ (ред. от 26.02.2024) "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" вносит в Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации понятие "автономное судно", "внешний капитан", "член внешнего экипажа", регламентирует вопросы управления автономным судном, а также предусматриваются особенности его эксплуатации.

ГОСТ Р 59284-2020 – национальный стандарт Российской Федерации «Суда безэкипажные технического флота. Общие требования». Устанавливает основные требования к безэкипажным судам, судовым системам и элементам при их разработке, производстве, сертификации и эксплуатации.

Международный кодекс по управлению безопасностью (МКУБ), являющийся основополагающим нормативным актом в сфере обеспечения безопасности на море, был интегрирован в национальное законодательство Российской Федерации. Это позволяет применять его положения для гарантии безопасности морских судов, включая суда МАНС.

Федеральный закон от 10.07.2023 N 294-ФЗ (ред. от 26.02.2024) "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" вносит в Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации точные определения ключевых понятий в контексте развития Морских автономных надводных судов.

Под автономным судном понимается самоходное судно, процессы управления которым в зависимости от наличия или отсутствия экипажа на борту судна частично (полуавтономное судно) или полностью (полностью автономное судно) осуществляются в автоматическом режиме. Под полуавтономным судном понимается судно с экипажем на борту, способное осуществлять плавание без непрерывного несения ходовой вахты экипажем. Под полностью автономным судном понимается судно, способное осуществлять плавание без экипажа на борту.

Полуавтономное судно имеет экипаж полуавтономного судна и внешний экипаж полуавтономного судна.

Полностью автономное судно имеет только внешний экипаж автономного судна. В состав внешнего экипажа автономного судна входят внешний капитан автономного судна и специалисты по управлению автономными судами.

Международная морская организация (ИМО) установила четыре уровня автономии морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС):

1. МАНС 1.0: Судно с автоматизированными процессами и поддержкой принятия решений, с экипажем на борту. Экипаж находится на борту, и контролирует бортовые системы и функции. Некоторые операции могут быть автоматизированы, но экипаж готов взять управление на себя.

2. МАНС 2.0: дистанционно управляемое судно с экипажем на борту. Судно контролируется и управляется из другого места, но на борту остаются экипаж, который готов взять контроль над бортовыми системами и функциями.

3. МАНС 3.0: Автономное судно без экипажа на борту. Судно может выполнять свои функции без постоянного присутствия человека, но может иметь систему связи для удалённого мониторинга и управления.

4. МАНС 4.0: полностью автономное судно без экипажа и системы связи. Судно способно выполнять все функции без вмешательства человека и без необходимости в удалённом мониторинге.

В связи с тем, что наличие экипажа на борту судна является обязательным условием, требования МКУБ к СУБ могут быть применены в целом только к судам, соответствующим уровням автономии МАНС 1.0 и МАНС 2.0. Это обусловлено тем, что данные уровни автоматизации предусматривают наличие экипажа на борту. В связи с отсутствием экипажа на борту автономных судов, значительная часть положений действующей редакции Международного кодекса по управлению безопасностью (МКУБ) не может быть непосредственно применена к системам управления безопасностью для судов с уровнями автоматизации МАНС 3.0 и МАНС 4.0. Это обстоятельство требует пересмотра соответствующих требований кодекса. Уровень автономии МАНС 3.0 предусматривает дистанционно управляемое судно без экипажа на борту, судно контролируется и управляется из Центра дистанционного управления судном (ЦДУ).

Судовладелец должен назначить лицо, ответственное за эксплуатацию автономного судна, которое будет именоваться внешним капитаном. Процедуры подготовки и выдачи квалификационных свидетельств для судового экипажа требуют пересмотра и актуализации, включая дополнительную профессиональную подготовку по вопросам дистанционного управления судном и обеспечения его безопасной эксплуатации. Ответственность за обеспечение безопасности и надлежащей эксплуатации автономного судна в полном объеме возлагается на судовладельца.

Внедрение изменений в процедуры подготовки и выдачи квалификационных документов для членов внешних экипажей, касающихся дополнительного обучения вопросам дистанционного управления морскими судами, соответствующими уровню автономности МАНС 3.0, подчеркивает необходимость разработки новых образовательных программ и

специализированных тренировочных модулей для квалифицированных специалистов в данной области.

Уровень автономности МАНС 4.0 подразумевает создание полностью автономного судна. В рамках системы управления безопасностью, включающей требование о внедрении эффективной политики безопасности и охраны окружающей среды для сотрудников компании, необходимо провести полный пересмотр или адаптацию существующих требований Международного кодекса по управлению безопасностью, применимых к судам с уровнем автономности МАНС 4.0. С развитием автономного судоходства становится необходимым проведение комплексной ревизии нормативно-правовой базы, обусловленной новыми вызовами в области управления и эксплуатации судов.

Для обеспечения безопасности и эффективного функционирования судов с высоким уровнем автономности требуется дальнейшее совершенствование процедур и требований. Это включает разработку инновационных образовательных программ, адаптацию действующих нормативных актов и стандартов, а также создание эффективных механизмов контроля и надзора за их соблюдением.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 10.07.2023 № 294-ФЗ (ред. от 26.02.2024) "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части регулирования отношений, связанных с использованием автономных судов" // Собрание законодательства РФ.

2. ГОСТ Р 59284-2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Суда безэкипажные. Общие требования. – Введ. 2021-01-01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.

3. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации от 30.04.1999 № 81-ФЗ (ред. от 26.02.2024) // Собрание законодательства РФ. – 1999. – № 18. – Ст. 2207.

4. Положения по классификации морских автономных надводных судов (МАНС) / Российский морской регистр судоходства. – СПб., 2023. – 74 с.

5. Международный кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предотвращением загрязнения (Международный кодекс по управлению безопасностью (МКУБ)): Резолюция А.741(18) Ассамблеи ИМО. – Лондон: ИМО, 2018. – 36 с.

6. Информационный бюллетень № ИБ 2023-075 от 19.09.2023 Система управления безопасностью для МАНС/ www.IBIcon.ru / ООО "ИБИКОН" 2023– 5с.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ СУММАРНОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ТЕЧЕНИЙ В РАЙОНЕ ДАТСКОГО ПРОЛИВА В XX-XXI ВЕКЕ.

Аркин Леонид Владимирович

доцент, кафедры СиБС

Капитан дальнего плавания, Laskaridis Shipping Co.Ltd., Греция

E-mail: arkin.l@yandex.ru

Чехов Андрей Алексеевич

студент кафедры СиБС 4 курс

E-mail: andreychexov519@gmail.com

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

THE CHANGES IN THE TOTAL DURATION OF STREAMS IN THE AREA OF THE STRAIT OF DENMARK IN THE XX-XXI CENTURY

Arkin Leonid Vladimirovich

Associate Professor of the Department of SIBS

Deep sea Captain, Laskaridis Shipping Co.Ltd., Greece

Chekhov Andrei Alekseevich

Student

*Federal Autonomous Educational Institution
of Higher Education «Sevastopol State University»,
299053, Sevastopol, Str.Universitetskaja, 33*

АННОТАЦИЯ. В связи с увеличением доли суммарного грузопотока между портами Северно-Ледовитого и Атлантического океанов, которая приходится на крупнотоннажные суда, трафик их движения через Датский пролив неуклонно возрастает. Поэтому выявление современных тенденций изменения повторяемости в различные месяцы течений, при которых условия плавания в проливе и на подходах к нему наиболее усложняются, является актуальной проблемой физической географии, метеорологии и эксплуатации транспортных комплексов. Целью статьи является оценка тенденций изменения для различных месяцев суммарной продолжительности течений в Датском проливе и подходами к нему, как со стороны Северно-Ледовитого, так и со стороны Атлантического океана, которые проявились в XXI веке. Для каждого месяца из указанного периода и каждого узла координатной сетки, расположенного в изучаемом регионе оценены значения суммарной продолжительности течений. Эти ряды использованы для оценки тенденций соответствующих процессов в период 2000-2024 гг. Полученные результаты использованы для разработки практических рекомендаций по повышению безопасности и эффективности эксплуатации транспортного комплекса Датского пролива.

Ключевые слова: Датский пролив, течения, суммарная продолжительность, тенденция.

ABSTRACT. Due to the increase in the share of total cargo traffic between the ports of the Arctic and Atlantic Oceans, which accounts for large-tonnage vessels, their traffic through the Danish Strait is steadily increasing. Therefore, the identification of current trends in the frequency of currents in

different months, in which the conditions of navigation in the strait and on the approaches to it are most complicated, is an urgent problem of physical geography, meteorology and operation of transport complexes. The purpose of the article is to assess trends in the total duration of currents in the Danish Strait for different months and approaches to it, both from the Arctic and from the Atlantic Ocean, which manifested themselves in the 21st century. For each month from the specified period and each node of the coordinate grid located in the studied region, the values of the total duration of the currents are estimated. These series were used to assess the trends of the relevant processes in the period 2000-2024. The results obtained were used to develop practical recommendations for improving the safety and efficiency of operation of the Danish Strait transport complex.

Keywords: Danish Strait, currents, total duration, trend.

Введение

Воды Мирового океана не стоят на месте, они находятся в постоянном движении. Их перемещение подчинено закономерностям, образующим океанические течения.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для районов, по которым проходят океанские пути мира с высоким трафиком. Одним из них является район Датского пролива, соединяющий южную часть Северно-Ледовитого океана и северную часть Атлантического океана. Карта пролива приведена на рисунке 1.

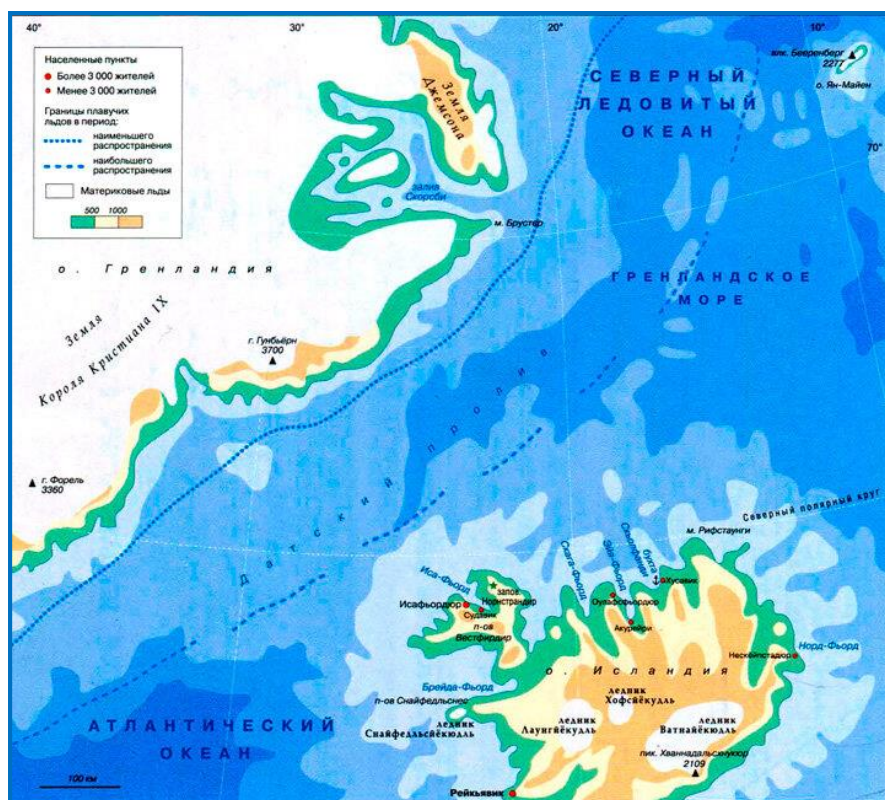


Рисунок 1. Карта Датского пролива

Поступающие плотные и холодные воды Восточно-Гренландского течения и течений Исландского моря южного направления, смешиваются в Датском

проливе и области южнее его с потоком теплой субтропической воды течения Ирмингера (рисунок 2).

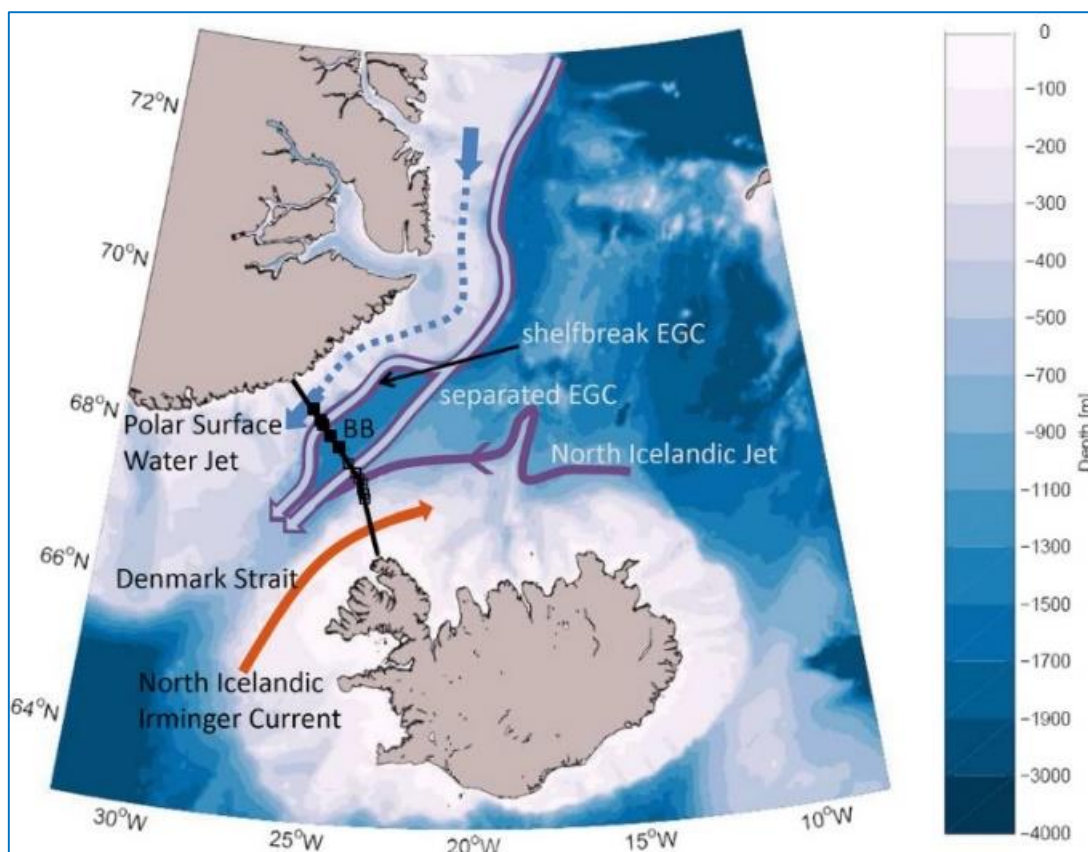


Рисунок 2 – Схематический обзор течений вблизи Датского пролива. Шельфовое и склоновое

Скорость приливных течений в узкостях может достигать до 24 м/ст. К тому же Датский пролив хорошо оборудован маяками и створными знаками. Такая большая скорость течений помогает экономить время, топливные запасы, тем самым Датский пролив и течения в нем играют важную роль в мировом судоходстве.

Помимо направленного переноса были обнаружены две мезомасштабные структуры, влияющие на скорость водообмена через пролив: болюсы, которые связаны с положительной относительной завихренностью. При прохождении болюса глубина границы с окружающей водой смещается вверх на расстояние 50 м и более, а температура у дна падает на 0,5°C; и импульсы, связанные с антициклонической относительной завихренностью, то есть до импульса средний по разрезу поток направлен через Датский пролив в сторону Гренландии, а после – в сторону Исландии. Было определено, что либо болюсы, либо импульсы проходят через Датский пролив в среднем каждые 2 дня. Эти мезомасштабные структуры формируют циклоны и антициклоны, являющиеся источником изменчивости ниже по течению, к югу от Датского пролива.

Тем не менее, современные тенденции изменчивости соответствующих различным месяцам течений в проливе и подходах к нему, ныне изучены

недостаточно. Это не позволяет их учесть при планировании дальнейшего развития рассматриваемого транспортного комплекса. Поэтому их оценка представляет немалый теоретический и практический интерес.

Цель работы – оценка тенденций изменения для различных месяцев СП течений над Датским проливом и подходами к нему, которые проявились в XXI веке

Анализ фактического материала показал, что среднее значения течений в том или ином месяце, изменялось в скорости и направлении в зависимости от глубины и времени года.

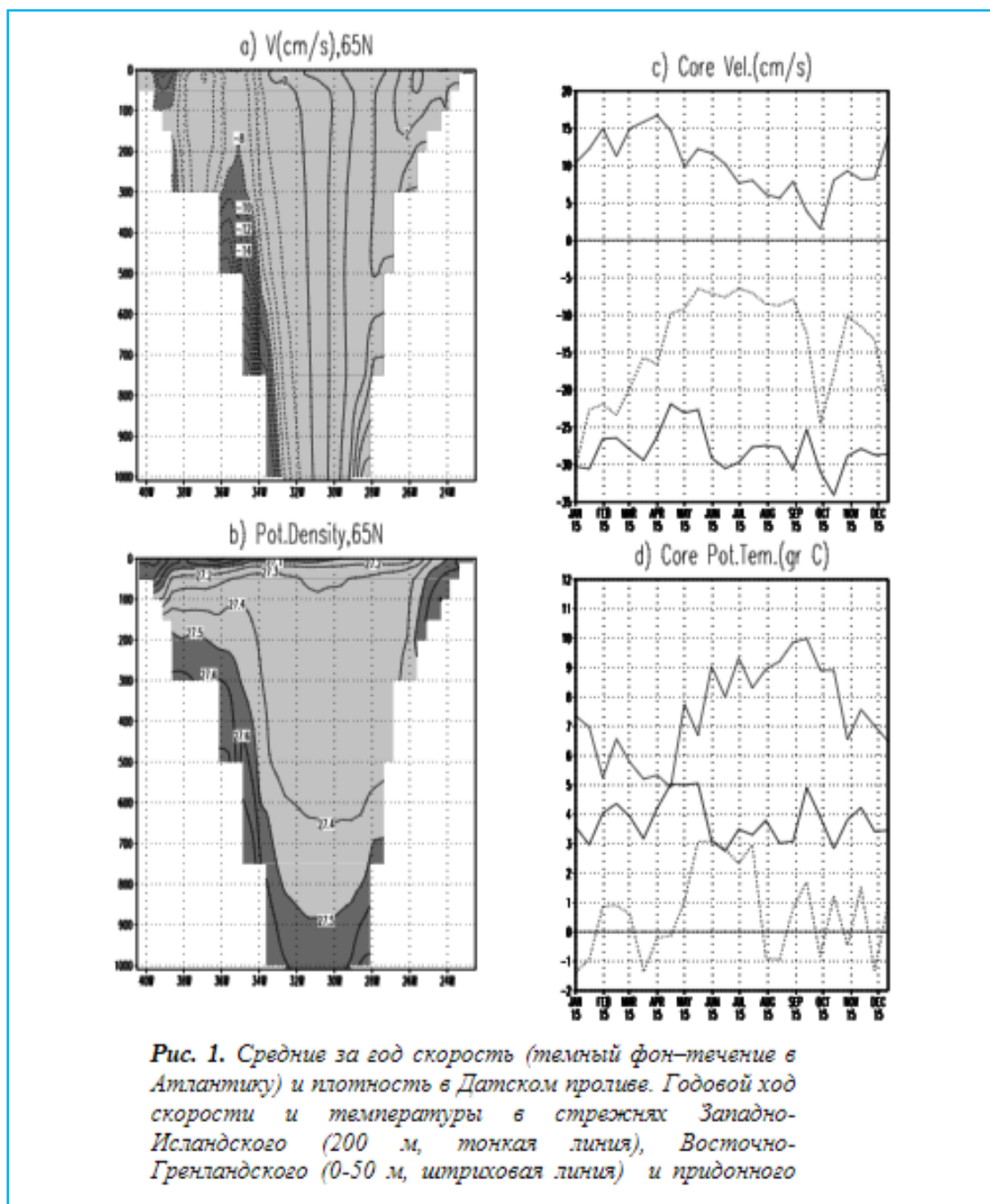


Рисунок 3 – Средние скорости течений в Датском проливе за год

Результаты исследования и их анализ

Анализ фактического материала показал, что среднее значения течений в том или ином месяце, изменялось в скорости и направлении в зависимости от глубины и времени года.

На любой параллели и в любом месяце среднее значение СП и для любых, и для течений изменяется с юга на север летом и с севера на юг зимой. Данный результат соответствует представлениям о пространственной изменчивости повторяемости течений в рассматриваемом регионе в XX веке.

В зимнем сезоне средние значения СП течений всюду возрастали в направлении с севера на юг по мере увеличения широты.

Весной аналогичным образом изменялись значения тех же показателей для любых течений. Над его западной частью средние значения СП любых течений по мере увеличения широты снижались.

Летом и осенью значения рассматриваемой характеристики течений также менялись, но в обратном направлении по мере увеличения широты.

Оценки тенденций межгодовой изменения СП течений показали, что для месяцев теплого полугодия в любых частях региона преобладают устойчивые течения, направленные с юга на север.

Для месяцев холодного полугодия в регионе преобладают устойчивые течения, направленные с севера на юг. В качестве примера, в таблице 1 сопоставлены вычисленные значения глубины от скорости течения в разное время года.

Глубина в м	Скорость течений в см/сек на разрезе (на выходе из Датского пролива в Гренландское море) по станциям										
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
0	+5,32	-34,50	-14,64	+0,84	+0,32	-1,40	+16,24	-10,15	+4,40	+2,38	+7,41
10	+5,32	-31,20	-12,48	+0,84	+0,64	-2,80	+16,52	-13,65	+8,00	—	—
20	+5,70	-28,80	-11,04	+0,84	0	-2,24	+15,12	-14,70	+10,00	+2,21	+4,29
30	+5,70	-26,70	-9,36	+0,72	—	—	—	-12,25	+10,00	+2,38	—
50	+5,70	-22,50	-7,68	+0,72	-3,20	0	+8,96	-8,40	+10,00	+2,72	-1,95
100	+4,94	-15,00	-6,48	+0,72	-2,24	-0,84	+4,48	-4,20	+10,40	+2,21	—
200	+2,66	-10,80	-4,56	+0,36	+0,64	-1,40	+1,68	-1,75	+9,00	—	—
300	—	-8,70	—	—	—	—	—	-1,05	—	—	—

Примечания. 1. Знак плюс указывает направление течения на север, а знак минус свидетельствует о направлении течения на юг. 2. Ст. 1 (у берегов Гренландии): $\varphi = 67^{\circ}42'$ с. ш., $\lambda = 32^{\circ}04'$ з. д.; ст. 12 (у берегов Исландии): $\varphi = 65^{\circ}47'$ с. ш., $\lambda = 24^{\circ}26'$ з. д.

Рисунок 4 – Значения скорости течения в Датском проливе

Из рисунка 4 видно, что летом скорость течения наибольшая в сторону севера, а зимой в сторону на юг.

Из этого следует, для того чтобы экономить время и запасы благодаря потокам воды, наиболее удобно будет проходить Датский пролив из Северно-Ледовитого океана в Атлантический в феврале- марте, и в обратном направлении в июле-августе.

Выводы

Таким образом, установлено, что в межгодовых изменениях СП течений, проходящих в районе Датском проливе, в XXI веке проявились устойчивые тенденции, которые целесообразно учитывать при планировании развития этого транспортного комплекса.

В месяцы, относящиеся к теплomu полугодию, проходить Датский пролив в направлении на север.

В месяцы холодного полугодия проходить в направлении на юг.

Тем самым мы можем экономить в топливе, скорости благодаря быстрым течениям на данном участке.

Библиографический список

1. <https://www.britannica.com/science/density-current/Denmark-Strait-overflow-current>.
2. https://vk.com/wall-69409358_28962.
3. https://avatars.dzeninfra.ru/getzen_doc/3502204/pub_60d2001c5fc3481f3fdb1de1_60d20d59598aa70bd4bcb570/scale_1200.
4. https://ru.wikipedia.org/wiki/Датский_пролив
5. <http://dspace.vniro.ru/handle/123456789/3655?show=full>
6. <https://deckofficer.ru/titul/handbook/item/baltik>
7. <http://dspace.vniro.ru/handle/123456789/3655>

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕЧЕНИЙ И ВЕТРОВ В
СРЕДИЗЕМНОМ МОРЕ ПРИ СЛЕДОВАНИИ СУДОВ ИЗ ПРОЛИВА
ГИБРАЛТАР НА ПОРТЫ ЭГЕЙСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ**

Аркин Леонид Владимирович

доцент, кафедры СиБС

Капитан дальнего плавания, Laskaridis Shipping Co.Ltd., Греция

e-mail: arkin.l@yandex.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,*

299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33

Холопцев Александр Вадимович

Доктор географических наук, профессор

Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный

Океанографический институт имени Н. Н. Зубова»

E-mail: kholoptsev@mail.ru

**USING THE INFLUENCE OF CURRENTS AND WINDS IN THE
MEDITERRANEAN SEA WHEN FOLLOWING SHIPS FROM THE STRAIT
OF GIBRALTAR TO THE PORTS OF THE AEGEAN AND BLACK SEAS**

Arkin Leonid Vladimirovich

Associate Professor of the Department of SIBS

Deep sea Captain, Laskaridis Shipping Co.Ltd., Greece

Federal Autonomous Educational Institution

of Higher Education «Sevastopol State University»,

299053, Sevastopol, Str.Universitetskaja, 33

Kholopcev Aleksandr

Doctor of Geographical Sciences, Professor

The Sevastopol branch of the FSBI "The State Oceanographic

Institute named after NN Zubov" Sevastopol

АННОТАЦИЯ. С использованием реанализа NCEP/NCAR средних значений приведенного к уровню мирового океана оценены тенденции изменения суммарной продолжительности течений в различные месяцы при следовании от Гибралтарского пролива в Средиземное море с запада на восток на Суэцкий канал и порты Эгейского и Черного морей. С учетом выявленных тенденций разработаны практические рекомендации по выбору маршрутов движения судов, осуществляющих грузоперевозки между указанными выше направлениями. **Ключевые слова:** Гибралтарский пролив, суммарная продолжительность течений, зыби, ветров, тенденция.

ABSTRACT. Using the NCEP/NCAR reanalysis of mean values of the world ocean level, the trends of changes in the total duration of currents in different months during the passage from the Strait of Gibraltar to the Mediterranean Sea from West to East to the Suez Canal and the ports of the Aegean

and Black seas were estimated. Taking into account the identified trends, practical recommendations have been developed for the choice of routes for vessels carrying out cargo transportation between the above-mentioned directions.

Keywords: Strait of Gibraltar, total duration of currents, winds, swell, pressure trends.

Введение

Сопутствие попутного течения на любой водной поверхности или акватории всегда приветствуется судовладельцами, так как идет экономия топливных моторесурсов и выигрыш в скорости, что является существенной характеристикой условий работы в соответствующем районе всех видов транспорта. Поэтому выявление тенденций использования попутных направлений течений в различных районах Средиземного моря, является актуальным и востребованным вопросом не только метеорологии и климатологии, но также в целях экономии моторесурсов и эксплуатации их транспортных комплексов.

Наибольший интерес в решении рассматриваемого вопроса представляет район, по которому проходят океанские пути мира с наиболее высоким трафиком. Одним из них является район Средиземного моря, от Гибралтарского пролива до Суэцкого канала, а также Эгейского и Черного морей. Карты течений, зыби, ветров представлены на рисунках ниже.

Геоморфологически Средиземное море можно разделить на три бассейна: Западный – Алжиро-Прованский бассейн с максимальной глубиной свыше 2800 м, объединяющий впадины морей Альборан, Балеарского и Лигурийского, а также впадину Тирренского моря –свыше 3600 м; Центральный – свыше 5100 м (Центральная котловина и впадины морей Адриатического и Ионического) и Восточный – Левантинский, около 4380 м (впадины морей Леванта, Эгейского и Мраморного).

Гидрологический режим Средиземного моря формируется под влиянием большого испарения и общих климатических условий. Преобладание расхода пресной воды над приходом ведёт к понижению уровня, что является причиной постоянного притока поверхностных менее солёных вод из Атлантического океана и Чёрного моря. В глубинных слоях проливов происходит отток высокосолёных вод, вызванный разностью плотности воды на уровне порогов проливов. Основной водообмен происходит через Гибралтарский пролив (верх. течение приносит 42,32 тыс. км³ в год атлантической воды, а нижнее – выносит 40, 80 тыс. км³ средиземноморской); через Дарданеллы втекает и вытекает соответственно 350 и 180 км³ воды в год. Циркуляция вод в Средиземного моря имеет главным образом ветровую природу; она представлена основным, почти зональным Канарским течением, переносящим воды преимущественно атлантического происхождения вдоль Африки, от Гибралтарского пролива до берегов Ливана, обусловленной

системой циклонических круговоротов в обособленных морях и бассейнах слева от этого течения.

Течения

В описываемом районе наблюдаются постоянное течение, ветровое и приливные течения. Постоянное течение (Северо-Африканское) в данном районе идет из Атлантического океана через Гибралтарский пролив вдоль берегов Африки на восток. У мыса Труа–Фурш от основного потока отделяется ветвь течения, направленная на запад вдоль берегов Марокко. Пройдя меридиан 10 градусов восточной долготы, течение поворачивает на SE, при этом справа от него отмечается круговорот воды по часовой стрелке. Средняя скорость постоянных течений колеблется, как правило, от 0,5 уз и менее до 1 уз, на крайнем западе района иногда превышает 1 уз и более, устойчивость их составляет 50-75% вдоль побережий Марокко и Алжира.

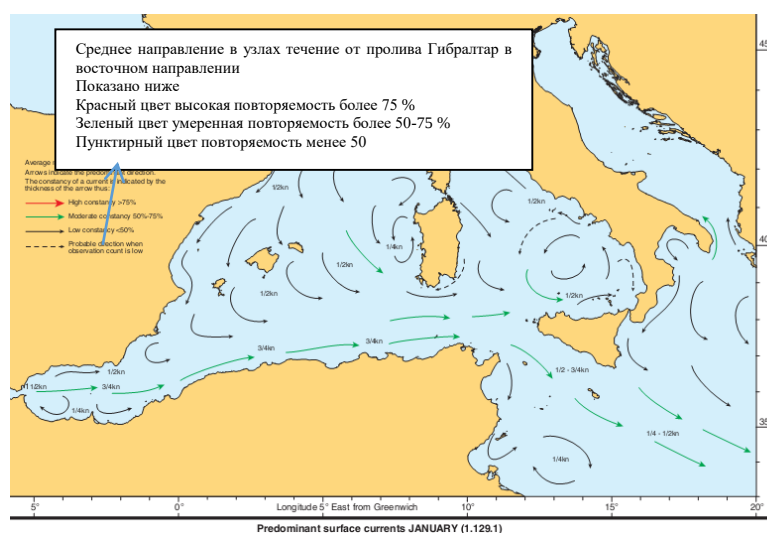


Рисунок 1 - Преобладающее поверхностное течение в январе

Поэтому основной судопоток, следующий из Атлантики и Западной Европы через Гибралтарский пролив на Суэцкий канал, а также порты Сирии, Кипра, Ливана, Израиля, Греции, Турции, России непрерывно возрастает в связи с усиливающейся зависимостью этих стран от импорта сырья. Особенно велика роль Средиземного моря в перевозках нефти – важный «нефтяной» путь между Западной Европой и Ближним Востоком, поэтому транспортные средства следуют вдоль западного побережья Африки на восток используя поток течения, который дает выигрыш от 1-1.2 узла и более, а при ветровом нагоне и более. Диаграммы течения и ветров прикладываются как пример (которые издаются на каждый месяц года.).

Среднее направление в узлах течение от пролива Гибралтар в восточном направлении. Объяснение. Частота распределения зыби в любом направлении

дана в соответствии со шкалой. Объяснение: частота распределения зыби в любом направлении дана в соответствии со шкалой.

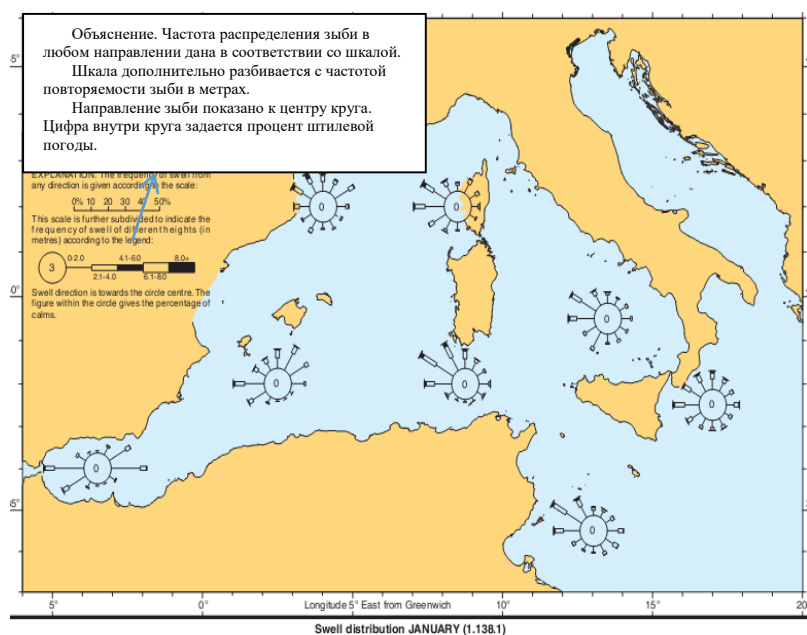


Рисунок 2 – Распределение зыби в январе

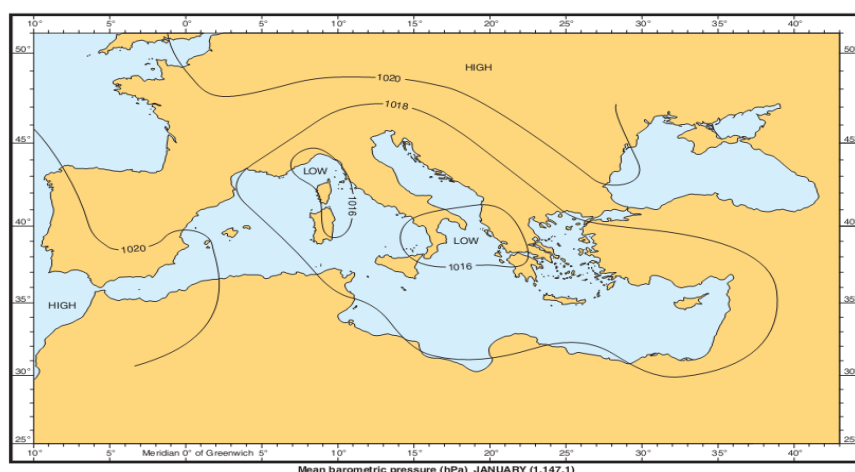


Рисунок 3 – Среднее атмосферное давление в январе

Библиографический список

1. Лоция Юго-Западной части Средиземного моря. Главы 1, 2, 3, 4. – М.: Издательство: Министерство обороны Союза ССР Главное управление навигации и океанографии. – 1988. – 318 с.

2. Mediterranean Pilot. Vol. I The of from Gibraltar to Cerbere; Islas Baleares; the north of Africa from to Ra's Ajdir; Isola Pantelleria Isole Pelagie; the Islands; Egadi; and Isole Eolie; coast of Italy from Capo Suvero to Capo Santa Maria di Leuca. – 2018 Mr John Humphrey Chief Executive United Kingdom Hydrographic Office. – 546 p.

РАЗВИТИЕ ПЛАВКРАНОСТРОЕНИЯ В МИРЕ

Балашов Михаил Георгиевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: mgbalashov@sevsu.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

THE DEVELOPMENT OF SMELTING IN THE WORLD

Balashov Michael

Candidate of Technical Science, Assistant Professor

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. Необходимость выполнения грузоподъемных операций в портах и в прибрежной полосе портов, когда судно в силу некоторых причин не может войти в гавань, получили распространение плавучие краны. Развитие плавкранов идет от обычных понтонных до сложнейших многокорпусных конструкций с одним-двумя верхними строениями для перегрузки объектов массой несколько тысяч тонн. В докладе приводится история развития плавкранов в мире.

Ключевые слова: плавкраны, судостроение, перевалка грузов.

ABSTRACT. The need to perform lifting operations in ports and in the coastal strip of ports, when a ship cannot enter the harbor for some reason, floating cranes have become widespread. The development of floating cranes ranges from conventional pontoon cranes to the most complex multi-hull structures with one or two upper structures for overloading objects weighing several thousand tons. The report provides a history of the development of floating cranes in the world.

Keywords: floating cranes, shipbuilding, cargo handling.

Введение

Первые плавучие краны (ПК) появились в середине 19 в. Например в Кронштадте ПК использовались при монтажных работах. Первые были мачтового типа с постоянным вылетом с жесткой или гибкой оттяжкой. Позже появились краны с качающейся стрелой с большим вылетом и высотой подъема, грузоподъемность доходила до 240 тонн. В начале 20 в. появились краны универсальные, с наклоняющейся стрелой и полноповоротные.

Развитие ПК пошло в 2-х направлениях: увеличение грузоподъемности для обслуживания судостроительных и судоремонтных заводов; уменьшение грузоподъемности при одновременном увеличении скорости грузовых операций.

С середины 50-ых годов XX века началось массовое освоение месторождений минеральных ресурсов на шельфовой зоне морей и океанов и появились ПК способные работать в открытом море на удалении от порта-убежища. Освоение ведется с использованием стационарных буровых платформ, самоподъемных, полупогружных и погружных буровых установок, искусственных островов.

Разведочные и добывающие платформы – это сложные конструктивные сооружения. Строительство подобных объектов породило потребность в транспортно-монтажных средствах большой грузоподъемности, способных значительную часть времени года работать в открытых и удаленных акваториях, в том числе в тяжелых ветро-волновых условиях. Таковыми являются плавучие краны на полупогружном основании.

Применение понтонных плавучих кранов для строительства на континентальном шельфе затруднительно в условиях открытого моря при неблагоприятных гидрометеорологических условиях. Плавучие краны высокой мореходности представлены крановыми судами с традиционными судовыми обводами и полупогружными.

Плавучие краны и их развитие

Плавучие краны, как специальные плавучие сооружения, появились в середине XX столетия и применялись на реках, озерах и закрытых морских портах при обработке судов с различными грузами (песок, гравий, щебень, лес, уголь и т.п.). Широко использовались плавучие краны для добычи с помощью грейфера со дна акваторий песка, гравия, гальки и других минеральных ресурсов, углубления фарватера и подходов к причалам, сооружения пирсов, волноломов, дамб, причалов, искусственных островов, строительства мостов и других гидротехнических объектов, при проведении судоподъемных и аварийно-спасательных операций.

Оснащение военных кораблей в начале века мощным артиллерийским вооружением, привело к росту грузоподъемности плавкранов, развитием и совершенствованием их конструкции. Один из первых отечественных плавкранов был построен во второй половине XIX столетия на Севастопольском судостроительном заводе. Имел грузоподъемность 25 т при водоизмещении 350 т и скорость 5 узлов. Вылет стрелы составлял 7,5 м от форштевня, высота подъема нока стрелы 60 м. В 1890 году построен несамоходный плавучий кран грузоподъемностью 100 т с неповоротной стрелой. С середины XX века Севастопольский морской завод строит самоходные плавучие краны грузоподъемностью от 50 т [1, 4], понтонного типа с полноповоротным верхним строением, в 1977 г построен плавучий кран "Витязь" с неповоротной стрелой

грузоподъемностью 1600 т. Прибрежные районы благоприятные по гидрометеорологическим условиям, малой удаленности от портов-убежищ – определили соответствующий тип плавучего крана, грузоподъемность его верхнего строения, относительно небольшое водоизмещение. В качестве плавучего основания использовали обводы, близкие к понтону.

С развитием освоения континентального шельфа выросла потребность в плавучих кранах, которые способны работать в открытом море с повышенными требованиями мореходных качеств. Удаление от берега, портов убежищ, увеличение глубины моря, наличие интенсивного волнения привело к необходимости создания мореходных плавучих кранов. Сокращение времени монтажа во время благоприятных погодных условий, привело к росту массы монтируемых блоков. Это послужило толчком к созданию плавучих кранов большой грузоподъемности с сохранением хороших мореходных качеств – полупогружных плавучих кранов (ППК). ППК применяются при строительстве и обустройстве стационарных буровых платформ и глубоководных оснований, забивке свай, прокладке и ремонте подводных трубопроводов и т.п.

Классификация плавучих кранов

- по типу верхнего строения (ВС): неповоротные, мачтовые, специальные, полноповоротные;
- по способу перемещения: самоходные и несамоходные;
- по системе позиционирования: активная, пассивная, комбинированная;
- по району эксплуатации: морские, речные;
- по типу плавучего основания: крановое судно, понтонный плавкран, ПК-катамаран, ППК.

Верхнее строение (ВС) – это собственно грузоподъемный кран (стрела с механизмами и постом управления), смонтированный на плавучем основании [3]. Его отличает большое разнообразие по конструктивному исполнению, используемым механизмам, грузоподъемности, количеству установленных кранов и т.п. Типы ВС представлены на рисунке 1

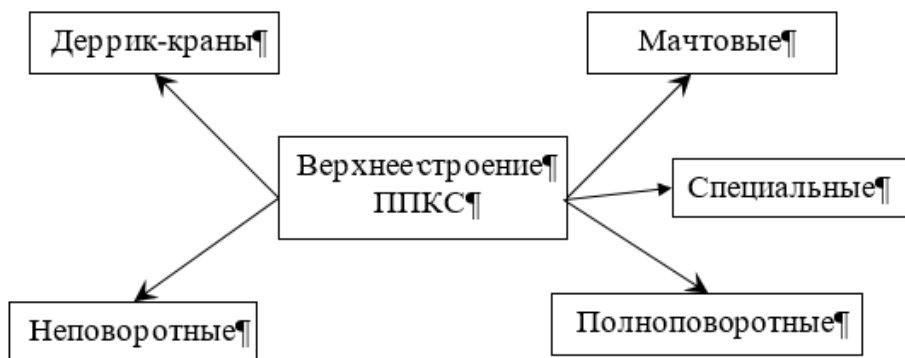


Рисунок 1 – Типы верхнего строения

Деррик-краны (грузовые стрелы) в качестве верхнего строения нашли применение с конца XIX века. Применяются не только как грузовые устройства транспортного судна, но и как верхнее строение плавучего крана.

Преимущество такого верхнего строения заключается в простоте изготовления, относительной дешевизне, возможности его рационального размещения на плавучем основании, что позволяет размещать на верхней палубе крупногабаритный груз и отсутствие противовесов. Главным недостатком такого верхнего строения является его низкая производительность и сложность в эксплуатации.

Близким к деррик-крану является мачтовый кран. Такое верхнее строение включает как преимущества обычного поворотного крана, так и деррик-кранов. Для установки такого верхнего строения требуется меньше места, чем для обычного поворотного крана. Эти факты особенно важны для транспортно-монтажных плавучих кранов, у которых важно иметь большую полезную площадь верхней палубы (рисунок 2). Недостатком является ограниченная грузоподъемность.



Рисунок 2 – Судно с мачтовым краном

Плавучие краны с неповоротным верхним строением имеют большую грузоподъемность, по сравнению с поворотными вариантами. По конструкции верхнее строение может быть стационарным [3, 4, 5] (рисунок 3) или с качающейся стрелой [3, 5] (рисунок 4).

Плавучие краны с полноповоротным верхним строением, их еще называют универсальными, являются самыми распространенными. Верхнее строение такого типа позволяет плавучему крану, не изменяя своего положения, поднимать или опускать груз, поворачиваться и менять вылет стрелы, в том числе совмещая операции (рисунок 5).

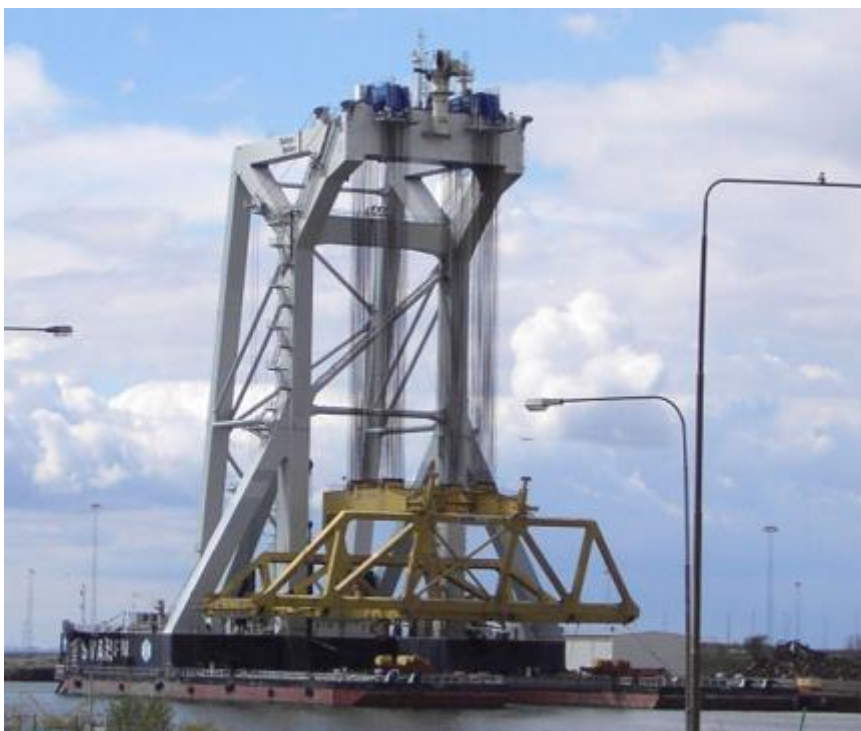


Рисунок 3 – Плавкран со специальным грузоподъемным устройством



Рисунок 4 – Плавкран с качающейся стрелой

По способу перемещения плавучие краны бывают самоходные (рисунок 5) и несамоходные. Перемещение последних в район работы, осуществляется обслуживающими буксирами (рисунок 6).

Системы горизонтального позиционирования представлены на рисунке 7.



Рисунок 6 – Самоходный плавкран



Рисунок 6 – Несамоходный плавкран

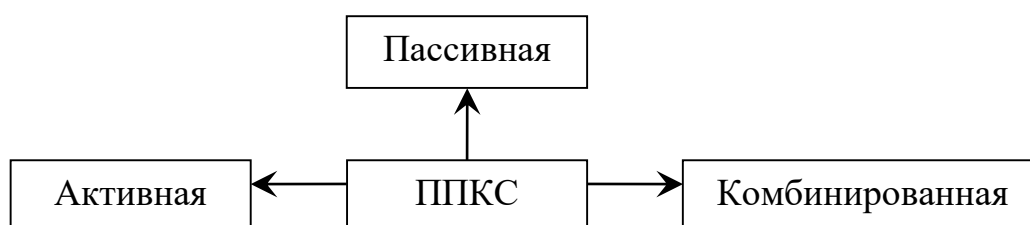


Рисунок 7 – Системы позиционирования

При пассивной системе позиционирования плавучий кран удерживается в точке с помощью специальных якорей. Такая система обычно состоит из 10-16 якорей повышенной держащей силы с тросами большой длины (рисунок 8).

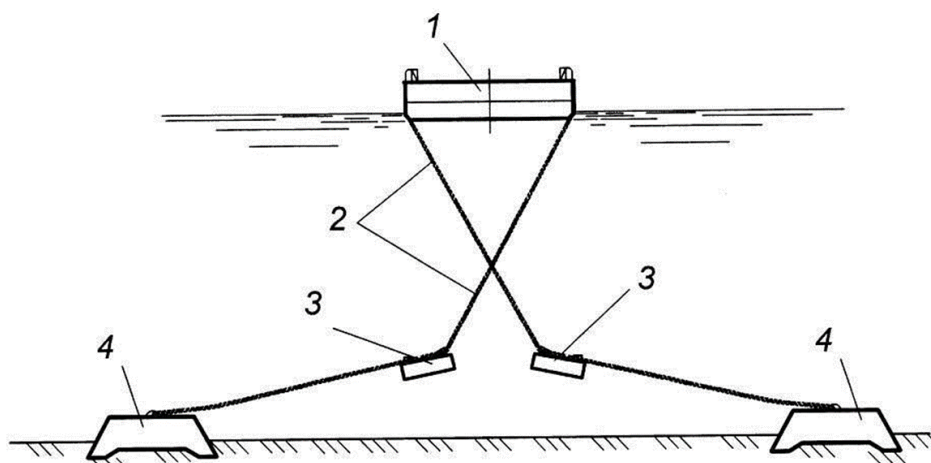


Рисунок 8 – Пассивная

Активная (динамическая) – представляет собой комплекс подруливающих устройств, имеющих автоматическую систему контроля и управления, с помощью которых плавучий кран удерживается в заданной точке. Например, плавучий кран "Saipem 7000" имеет 12 винто-рулевых колонок, обеспечивающих его позиционирование.

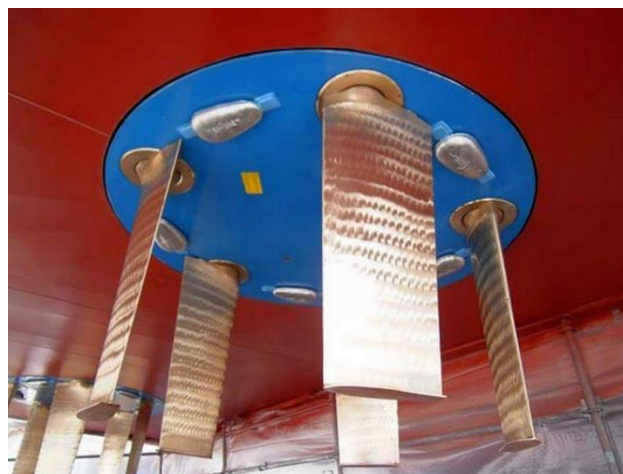


Рисунок 9 – Активная (ВРК и крыльчатый движитель)

Комбинированная – удержание на точке производится с помощью якорей и движительно-рулевых колонок.

По району эксплуатации

Речные [2] (рисунок 10, 12) и морские (рисунок 11, 13, 14)



Рисунок 10 – Речные

По типу плавучего основания



Рисунок 11 – Крановое судно



Рисунок 12 – Понтонный



Рисунок 13 – Плавкран-катамаран



Рисунок 14 – Полупогружной плавучий кран

Заключение

Рассмотрено развитие плавкраностроения в мире с середины 19 в. По настоящее время.

Библиографический список

1. Виноградов, С. С. Морской плавучий кран "Богатырь"/С. С. Виноградов, Н. Д. Великосельский, Л. В. Михайлов//Судостроение. – 1973. – №4. – С. 9.
2. Власов, А. А. Речные водометные суда/А. А. Власов. – М.: Издательство "Речной транспорт", 1962. – 160 с., ил.
3. Воеводин, Н. Ф. Плавучие краны/Н. Ф. Воеводин. – М.: Речиздат, 1947. – 150 с., ил.
4. Маланченко, Л. П. Советское морское плавкраностроение/Л. П. Маланченко, И. В. Феленковский, В. И. Подбельцев//Судостроение. – 1973. – № 4. – С. 3.
5. Подбельцев, В. И. Становление отечественного плавкраностроения и тенденции его развития/В. И. Подбельцев, А. А. Алисейчик, А. А. Гудзе//Судостроение. – 1986. – № 6. – С. 3.

**АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ И ОПЕРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ВНЕДРЕНИЯ СУДОВОГО ПЛАНА ПО ЗАЩИТЕ ОТ
БИООБРАСТАНИЯ КОРПУСА СУДНА**

Гембатый Е.В.

доцент кафедры СиБС

299011, г. Севастополь, ул. Гоголя, 14

e-mail: e.v.gembaty@mail.ru

Потанчук К.Н.

студентка 3-го курса кафедры СиБС

e-mail: karina-semenenko@inbox.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,*

299053, г. Севастополь, ул. Гоголя, 14

**ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL AND OPERATIONAL EFFICIENCY AS
A RESULT OF IMPLEMENTING A VESSEL PLAN FOR PROTECTING
THE VESSEL FROM BIOFOLIAGE**

Gembaty E.V.

Associate Professor

Potapchuk K.N.

3rd year student

*Federal Autonomous Educational Institution
of Higher Education «Sevastopol State University»,
299053, Sevastopol, Str. Gogolt, 14*

АННОТАЦИЯ. Проблема биообрастания корпуса судна морскими биоорганизмами представляет собой значительную угрозу как для морской экосистемы, так и для экономической эффективности судоходства. Накопление водорослей, ракушек и других организмов на подводной части корпуса ведет к увеличению гидродинамического сопротивления, что, в свою очередь, приводит к росту расхода топлива, увеличению выбросов парниковых газов и снижению маневренности судна. Кроме того, биообрастание является одним из основных механизмов переноса инвазивных водных видов, угрожающих биоразнообразию местных экосистем. В данной статье будет рассмотрено значение и ключевые компоненты Судового плана по защите от биообрастания корпуса (СПЗБ), разработанного в соответствии с международными требованиями, как комплексного подхода к минимизации этих рисков.

Ключевые слова: биообрастание, корпус судна, план управления биообрастанием, инвазивные виды, топливная эффективность.

ABSTRACT. The problem of marine biofouling on the hull of a ship poses a significant threat to both the marine ecosystem and the economic efficiency of shipping. The accumulation of algae,

shells, and other organisms on the underwater part of the hull leads to an increase in hydrodynamic resistance, which in turn results in higher fuel consumption, increased greenhouse gas emissions, and reduced maneuverability of the ship. Additionally, biofouling is a major contributor to the spread of invasive aquatic species that pose a threat to the biodiversity of local ecosystems. This article will discuss the importance and key components of the Ship's Hull Biofouling Protection Plan (SHBP), developed in accordance with international requirements, as a comprehensive approach to minimizing these risks.

Keywords: biofouling, ship hull, biofouling management plan, invasive species, fuel efficiency.

Следствием многообразия факторов и обстоятельств, связанных с возникновением экологических и экономических рисков в морской индустрии, эффективное решение проблемы биообрастания судов может быть найдено лишь при системном подходе, то есть с учётом возможно большего количества взаимосвязанных условий, влияющих на благоприятный исход эксплуатации судна.

Международная морская организация (ИМО) признала серьезность проблемы биообрастания и в 2011 году приняла Руководство по контролю и управлению биообрастанием судов в целях минимизации переноса инвазивных водных видов (Резолюция МЕРС 207(62)). Данное руководство призывает к разработке и внедрению Судовых планов по защите от биообрастания (СПЗБ) для всех морских судов. СПЗБ является ключевым инструментом для обеспечения соблюдения международных норм и повышения экологической ответственности судоходных компаний.

Как правило, процедуры по управлению биообрастанием делят на несколько категорий, каждая из которых требует тщательного планирования и исполнения:

1. Документация и ведение записей. Основным элементом СПЗБ является ведение полной и актуальной документации, включающей подробное описание всех мероприятий по борьбе с биообрастанием. Это включает в себя информацию о типе и характеристиках противообрастающего покрытия, датах его нанесения, историю маршрутов судна, сведения о местах стоянок и продолжительности пребывания в различных портах, а также записи о проведенных осмотрах и очистках корпуса. Журнал регистрации биообрастания (Biofouling Record Book) является неотъемлемой частью этой документации.

2. Конструкция и покрытие корпуса. Выбор и применение эффективных противообрастающих систем является фундаментальным шагом.

Современные технологии включают:

Противообрастающие системы (Antifouling Systems, AFS): краски, постепенно высвобождающие биоциды, предотвращающие прикрепление организмов.



Рисунок 1 – Журнал регистрации биообрастания (BRB) [1]

Системы, облегчающие отделение обрастания (Foul-Release Systems, FRS): Нетоксичные покрытия с очень низким поверхностным натяжением, которые затрудняют прикрепление организмов и облегчают их смывание потоком воды при движении судна.

Неклассические системы: включают ультразвуковые системы, системы с электролизом и другие инновационные подходы [2].



Рисунок 2 – Пример неклассической противообрастающей системы на основе использования ультразвука [2]

При проектировании нового судна также учитываются особенности конструкции, минимизирующие поверхности, благоприятные для обрастания.

3. Эксплуатационные практики. Эффективное управление биообрастанием требует оптимизации операционной деятельности судна:

Оптимизация скорости и маршрута: По возможности следует избегать длительных стоянок в районах с высоким риском биообрастания и поддерживать достаточную скорость для активации механизмов самоочищения некоторых FRS.

Выбор портов: при возможности предпочтение отдается портам с низким риском биообрастания или жесткими правилами в отношении очистки корпусов (за пределами тропических широт).

Минимизация времени простоя: Сокращение времени, проведенного в порту или на якоре, особенно в теплых водах, уменьшает возможности для активного прикрепления организмов.

4. Техническое обслуживание корпуса. Регулярные осмотры и очистка корпуса являются важными мерами:

Осмотр корпуса: Периодические подводные осмотры, проводимые водолазами или с помощью дистанционно управляемых аппаратов (ROV), позволяют своевременно выявлять и оценивать степень биообрастания.

Очистка корпуса: Удаление биообрастания может осуществляться как в воде (in-water cleaning), так и в сухом доке. Методы очистки должны быть выбраны таким образом, чтобы не повредить противообрастающее покрытие и не выпустить в воду значительное количество организмов или частиц краски.

5. Обучение и осведомленность персонала. Эффективное внедрение СПЗБ невозможно без соответствующего обучения и повышения осведомленности судового и берегового персонала. Экипаж должен быть ознакомлен с процедурами СПЗБ, методами мониторинга, правилами ведения записей и важностью соблюдения всех мер по предотвращению биообрастания и переноса инвазивных видов.

Внедрение комплексного СПЗБ позволяет судоходным компаниям не только соответствовать международным экологическим нормам, но и значительно повысить операционную эффективность судов за счет снижения расхода топлива и увеличения скорости, что подчеркивает необходимость системного подхода к этой проблеме.

Библиографический список

1. International Maritime Organization (IMO). Guidelines for the control and management of ships' biofouling to minimize the transfer of invasive aquatic species (Resolution MEPC.207(62)). IMO, London, 2011.

2. Официальное руководство ИМО по контролю и управлению биообрастанием судов, ключевой документ.

3. International Convention on the Control of Harmful Anti-fouling Systems on Ships (AFS Convention). IMO, London, 2001. (Международная конвенция по контролю над вредными противообрастающими системами на судах).

ПРЕДПОСЫЛКИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА СУДНА»

Заименко Виктория Константиновна
студентка

Родькина Анна Владимировна
доцент кафедры ОиИС
E-mail: a.v.rodkina@mail.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

PREREQUISITES FOR IMPROVING EDUCATIONAL TECHNOLO- GIES IN THE DISCIPLINE "SHIP HULL DESIGN"

Zaimenko Victoria Konstantinovna
student

Rodkina Anna Vladimirovna
Associate Professor

*Federal State Autonomous Educational Institution of
Higher Education "Sevastopol State University"
Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053*

АННОТАЦИЯ. В работе обоснована актуальность модернизации образовательного процесса в судостроительной отрасли. Предложен новый подход к обучению дисциплины «Конструкция корпуса судов» с использованием нового интерактивного учебного стенда на основе трёхмерного моделирования и аддитивных технологий. Описаны ключевые преимущества решения, определены цель и задачи дальнейшего исследования.

Ключевые слова: судостроение, конструкция корпуса судов, образовательные технологии.

ABSTRACT. The paper substantiates the relevance of the modernization of the educational process in the shipbuilding industry. A new approach to teaching the discipline "Ship hull construction" using a new interactive training stand based on three-dimensional modeling and additive technologies is proposed. The key advantages of the solution are described, the purpose and objectives of further research are defined.

Keywords: shipbuilding, hull construction, educational technologies.

Введение

Актуальность обусловлена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 октября 2019 года №2553-р «Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года» [1]. В рамках этой стратегии необходимо развитие кадрового потенциала отрасли, внедрение инновационных образовательных технологий и повышения привлекательности профессий судостроения для

молодого поколения. Современные вызовы требуют переосмысления традиционных подходов в подготовке специалистов.

История методов обучения

Методы обучения в высших учебных заведениях претерпели значительные изменения под влиянием социально-политической и культурной обстановки. Эти изменения влияли на восприятие и освоение информации студентами. Рассмотрим основные периоды и их особенности.

В досоветский период (начало XX века) основной формой обучения была лекция, сочетающая изучение наук, примеры из жизни и практические работы. Студенты того времени изучали предмет через чтение классических трудов и участие в научных дискуссиях. Восприятие информации было преимущественно текстовым и аудиальным, с акцентом на запоминание и анализ [2].

В методах обучения советского периода (1920–1991 гг.) преобладали традиционные методы обучения, включающие лекционные занятия, конспектирование и практические занятия [2]. В практических занятиях использовались плоскостные наглядные пособия, такие как стенды, плакаты и чертежи.

После распада СССР произошла реформа высшего образования, которая ориентировалась на развитие личности, стандартизацию и интеграцию Болонской системы. Внедрялись новые методы обучения: интерактивные и цифровые технологии.

Большинство вузов применяют классическую лекционно-семинарскую схему с добавлением элементов современных технологий, что не позволяет полноценному внедрению в образовательную практику [3, 4].

В частности, для дисциплины «Конструкция корпуса судов» было применено:

- макет отсека наливного судна;
- макеты мидель-шпангоутов (сухогрузного, навалочного, наливного судна и др.).

Представленные мидель-шпангоуты статичны и условны, не показывают весь набор судна, что затрудняет восприятие пространственных связей.

Также авторами С. Огай, В. Хованец, П. Щербинин была разработана контрольно-обучающая система "Конструкция корпуса морского судна", представленная в виде простейшей 3D-визуализации, которая обучает строению корпуса судна, а также закрепляет изученный материал в режиме контроля и проверки знаний [5].

У современных студентов (поколения Z и Альфа) сформировались иные способы получения, восприятия и усвоения информации. Они воспринимают информацию через клиповое мышление – фрагментарно, сжато и в яркой форме. Вследствие чего появляются существенные ограничения: низкая вовлеченность

обучающихся и сложность восприятия пространственных взаимосвязей конструкций. Современные студенты характеризуются: высокой цифровой грамотностью, предпочтением интерактивных форм обучения, потребностью в визуальной и тактильной связи, клиповым восприятием информации [6, 7].

Исследования показывают, что восприятие и усвоение учебных материалов с помощью визуального (наглядные примеры, таблицы, схемы) и тактильного ощущения (практические занятия) ускоряет реакцию, повышает точность и восприятие в процессе обучения. Также практики с тактильностью усиливают вовлеченность и помогают дольше удерживать их внимание. Поэтому современные вызовы требуют переосмысления традиционных подходов подготовки специалистов.

В данной работе предлагается разработка учебного материала на основе трехмерного моделирования с применением аддитивных технологий. Этот подход позволит обеспечить наглядность сложных пространственных конструкций и повысить мотивацию студентов к изучению сложного материала.

Заключение

Таким образом, необходима разработка учебного комплекса по дисциплине «Конструкция корпуса судов» на основе технологий 3D-моделирования и аддитивных технологий.

Для этого планируется:

- 1 Разработка альбома трехмерных деталей конструктивных элементов судна.
- 2 Проектирование механизма крепления для сборки перекрытий судна.
- 3 Моделирование объемных сборных перекрытий в САПР.
- 4 Разработка методики печати учебного конструктора с применением аддитивных технологий.

Преимущества предлагаемого решения:

- 1 Интерактивность – возможность вращения, масштабирования и разборки 3D-моделей.
- 2 Цифровые модели можно использовать на любом устройстве.
- 3 Обновление учебных материалов.
- 4 Использование тех же САПР, что и на производстве.
- 5 Развитие пространственного мышления.

Разработка учебного конструктора позволит повысить качество освоения образовательных материалов по дисциплине «Конструкция корпуса судов», создать базу для дальнейшего развития образовательных ресурсов в судостроении, что способствует развитию пространственного мышления и повышает интерес студентов к отрасли через современные технологии.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.10.2019 № 2553-р «Об утверждении Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2036 года и на дальнейшую перспективу до 2050 года»// СПС КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_336470/8cf338a0f9ac6827446e2c81f2457a6a245a130f/.
2. Ибрагимов Г.И. Лекция в вузе: теория, история, практика: монография /Г.И. Ибрагимов, Р. Г. Гайнутдинов; под ред. Г.И. Ибрагимова. – Казань: Редакционно-издательский центр «Школа», 2017. – 196 с. URL: https://kpfu.ru/staff_files/F_1135726902/Mon_Lekciya_Ibragimov_G.I.pdf
3. Нечаев В.Д. Модель "продуктовой" магистратуры для подготовки инженера / В. Д. Нечаев, М. П. Евстигнеев, В. Р. Душко // Высшее образование в России. – 2019. – Т. 28, № 3. – С. 57-66. – DOI 10.31992/0869-3617-2019-28-3-57-66. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37184525>.
4. Калинина Н. В., Зуев В. А. Особенности организации практико-ориентированного обучения при подготовке специалистов в области кораблестроения // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2019. – № 10 (октябрь). – С. 1–15. – URL: <http://e-koncept.ru/2019/191061.htm>
5. Седых В. И. Инновационные научно-образовательные комплексы - будущее морского образования / В. И. Седых, С. А. Огай, А. И. Азовцев // Транспорт Российской Федерации. – 2007. – № 10(10). – С. 71-75. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11741351>.
6. Жорабекова М.К., Амандык А.А. Особенности применения цифровых технологий в образовании // НИР/S&R. 2024. №1 (17). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-tsifrovyyh-tehnologiy-v-obrazovanii>.
7. Карпушкина Г.И., Ляпина И.Ю, Дьяконова К.С., Соколов Р.В. Особенности восприятия информации современными российскими студентами// Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 6-1. С. 116-117. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=5036>.

ЛОГИСТИКА ГРУЗОПЕРЕВОЗОК МОРЕМ И ЕЁ РОЛЬ В УПРАВЛЕНИИ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ.

Захаров Валерий Вадимович

доцент кафедры СиБС

E-mail: zakharovvalerij3@gmail.com

Петрушечкин Андрей Юрьевич

доцент кафедры СиБС

Назаров Александр Эдуардович

студент 3 курса кафедры СиБС

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

SEA FREIGHT LOGISTICS AND ITS ROLE IN THE WATERBORNE TRANSPORT MANAGEMENT

Zakharov Valerii

Associate Professor

Petrushechkin Andreii

Associate Professor

Nazarov Alexandr

3-rd year student

*Federal State Autonomous Educational Institution of
Higher Education "Sevastopol State University"
Universitetskaya St., 33, Sevastopol, 299053*

АННОТАЦИЯ. В тезисах отражены общие положения исследования повышения эффективности грузоперевозок морем. Автор объясняет влияние логистики в грузоперевозках морем на безопасность судоходства в целом. В статье рассмотрены направления для развития грузоперевозок в сложившихся условиях рынка, к которым относятся: внедрение новых технологий в логистике грузоперевозок морем, улучшение инфраструктуры портов для увеличения эффективности транспортировки грузов.

Ключевые слова: морская логистика; эффективность грузоперевозок морем; блок-чейн технология; смарт-контракт.

ABSTRACT. The theses are reflecting the common provisions of the study of improving the efficiency of sea freight. The author explains the impact of logistics in sea freight on overall navigation safety. The article discusses directions for the development of sea freight transportation in the current market conditions, including the introduction of new technologies in sea freight logistics and the improvement of port infrastructure to increase the efficiency of cargo transportation.

Keywords: maritime logistics; efficiency of sea freight; blockchain technology; smart contract.

Введение

Ключевой ролью в современной индустрии судоходства, направленной на улучшение безопасности мореплавания обладают вопросы связанные с повышением эффективности морских перевозок, связанные с улучшением экологической устойчивости и общей производительности морских перевозок.

Безопасность морских перевозок представляет собой совокупность мероприятий, нацеленных на снижение рисков аварий и аварийных ситуаций, которые должны обеспечить уменьшение и предотвращение аварий для сохранения человеческих жизней и имущества на море, а также для защиты и сохранения морской среды.

Такие мероприятия обеспечиваются системой международных и национальных мер технического, организационного, экономического, социального и правового характера.

В общем случае, безопасность плавания следует рассматривать не только как способность судна плавать без риска потерь или экономического ущерба, но также и снижение затрат, направленных на обеспечение мер по повышению эффективности грузоперевозок морем.

Чем выше уровень безопасности плавания, тем выше его эффективность при минимальном уровне ущерба.

Оценить безопасность судоходства можно с помощью эффективности грузоперевозок. При этом, высокая эффективность грузоперевозок морем обеспечивает высокий уровень безопасности судоходства.

Одним из путей повышения эффективности грузоперевозок является улучшение процессов управления водным транспортом, в свою очередь связанные с решением вопросов логистики направленные на:

- сокращение времени оборота судов за счёт точного планирования логистических цепочек;
- снижение аварийности через контроль загрузки и мониторинг технического состояния флота;
- повышение устойчивости цепочек поставок в условиях кризисов (пандемии, военные конфликты, блокировки каналов);
- интеграция с мультимодальными перевозками – морская логистика связывает железнодорожный, автомобильный и авиационный транспорт.

Морская логистика является инструментом повышения эффективности управления водным транспортом через:

- оптимизацию маршрутов, снижение расходов и минимизацию рисков от потерь и ущерба возникающих в результате случайных событий;

- разработку и внедрение цифровых систем, которые повышают прозрачность и сокращают задержки;
- стандартизацию транспортных, таможенных, складских, финансовых документов и документов контроля качества и безопасности документов. Переход к цифровым и автоматизированным процессам является актуальной задачей для морской логистики, как необходимость в оптимизации документооборота.

Нерешённые проблемы в логистике.

Современная логистика морских перевозок грузов связана с ростом объемов международной торговли, с увеличением объемов грузоперевозок ситуация с логистикой становится всё более сложной. Такая логистика связана с одной стороны:

1. Избыточностью документооборота. Один и тот же документ приходилось подавать в несколько ведомств. Разные форматы, требования, сроки приводят к задержкам обработки судов в портах.

2. Медленными и непрозрачными процедурами и долгим согласованием между службами таможни, санитарного контроля, пограничниками. Такое состояние дел определено отсутствием единой базы данных и как следствие приводит к дублированию проверок и задержкам.

3. Высокие транзакционные издержки, связанные с тратой ресурсов на курьеров, бумажные копии, повторные подачи. Ошибки в документах приводят к штрафам и простоям.

4. Низкий уровень цифровизации вынуждает использовать бумажные копии. Не было интеграции между ИТ-системами разных ведомств.

5. Отсутствие координации между участниками, каждое ведомство действовало по своим регламентам.

6. Не было общей платформы для обмена информацией между государством и бизнесом.

С другой стороны, с ростом объемов международной торговли появилась необходимость повышения:

- безопасности транзакций в условиях глобализации и роста киберугроз;
- увеличение требований к прозрачности логистических операций и повышения доверия между сторонами, участвующими в процессе грузоперевозок, а также исключение посредников.

Традиционные цепочки поставок устроены сложно и многослойно: в них участвуют производители, перевозчики, склады, таможенные службы, дистрибьюторы и ритейлеры. Каждый этап сопровождается большим

количеством документов, проверок и согласований, что приводит к ряду проблем:

- недостаточная прозрачность. Участники цепочки часто не имеют полной информации о состоянии и местоположении груза, что затрудняет планирование и увеличивает сроки доставки.

- высокие издержки. Ошибки в документации, задержки и необходимость посредников увеличивают стоимость логистики.

- риск подделок и мошенничества. Отсутствие надёжных механизмов проверки подлинности товаров и документов создаёт возможности для фальсификаций и хищений.

- сложности с отслеживанием. Потребители и бизнес не всегда могут проверить происхождение товара и условия его транспортировки.

Это требует внедрения новых технологий, способных упростить управление цепочками поставок.

Анализ способов оценки эффективности грузоперевозок.

Для оценки эффективности грузоперевозок можно использовать следующие показатели, с тем чтобы в дальнейшем, повышая показатели эффективности грузоперевозок повышать безопасность судоходства в целом.

1. Число аварий и инцидентов: сравнение числа аварий за определенный период с объемом грузоперевозок позволяет оценить уровень безопасности. При этом, если количество инцидентов снижается при увеличении объемов перевозок, это свидетельствует о повышении безопасности судоходства. Надёжные суда, современные системы навигации и связи снижают риски аварий и задержек.

2. Время простоя судов: эффективность грузоперевозок можно оценить по времени, которое суда проводят в порту или в рейсе. Увеличение времени простоя из-за аварий или технических неисправностей или недостатков в работе логистических цепочек может указывать на недостаток безопасности. Оптимизация процессов и высокая безопасность должны способствовать сокращению времени простоя. Оптимизация маршрутов и профилактическое обслуживание судов минимизируют время в пути и издержки.

Использование данных и аналитики для предсказания и предотвращения поломок оборудования позволяет избежать незапланированных простоев и аварий, что повышает общую надежность и эффективность судоходства.

3. Потери грузов: эффективное управление рисками и высокий уровень безопасности позволяют избежать потерь грузов и экономического ущерба. Оценка убытков из-за повреждения или утраты грузов в процессе перевозок. Низкий уровень потерь свидетельствует о высокой безопасности судоходства.

4. В области технологических инноваций, внедрение современных технологий, таких как системы автоматического управления и мониторинга, способствующее повышению безопасности судов и одновременно улучшению логистических процессов, делая их более эффективными и оценка вложений в современные технологии и обучение персонала.

Компании, которые активно инвестируют в безопасность, часто показывают лучшие результаты по эффективности перевозок.

Внедрение автоматизированных систем управления и мониторинга позволяет не только повысить точность и скорость операций, но и снизить вероятность человеческих ошибок, что уменьшает риски аварий и инцидентов.

Инвестиции в технологии и инфраструктуру для повышения эффективности грузоперевозок также улучшают безопасность.

5. Через выплаты страховых премий, связанные с убытками, безопасные морские перевозки снижают расходы на страхование и ремонт судов, что в свою очередь уменьшает общие затраты на транспортировку грузов. Анализ страховых премий и убытков по страховым случаям также может служить индикатором безопасности. Низкие страховые премии и количество выплат свидетельствуют о более безопасных операциях.

6. Отзывы клиентов и партнеров, уровень доверия со стороны клиентов и партнеров может служить косвенным показателем безопасности. Высокий уровень удовлетворенности клиентов и низкое количество жалоб на безопасность могут свидетельствовать о высоком уровне безопасности судоходства. Следование международным стандартам и правилам безопасности, таким как SOLAS (Международная конвенция по охране человеческой жизни на море), способствует снижению рисков и повышению доверия к судоходным компаниям.

Эффективные компании, которые соблюдают международные и местные стандарты безопасности, как правило, демонстрируют лучшую эффективность в грузоперевозках. Высокий уровень соблюдения норм может говорить о низком уровне рисков.

Регулярное обучение и повышение квалификации экипажа способствует лучшему пониманию и соблюдению стандартов безопасности, что напрямую влияет на снижение рисков и повышение эффективности работы судна.

Цели в достижении улучшения логистики и повышения эффективности.

В современных морских грузоперевозках для повышения эффективности, кроме вопросов направленных на модернизацию самих судов большое внимание уделяется вопросам, связанным с логистикой грузоперевозок. При этом логистические решения должны обладать следующими характеристиками:

1. Централизованная сквозная прозрачность
2. Сбор данных в режиме реального времени.
3. Точная отчетность.
4. Управление рисками

Пути реализации в достижении объявленных целей.

Для улучшения логистики при грузоперевозках морем, используют такие способы как:

1. Оптимизация маршрутов и расписания:
 - Анализ и выбор оптимальных маршрутов с учетом погодных условий, морских течений и других факторов;
 - Составление эффективного расписания движения судов, сокращающего время в пути и простои, особенно актуально для контейнерных перевозок;
 - Использование современных систем планирования и управления перевозками.
2. Повышение эффективности портовой инфраструктуры:
 - Модернизация портовых терминалов, складов и погрузочно-разгрузочного оборудования;
 - Внедрение автоматизации и цифровых технологий для ускорения обработки грузов;
 - Оптимизация логистических процессов в портах для сокращения времени стоянки судов.
3. Улучшение взаимодействия между участниками цепочки поставок:
 - Интеграция информационных систем и обмен данными между перевозчиками, портами, экспедиторами и другими участниками;
 - Координация действий и совместное планирование для повышения синхронизации процессов;
 - Использование современных технологий (блокчейн, IoT) для повышения прозрачности и отслеживаемости грузов.
4. Управление рисками и страхование:
 - Внедрение систем управления рисками для идентификации, оценки и минимизации рисков;
 - Использование страхования для защиты от финансовых потерь в случае аварий или инцидентов;
 - Разработка планов реагирования на чрезвычайные ситуации для быстрого восстановления после происшествий.
5. Внедрение "зеленых" логистических решений:
 - Использование экологичных видов топлива и технологий для снижения выбросов;

- Оптимизация маршрутов и загрузки судов для повышения энергоэффективности;
- Внедрение практик циркулярной экономики для повторного использования и переработки материалов.

На конференции организации объединённых наций по торговле и развитию, проходившей в Женеве в 2023 году по девизом «К экологически чистому судоходству на справедливых условиях» определены основные задачи в развитии современного судоходства и основные пути их реализации, а также отдельно отмечено необходимость повышения эффективности погрузочно-разгрузочных операций в портах.

Одна из задач, обозначенная как инновации и цифровизация предусматривает внедрение новых технологий для улучшения логистики и обработки грузов, отслеживания движения грузов, транспортных средств для избежания потерь грузов или средств и управления судами.

Одним из направлений по решению этой задачи являются меры по упрощению процедур перевозок на морском транспорте, которые должны способствовать повышению эффективности работы портов и улучшению сообщения с внутренними районами стран, правового регулирования, облегчающее признание и использование электронных коносаментов, организация работы порта по принципу «единого окна».

Принцип "Единого окна" предполагает создание единой точки доступа, через которую участники цепочки поставок могут обмениваться информацией и документами. Это позволяет повысить эффективность, прозрачность и скорость обработки грузов.

МЕО или Морское Единое Окно (MSW – Maritime Single Window) можно определить как среду универсального обслуживания, которая охватывает морские и портовые административные процедуры, такие как декларация о заходе/выходе из порта, уведомление по охране, а также деловую информацию о заходе в порт и другую соответствующую информацию, которой обмениваются участники захода в порт.

Единое морское окно (MSW) обязательно к использованию с 2024 года.

С 1 января 2024 года все государства-члены ИМО должны использовать единую централизованную цифровую платформу или "Единое морское окно" (MSW) для сбора и обмена информацией с судами при их заходе в порты. Это упростит процедуры оформления прибытия, пребывания и отхода судов и значительно повысит эффективность судоходства во всем мире.

Поправки обновляют положения Конвенции FAL об обязательном электронном обмене данными в портах при оформлении судов. Поправки к приложению к Конвенции FAL обяжут государственные органы создавать,

поддерживать и использовать системы "единого окна" (SW) для электронного обмена информацией, необходимой для прибытия, пребывания и отхода судов в портах.



Рисунок 1 Механизм «Единое окно» в грузоперевозках.

Таблица 1 Оформление документов с помощью «Единого окна»

Группа <i>Group</i>	Функция <i>Function</i>	Пример <i>Example</i>
Морская <i>Nautical</i>	Охрана/ <i>Security</i>	ВМФ (доклады по ОСПС, уведомления)
	Безопасность/ <i>Safety</i>	Береговая охрана (береговая охрана (уведомления о приходе, прохождение базовой линии)) СДС, лоцман, зона сообщения о судне (уведомления о прибытии)
	Окружающая среда/ <i>Environment</i>	Береговая охрана (декларация об опасных грузах, отчёты о балластных водах)
	Платежи/ <i>Payments</i>	Сборы за фарватер, лоцманские сборы
	Операции/ <i>Operations</i>	СДС, лоцман (уведомления о прибытии)
Инспекция <i>Ship Inspection</i>	Охрана/ <i>Security</i>	Государство портового контроля (документы ОСПС)
	Безопасность/ <i>Safety</i>	Государство портового контроля (свидетельства)
	Окружающая среда/ <i>Environment</i>	Государство портового контроля (отходы и нефтяные операции)
	Другие/ <i>Other</i>	МОТ (контракты)/ <i>ILO (contracts)</i>
Порт/ Терминал <i>Port/terminal</i>	Охрана/ <i>Security</i>	Офицер порта по охране (доклады по ОСПС)

Группа <i>Group</i>	Функция <i>Function</i>	Пример <i>Example</i>
	Безопасность/ <i>Safety</i>	Офицер по безопасности (декларация об опасных грузах, нотис о приходе)
	Окружающая среда/ <i>Environment</i>	Офицер по безопасности (отходы, балластные воды)
	Платежи/ <i>Payments</i>	Портовые/терминальные сборы
	Операции/ <i>Operations</i>	Уведомления о приходе/отходе
	Груз/ <i>Cargo</i>	Оформление груза, грузовая декларация
Импорт/ Экспорт <i>Import/ export</i>	Охрана/ <i>Security</i>	Декларация о грузе
	Контрабанда/ <i>Contraband</i>	Уведомление о приходе (предыдущие порты), декларация о грузе
	Окружающая среда/ <i>Environment</i>	Декларация о грузе, ветеринарные, санитарные, другие свидетельства
	Платежи/ <i>Payments</i>	Таможенные сборы
Иммиграционные/ <i>Immigration</i>	Охрана/ <i>Security</i>	Судовая роль, список пассажиров

Проект "Единое окно для упрощения процедур торговли" (SWiFT)

Проект "Единое окно для упрощения торговли" (SWiFT) – это сотрудничество между ИМО и Сингапуром, направленное на разработку системы MSW, позволяющей подавать в электронном виде через единый портал всю информацию, требуемую различными государственными органами при заходе судна в порт.

В январе 2023 года по просьбе Ангольского национального морского агентства (AMN) ИМО провела миссию в Анголе в рамках технической помощи ИМО в поддержку проекта SWiFT. В рамках подготовки к передаче системы с 13 по 15 ноября 2023 года было проведено трехдневное виртуальное приемочное испытание тестирования Единого окна SWiFT.

Перспективы решения вопроса улучшения логистики, повышения эффективности грузоперевозок морем и безопасности судоходства.

В последние годы блокчейн-технологии стали рассматриваться как потенциальное решение для повышения эффективности и прозрачности в портовой логистике.

Блокчейн – это децентрализованная база данных, которая хранит информацию в виде цепочки блоков. Каждый блок содержит набор транзакций и уникальный код, связывающий его с предыдущим блоком. Это делает изменения в данных практически невозможными, обеспечивая высокий уровень безопасности и прозрачности. Блокчейн позволяет участникам сети

взаимодействовать напрямую, без необходимости в посредниках, что значительно ускоряет процессы и снижает затраты.

Использование блокчейна позволяет всем участникам процесса (грузоотправителям, перевозчикам, таможенным органам и конечным потребителям) иметь доступ к одной и той же информации в реальном времени. Это минимизирует возможность мошенничества и ошибок, а также позволяет быстро отслеживать статус грузов. Это создает прозрачную среду, где можно отслеживать статус груза на каждом этапе его движения. Все изменения в статусе груза фиксируются в блокчейне, что уменьшает вероятность мошенничества и ошибок.

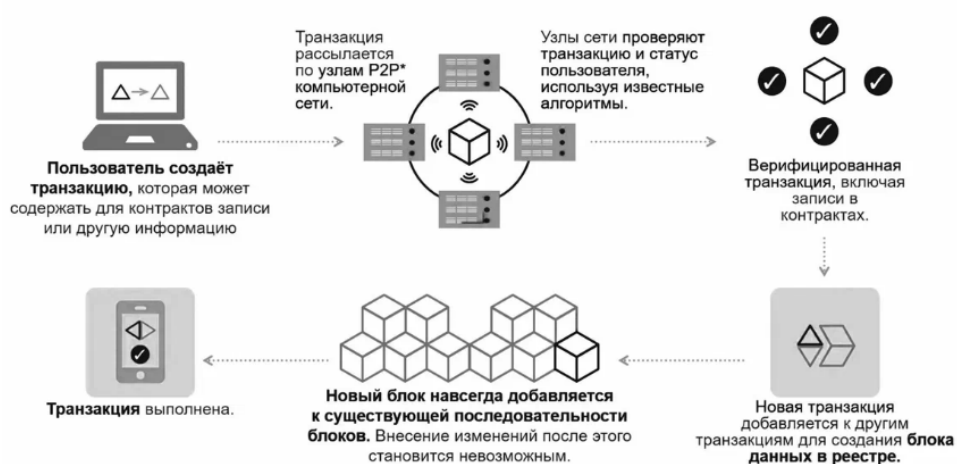


Рисунок 2 Схема работы блок-чейн технологии.

Технологию блокчейн в логистике трудно переоценить:

1. Блокчейн может значительно ускорить процессы оформления документов и разрешений. Традиционно процесс включает множество этапов: от оформления грузовых накладных до получения разрешений от различных государственных органов. Блокчейн позволяет автоматизировать многие из этих процессов с помощью смарт-контрактов, которые автоматически выполняются при выполнении определенных условий.

2. Снижение затрат за счет автоматизации и повышения эффективности процессов использование блокчейна может привести к значительному снижению затрат на логистику. Участники цепочки поставок могут сократить расходы на обработку документов, минимизировать задержки и оптимизировать использование ресурсов.

3. Улучшение управления рисками, блокчейн позволяет более точно отслеживать движение грузов и их состояние в реальном времени. Это помогает участникам цепочки поставок быстро реагировать на возможные проблемы, такие как задержки или повреждения товаров. Кроме того, децентрализованный характер

блокчейна снижает риски, связанные с потерей данных или недоступностью информации.

4. Устойчивость к изменениям, использование блокчейна в портовой логистике позволяет создать более устойчивую систему, способную адаптироваться к изменениям. Например, в условиях кризиса или неожиданных обстоятельств (таких как пандемия COVID-19) блокчейн может обеспечить бесперебойное функционирование цепочки поставок, минимизируя воздействие внешних факторов.

5. Устойчивость к кибератакам, так как блокчейн представляет собой распределенную базу данных, информация в ней более защищена от несанкционированного доступа и кибератак. Это особенно важно для транспортной отрасли, где безопасность информации играет важную роль.

Особенность технологии блокчейна в логистике состоит в применении смарт-контрактов между участниками морской перевозки грузов.



Рисунок 3 Принцип работы смарт-контракта.

Смарт-контракт (smart-контракт) – это программный код, выполняющий определенные условия сделки между двумя или более сторонами на основе технологии блокчейн. В отличие от традиционных контрактов, смарт-контракт автоматически исполняется при наступлении заранее определенных условий, без участия посредников и без возможности изменения данных после их внесения в блокчейн.

Основная идея смарт-контрактов заключается в том, чтобы исключить необходимость доверия к третьей стороне (например, банкам, нотариусам или юристам) и гарантировать выполнение условий договора благодаря программному коду. Условия смарт-контракта записываются в виде логических операций «если-то» и фиксируются на блокчейне, что делает их прозрачными и неизменными. Такие контракты широко используются для различных операций,

включая финансовые транзакции, управление цифровыми активами и автоматизацию бизнес-процессов.

Работа смарт-контрактов базируется на нескольких ключевых принципах:

1. Автоматизация: все условия и действия, прописанные в смарт-контракте, выполняются автоматически при наступлении определенных событий, что устраняет необходимость в ручном управлении.

2. Неизменяемость: после размещения в блокчейне смарт-контракт становится неизменяемым. Это гарантирует, что условия сделки не могут быть изменены после их принятия.

3. Прозрачность: все действия, совершаемые смарт-контрактом, записываются в блокчейн и доступны для просмотра всем участникам сети. Это обеспечивает высокий уровень доверия и контроля.

4. Самостоятельность: смарт-контракт выполняет заложенные в него действия без необходимости обращения к сторонним сервисам или людям.

Несмотря на множество преимуществ, у смарт-контрактов есть и свои недостатки:

- необратимость: после развертывания в блокчейне смарт-контракт нельзя изменить или удалить. Если в коде будет ошибка, исправить её можно только создав новый контракт;

- юридическая неопределенность: смарт-контракты пока не признаны юридически обязательными во многих странах, что может вызывать проблемы при попытке их использования в качестве основного инструмента для сделок;

- ограниченная гибкость: смарт-контракты хороши для выполнения простых условий, но в сложных сценариях они могут оказаться недостаточно эффективными и требовать доработки.

Вывод

Таким образом, экономическая выгода как основной показатель эффективности в оценке безопасности судоходства, которая включает:

1. Увеличении доходов: рост выручки, прибыли, рентабельности бизнеса;
2. Снижении затрат: уменьшение операционных расходов, издержек производства, транспортных и логистических расходов;

3. Повышении эффективности: более рациональное использование ресурсов, оптимизация бизнес-процессов, увеличение производительности;

4. Росте конкурентоспособности: улучшение позиций на рынке, возможность предлагать более выгодные условия для клиентов;

5. Расширении доступа к рынкам: выход на новые географические или товарные рынки, увеличение объемов продаж;

6. Улучшении финансового положения: рост денежных потоков, укрепление финансовой устойчивости, повышение инвестиционной привлекательности;

7. Создании новых возможностей: появление перспектив для развития бизнеса, реализации новых проектов, внедрения инноваций;

8. Повышении социально-экономической эффективности: рост занятости, увеличение налоговых поступлений, улучшение благосостояния населения.

Портовая логистика играет ключевую роль в глобальной торговле, обеспечивая эффективное движение товаров между различными странами и континентами. Несмотря на свою важность, этот сектор сталкивается с рядом вызовов, включая недостаток прозрачности, высокие затраты и сложные процессы взаимодействия между различными участниками. В последние годы блокчейн-технологии стали рассматриваться как потенциальное решение для повышения эффективности и прозрачности в портовой логистике.

Комплексное улучшение логистических процессов, с применением современных технологий и методов управления, позволяет повысить эффективность грузоперевозок морем, сократить издержки, снизить риски и повысить безопасность судоходства. Это способствует устойчивому развитию морской отрасли.

Библиографический список

1. Международная практическая конференция «Shipping & Digital. Опыт 2024». – URL: <https://seanews.ru/2024/06/10/ru-mezhdunarodnaja-prakticheskaja-konferencija-shipping-digital-opyt-2024/>

2. Обзор морского транспорта 2023 год.: Организация Объединенных Наций, – 2023. – URL: <https://unctad.org/>

3. Глобальные тенденции в области морских технологий до 2030 года.: 2015 Lloyd's Register, QinetiQ and University of Southampton: сайт. – URL: <https://www.lr.org/>

4. Российский профессиональный союз моряков Seafarrers' Union of Russia: – URL: http://www.sur.ru/ru/news/lent/2019-06-17/sudokhodstvo_2030_novye_tekhnologii_v_morskoj_industrii_17778.

5. Применение технологий блокчейн и смарт-контракт в морских перевозках.: – URL: <http://www.logistika-prim.ru/articles/primenenie-tehnologiy-blokcheyn-i-smart-kontrakt-v-morskih-perevozkah>.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ШТОКМАНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Иванов Михаил Александрович

студент группы К/б-22-1-о

E-mail: gtfmilt@gmail.com

Немчинов Егор Сергеевич

студент группы К/б-22-1-о

E-mail: vazeva1396@gmail.com

Иванова Ольга Александровна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: o.a.ivanova.kmt@mail.ru

Родькина Анна Владимировна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: a.v.rodkina@mail.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

THE PROSPECT OF USING ROBOTIC UNDERWATER VEHICLES TO SOLVE PROBLEMS OF OFFSHORE FIELD DEVELOPMENT

Ivanov Mihail Alexandrovich

Student

Nemchinov Egor Sergeevich

Student

Ivanova Olga Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Rodkina Anna Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. Выполнена оценка современного состояния вопроса освоения месторождений с помощью систем подводной добычи в мировой практике и в РФ. Авторами статьи была рассмотрена возможность применения ПДК при разработке Штокмановского ГКМ. Выполнен анализ метеорологических условий; выявлены сложности разработки месторождения, связанные с наличием ледовой обстановки, сейсмической активности, наличием слабых и мягких грунтов и другими факторами. Рассмотренные в работе проблемы

технической осуществимости применения ПДК на данном этапе изученности вопроса приведут к высокому уровню рисков по реализации проектов. Это обуславливается не только отсутствием на данный момент времени в РФ опыта разработки месторождений с применением только отечественных технологий изготовления ПДК, но литологией слоя осадков и рельефа дна на месторождении.

Ключевые слова: шельф, подводный добычный комплекс, анализ условий

ABSTRACT. The current state assessment of the multi-link robotic underwater vehicle design, an analysis of the main configurations of robotic underwater vehicles with various manipulator systems were performed. An analysis of prospective development offshore fields license areas and an analysis of these water areas conditions were performed. The obtained results generalization made it possible to identify an operating depths range for the robotic underwater vehicle being developed and to determine the characteristics of hydrometeorological conditions in the operation areas, necessary for the formation of an initial data package and design requirements.

Keywords: offshore field, underwater vehicle, classification, depth, hydrometeorological conditions.

Введение

Повышенный спрос на энергоресурсы и рост их влияния на развитие, как экономики РФ, так и мировой экономики требует постоянного ведения поисково-разведочных работ, открытия и ввода в эксплуатацию новых месторождений. По количеству запасов нефти и газа ключевым регионом в РФ является Арктический континентальный шельф [1]. Создание и развитие морской арктической газодобывающей отрасли РФ в условиях санкционной политики является перспективной и важной отраслью, обеспечивающей повышение социально-экономического уровня РФ, кроме того, это будет способствовать развитию всех задействованных отраслей отечественной промышленности.

Анализ условий Арктических морей [2–3] показал, что существенная часть перспективных арктических акваторий имеет значительные глубины (свыше 100 м). Большими глубинами отличаются Баренцево, Карское, Охотское моря и северная часть моря Лаптевых. При этом для морей Лаптевых и Карского характерен весьма короткий без ледовый период (1,5–2 месяца) [4]. Несмотря на то, что Баренцево море входит в состав ледовитых морей, оно отличается от других морей Арктики тем, что никогда не покрывается льдом полностью. Это происходит благодаря притоку атлантических вод, приносящих такое количество тепла, которое не позволяет воде охладиться до температуры замерзания.

Штокмановское морское газоконденсатное месторождение (ГКМ), расположенное в центральной части шельфа российского сектора Баренцева моря, по величине запасов (газ – 3,965 трлн м³, газовый конденсат – 49,5 млн т) является уникальным, а в сочетании этого фактора с географическим положением и природно-климатическими условиями не имеет аналогов в мире [5, 6]. Для обустройства и разработки Штокмановского ГКМ определяющими факторами являются: глубина акватории, сложное геологическое строение разреза с

расчлененным рельефом дна и многочисленными разрывными нарушениями мезозойский пород, а также климатические условия: частые сильные штормы, высокий риск обледенения морских сооружений, сейсмическая активность, ледовые условия, обусловленные наличием дрейфующих ледовых полей и айсбергами.

Для освоения Штокмановского ГКМ с 1989 г. разработаны более ста научно-технических проектов различного уровня с участием нескольких десятков ведущих отечественных и зарубежных научных, конструкторских, проектных и производственных нефтегазовых компаний. В 1992 г. на территории СССР выполнен первый технико-экономический проект для разработки месторождения, в 1994 г. в продолжение разработки месторождения был выполнен технико-экономический расчет компанией АО «Росшельф», который показал, что наиболее сложной задачей является проектирование и изготовление установки, включающей в себя комплекс для переработки газа и конденсата для транспортировки и подачи этой продукции на транспортные средства [6]. Необходимо учесть тот факт, что реализация проектов обустройства месторождения более, чем на 85 % была рассчитана на зарубежные поставки и участия, что в нынешних условиях международных санкций невозможно.

Проектной организацией, входящей в состав ОСК – АО ЦКБ «Коралл» для Штокмановского ГКМ тоже рассматривались существующие решения по техническим средствам. В качестве альтернативных решений были определены: плавучая морская полупогружная платформа с натяжными связями (TLP); морская плавучая полупогружная установка типа «монобуй»; плавучая система добычи, хранения и отгрузки – судно, оборудованное турелью. Результаты проектных и экспериментальных работ, выполненных ЦКБ «Коралл» с привлечением ФГУП «Крыловский государственный научный центр» показали, что концептуальный проект судна, оборудованного турелью, может быть технически и технологически реализован, и имеет перспективы на разработку не только для Штокмановского ГКМ, но и месторождений с глубиной воды от 100 до 400 м в Баренцевом море [7, 8].

В настоящее время морская добыча углеводородов движется по пути значительной трансформации, обусловленной изменениями рынка потребителей. Применение новых технологий, а именно применение подводно-добычных комплексов (ПДК) открывает возможность осваивать все более глубоководные участки, в более труднодоступных районах арктической зоны, на месторождениях с высоким содержанием серы, где присутствие человека является практически невозможным.

Авторами статьи была рассмотрена возможность применения ПДК при разработке Штокмановского ГКМ и выявлены проблемы технической осуществимости их применения.

Анализ

Освоение месторождений с помощью систем подводной добычи является общеизвестным в мировой практике способом. Подводные технологии начали развиваться с середины 1970-х г., побудительным мотивом к развитию стал нефтяной кризис. Впервые подводное устьевое оборудование начало эксплуатироваться в Мексиканском заливе. Газ отделялся от жидких углеводородов под водой, затем жидкие углеводороды выкачивались на поверхность, а газ поднимался под собственным давлением. В настоящее время технологии подводной добычи позволяют осуществлять под водой выкачивание углеводородов, разделение газа и жидкости, отделение песка, обратную закачку воды в пласт, подготовку газа, сжатие газа.

Первый подводный перекачивающий комплекс был создан компанией General Electric мощностью 850 кВт. Комплекс был испытан в 1992 году в заводских условиях. Прогресс в разработке ПДК в течение 1980–2015 гг. отмечен появлением подводной фонтанной арматуры в горизонтальном исполнении, новых систем управления, в том числе с полным электроприводом (TechnipFMC, GE Oil&Gas, Aker Solutions).

В России на Киренском месторождении впервые осуществляется добыча газа при помощи ПДК. Добыча ведется на шельфе Сахалина при глубине моря порядка 90,0 м, на расстоянии 29 км от берега. Проектантом и изготовителем комплекса оборудования является норвежская компания «FMS Technologies». Эксплуатационные скважины на данном месторождении были разбурены с помощью ППБУ «Полярная звезда», продукт добычи подается на берег. Подводное добычное оборудование, полностью находящееся на дне Охотского моря, дает возможность добывать газ без использования платформ и других надводных конструкций.

В 2010 г. было открыто Южно-Киренское морское месторождение, расположенное в Охотском море на северо-восточном шельфе о. Сахалин, относящееся по своим запасам к категории уникальных (814 млрд м³ газа и 130 млн т газового конденсата, 3,8 млн тонн). Разработку месторождения планируется вести по аналогии с Киренским месторождением.

Также отечественными компаниями был разработан концептуальный проект и рассмотрена возможность применения подводных технологий для обустройства месторождений Поморского кластера. Особенность подводного обустройства месторождений Поморского кластера связана с незначительными глубинами акватории и, как следствие этого, большой вероятностью воздействия ледовых образований на грунт, в связи с чем, весь комплекс оборудования и технических средств, обеспечивающих добычу, должен быть заглублен в морской грунт и закрыт защитными конструкциями.

В РФ уже были сделаны первые шаги к применению и созданию ПДК для Штокмановского газоконденсатного месторождения (ГКМ), начавшиеся с подготовки судостроительного предприятия «Звездочка». В кооперации с норвежской компанией «Aker Solutions» планировалось строить составные части ПДК (темплейты, оснований райзеров, манифолды) для обустройства первой фазы месторождения [9]. По предварительной оценке, масса и габариты составных частей ПДК представляют собой крупногабаритные конструкции массой более 300 т, такое оборудование ранее в России не производилось.

Другим крупным проектом является создание специального берегового объекта – комплексной базы обслуживания (КБО) Штокмановского месторождения. Наиболее подходящим местом для организации такой базы по показателям наличия инфраструктуры и удаленности от месторождений углеводородов является территория филиала ОАО «ЦС «Звездочка» «35 СРЗ» в городе Мурманск.

Целью работы является оценка возможности применения подводно-добычных комплексов при освоении Штокмановского ГКМ.

Основными задачами являются: анализ метеорологических условий; обоснование технической осуществимости проведения буровых операций с применением различных буровых установок в комплексе с ПДК.

Анализ метеорологических условий

Близость Норвежского моря и Атлантического океана существенно смягчает климат рассматриваемого района Баренцева моря. Большую часть года температура воздуха ниже нуля. Средняя продолжительность безморозного периода составляет примерно – 100 дней в году, среднегодовая температура воздуха отрицательная: абсолютные температуры в отдельные годы опускаются ниже -40°C , в июле средняя температура в различных районах колеблется $1-7^{\circ}\text{C}$ [Атлас «Климат морей России и ключевых районов Мирового океана»].

Баренцево море представляет весь спектр движений морских вод: квазистационарная циркуляция, течения синоптического масштаба (штормовые нагоны) и приливные течения. Ледовитость Баренцева моря от года к году неодинакова. Колебания ее связаны с интенсивностью Нордкапского течения, атмосферной циркуляцией и с общим потеплением или похолоданием Арктики. Наибольшая ледовитость наблюдается обычно во второй декаде апреля, наименьшая – в конце августа и в первой половине сентября. В августе-сентябре аномально теплых лет море полностью очищается ото льда, а в аномально холодные годы ледяной покров в эти месяцы сохраняется на 40-50 % его площади, располагаясь преимущественно в северных районах. [Баренцево море..., 1990].

Развитию волнения в Баренцевом море благоприятствуют сильные устойчивые ветра и большие пространства, свободные ото льда. Особо сильные

волнения наблюдаются в зимний период, когда при длительных (не менее 16 ч.) западных и юго-западных ветрах (до 20–25 м/с) в центральных районах моря наиболее развитые волны могут достигать высоты 10–11 м. У берегов Баренцева моря волны значительно меньше. При продолжительных северо-западных штормовых ветрах высота волн достигает 7–8 м. В Баренцевом море существует сложная система преобладающих поверхностных течений, воспроизводящая теплые потоки воды, идущие с запада, и холодные – с севера [Баренцево море..., 1990].

Территория Баренцева морского шельфа считается в целом асейсмичной областью, поскольку за столетний период инструментальных наблюдений мировой сейсмологической сетью здесь не зафиксированы землетрясения с магнитудой выше 4-х баллов по шкале Рихтера [10, 11]. Площадь Штокмановского ГКМ по СП 14.13330.2018 [12] относится к III категории сложности, что обусловлено сложным геологическим строением разреза, расчлененным рельефом дна, а также многочисленными разрывными нарушениями мезозойских пород.

По уровню сейсмической активности территорию, охватываемую проектом освоения Штокмановского ГКМ, можно разделить на два района: лицензионная площадь месторождения и большая часть трассы морского газопровода находятся в асейсмичной области, а выход трубопровода на сушу и все наземные промплощадки у Видяево расположены в Финнмаркско-Мурманской сейсмогенной зоне (ФМСЗ). Сеймотектонический потенциал этой зоны выше шельфового фона в 1,3–1,5 раза [10].

С учетом литологии верхнего слоя осадков и рельефа дна на площадке Штокмановского ГКМ и трассе морского трубопровода можно ожидать, что даже столь слабая сейсмическая активность может спровоцировать локальные оползни или сплывы грунтов большой массы. Но гораздо большую потенциальную опасность представляет наведенная сейсмичность, связанная с формированием мульды проседания. На донной поверхности площади месторождения распространены покровные комплексы современных (голоценовых) слабых и мягких грунтов мощностью до 8 м и нижележащих плейстоценовых мягких грунтов мощностью 4–24 м. По предварительным оценкам, прогибание донной поверхности при эксплуатации месторождения приведет через 15–25 лет эксплуатации (в зависимости от объема извлеченных флюидов) к формированию в центральной части площади мульды оседания глубиной не менее 10 м.

По оценке других ученых на Штокмановском ГКМ уже через 10 лет добычи газа на уровне 71 млрд, м³ в год может сформироваться мульда проседания с поперечником в 35 км и глубиной до 10–15 м [13]. В контуре будущей мульды закартированы два разлома, пересекающих всю толщу

осадочного чехла. Если допустить, что при проседании произойдет одномоментное испаривание любого из них на всю ширину мульды и вглубь до основания продуктивного горизонта, то максимальная магнитуда землетрясения при этом может достичь 5.7. На поверхности в эпицентральной области ускорение грунта в этом случае превысит 1089 см/сек, как при 11-ти балльном землетрясении. Очевидно, что для предотвращения такого катастрофического события необходимо добиваться равномерного по годам и распределенного на мелкие блоки проседания мульды.

Сложности разработки Штокмановского ГКМ связаны с наличием ледовой обстановки, сейсмической активности, наличием слабых и мягких грунтов, возможностью появления айсбергов, ветра, волнения, большой глубины и значительной удаленности от берега.

Проблемы технической осуществимости применения ПДК

Исходя из реальных примеров проектов с подводным обустройством и в соответствии с «Правилами классификации и постройки ПДК» Российского морского регистра [14] предварительные габаритные размеры ПДК должны определяться с учетом климатических и инженерно-геологических факторов, которые в суровых климатических условиях требуют минимизации размеров ПДК. Сильное отличие грунта морского дна в Арктике в различных зонах (из-за присутствия мерзлых грунтов, газогидратов или их сочетания) требует проработки дополнительных вопросов для установки и применения подводного оборудования.

Для обеспечения работы в области применения ПДК необходимо развитие и наличие следующих сегментов:

- а) развитие береговых баз сервисного обслуживания ПДК;
- б) создание технологий для обеспечения электроэнергией, удаленного ПДК;
- в) разработка нормативной базы и системы стандартизации в области подводных технологий, а именно разработка стандарта, учитывающего специфику арктических условий – Арктического стандарта.

Но разработка арктического стандарта должна быть основана и приведена в соответствие со значимыми отраслевыми требованиями и практикой работы.

Авторами работы были рассмотрены и выявлены проблемы технической осуществимости применения ПДК для Штокмановского ГКМ:

- отсутствие опыта и разработки групповой установки и технологии «подводной стоянки» с целью значительного сокращения времени, требующегося для монтажа на глубинах порядка 300 м;
- ограничения по обслуживанию ПДК в ледовый сезон (техническое обслуживание, ограниченная возможность ремонта);

- прекращение подачи продукции из скважины при возникновении аварий и нештатных ситуаций (аварийные разливы нефти, потеря добычи);
- отсутствие разработанных требований по защите донного оборудования для арктических условий;
- отсутствие систем готовности, с большей возможностью использования автоматизированных методов мониторинга и методов дистанционного наблюдения и применения автономных решений, обеспечивающих меньшую зависимость от постоянно находящихся в районе судов при проведении работ в условиях Арктики;
- наличие большого объема земляных работ (рытье «защитных траншей» или ям в морском дне, котлованов, установка металлических кессонов) для обеспечения защиты ПДК от айсбергов и падающих объектов.

Необходимость защиты ПДК от ледовых воздействий отпадает при глубинах моря более 60 м (при отсутствии крупных айсбергов). Но при этом необходима защита от падающих предметов. Следовательно, для данного месторождения необходимо проработать вопросы по обеспечению защиты ПДК.

Выбор технического средства для осуществления бурения с последующим применением ПДК обусловлен, прежде всего, размерами и взаимным расположением элементов ПДК. Взаиморасположение элементов ПДК должно обеспечивать удобство обслуживания и эксплуатации предусмотренных технических средств с максимальной эффективностью. Кроме того, схема расположения оборудования ПДК и технического средства для бурения должна обеспечивать удобство доступа к каждому элементу при эксплуатации, а также простоту их демонтажа.

Рассмотренные проблемы технической осуществимости применения ПДК на Штокмановском месторождении в условиях Арктики приводят к высокому уровню рисков по реализации проектов.

Заключение

Освоение морских нефтяных и газовых месторождений, расположенных в российской зоне арктического шельфа, предполагает возможность использования способа подводного обустройства месторождений, что определяет применение подводных добычных систем на основе подводно-устьевых добычных комплексов (ПДК), как наиболее перспективных объектов для круглогодичной эксплуатации в районах с крайне неблагоприятными гидрометеорологическими условиями (низкими температурами, наличием ледяных полей, торосов и др.)

При рассмотрении возможности применения на Штокмановском ГКМ ПДК общим фактором, необходимым для реализации проекта является наличие береговой инфраструктуры, необходимой для развертывания удаленных центров

управления данными техническими средствами. При этом необходимо учитывать, неразвитость береговой инфраструктуры арктической зоны РФ и ее удаленность от месторождения, что требует особого внимания при выборе технических средств и технологий добычи углеводородов.

Рассмотренные в работе проблемы технической осуществимости применения ПДК на месторождении Штокмановское в условиях Арктики на данном этапе изученности вопроса приводят к высокому уровню рисков по реализации проектов. Это обуславливается отсутствием на данный момент времени в РФ отечественного опыта разработки с применением только отечественных технологий, изготовления и использования подводных систем добычи углеводородов, можно сказать, что в ближайшие годы при освоении перспективных морских месторождений углеводородов в арктической зоне, могли бы использоваться иностранные технологии и оборудование. Однако в период санкционной мировой политики возможность применения импортного оборудования исключается. Таким образом, для обеспечения в РФ применения подводных технологий добычи углеводородов необходимо развитие, как научного, так и промышленного секторов, которое в настоящее время находится на начальном этапе.

Следует отметить, что применение ПДК позволит обеспечить не только круглогодичную эксплуатацию месторождений в районах с крайне неблагоприятными гидрометеорологическими условиями, но также ведет к уменьшению капитальных и текущих затрат. На начальном этапе для принятия решения о возможности применения ПДК на Штокмановском ГКМ необходимо выполнить ряд расчетов по обеспечению устойчивости, разработке мер защиты ПДК и допустимым нагрузкам при бурении скважин через ПДК на основании данных по инженерным изысканиям с учетом сейсмики данного района.

В рамках существующих стандартов есть необходимость в разработке критериев проектирования и проектных руководств, отражающих сценарии удельной нагрузки, соответствующих эффектов нагрузки и потенциальных последствий неисправностей. Результаты работы могут быть применены в области технологий морского бурения, планирования мероприятий по реализации проектов для арктического шельфа.

Библиографический список

1. Хоштария В.Н., Перспективы развития Арктических морских проектов по добыче газа и их влияние на социально-экономическую конъюнктуру России в Арктике / Хоштария В. Н., Гуляев В. И., Гуляев И. И., Щекалев Р. В. Газовая промышленность № 9 (837) 2022 г. – С. 70–74.

2. Жданеев О. В., Фролов К. Н, Коньгин А. Е., Гехаев М. Р. Разведочное бурение на арктическом и дальневосточном шельфе России // Арктика: экология и экономика. – 2020. – № 3 (39) – С. 112–125. – DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-112-125.

3. Мирзоев Ф.Д., Архипова О.Л. Штокмановское ГМКМ Технико-технологическое предложения по освоению месторождения силами отечественных научно-исследовательских и проектно-конструкторских институтов, промышленно-производственных заводов оборонной промышленности и машиностроения // Neftegaz – 2022. – № 9. – С. 74–80.

4. Мирзоев Ф.Д., Архипова О.Л., Лаптева Т.В., Стратегические направления развития подводной техники и технологии для добычи углеводородов на шельфе Арктики // SOCAR PROCEEDINGS – 2014. – № 4. – С. 82–87.

5. Blagovidov L., Blagovidova I., Kovalyov M., Kolchenko L. “Ice-resistant turret-based mobile drilling unit with the wedge-shaped hull approximating ship form (wedge-shaped ship)” Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013 June 9-14, 2013, Nantes, France.

6. Kovalyov M., Blagovidova I., Kolchenko L., Dobrodeyev A., Sazonov K., Klementyeva N. “Model testing of turret-based drill ship in ice conditions”, Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013 June 9–14, 2013, Nantes, France. DETC2013-10632.

7. Никитин В.С., История и перспективы ОАО «Центр судоремонта «Звёздочка» в развитии Арктического региона // Исследование и освоение углеводородных ресурсов прибрежных регионов: Материалы Международной Российско-Норвежской конференции / ФГБУН Архангельский научный центр УрО РАН – Архангельск, 2013. – 150 с.

8. Ассиновская Б.А, Сейсмичность Баренцева моря / Под редакцией академика С.Л. Соловьева, М.: Национальный геофизический комитет РАН, 1994. – 128 с.

9. Виноградов Ю.Л. Сейсмоакустический комплекс «Апатиты» – современный инструмент мониторинга природной среды //Физическая акустика. Распространение и дифракция волн, Геоакустика, Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества, Т. 1. - М.: ГЕОС, 2005.- С.358-362.

10. СП 14.13330.2018 Свод правил. «Строительство в сейсмических районах».

11. Козлов С.А. Концептуальные основы инженерно-геологических исследований Западно-Арктической шельфовой нефтегазоносной провинции // Электронный журнал «Нефтегазовое дело», Уфа: изд. УГНТУ, 2005; https://www.ogbus.ru/authors/Kozlov/Kozlov_4.pdf

12. НД № 2-090601-003 «Правила классификации и постройки подводных добычных комплексов» Российского морского регистра, 2023.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИИ ПЛАВУЧИХ МОРСКИХ ВОЛНОЗАЩИТНЫХ ПОЛУПОГРУЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

Камаев Александр Сергеевич

аспирант

E-mail: a.k.serg@yandex.ru

Балашов Михаил Георгиевич

кандидат технических наук, доцент

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

SELECTION OF MATERIALS AND DESIGNS OF FLOATING MARINE WAVE-PROOF SEMI-SUBMERSIBLE STRUCTURES.

Kamaev Alexandr

PhD student

Balashov Michael Georgievich

Candidate of Technical Sciences Associate Professor

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрены ключевые аспекты морских плавучих полупогружных волнозащитных сооружений: выбор материалов, особенности архитектурно-конструктивного решения и системы якорного крепления. Проведен краткий сравнительный анализ различных типов плавучих волнозащитных конструкций. Цели исследования – обеспечение прибрежных зон, береговых линий, портов и акваторий от разрушений волновых воздействий. Проанализированы материалы для изготовления элементов сооружений (сталь, железобетон, композиты), их достоинства и недостатки в морской среде. Рассмотрены типы якорных систем (включая мертвые якоря и динамическое позиционирование), соединительные элементы и способы крепления сооружения ко дну. Исследование подтверждает актуальность темы для ряда стран (Россия, США, Великобритания, Япония и др.) и демонстрирует, что эффективность крепления зависит от эксплуатационных требований и условий объекта.

Ключевые слова: морские плавучие полупогружные волнозащитные сооружения, стационарные волнозащитные сооружения, плавучий волнолом, береговые линии, прибрежные зоны, якорное крепление.

ABSTRACT. The article discusses the key aspects of marine floating semi-submersible wave protection structures: the choice of materials, the features of architectural and structural solutions and anchorage systems. A brief comparative analysis of various types of floating wave protection structures is carried out. The purpose of the study is to protect coastal zones, coastlines, ports and water areas from the destruction of wave impacts. Materials for the manufacture of structural elements

(steel, reinforced concrete, composites), their advantages and disadvantages in the marine environment are analyzed. The types of anchor systems (including dead anchors and dynamic positioning), connecting elements and methods of fastening structures to the bottom are considered. The study confirms the relevance of the topic for a number of countries (Russia, the USA, Great Britain, Japan, etc.) and demonstrates that the effectiveness of fastening depends on the operational requirements and conditions of the facility.

Keywords: offshore floating semi-submersible wave protection structures, stationary wave protection structures, floating breakwater, coastlines, coastal zones, anchorage.

Введение

Главной задачей при проектировании морских плавучих полупогружных сооружений является выбор конструкционных материалов и элементов. От данного выбора зависят важнейшие эксплуатационные характеристики: остойчивость, непотопляемость, долговечность и другие параметры.

Полупогружное волнозащитное сооружение – представляет собой два понтона, соединенных между собой колоннами, рифлёными листами и другими конструкциями, представленное на рисунке 1[1].

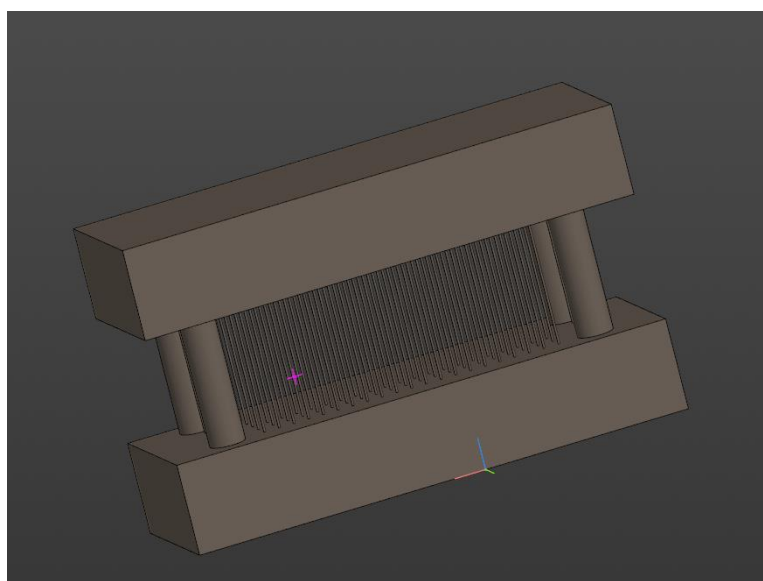


Рисунок 1 – Схема плавучего полупогружного волнозащитного сооружения

В современной инженерной практике рассматриваются конструктивные решения: однопонтонные плавучие волнозащитные сооружения либо стационарные гидротехнические конструкции. Для эффективного использования полупогружной конструкции необходимо рассмотреть сравнение плавучих волнозащитных сооружений с несколькими вариантами элементов конструкции и материалами [2, 3].

Полупогружной плавучий волнолом имеет ряд преимуществ над плавучим сооружением с одним верхним основанием понтона:

- повышенная устойчивость к волновым нагрузкам за счет распределения массы;

- повышенная остойчивость благодаря низкому положению центра тяжести и водоизмещения;

- адаптация к изменяющимся условиям моря (высота волны, течения, ветра) за счёт погруженности;

Недостатки:

- более высокая стоимость изготовления и монтажа;

- повышенные требования к точности якорного крепления и системам позиционирования.

Выбор материалов и конструкции плавучих морских волнозащитных полупогружных сооружений

Полупогружные морские полупогружные конструкции в проектировании подобных сооружений, утверждены в перечне задач «Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации» (распоряжение Правительства от 29 февраля 2016 г. № 3270р).

Для выбора материала ППВС необходимо учитывать несколько факторов:

- архитектурно-конструктивный тип;

- внешние воздействия на сооружение (ветер, волны и течение);

- выбор стали, др. материалов (к примеру: сталь (РС А, 09Г2С и др.), композитные и др.)

- район эксплуатации и его основные задачи.

Рассмотрим полупогружное сооружение, используемое до 100 метров от береговой линии, прибрежной зоны, средней высотой волны до 4 м, конструкция: два понтона, где верхний корпус состоит из железобетонной конструкции, соединенное с помощью колонн и нижним корпусом, состоящим из стальной конструкции.

С помощью погруженной части (понтон и колонны) снижает площадь ватерлинии, что уменьшает воздействие волн, и большая часть верхнего корпуса повышает остойчивость, также колонны гасят колебания, которые передаются от понтонов к верхнему корпусу. За счёт этого – высокая устойчивость к волновым нагрузкам. Сталь нижнего корпуса и колонн дают высокую прочность при относительно малом весе, упрощает монтаж и ремонт подводных элементов [4].

Композитные материалы нижнего корпуса имеют ряд преимуществ над стальными тем, что композиты не подвержены коррозии в морской воде; плотность значительно ниже, что позволяет уменьшить массу сооружения без потери прочности, за счёт чего снижает нагрузку на понтоны и улучшает устойчивость. К недостаткам можно отнести: низкая жесткость некоторых видов

композитов, стоимость и ремонт композиционных материалов, возможная потеря прочности композитов при нагреве выше 150 градусов.

Стальные конструкции являются оптимальным выбором для нижнего корпуса и колонн благодаря их высокой прочности, долговечности, скорости монтажа и гибкости в проектировании.

Якорное крепление

Для удержания морского полупогружного волнозащитного сооружения в заданной точке с допустимыми отклонениями при воздействии волн, ветра и течения используется – якорная система, которая сохраняет положение конструкции в прибрежной зоне/береговой линии.

Типы якорной системы:

- якоря;
- мертвые якоря;
- динамическое позиционирование;

Соединительные элементы к конструкции сооружения: якоря (адмиралтейские, Холла, Денфорта, винтовые) или мертвые якоря (железобетонные или металлические изделия); соединительные элементы (цепи, синтетические тросы, комбинация цепи и троса); амортизаторы (пружинные или гидравлические демпферы, резиновые вставки в цепях); крепежные узлы (поворотные скобы, талрепы, стопорные устройства; автоматические системы якорей при критических нагрузках).

Для более эффективного крепления морского полупогружного волнозащитного сооружения ко дну используют несколько якорей (мертвые якоря/якоря или тросы), расположенные по периметру конструкции, закрепленные к нижнему корпусу либо к стабилизирующим колоннам, в зависимости от габарита [5, 6].

Способы крепления волнолома:

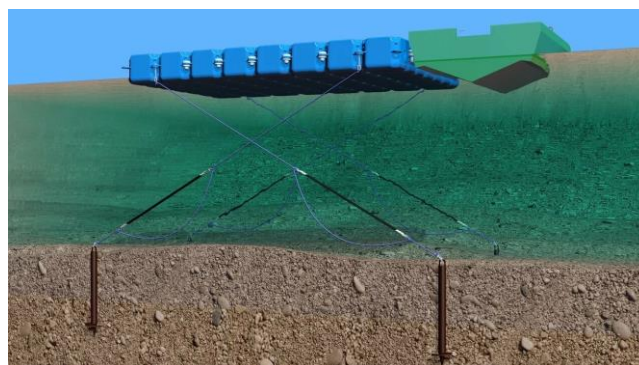
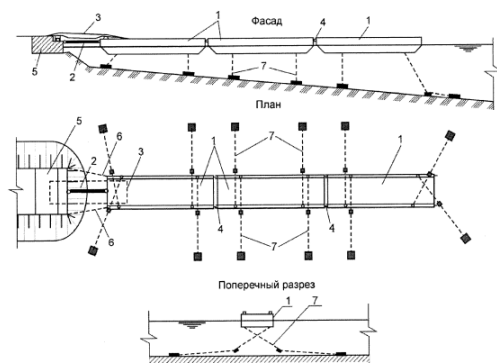


Рисунок 2 – Схема крепления волнозащитного сооружения

Вывод

Предложенная конструкция ППВС демонстрирует превосходство над однопонтонными и стационарными аналогами по показателям, устойчивости, остойчивости и адаптивности. Оптимальное сочетание железобетона (верхний корпус) и стали (нижний корпус, стабилизирующие колонны) обеспечивают баланс прочности, долговечности и экономической эффективности.

Перспективные направления развития: внедрение композитных материалов с улучшенными характеристиками, автоматизация систем позиционирования для повышения точности удержания сооружения и оптимизация якорных систем с учетом специфических условий эксплуатации.

Библиографический список

1. Камаев А.С. – Исследование эффективности и сравнение существующих морских волнозащитных сооружений для обеспечения береговых зон / А. С. Камаев // Актуальные вопросы проектирования, постройки и эксплуатации морских судов и сооружений: труды всероссийской научно-практической конференции, Севастополь, 04- 05 декабря 2024 г. / М-во науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет; науч. ред. С. В. Василенко. – Севастополь: СевГУ, 2024. – С. 46-52.

2. Игнатович В. С., Кузьмина А.В., Родькина А.В – Исследование основных характеристик полупогружных плавучих буровых установок на начальных стадиях // Судостроение, судоремонт и эксплуатация флота / В. С. Игнатович, А. В. Кузьмина, А. В. Родькина // Вестник Астраханского государственного технического университета, серия: Морская техника и технология. – Астрахань: АГТУ, 2018. – С. 7–15.

3. Макаров, К. Н. Морские гидротехнические сооружения: учебное пособие / К. Н. Макаров. - Москва: ФЛИНТА, 2021. – 270 с.

4. Дорофеев В. С., Рогачко С. И. Воздействие ветровых волн на гидротехнические сооружения. Одесса: ОГАСА, 2012. – 224 с.

5. Балашов, М. Г. Математическая модель динамики полупогружного плавучего крана при позиционировании на точке проведения работ / М. Г. Балашов, А. Б. Ваганов, Ю. Ф. Орлов [и др.] // Морской вестник. – 2020. – № 4. – С. 45–52.

6. СТО НОСТРОЙ 2.30.154-2014. Гидротехнические работы. Системы удержания плавучих сооружений в месте эксплуатации. Правила и общие требования к производству и приёмке работ по монтажу и установке. — М.: Национальное объединение строителей, 2014. – 48 с.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СКОРОСТИ СУДНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВРШ

Каминский Богдан Станиславович

Студент

Морской институт им. вице-адмирала В.А. Корнилова - филиал ФГБОУ ВО

"ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова"

E-mail: sevgmu@yandex.ru

г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 11

Старший преподаватель: Дараган Павел Анатольевич

WAYS OF INCREASING ECONOMICAL OPERATIONAL SPEED OF A VESSEL WHILE USING CPP

Kaminskii Bogdan Stanislavovich

Student

*Maritime Institute named after Vice-Admiral V.A. Kornilov - branch of the Federal
State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Admiral F.F. Ushakov*

State Medical University"

Geroyev Sevastopolya st., 11, Sevastopol

Senior lecturer: Daragan Pavel Anatolievich

АННОТАЦИЯ. Цель: определить способы снижения сопротивления корпуса и повышения экономичности судна. Метод: анализ гидродинамических факторов и технологий улучшения пропульсивной эффективности. Результат: экономичное увеличение эксплуатационной скорости судна. Вывод: Комплексная оптимизация корпуса, пропульсивной системы и эксплуатации обеспечивает устойчивый рост экономичности хода судна.

Ключевые слова: трим, кавитация, винт регулируемого шага, сопротивление.

ABSTRACT. Objective: identify methods for reducing hull resistance and improving vessel efficiency. Method: analysis of hydrodynamic factors and technologies for improving propulsion efficiency. Result: cost-effective increase in vessel operating speed. Conclusion: comprehensive optimization of the hull, propulsion system, and operation ensures sustainable improvement in vessel efficiency.

Keywords: trim, cavitation, variable pitch propeller, resistance.

Введение

В условиях быстро развивавшейся мировой торговли и растущих цен на энергоносители, до мирового экономического кризиса, одной из самых главных задач, решаемых судостроителями, является повышение и обеспечение экономичной эксплуатационной скорости судов. В 2008 году средняя эксплуатационная скорость новых построенных судов достигла 21,8 узла.

Проблемой, которая стоит перед судоводителями всего мира, является повышение экономичной эксплуатационной скорости судов без повышения мощности главной и вспомогательных энергетических установок судна, а также, без перерасхода топлива.

Основные принципы

Вязкость (внутреннее трение) – свойство жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. При течении вязкой жидкости в трубе ее скорость возрастает от нулевого значения у стенки трубы до максимального значения на оси [1]. Между слоями, движущимися с разными скоростями, действуют касательные силы внутреннего трения. Слой, перемещающийся быстрее, увлекает за собой слой, движущийся медленнее, а тот в свою очередь тормозит первый. Вязкость жидкостей увеличивается с понижением температуры, и характеризуется коэффициентами динамической и кинематической (ν) вязкости.

Вязкость жидкости, а также шероховатость поверхности вызывают изменение скорости обтекания вблизи поверхности корпуса. Благодаря молекулярным силам сцепления частицы воды, непосредственно соприкасающиеся с обшивкой корпуса, как бы прилипают к ней и движутся со скоростью, равной скорости судна. По мере удаления от поверхности корпуса скорость частиц в слое воды уменьшается. На некотором удалении частицы имеют скорость невозмущенного потока. Зона, в которой наблюдается изменение скоростей движения частиц жидкости, называется пограничным слоем.

Относительное смещение слоев воды в пограничном слое и изменение при этом гидродинамического давления вдоль смоченной поверхности корпуса вызывают сопротивление движению судна.

Полное сопротивление движению судна складывается из пяти основных составляющих:

$$R = R_T + R_\phi + R_B + R_{BC} + R_{возд}.$$

Рассмотрим все пять составляющих.

1. Сопротивление трения R_T – равнодействующая сил трения, возникающих вследствие вязкости воды между корпусом движущегося судна и ближайшими к нему слоями воды пограничного слоя. Сопротивление трения зависит от скорости судна, размеров и формы смоченной поверхности корпуса и степени ее шероховатости:

$$R_T = \xi_T (\rho/2) v^2 \Omega,$$

где ξ_T – безразмерный коэффициент сопротивления трения;

v – скорость судна, м/с;

Ω – площадь смоченной поверхности корпуса, м².

Площадь смоченной поверхности определяют по теоретическому чертежу или эмпирической формуле:

$$\Omega = L(1,36T + 1,13\delta B.),$$

где L, B, T – главные размерения судна, м;

δ – коэффициент полноты водоизмещения корпуса.

Снижение сопротивления трения на практике достигают устранением шероховатости наружной обшивки, периодической очисткой и окраской подводной части корпуса стойкими и самополирующимися красками мелкой зернистости на силикатной основе, планомерной борьбой с обрастанием корпуса водорослями и ракушками у судов смешанного плавания.

2. Сопротивление формы R_ϕ образуется при понижении давления воды за кормой судна и появлении добавочных сил, препятствующих его движению. Равнодействующая сил, возникающих вследствие разности гидродинамических давлений вдоль корпуса и зависящих от его формы, называется сопротивлением формы:

$$R_\phi = \xi_\phi(\rho/2) v^2 \Omega,$$

где ξ_ϕ – безразмерный коэффициент сопротивления формы.

Сопротивление формы может быть уменьшено при проектировании корпуса судна путем улучшения его обтекаемости, увеличения отношения L/B и обеспечения примыкания кормовых ветвей ватерлинии к ДП в подводной части корпуса под возможно меньшими углами.

3. Волновое сопротивление R_B обусловлено влиянием волн на распределение гидродинамических давлений вдоль смоченной поверхности судна:

$$R_B = \xi_B(\rho/2) v^2 \Omega,$$

где ξ_B – безразмерный коэффициент волнового сопротивления. Его значения находят по специальным графикам, составленным по результатам модельных испытаний судна.

Для уменьшения волнового сопротивления задаются возможно большими значениями отношения L/B и коэффициента продольной полноты. При прочих равных условиях достигается значительное уменьшение волнового сопротивления у катамаранов.

Сопротивление формы и волновое сопротивление образуют остаточное сопротивление, определяемое по модельным испытаниям судна в опытном бассейне:

$$R_O = R_\phi + R_B.$$

4. Сопротивление выступающих частей $R_{BЧ}$ образуется сопротивлением рулей, насадок, кронштейнов гребного вала и других выступающих частей корпуса. Конструкторы стремятся уменьшить сопротивление выступающих частей, придавая им хорошо обтекаемую форму и сокращая их число.

5. Сопротивление воздуха $R_{В0ЗД}$ характеризует воздействие на судно воздушной среды, парусность. При проектировании судна для уменьшения сопротивления воздуха надстройкам придают обтекаемую форму и максимально уменьшают их размеры.

Показав и проанализировав вышеперечисленные параметры сил сопротивления движению судна, авторы статьи нашли способы уменьшения действия этих сил на корпус судна и, как следствие, повышения экономичной эксплуатационной скорости без повышения мощности главной и вспомогательных энергетических установок судна и перерасхода топлива. Одним из ключевых направлений в этой области является оптимизация как носовой, так и кормовой частей корпуса судна.

Пути повышения экономичной эксплуатационной скорости судна при использовании винта регулируемого шага

Экономичная эксплуатационная скорость судна является одним из ключевых параметров, определяющих эффективность работы движительно-энергетической установки. Рост стоимости топлива, ужесточение международных экологических стандартов и необходимость повышения энергоэффективности судоходства требуют применения решений, позволяющих судну сохранять необходимую скорость при минимальном расходе энергии. Одним из таких решений является использование винта регулируемого шага, обеспечивающего оптимизацию работы пропульсивной системы в широком диапазоне условий.

Винт регулируемого шага (ВРШ) отличается тем, что угол установки его лопастей может изменяться непосредственно в ходе эксплуатации. Это позволяет подстраивать создаваемую тягу под текущее сопротивление корпуса, погодные условия, осадку, скорость и особенности режима работы главного двигателя. В отличие от винта фиксированного шага, который эффективен лишь в строго определённой проектной точке, ВРШ обеспечивает высокий КПД при

постоянном изменении эксплуатационных условий, что особенно важно для судов транспорта, рыбопромыслового флота и судов смешанного плавания.

Преимущества и недостатки винта регулируемого шага

Одним из главных преимуществ ВРШ является возможность поддерживать главный двигатель в оптимальном режиме нагрузки. Дизельные двигатели обладают минимальным удельным расходом топлива при нагрузке в пределах 75–85 % от номинальной. При использовании винта фиксированного шага двигатель легко может перейти в режим недогрузки или перегрузки, что приводит к повышенному расходу топлива и снижению скорости. Возможность точной настройки угла лопастей позволяет ВРШ удерживать двигатель в наиболее экономичной зоне, обеспечивая сокращение расхода топлива на 3–10 % и повышение эксплуатационной скорости без роста энергетических затрат.

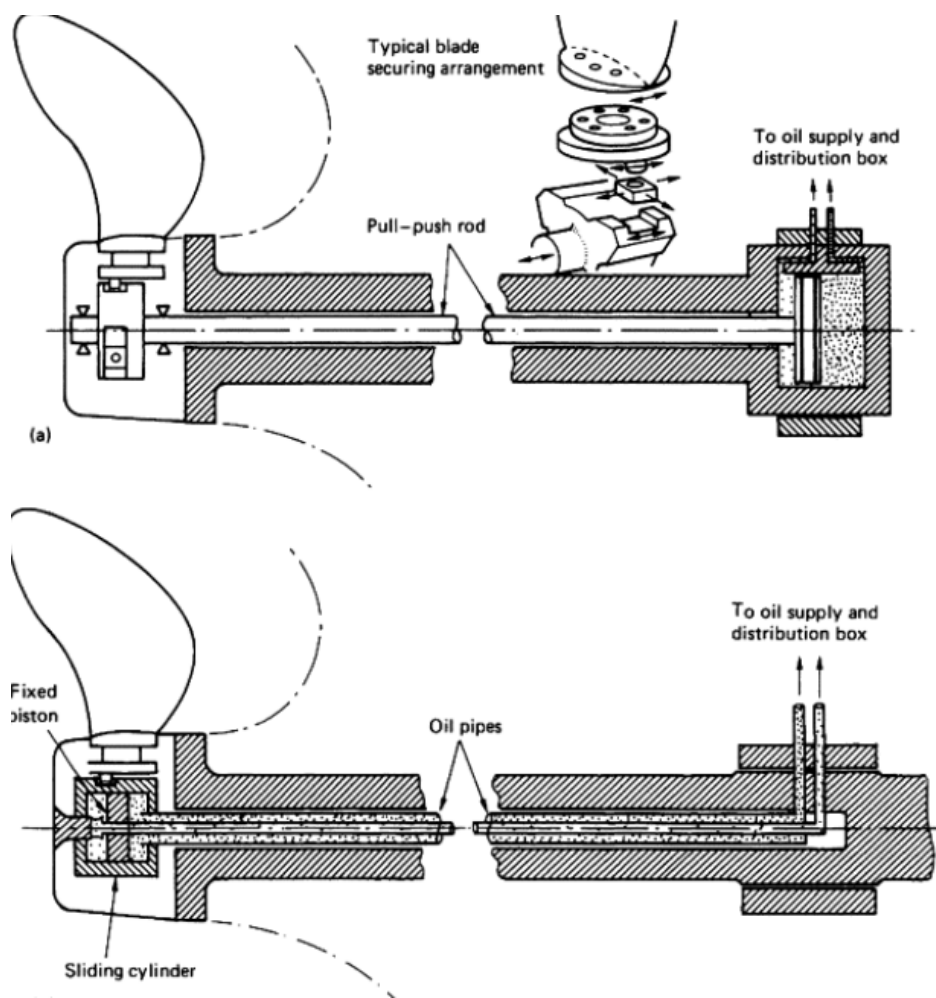


Рисунок 1 – Схема ВРШ (вектор)

К значительным преимуществам также относится улучшенная маневренность. Изменение шага позволяет быстро регулировать тягу на малых ходах, выполнять точные манёвры при швартовке и работать в стеснённых

условиях без реверса двигателя. Судно с ВРШ более предсказуемо и безопасно управляется при сильном ветре или при волнении.

Важную роль играет адаптивность ВРШ при изменении загрузки судна. Изменение осадки, трима и формы кильватерного следа влияет на качество обтекания винта. ВРШ способен компенсировать эти изменения оптимальным углом установки лопастей, сохраняя высокую эффективность и обеспечивая требуемую тягу даже в неблагоприятных условиях.

Современные системы автоматического регулирования шага позволяют существенно повысить эффективность работы движителя. Электронные алгоритмы анализируют параметры двигателя, сопротивление корпуса, положение судна, состояние моря и подбирают экономичный шаг лопастей в режиме реального времени. Это способствует снижению расхода топлива и уменьшению риска перехода в неблагоприятные режимы работы.

Однако винт регулируемого шага имеет и некоторые недостатки. Главным из них является более сложная конструкция по сравнению с винтом фиксированного шага. Наличие сервомеханизмов, гидравлических систем и управляющих устройств повышает стоимость оборудования и обслуживания. Такая система чувствительна к чистоте масла и требует строгого соблюдения регламентов технического обслуживания. Кроме того, максимальный КПД ВРШ в одном проектном режиме движения обычно немного ниже, чем у высоко оптимизированного винта фиксированного шага. Тем не менее, в большинстве реальных сценариев эксплуатации регулируемый винт обеспечивает более высокую суммарную экономичность.

Основные пути повышения экономичной эксплуатационной скорости судна

Повышение экономичной скорости судна с ВРШ связано как с самим механизмом изменения шага, так и с комплексом эксплуатационных и конструктивных мероприятий. Одним из ключевых методов является оптимизация шага лопастей винта. Правильно выбранный шаг позволяет устойчиво поддерживать двигатель в зоне минимального удельного расхода топлива и избегать режимов перегрузки. Это обеспечивает экономию топлива, снижение вибрации, уменьшение кавитации и повышение тяговых характеристик при различных условиях плавания.

Важное значение имеет улучшение гидродинамики кормовой части корпуса и кильватерного следа. Для этого применяются такие устройства, как насадка Мьюиса, элементы предзавихрения потока, кормовые интерцепторы и специальные конструкции кормы. Эти элементы уменьшают потери энергии в кильватере и обеспечивают более равномерное обтекание винта. Улучшение

структуры потока повышает КПД пропульсивной системы на 3–6 % и способствует сохранению экономичной скорости.

Существенное влияние на экономичность оказывает состояние подводной части корпуса. Обрастание увеличивает сопротивление до 30 %, что приводит к снижению скорости на 1–2 узла и значительному перерасходу топлива. Применение самополирующихся антиобрастающих покрытий и регулярная очистка корпуса позволяют уменьшить сопротивление трения и поддерживать стабильную экономичную скорость. Силиконовые покрытия дополнительно снижают коэффициент трения за счёт гладкой эластичной структуры.

Оптимизация трима является одним из наиболее эффективных и при этом малозатратных способов повышения экономичности. Неправильный дифферент приводит к увеличению сопротивления корпуса и ухудшению кильватерного следа, снижая эффективность работы винта. Использование современных систем контроля дифферента и балластных операций позволяет автоматически определять оптимальный трим и минимизировать сопротивление, повышая скорость при прежнем расходе топлива.

Наконец, значительное влияние на эксплуатационную скорость оказывает снижение кавитационных явлений. Кавитация снижает эффективность винта, увеличивает вибрацию и вызывает эрозию лопастей. Точный выбор шага винта регулируемого шага позволяет избегать опасных кавитационных режимов и обеспечивать высокий коэффициент полезного действия движителя в широком диапазоне рабочих скоростей.

Улучшение составляющих судна

Составляющие корпуса, включая рули, скеги, кронштейны гребного вала, создают значительную часть сопротивления. Уменьшение сопротивления достигается правильным обтеканием и применением гидродинамических устройств. Применение насадки Мьюиса и полупреднасадки проф. Шнеекюта улучшает качество входящего потока к винту и уменьшает вибрации. Проф. Шнеекют анонсировал экономию топлива в размере 12%, но на деле результаты были намного меньше, но значительными. Годовая экономия топлива составляла всего лишь 3,5% для контейнеровоза грузоподъемностью 2500 ДФЭ, что означает ежегодную экономию 550 т. топлива, а это представляет весьма существенную экономию для транспортных компаний.

Уход за корпусом

Чистота корпуса играет ключевую роль. Современные покрытия, включая противообрастающее покрытие премиум-класса SPC (Self Polishing Copolymer) и самоочищающуюся противообрастающую краску силиконового покрытия,

существенно уменьшают коэффициент трения. Очистка корпуса каждые несколько месяцев предотвращает рост сопротивления, который может достигать 20–30% при значительном обрастании. Использование антиобрастающих покрытий снижает частоту очистки.

Воздушная смазка корпуса, используемая на ряде современных судов, создаёт воздушную прослойку, уменьшающую трение между корпусом и водой. По данным мировых исследований, эта технология в модельных испытаниях демонстрирует снижение сопротивления до 11%, а на реальных судах – около 4–6% в зависимости от загрузки и качества работы компрессорной системы. Однако эффективность зависит от энергетического баланса системы.

Библиографический список

1. Смирнов Н.Г. Теория и устройство судна / Н.Г. Смирнов. – Одесса: Феникс, 1992. – 203 с.
2. Антонов А.А. Устройство морского судна / А.А. Антонов. – Л.: Судостроение, 1974. – 264 с.
3. Дыдик А.Д. Управление судном и его техническая эксплуатация / А.Д. Дыдик. – Москва: Высшая школа, 1990. – 342 с.
4. Гуреев А.А., Коновалов Ю.В. Судовые двигатели и их эксплуатация. – СПб.: Морские технологии, 2018.
5. Лебедев В.И. Гидродинамика судна и методы уменьшения сопротивления. – Владивосток: Морская книга, 2019.
6. Смирнов П.В., Чекалин Д.Н. Энергоэффективность морских судов и современные пропульсивные системы. – Калининград: БГАРФ, 2022.

СТАБИЛИЗАЦИЯ РЕЖИМА ГЕНЕРАТОРА В СОСТАВЕ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Канов Лев Николаевич

канд. техн. наук, доцент кафедры «Судовое электрооборудование»

Стругов Иван Юрьевич

студент

E-mail: lnkanov48@mail.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

STABILIZING OF GENERATOR REGIME IN COMPOSITION SHIP POWER-STATION

Kanov Lev

Candidate of Technical Science, Assistant Professor

Strugov Ivan

student

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. Описано динамическое поведение генератора при резком увеличении нагрузки, получена математическая модель генератора и уравнения функций чувствительности угла рассогласования напряжения генератора с сетью по основным эксплуатационным параметрам. Своевременное регулирование этих параметров предотвращает такой опасный режим, как выпадение генератора из синхронизма.

Ключевые слова: электрический генератор, математическое описание, напряжение, ток, мощность, скорость вращения, электромагнитный момент, функции чувствительности, режим работы.

ABSTRACT. The dynamic conduct of generator is described at the sharp increase of loading, the mathematical model of generator and equalization of functions of sensitiveness of corner of coordination of tension of generator is got with a network on basic operating parameters. The timely adjusting of these parameters is prevented by such dangerous mode, as fall of generator from synchronism.

Keywords: electric generator, mathematical description, tension, current, power, speed of rotation, electromagnetic moment, functions of sensitiveness, work regime.

Введение

Электрический генератор в судовой электрической сети переменного тока в неблагоприятных случаях испытывает механические и электрические колебания вследствие резких изменений вращающего момента приводного двигателя; изменений нагрузки генератора из-за нарушения контакта с сетью, короткие замыкания. Эти колебания сопровождаются значительным увеличением тока и резким изменением скорости вращения ротора генератора

относительно стационарного штатного уровня. В особо тяжелых случаях происходит потеря электрической связи с сетью – «выпадение из синхронизма», что приводит к авариям и повреждениям генератора [1].

В практике эксплуатации генераторов выработаны специальные алгоритмы обнаружения и исправления неблагоприятных ситуаций. Сюда относятся: проверка правильности чередования фаз перед подключением генератора, выравнивание напряжений генератора и сети путем изменения тока возбуждения, применение синхроноскопов для введения генератора в синхронизм [1], т.е. устранение разности фаз, т.е. взаимного смещения напряжений генератора и сети.

Целью работы является получение математического описания подобных нестационарных режимов генераторов переменного напряжения и применение современных методов прикладной математики для их оптимизации и уменьшения тяжелых последствий.

Для достижения этой цели обоснована принятая математическая модель генератора переменного напряжения, работающего на судовую электрическую сеть; сформулировано математическое описание и условия возникновения процессов колебаний ротора генератора при набросе нагрузки. Для подавления колебаний предложено применение функций чувствительности скорости и угла отклонения ротора по таким параметрам, как конструктивный коэффициент успокоения, сопротивление обмоток ротора и его момент инерции. Получены расчетные формулы этих параметров в зависимости от величины подключаемой дополнительной мощности, представлены графики процессов наброса мощности, которые показывают успешное подавление качаний ротора.

1. Мощность, отдаваемая генератором в сеть

На рисунке 1 показана упрощенная схема включения генератора с электродвижущей силой $\dot{E} = \omega M I_B e^{j\theta}$, где ω – частота напряжения, M – коэффициент взаимной индукции; I_B – ток возбуждения, и с внутренним сопротивлением $jx = j\omega L$. Величина угла θ показывает смещение ЭДС генератора относительно напряжения сети; величины ЭДС генератора и напряжения сети одинаковы по величине.

Ток в цепи имеет вид $I = \frac{\dot{E} - \dot{U}_c}{jx}$. Если угол смещения ЭДС генератора θ равен нулю, то напряжение сети и ЭДС генератора полностью одинаковы $\dot{E} = \dot{U}_c$, и ток равен нулю (режим полной синхронизации). Если $\theta > 0$, ЭДС генератора смещена левее напряжения сети, и генератор вырабатывает активную

мощность P_c и передает её в сеть. Эта мощность определяется вещественной частью комплексной мощности генератора

$$P_c = \operatorname{Re} \underline{S} = \operatorname{Re}(\dot{U}_c \dot{I}) = \frac{U_c \omega M I_B}{x} \sin \theta.$$

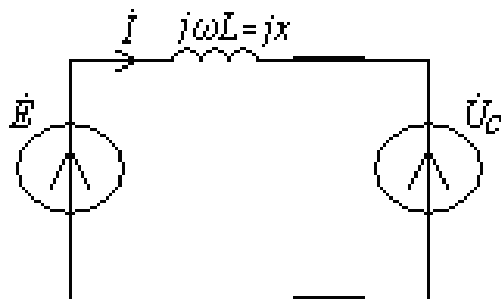


Рисунок 1 – Упрощенная схема включения генератора на параллельную работу с сетью

$$P_c = \operatorname{Re} \underline{S} = \operatorname{Re}(\dot{U}_c \dot{I}) = \frac{U_c \omega M I_B}{x} \sin \theta.$$

2. Причины возникновения колебаний ротора

В реальных условиях работы генератора на судовую сеть его нагрузка не остается постоянной из-за постоянных включений и выключений различных приемников. Например, при изменении тока в цепи изменяется магнитный поток, из-за этого в обмотке возбуждения изменяется ток I_B , что приводит к изменению мощности P_c при неизменном напряжении сети [1]. При постоянной скорости вращения Ω механический момент двигателя, вращающий генератор, уравнивается электромагнитным моментом генератора $M_{ЭЛ МАГ}$, который затрачивается на передачу активной мощности в сеть

$$M_{ДВ} = \frac{P_{ДВ}}{\Omega} = M_{ЭЛ МАГ} = \frac{EU_c}{x \cdot \Omega} \sin \theta, \text{ точка 1 на рисунке 2. При нарушении}$$

стационарного режима резкое изменение вращающего момента $\Delta M_{ДВ}$ приводит к неравенству моментов $\Delta M_{ДВ} \neq M_{ЭЛ МАГ}$. Равновесие моментов будет

достигаться за счет момента инерции $\Delta M_{ДВ} = M_{ИН} = J \frac{d\Omega}{dt}$, возникающего при изменении скорости вращения генератора $\Delta \Omega$ [3]

$$M_{ДВ} + \Delta M_{ДВ} = M_c + M_J = M_c + J \frac{d\Omega}{dt} = \frac{EU_c}{x \cdot \Omega} \sin \theta + J \frac{d\Omega}{dt}.$$

Здесь J – момент инерции вращения ротора генератора.

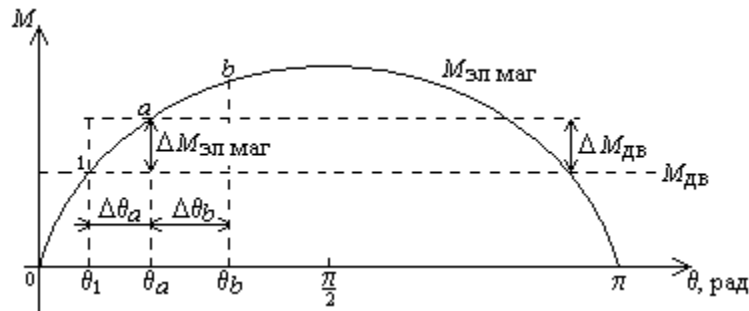


Рисунок 2 – Влияние момента приводного двигателя на устойчивость параллельной работы генератора с сетью

Если происходит краткое изменение вращающего момента, то увеличивается и полезный электромагнитный момент сопротивления генератора, и угол θ должен измениться на величину $\Delta\theta$ со скоростью $\frac{d\Delta\theta}{dt} = \Delta\Omega$.

Таким образом, равновесие моментов в точке a восстановится, но из-за инерции увеличение угла не остановится, и угол θ увеличится до точки b : $\Delta\theta_b$. В этой точке моменты опять окажутся неуравновешенными, теперь момент двигателя уже не может обеспечить увеличенный момент генератора, и генератор начнет тормозиться. Далее процесс повторяется в другую сторону. Таким образом, происходят колебания угла поворота $\Delta\theta$ ротора генератора со скоростью $\Delta\Omega$. Колебания эти могут достигать больших величин угла $\Delta\theta$ (потеря синхронизации, рисунок 3), если выйдут за вершину графика электромагнитного момента, рисунок 2. Если же этого не происходит, то колебания естественным образом уменьшаются, рисунок 4.

Этому способствует тормозной момент в специальных успокоительных обмотках на роторе генератора. При изменении скорости вращения $\Delta\Omega$ обмотки пересекают магнитное поле Φ , в них появляется ток I из-за возникновения электродвижущей силы индукции $k_{эл} \cdot \Delta\Omega \cdot \Phi$, пропорциональной изменению скорости. Величина тока обратно пропорциональна сопротивлению этих обмоток: $I = \frac{k_{эл} \cdot \Delta\Omega \cdot \Phi}{R}$. На ток I в магнитном поле действует сила $F = k_m I$, где магнитный коэффициент k_m зависит от магнитного потока Φ . Эта сила создает успокоительный момент

$$M_{усп} = k_{констр} F = k_{констр} k_m I = \frac{k_{констр} k_m k_{эл} \Delta\Omega \cdot \Phi}{R} = k_{усп} \frac{\Delta\Omega}{R},$$

где $k_{усп} = k_{констр} \cdot k_m \cdot k_{эл}$ – коэффициент успокоительного момента.

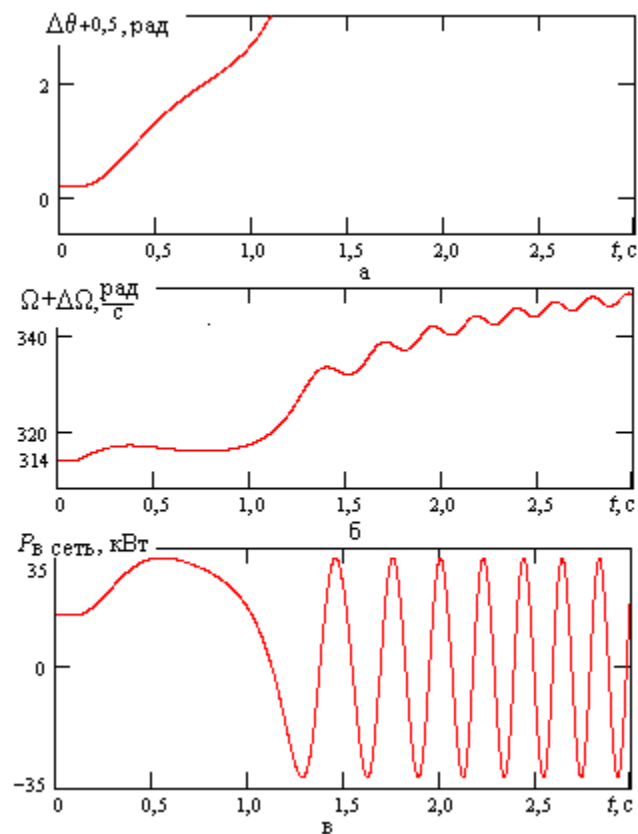


Рисунок 3 – Потеря синхронизации генератора с сетью:
а) угол рассогласования; б) скорость вращения ротора;
в) обмен мощность генератора с сетью

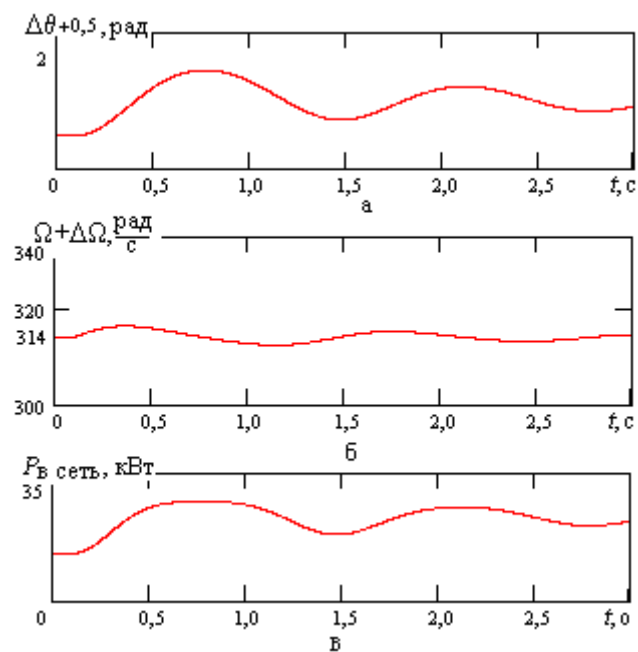


Рисунок 4 – Устойчивые качания ротора при набросе нагрузки:
а) угол рассогласования; б) скорость ротора; в) активная мощность

Этот момент действует на обмотку и на ротор в направлении, обратном направлению вращения и тормозит его. Общие уравнения качаний ротора имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Delta\theta}{dt} &= \Delta\Omega; \\ \frac{P_{\text{ДВ}} + \Delta P_{\text{ДВ}}}{\Omega + \Delta\Omega} &= J \frac{d\Delta\Omega}{dt} + \frac{EU_c}{(\Omega + \Delta\Omega) \cdot X} \sin(\theta + \Delta\theta) + \frac{k_{\text{ycн}} \cdot \Delta\Omega}{R}. \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Так как скорость $\Delta\Omega$ изменения угла $\Delta\theta$ мала по сравнению со скоростью вращения ротора $\Omega_0 = 314 \text{ с}^{-1}$, то в знаменателе полезного момента её нет.

3. Применение функций чувствительности для подавления качаний ротора

Из уравнений (1) следует, что на характер колебаний угла рассогласования $\Delta\theta$ со скоростью $\Delta\Omega$ могут влиять такие параметры генератора, как J , $k_{\text{ycн}}$ и R . Изменяя эти параметры, можно воздействовать на характер колебаний $\Delta\theta$ и $\Delta\Omega$. Для этого определим функции чувствительности [4] угла рассогласования

и скорости по $k_{\text{ycн}}$, R и ΔP : $S_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\theta} = \frac{\partial\Delta\theta}{\partial k_{\text{ycн}}}$; $S_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\Omega} = \frac{\partial\Delta\Omega}{\partial k_{\text{ycн}}}$;

$$S_R^{\Delta\theta} = \frac{\partial\Delta\theta}{\partial R}; S_R^{\Delta\Omega} = \frac{\partial\Delta\Omega}{\partial R}; S_{\Delta P}^{\Delta\theta} = \frac{\partial\Delta\theta}{\partial \Delta P}; S_{\Delta P}^{\Delta\Omega} = \frac{\partial\Delta\Omega}{\partial \Delta P}$$

дифференцированием уравнений (1) для отклонений этого угла и скорости:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\theta}}{dt} &= S_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\Omega}, \\ \frac{dS_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\Omega}}{dt} &= \frac{1}{J} \left[- \left(\frac{EU_c \cos(\theta + \Delta\theta) S_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\theta} (\Omega + \Delta\Omega) - EU_c \sin(\theta + \Delta\theta) S_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\Omega}}{(\Omega + \Delta\Omega)^2 \cdot X} \right) - \dots \right. \\ &\quad \left. \dots - \frac{\Delta\Omega + k_{\text{ycн}} S_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\Omega}}{R} + \frac{-(P_{\text{ДВ}} + \Delta P_{\text{ДВ}}) S_{k_{\text{ycн}}}^{\Delta\Omega}}{(\Omega + \Delta\Omega)^2} \right] \end{aligned} \right\}; \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_R^{\Delta\theta}}{dt} &= S_R^{\Delta\Omega}, \\ \frac{dS_R^{\Delta\Omega}}{dt} &= \frac{1}{J} \left[- \left(\frac{EU_c \cos(\theta + \Delta\theta) S_R^{\Delta\theta} (\Omega + \Delta\Omega) - EU_c \sin(\theta + \Delta\theta) S_R^{\Delta\Omega}}{(\Omega + \Delta\Omega)^2 \cdot X} \right) - \dots \right. \\ &\quad \left. \dots - k_{\text{ycн}} \frac{-\Delta\Omega + S_R^{\Delta\Omega} R}{R^2} + \frac{-(P_{\text{ДВ}} + \Delta P_{\text{ДВ}}) S_R^{\Delta\Omega}}{(\Omega + \Delta\Omega)^2} \right] \end{aligned} \right\}; \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dS_{\Delta P}^{\Delta\theta}}{dt} &= S_{\Delta P}^{\Delta\Omega}, \\ \frac{dS_{\Delta P}^{\Delta\Omega}}{dt} &= \frac{1}{J} \left[- \left(\frac{EU_c \cos(\theta + \Delta\theta) S_{\Delta P}^{\Delta\theta} (\Omega + \Delta\Omega) - EU_c \sin(\theta + \Delta\theta) S_{\Delta P}^{\Delta\Omega}}{(\Omega + \Delta\Omega)^2 \cdot X} \right) - \dots \right. \\ &\quad \left. \dots - \frac{k_{ycn} S_{\Delta P}^{\Delta\Omega}}{R} + \frac{\Omega + \Delta\Omega - (P_{ДВ} + \Delta P_{ДВ}) S_{\Delta P}^{\Delta\Omega}}{(\Omega + \Delta\Omega)^2} \right] \end{aligned} \right\}. \quad (4)$$

Определим такие значения отклонений параметров Δk_{ycn} и ΔR , которые компенсировали бы колебательные изменения $\Delta\theta$ и снижали бы скорость $\Delta\Omega$ этих изменений при появлении отклонения мощности $\Delta P_{ДВ}$ [2]:

$$\Delta\theta = S_{\Delta P_{ДВ}}^{\Delta\theta} \cdot \Delta P_{ДВ} + S_{\Delta k_{ycn}}^{\Delta\theta} \cdot \Delta k_{ycn} + S_R^{\Delta\theta} \cdot \Delta R = 0.$$

Отсюда получаем при индивидуальной компенсации отклонения параметров:

$$\Delta k_{ycn} = \frac{-S_{\Delta P_{ДВ}}^{\Delta\theta} \cdot \Delta P_{ДВ}}{S_{\Delta k_{ycn}}^{\Delta\theta}} K_{y\theta}; \quad \Delta R = \frac{-S_{\Delta P_{ДВ}}^{\Delta\theta} \cdot \Delta P_{ДВ}}{S_R^{\Delta\theta}} K_{R\theta}. \quad (5)$$

В этих формулах коэффициенты $K_{y\theta}, K_{R\theta}$ позволяют регулировать эффект воздействия управляющих параметров Δk_{ycn} и ΔR . Очевидно, возможно применение одновременной компенсации по этим параметрам. Аналогично определяем отклонения параметров Δk_{ycn} и ΔR , которые компенсировали бы резкие изменения $\Delta\Omega$ при появлении отклонения мощности $\Delta P_{ДВ}$:

$$\Delta\Omega = S_{\Delta P_{ДВ}}^{\Delta\Omega} \cdot \Delta P_{ДВ} + S_{\Delta k_{ycn}}^{\Delta\Omega} \cdot \Delta k_{ycn} + S_R^{\Delta\Omega} \cdot \Delta R = 0.$$

Отсюда получаем компенсирующие отклонения параметров:

$$\Delta k_{ycn} = \frac{-S_{\Delta P_{ДВ}}^{\Delta\Omega} \cdot \Delta P_{ДВ}}{S_{\Delta k_{ycn}}^{\Delta\Omega}} K_{y\Omega}; \quad \Delta R = \frac{-S_{\Delta P_{ДВ}}^{\Delta\Omega} \cdot \Delta P_{ДВ}}{S_R^{\Delta\Omega}} K_{R\Omega}. \quad (6)$$

Таким образом, для снижения интенсивности качаний ротора генератора следует в реальном времени на быстродействующем контроллере решать уравнения для функций чувствительности по текущим значениям отклонений угла рассогласования и скорости его изменения и в соответствии с формулами (5), (6) изменять в текущем времени компенсирующие параметры.

4. Результаты численных экспериментов

На рисунке 4.1 показано снижение качаний ротора при использовании коэффициента успокоения Δk_{ycn} при $K_{y0} = 0,3$ и сопротивления обмоток ротора ΔR при $K_{R0} = 0,12$ и $\Delta P = 10$ кВт. Расчеты выполнены при следующих значениях параметров генератора: $i_B = 2,44$ А; $R = 1$ Ом; $L = 6$ мГн; $K_y = 2$; $J = 2,1$ кг·м²; $U_c = 220$ В; $X = 1,884$ Ом; $M = 0,3064$ Гн; $P_{ном} = 13$ кВт.

Графики показывают, что нарастанию угла рассогласования и увеличению его скорости соответствуют отрицательные значения функций чувствительности, т.е. при небольшом увеличении Δk_{ycn} и сопротивления R скорость изменения отклонения угла и его размах колебаний должны уменьшаться. Рисунок 5 показывает полное отсутствие качаний ротора.

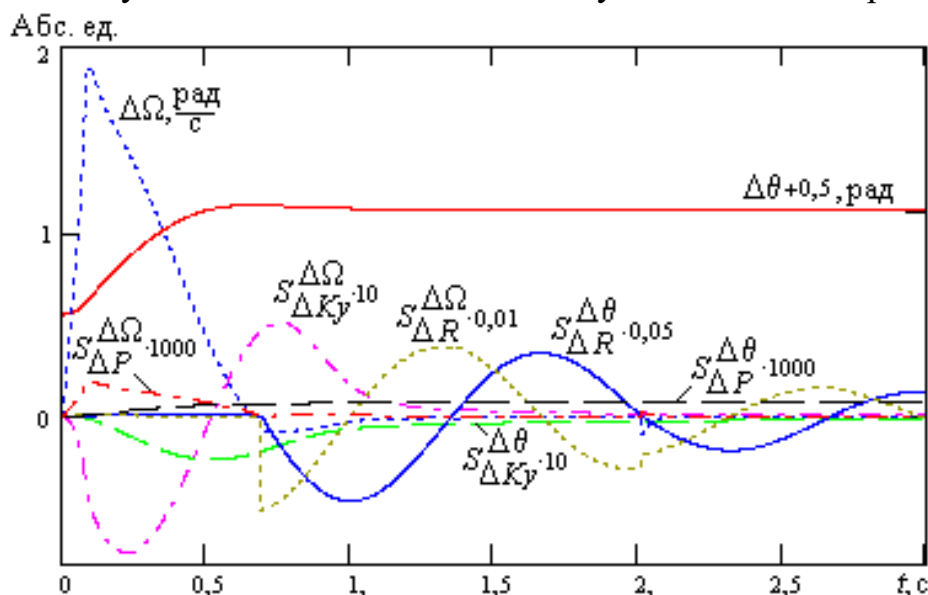


Рисунок 5 – Сглаживание колебаний ротора с помощью коэффициента успокоения и сопротивления обмоток ротора

5. Блок–схема системы стабилизации качаний ротора

На рисунке 6 представлена блок – схема предлагаемой системы для снижения качаний угла рассогласования и скорости вращения ротора. Схема содержит датчики скорости $\Delta\Omega$, угла рассогласования $\Delta\theta$ и мощности приводного двигателя ΔP , определяемой через момент и скорость вращения.

Совместным решением уравнений (1), (2)–(4) в текущем времени рассчитываются функции чувствительности для отклонений угла рассогласования и скорости по параметрам Δk_{ycn} и ΔR . Для выбранных стабилизирующих воздействий рассчитываются их величины по формулам (5), (6).

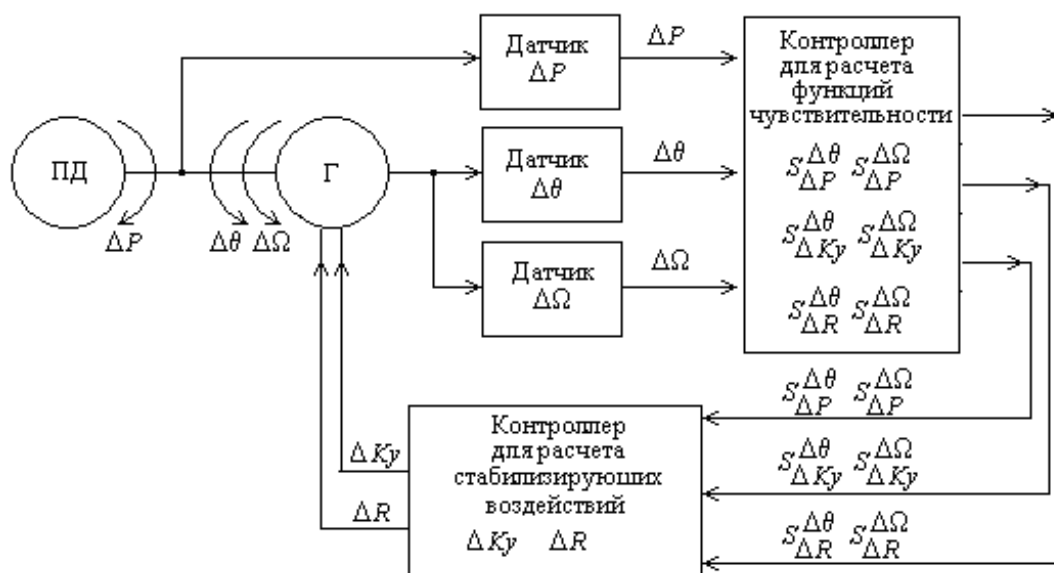


Рисунок 6 – Блок – схема системы стабилизации качаний ротора

Заключение

По уравнениям динамики генератора при резком увеличении нагрузки получены уравнения для вычисления функций чувствительности скорости вращения и угла рассогласования по критическим параметрам генератора. Вычислительные эксперименты показали, что наиболее эффективно качания ротора снижаются при одновременном регулировании этих параметров. При этом обеспечивается плавный процесс наброса нагрузки и предотвращается выпадение генератора из синхронизма. Перспективной представляется разработка принципиальной схемы системы управления.

Библиографический список

- 1 Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: изд-во «Высшая школа», 2002. – 542 с.
- 2 Теория автоматического управления. Часть 1 / Под ред. Нетушила А.В. – М.: изд-во «Высшая школа», 2008. – 424 с.
- 3 Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: изд-во «Наука», 1990. – 624 с.
- 4 Петров Ю.П., Петров И.А. Введение в теорию инженерных расчетов, учитывающую вариации параметров исследуемых объектов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2014. – 272 с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Ковтун Анастасия Андреевна

магистр

E-mail: kovtunnastusia2000@list.ru

Балашов Михаил Георгиевич

кандидат технических наук, доцент

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

DEVELOPMENT OF RESEARCH METHODOLOGY IN AN AERODYNAMIC PIPE

Kovtun Anastasia Andreevna

Master's Degree Student

Balashov Michail Georgievich

Candidate of Technical Science, Assistant Professor

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. Авторами статьи разработана методика проведения исследований в аэродинамической трубе. Данная аэродинамическая труба позволит инженерам исследовать аэродинамические характеристики объектов, оптимизировать их дизайн и повысить эффективность работы.

Ключевые слова: проектирование, аэродинамическая труба, испытания.

ABSTRACT. The authors of the article have developed a method for conducting research in an aerodynamic wind tunnel. This wind tunnel will allow engineers to study the aerodynamic characteristics of objects, optimize their design, and improve their efficiency.

Keywords: design, wind tunnel, trials.

Введение

Аэродинамические трубы представляют собой уникальные установки для исследования аэродинамических свойств объектов в контролируемых условиях. Они способны воссоздавать воздушные потоки с конкретными характеристиками, имитируя различные условия, включая изменения скорости, давления и температуры. Эти устройства находят широкое применение во множестве сфер, от авиации и кораблестроения до автомобилестроения и далее,

позволяя анализировать аэродинамические особенности различных объектов, совершенствовать их форму и улучшать функциональность.

Ключевая задача аэродинамических труб заключается в исследовании влияния воздушных потоков на различные предметы, включая макеты самолетов, машины, корабли, здания и другие структуры. С их помощью можно выявить и измерить аэродинамические силы, сопротивление, подъемную силу и множество других параметров в широком спектре условий.

Аэродинамические трубы позволяют создавать поток воздуха с высокой точностью и контролировать его параметры, такие как скорость, давление и температура. Это позволяет исследователям проводить эксперименты в различных условиях, максимально приближенных к реальности.

Оборудование аэродинамической трубы

Первая аэродинамическая труба была разработана в 1871 году в Великобритании. Ее создали для проведения научных испытаний. Цель ее строительства – изучение поведения твердых тел в мощном воздушном потоке.

В этом же году аэродинамическую трубу построили в России. Она применялась для военных разработок и стала толчком для развития авиационной техники.

Под руководством Н. Е. Жуковского при механическом кабинете Московского университета в 1902 году была сооружена аэродинамическая труба, в которой осевым вентилятором создавался воздушный поток со скоростью до 9 м/с. Данная модель трубы представлена на рисунке 1.

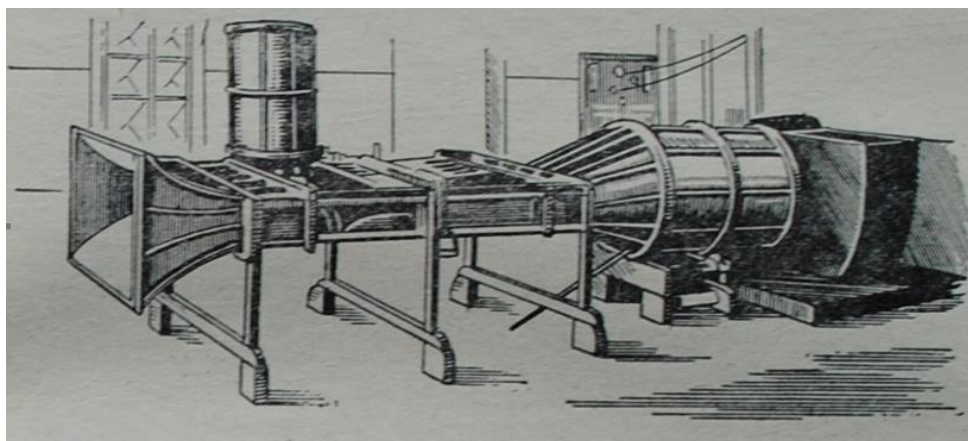


Рисунок 1 – Модель аэродинамической трубы Н.Е. Жуковского

Современные же аэродинамические трубы отличаются большим многообразием, которое обуславливается диапазоном рабочих скоростей потока при испытаниях модели в трубе (от малых дозвуковых скоростей до гиперзвуковых), особенностями аэродинамического контура, длительностью действия – непрерывной и кратковременной (баллонные трубы), возможностью

изменения статического давления в контуре (аэродинамические трубы переменной плотности) и т.д. Размеры аэродинамических труб, характеризующиеся обычно площадью поперечного сечения рабочей части, составляют от десятков квадратных сантиметров до десятков квадратных метров, потребляемая мощность – от единиц до сотен тысяч киловатт [1].

По виду аэродинамические трубы бывают горизонтальные и вертикальные. Вертикальные как правило используются в развлекательных целях, а также для обучения правилам свободного падения парашютистов. Горизонтальные используются в исследовательских целях, они делятся на два типа: открытого и закрытого. Закрытого – представляет собой замкнутый контур с закрытой рабочей частью прямоугольного поперечного сечения, в которой размещаются исследуемые макеты (рисунок 2). Открытого – без замкнутого контура, то есть входное и выходное отверстия не замкнуты (рисунок 3).

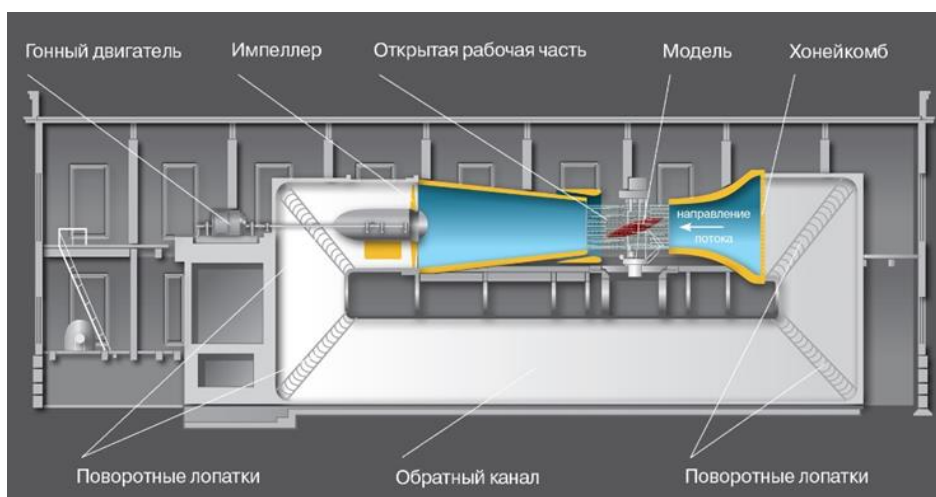


Рисунок 2 – Аэродинамическая труба закрытого типа



Рисунок 3 – Аэродинамическая труба открытого типа

Принцип работы

Основан на создании потока воздуха с высокой скоростью и контролируемыми характеристиками [2].

Аэродинамическая труба включает в себя несколько ключевых компонентов:

- Вентилятор: формирует поток воздуха и обеспечивают необходимое давление для его движения через трубу.
- Сопло (коллектор): узкий канал, через который проходит поток воздуха, увеличивая его скорость и создавая условия для достижения высоких скоростей.
- Рабочая часть: место, где размещается объект для исследования, подвергаясь воздействию потока воздуха для измерения аэродинамических характеристик.
- Диффузор: расширяющийся канал, который замедляет поток воздуха и обеспечивает его выход из трубы.
- Измерительные устройства: применяются для определения скорости, давления и других параметров потока воздуха.

На рисунке 4 представлена схема модели аэродинамической трубы со всеми входящими в нее элементами.

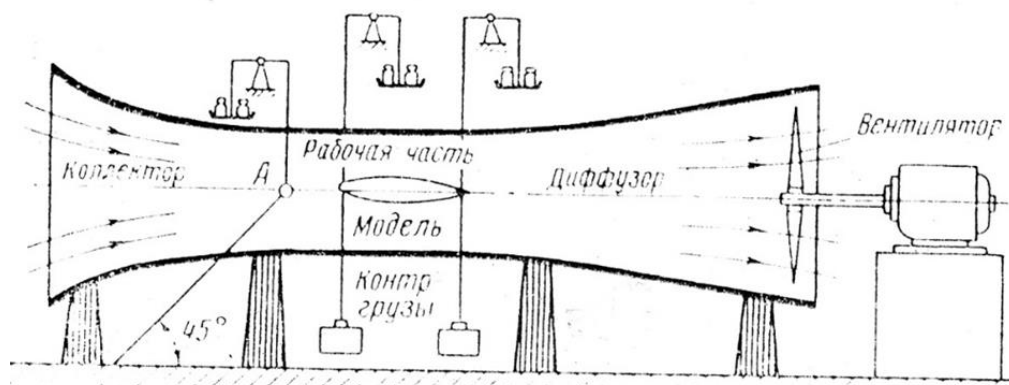


Рисунок 4 – Схема аэродинамической трубы

Создание собственной модели аэродинамической трубы

При создании модели использовались подручные материалы, такие как водопроводные трубы из ПВХ, двойной гофрированный картон, деревянные доски для основания и листы плексигласа для боковин. Для вентиляционной системы был приобретен «Вентилятор вытяжной D150».

Входной сегмент (коллектор) аэродинамической трубы представляет собой секцию, через которую воздух поступает внутрь трубы. Данный сегмент имеет форму цилиндра и выполнен из трубы ПВХ.

Основной зоной аэродинамической трубы является рабочая часть, где проводятся исследования в области аэродинамики. Ее размеры составляют

0,4x0,2x0,2 м. Внутри рабочей части происходит взаимодействие потока воздуха с испытуемой моделью.

Выходной сегмент (диффузор) аэродинамической трубы представляет собой квадратную в сечении секцию, через которую воздух выходит из трубы после прохождения рабочей части.

Все указанные элементы совместно функционируют для обеспечения контролируемых условий проведения исследований аэродинамики в аэродинамической трубе.

Созданная модель аэродинамической трубы представлена на рисунке 5.



Рисунок 5 – Собственная модель аэродинамической трубы

Методика проведения исследований в аэродинамической трубе

Проведение исследований предполагает создание моделей для экспериментов. Модели могут быть как хорошо обтекаемые, т.е. имеют скругленные гладкие поверхности, без выступающих частей, так и произвольной формы. Основная идея испытаний в аэротрубе, получение наименьшего коэффициента сопротивления. Определение коэффициента ведется пересчетом с силы сопротивления и площади поверхности тела. Сила сопротивления воздушному потоку возникает при обтекании исследуемого предмета (складывается из лобового сопротивления, формы, трения и остаточного за кормовой стенкой). Замерять ее нужно с помощью динамометра. В простейшей конструкции, в том числе для разового или редкого применения, возможно использования безмена (кантора) механического или электронного с визуальным считыванием показателей с прибора.

Результаты исследования

Созданная аэродинамическая труба предназначена для проведения лабораторных работ у студентов корабельных специальностей по дисциплинам «Архитектура корабля» и «Теория корабля» по темам «Сопротивление судов» (в разделе «Воздушное сопротивление») и «Задымляемость палуб судна».

Выводы

Аэродинамические трубы являются важным инструментом для исследования аэродинамики. Они создают условия, максимально приближенные к реальным, для анализа воздушных потоков и взаимодействия объектов с воздухом. Аэродинамические трубы помогают оптимизировать форму и структуру объектов, улучшая их аэродинамические характеристики и повышая эффективность. Однако необходимо учитывать ограничения и возможные трудности при использовании этого инструмента. С развитием технологий можно ожидать появления более совершенных и эффективных моделей аэродинамических труб в будущем. Созданная труба является первым прототипом для создания более крупной и производительной модели аэродинамической трубы. Прототип сделан для отработки исследовательских задач и принципа проектирования будущих моделей труб.

Библиографический список

1. Трещевский В.Н., Волков Л.Д., Короткин А.И. Аэродинамический эксперимент в судостроении. – Л.: «Судостроение», 1976. – С. 17-21.
2. Аэродинамические трубы: принцип работы, применение и преимущества // Научные Статьи.Ру – портал для студентов и аспирантов. – Дата последнего обновления статьи: 21.01.2024. – URL <https://nauchniestati.ru/spravka/aerodinamicheskie-truby/> (дата обращения: 20.11.2025).

МОДУЛЬНО-ПЛАТФОРМЕННАЯ МЕТОДИКА: АРХИТЕКТУРА И ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ СУДОВ ГАЗОВОЗОВ СПГ ЛЕДОВОГО КЛАССА ARC7

Лусина Светлана Евгеньевна

Магистрант

E-mail: timofeevase0706@yandex.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

MODULAR-PLATFORM METHODOLOGY: ARCHITECTURE AND AS- SEMBLY TECHNOLOGY FOR ARC7 ICE-CLASS LNG CARRIERS

Lisina Svetlana

Master's Degree Student

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. В статье рассматривается разработка методики модульно-платформенного строительства газозовов СПГ ледового класса Arc7, адаптированной к производственным возможностям Судостроительного комплекса «Звезда» (ССК «Звезда»). В основе исследования лежит анализ эволюции методов судостроения, SWOT-анализ производственного потенциала верфи, а также принципы адаптируемого дизайна для создания архитектуры судна с инвариантной базовой платформой и вариативными грузовыми секциями. Разработана архитектура и технологический процесс сборки, позволяющие варьировать грузовместимость судна и организовать параллельное производство модулей. Внедрение методики позволит сократить цикл строительства на 20 %, снизить себестоимость, повысить гибкость производства и заложить основу для долгосрочной конкурентоспособности российского судостроения в классе арктических газозовов.

Ключевые слова: модульно-платформенный метод, газозовы СПГ, ледовый класс Arc7, ССК «Звезда», методика строительства, модульная декомпозиция.

ABSTRACT. The article discusses the development of a modular-platform construction methodology for Arc7 ice-class LNG carriers, adapted to the production capabilities of the Zvezda Shipbuilding Complex (SSK Zvezda). The research is based on an analysis of the evolution of shipbuilding methods, a SWOT analysis of the shipyard's production potential, and the principles of adaptable design for creating a vessel architecture with an invariant base platform and variable cargo sections. The developed architecture and assembly process allow for the customization of the vessel's cargo capacity and the organization of parallel module production. The implementation of this methodology will reduce the construction cycle by 20%, lower costs, increase production flexibility, and lay the foundation for the long-term competitiveness of Russian shipbuilding in the Arctic LNG carrier segment.

Keywords: modular-platform method, LNG carriers, ice class Arc7, SSK Zvezda, construction methodology, modular decomposition.

Введение

Развитие судостроительной промышленности является стратегическим приоритетом России, что закреплено в Стратегии развития судостроительной промышленности на период до 2035 года [1]. Активное освоение арктических месторождений природного газа и реализация проектов «Ямал СПГ» и «Арктик СПГ 2» создали устойчивый спрос на специализированные газовозы высшего ледового класса Arc7. Судостроительный комплекс «Звезда» (ССК «Звезда») определен как ключевая производственная площадка для строительства такого флота. Однако уникальность и технологическая сложность этих судов, при традиционных методах судостроения, сталкивается с проблемой длительных сроков проектирования и сборки.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что мировая практика судостроения демонстрирует последовательную эволюцию методов организации производства от традиционной стапельной сборки к блочно-модульному и платформенному методам. Однако большинство существующих методик имеют общий характер и не учитывают специфику газовозов ледового класса Arc7 и производственные активы конкретной верфи, такой как ССК «Звезда». Нерешенными частями общей проблемы, которым посвящена данная статья, являются:

1. Разработка архитектурно-конструкторского решения, позволяющего варьировать основные параметры судна (длину, грузоместимость) без изменения проектной базы носового и кормового модулей.
2. Создание технологической модели, интегрирующей параллельную сборку модулей в производственную систему ССК «Звезда».
3. Формулировка организационно-экономических принципов внедрения метода, включая реорганизацию производственных процессов, управление цепочками поставок и оценку экономического эффекта.

В качестве решения предложена методика применения модульно-платформенного метода, адаптированная к производственным возможностям ССК «Звезда». Этот подход основан на формировании архитектуры судна с инвариантной базовой платформой (носовой и кормовой модули) и вариативным количеством типовых грузовых секций, которые в дальнейшем могут быть изменены под запросы заказчика минуя стадию разработки с нуля.

Развитие методов строительства в судостроении

Исследования в области судостроения свидетельствуют о последовательной эволюции методов организации производства:

1. Традиционная стапельная сборка характеризуется последовательным формированием корпуса судна из секций и деталей непосредственно на стапельной позиции. Несмотря на универсальность, метод отличается длительным циклом занятости стапеля, высокой зависимостью от погодных условий и сложностью организации параллельных работ.

2. Блочно-модульный метод (Block Construction) стал отраслевым стандартом для крупнотоннажных судов. Корабельный корпус разбивается на крупные секции (блоки), которые изготавливаются параллельно в цехах, а затем транспортируются на стапель для окончательной сборки. Корейские и китайские верфи используют блочно-модульные методы для крупносерийного строительства контейнеровозов и танкеров [2,6].

3. Платформенный метод является развитием блочного подхода и предполагает создание функционально-законченных модулей, максимально насыщенных оборудованием, системами и даже элементами отделки до их установки на судно. На выставке «НЕВА-2025» была представлена унифицированная платформа для судов класса «река-море» – «Платформа №1», что подтверждает актуальность платформенного подхода в российском судостроении [3].

Однако для газовозов Arc7 требуется адаптация этих подходов с учетом усиленных ледовых конструкций, криогенного оборудования и специфики производственной базы ССК «Звезда».

Производственные возможности ССК «Звезда»

ССК «Звезда» обладает уникальными производственными мощностями, позволяющими реализовать платформенный метод строительства газовозов Arc7. Ключевым активом предприятия является один из крупнейших в мире сухих доков размером 485 метров в длину, 114 метров в ширину и 14 метров в глубину [4]. Док оснащен технологическими воротами, позволяющими разделять его на независимые секции для параллельного строительства нескольких судов. Важным преимуществом является наличие двух гигантских порталных кранов "Голиаф" грузоподъемностью 1200 тонн [4].

В качестве исходного анализа был проведен SWOT-анализ (таблица 1), который выявил, что верфь обладает уникальными для России активами, но сталкивается с критическими вызовами в области опыта, кадров и логистики. Предлагаемая методика позволяет максимально использовать сильные стороны для нивелирования слабых, переводя строительство из стапельной плоскости в цеховую, что снижает зависимость от погодных условий и требований к квалификации рабочих на открытых площадках [5].

Таблица 1 – Сводные данные SWOT-анализа ССК «Звезда»

<i>Потенциал (Strengths)</i>	<i>Проблемы (Weaknesses)</i>
S1. Современное оборудование (док, краны)	W1. Ограниченный опыт серийного строительства
S2. Государственная поддержка	W2. Удаленность от поставщиков
S3. Интеграция в кластер (электросталеплавильные цеха (ЭСПЦ))	W3. Недостаток квалифицированных кадров
S4. «Чистый лист» для внедрения новых процессов	W4. Отсутствие системы управления проектами
<i>Возможности (Opportunities)</i>	<i>Угрозы (Threats)</i>
O1. Гарантированный госзаказ	T1. Технологические санкции
O2. Развитие национальной кооперации	T2. Рост стоимости проекта
O3. Занятие ниши на мировом рынке	T3. Срыв сроков проектов добычи СПГ

Архитектура модульно-платформенного решения

Основным научным результатом является разработанная архитектура судна в соответствии с рисунком 1 (схематично).

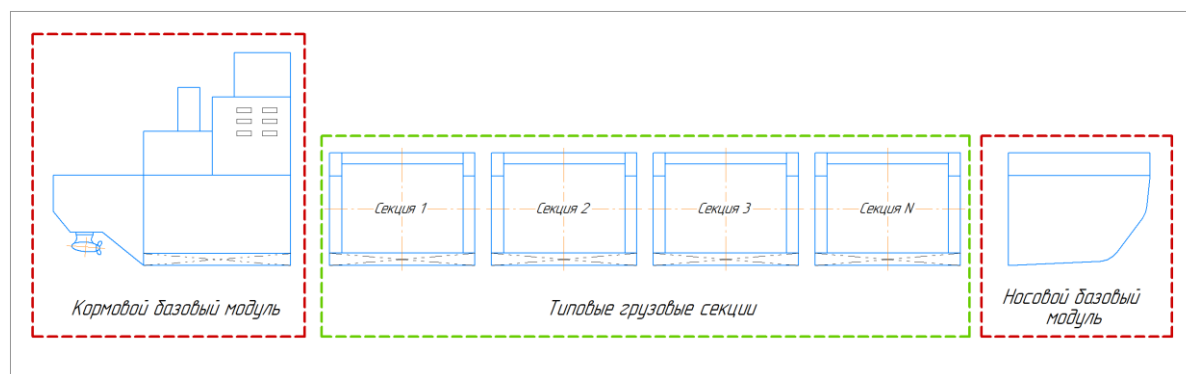


Рисунок 1 – Разработанная архитектура газовеоза СПГ Arc7 в рамках модульно-платформенного метода строительства

Разработанная архитектура, основанная на принципах адаптируемого дизайна [6, 7], предполагает деление на два типа модулей: инвариантные и вариативные модули.

1. Инвариантные модули (базовая платформа): Эта часть судна остается неизменной для всей серии, что обеспечивает стандартизацию и стабильность в производстве наиболее сложных компонентов. Базовыми модулями являются:

– **Носовой модуль**, который включает конструкции, специально усиленные для ледового плавания, такие как ледовый пояс и форштевень.

– **Кормовая часть с модулем машинного отделения и надстройкой**: стандартизированный блок, объединяющий конструкцию главной энергетической установки (ГЭУ) и фундаменты движительно-рулевых устройств. Содержит рулевое устройство, жилые помещения и ходовую рубку.

2. Вариативные модули (типовые грузовые секции). Это цилиндрические или призматические секции, в которых размещаются грузовые танки (мембранные или самостоятельные). Для адаптации под требования заказчика и создания судов с разной грузоподъемностью количество типовых секций может составлять от 3 до 5 (таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительные характеристики вариантов исполнения газовеера

Параметр	Вариант S (3 секции)	Вариант М (4 секции)	Вариант L (5 секции)
Операционная задача	Снабжение терминалов	Регулярные перевозки по СМП	Транзитные перевозки
Экономический профиль	Высокая маневренность для коротких рейсов	Сбалансированная эффективность по стоимости перевозки единицы груза	Максимальная экономия за счет масштаба на длинных маршрутах
Ключевое преимущество	Лучшая управляемость во льдах, возможность захода в мелководные акватории	Оптимальное соотношение параметров	Минимальная стоимость транспортировки 1 м ³ СПГ

Данная архитектура позволяет верфи предлагать не отдельное судно, а **единое семейство газовееров**, оптимально адаптированных под различные бизнес-задачи.

Технология сборки и реорганизация производства

Методика модульно-платформенной сборки предусматривает следующую реорганизацию производства на ССК «Звезда»:

1. Переход от стапельной к цеховой сборке. Стапель становится площадкой финальной стыковки крупных модулей, а не местом мелко модульного строительства.

2. Организация параллельных сборочных линий для носовых, кормовых, надстроечных (жилых) и грузовых модулей.

3. Разработка системы стандартизации и унификации интерфейсов (механических, электрических, трубопроводных) между модулями.

4. Логистическая реорганизация под параллельные потоки изготовления модулей с точной синхронизацией поставок.

Процесс сборки на стапеле будет строиться следующим образом: устанавливается килевая грузовая секция, к ней последовательно присоединяются дополнительные секции, после чего с торцов монтируются готовые носовой и кормовой модули, и на завершающем этапе краном устанавливается надстроечный модуль.

Внедрение модульно-платформенного метода на ССК «Звезда» позволяет перейти к параллельному изготовлению и насыщению модулей, что кардинально меняет логику производственного процесса. По оценкам, длительность цикла сборки одного судна может быть сокращена на 20%. Унификация и стандартизация до 70% конструктивных элементов позволяют снизить затраты на проектирование и изготовление оснастки [5]. Производство получает возможность оперативно реагировать на изменения требований заказчика по грузоместимости без кардинального пересмотра проектной документации [6].

Внедрение предложенной методики позволит достичь:

1. Сокращение цикла строительства судна с 36-40 до 22-24 месяцев.
2. Снижение себестоимости построения на 20% за счет унификации, стандартизации и переноса трудоемких операций в цеха. Повышение уровня локализации до 80%.
3. Повышение качества сборки, особенно критичных узлов (криогенные танки, ледовые конструкции), за счет работы в контролируемых условиях [2].
4. Создание прецедента передового судостроения в России, формирование устойчивой кооперации, занятие лидирующих позиций на рынке строительства арктических газозовов.
5. Стимулирование развития кластера. Создание возможностей стабильной загрузки для смежных машиностроительных и судостроительных предприятий Дальнего Востока.
6. Снижение капитальных затрат. Нет необходимости строить гигантский эллинг для всего судна – достаточно мощностей для сборки базового модуля и интеграции.

Заключение

Разработанная методика применения модульно-платформенного метода строительства газозовов СПГ ледового класса Arc7 позволяет системно подойти к решению проблемы оптимизации производственных процессов на российской верфи ССК «Звезда» и позволяет преодолеть ключевые ограничения верфи, трансформировав ее слабые стороны в конкурентные преимущества за счет реорганизации производственной системы.

В отличие от простого копирования зарубежного опыта блочного строительства, предлагаемая методика учитывает специфику арктического судостроения и современные вызовы, стоящие перед отечественной промышленностью [5]. Ее внедрение позволит не только выполнить программу строительства серии судов, но и заложить основу для долгосрочной конкурентоспособности верфи. Данный подход позволяет верфи гибко планировать загрузку цехов, выполнять заказы разных клиентов на одной платформе и значительно сокращать общее время постройки проекта за счет параллельного изготовления максимально готовых модулей.

Перспективы дальнейших исследований видятся в детальной проработке цифровых двойников модулей, разработке отечественных стандартов и углубленном изучении вопросов локализации критических компонентов.

Библиографический список

1. Российская Федерация. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года: утверждена распоряжением Правительства РФ от 28.10.2019 № 2553-р [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/WlszzFJXA26YAXaOifb1H2KQqmi1D7S7.pdf> (дата обращения: 20.03.2024). – Текст: электронный.

2. Дементьев, Н. М. Перспективы развития и нормирования модульного строительства в России с учетом зарубежного опыта / Н. М. Дементьев, В. А. Волкодав, И. А. Волкодав, И. Д. Титова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 4 (100).

3. Бастион-Карпенко: НЕВА 2025 [Электронный ресурс]. – URL: <https://bastion-karpenko.ru/neva-2025/> (дата обращения: 20.03.2024). – Текст: электронный.

4. ССК «Звезда»: [сайт]. – URL: <https://sskzvezda.ru/> (дата обращения: 20.03.2024). – Текст: электронный.

5. Аלקатири, К. Ю. Модернизация судостроительной отрасли России в условиях санкционного режима / К. Ю. Аלקатири // Россия: тенденции и перспективы развития. – 2023. – № 18-1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modernizatsiya-sudostroitelnoy-otrasli-rossii-v-usloviyah-sanktsionnogo-rezhima> (дата обращения: 10.12.2024). – Текст: электронный.

6. A module configuration and valuation model for operational flexibility in ship design using contract scenarios [Electronic resource]. – URL: https://www.researchgate.net/publication/316346800_A_module_configuration_and_valuation_model_for_operational_flexibility_in_ship_design_using_contract_scenarios (accessed: 20.06.2025). – Text: electronic.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕМНОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА ЭНЕРГИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

Литвиненко Владимир Петрович

кандидат технических наук, доцент

e-mail: VPLitvinenko@sevsu.ru

Спиридонов Валерий Викторович

старший преподаватель

Ландиков Юрий Васильевич

доцент

e-mail: 271157nakhodka@gmail.com

*Азовский морской институт – Мариупольский филиал ФГАОУ ВО
Севастопольский государственный университет,
287500, ДНР, Мариуполь, ул. Черноморская, 19*

EVALUATING DIESEL PERFORMANCE USING VOLUMETRIC ENERGY FLOW RATE

Litvinenko Vladimir

Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor

Spiridonov Valery

Senior Lecturer

Landikov Yuriy

Assistant Professor

*Azov Marine Institute – Mariupol branch of FSEI of HE
Sevastopol State University,
287500, DPR, Mariupol, Chernomorskaya Str., 19*

АННОТАЦИЯ. В статье выдвинута гипотеза об оценке эффективности внутрицилиндровых процессов дизеля посредством использования объемной скорости потока энергии. Осуществлен расчет значений объемной скорости для реальных дизелей, на основании анализа которых сделан вывод о целесообразности применения предлагаемого параметра для практического использования.

Ключевые слова: объемный процесс, дизель, объемная скорость, скорость поршня.

ABSTRACT. This article proposes a hypothesis for assessing the efficiency of in-cylinder processes in a diesel engine using the volumetric energy flow rate. Volumetric flow rate values for real diesel engines are calculated, and the analysis of these values leads to the conclusion that the proposed parameter is feasible for practical use.

Key words: volumetric process, diesel, volumetric velocity, piston speed.

Введение

Результатом исследований в области эксплуатации судовых дизелей сделано допущение о том, что оценку цикловых процессов рационально осуществлять, представляя их как объемные, поскольку такие процессы в наибольшей степени согласуются с физико-химическими преобразованиями топливно-воздушной смеси в период их сгорания и динамикой изменения положения кривошипно-шатунного механизма в цикле, таким образом позволяя получать результирующий эффект работы.

Анализ состояния проблемы

В практике эксплуатации судовых дизелей контроль и оценка их работы осуществляется использованием показателей давления сгорания топливовоздушной смеси, давления сжатия заряда воздуха, температуры выхлопных газов и т.п. параметров, которые в определенной мере отображают объемные процессы в цикле.

В порядке исследования вопроса выявлено что рассмотрение внутрицилиндровых процессов с позиций применения объемных характеристик в недостаточной степени рассмотрены. Примером такого положения является процесс сгорания, который непосредственно связан с особенностями образования движущей силы, формализуется в форме сложной функции, решение которой предусматривается за счет использования эмпирических коэффициентов, и, в сущности, до конца не определена.

В современных условиях ведущими дизелестроительными фирмами разрабатываются методы совершенствования процессов сгорания за счет изменения взглядов на кинетику саморегуляции дизельного топлива в период его сгорания, что таким образом свидетельствует об изменениях в подходах оценки сгорания топливовоздушной смеси с учетом объемных процессов, в отличие от сложившихся детерминированных подходов [1-4]. При этом, объемные процессы учитываются через посредство массовой, линейной и нормальной скорости сгорания, но, в связи со сложностью расчета таких скоростей их использование в теории и на практике оказалось весьма ограниченным.

Результаты исследования

В сложившейся практике проектирования дизелей широкое применение нашли зависимости для расчета диаметра цилиндра. Для двухтактных дизелей она имеет следующий вид:

$$D = 1,07 \sqrt{\frac{N_{e\text{ц}}}{SP_e n}} = 0,195 \sqrt{\frac{N_{e\text{ц}}}{C_m P_e}}$$

Для четырехтактных двигателей ее используют в несколько преобразованном виде:

$$D = 0,39 \sqrt{\frac{N_{eц}}{SP_e n}} = 0,071 \sqrt{\frac{N_{eц}}{C_m P_e}}$$

Нами обращено внимание, что оба эти выражения содержат отношение $N_{eц}/P_e$, рассматривая которое можно заметить, что размерность этого отношения определяется как $\text{м}^3/\text{с}$, что свидетельствует об отображении особенностей развития термодинамических процессов в объеме цилиндра. Наряду с этим обстоятельством существенным условием является использование линейной скорости перемещения поршня C_m и, как следствие, отношение объемных показателей к скорости поршня.

Допустим, что отношение N_e/P_e определяет скорость процесса образования движущей силы в цилиндре двигателя. Так, что с учетом коэффициента пропорциональности эта скорость может быть представлена соотношением:

$$V_{об} = k \cdot N_e/P_e, \quad (1)$$

где $V_{об}$ – объемная скорость, $\text{м}^3/\text{с}$; N_e – эффективная цилиндровая мощность дизеля, кВт; P_e – среднее эффективное давление цилиндра, бар; k – коэффициент пропорциональности.

Заметим, что в сложившейся теории мощность двигателя – N_e определяется:

$$N_e = \frac{P_e \cdot U_h \cdot n \cdot i}{m}, \quad (2)$$

где U_h – рабочий объем цилиндра; i – количество цилиндров; n – число оборотов двигателя; m – коэффициент тактности; так, что с учетом выражения (1) объемная скорость определится из выражения:

$$V_{об} = \frac{U_h \cdot n \cdot i}{m}, \quad (3)$$

Рассматривая процесс для одного цилиндра двухтактного двигателя, заметим, что в этом случае $m = 1, i = 1$ тогда выражение (3) примет вид:

$$V_{об} = U_h \cdot n, \quad (4)$$

и, при условии, что $U_h = S \cdot H$, где S – площадь поршня; H – ход поршня. Имеем:

$$V_{об} = S \cdot H \cdot n, \quad (5)$$

Отметим также, что в рассматриваемом случае динамически изменяющейся величиной, с позиций длительности восприятия давления расширяющихся газов, является ход поршня, в том числе, как параметр, отображающий некоторую i -ю часть хода поршня – H_i .

В динамике восприятия давления эта часть хода поршня и является значением, характеризующим качество процесса преобразования тепловой энергии

сгорающих газов в механическую работу. Такая динамика может быть отображена за счет использования объемной скорости. Из выражения (5) можно записать:

$$H_i = \frac{V_{об}}{S \cdot n}, \quad (6)$$

Принимая во внимание, что $S = \pi \cdot D^2 / 4$, выражение (6) преобразуется к виду:

$$H_i = \frac{4 \cdot V_{об}}{\pi \cdot D^2 \cdot n} = 1,274 \cdot \frac{V_{об}}{D^2 \cdot n}, \quad (7)$$

Заметим, что воздействие расширяющихся газов на поршень зависит от скорости его перемещения, которая обеспечивает высвобождение объема цилиндра за счет сил инерции, установившихся вследствие вращения коленчатого вала. В этой связи эффективность развития процесса образования мощности дизеля, может быть выражена в виде импульса силы, по меньшей мере, в фазе предварительного расширения, определяемого из соотношения:

$$N_x = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} (V_{об} - V_{ц}) P_x d\alpha, \quad (8)$$

где α_1, α_2 – угол поворота коленчатого вала под воздействием расширяющихся газов; $V_{ц}$ – объем цилиндра, высвобождаемый в результате инерционного перемещения поршня; P_x – давление в цилиндре при текущем значении угла поворота коленчатого вала.

В общем виде, в работе ставилась задача отыскания такой функциональной зависимости, благодаря которой удалось бы определить взаимосвязь между объемной скоростью процесса образования движущей силы и скоростью высвобождения объема цилиндра под воздействием инерционных сил, образуемых вследствие вращения коленчатого вала двигателя. Так, что по мере развития исследования, задача оптимизации объемных процессов может быть сведена к отысканию таких режимов развития процессов образования движущей силы, при которых объемная скорость определялась в зависимости от угла поворота коленчатого вала и обеспечивала образование наибольшего вращающего момента. При таком подходе отмечалось, что импульс движущей силы эффективно влияет на работу дизеля при условии, когда объемная скорость процесса будет больше или равна скорости высвобождаемого объема цилиндра за счет инерционного движения поршня. Так, что условие оптимальности выразится в соотношении: $V_{об} \geq V_{ц}$, или, перейдя к ускорению можно записать

$$\frac{dV_{ц}}{dt} \leq \frac{dV_{об}}{dt}.$$

Заметим, что в определенном смысле, рассматриваемое соотношение, по сути, является показателем предварительного расширения, который широко используется в теории расчета двигателей и методика расчета которого в недостаточной степени проработана. По меньшей мере, его оценка на действующих двигателях оказывается относительной, поскольку производится использованием графических методов.

В целях проверки выдвинутых положений, определялась скорость высвобождения объема по ходу движения поршня в такте расширения использованием известного соотношения, определяемого линейное перемещение поршня [2].

$$V_{\pi} = R \cdot \omega (\sin \alpha + 0,5 \lambda \sin 2\alpha), \quad (9)$$

где R – радиус кривошипа; ω – угловая скорость коленчатого вала; α – угол поворота коленчатого вала; λ – постоянная кривошипно-шатунного механизма, $\lambda = R/L$, где L – длина шатуна.

Принимая во внимания принятые ранее обозначения, выражение (9) преобразовывалось к удобному для расчетов виду, с этой целью параметры R , λ , и ω заменялись соответствующими выражениями: $R = H/2$, $\lambda = H/2L$ и $\omega = \pi n/30$. Тогда, с учетом допущений, выражение (9) преобразовывалось к виду удобному для выполнения расчетов скорости высвобождаемого объема в результате перемещения поршня.

$$V_{\pi} = 0,041 \cdot D^2 \cdot n \cdot (H \sin \alpha + 0,25 \frac{H^2}{L} \sin 2\alpha), \quad (10)$$

где n – число оборотов коленчатого вала двигателя.

Для получения практических значений рассмотрению подвергнуты судовые двигатели MANB&W, модификация которых показана в таблице 1 и 2.

Скорость поршня в обозначенных двигателях определялась при его движении в такте расширения от ВМТ к НМТ на интервале поворота коленчатого вала от 0 до 85 градусов, из соображений наблюдения динамики.

Результаты расчетов сведены в таблицу 1. В таблице выделены значения угла поворота коленчатого вала (п.к.в.) – α при котором соблюдается неравенство $V_{об} \geq V_{\pi}$, а также значение α , при котором достигается наибольшая скорость высвобождения объема цилиндра, выраженная в м³/с. Расчеты производились при условии, что вращение коленчатого вала соответствовало номинальным значениям, представленным в таблице 2. В этой же таблице выполнен расчет значений объемной скорости цилиндрических процессов, которые в последующем сопоставлялись со значениями скорости изменения объема цилиндра в ходе линейного перемещения поршня.

По результатам расчетов построен график изменения скорости высвобождения объема цилиндра, в зависимости от угла поворота коленчатого вала, см. рис. 1, где обозначены интервалы углов поворота коленчатого вала, соответствующие условию $V_{об} \geq V_{\pi}$ и обозначены максимальные значения – V_{π} .

Выводы

Допущения об оценке работы дизеля по объемной скорости процесса образования движущей силы в известной степени согласуются с эмпирическими

параметрами работы дизеля, что позволяет предположить о целесообразности ее использования в дальнейших исследованиях. Полученное расчетом соотношение $V_{об} \geq V_{ц}$ по сути отображает возможность определения степени предварительного расширения по фактическим эксплуатационным и конструктивным параметрам, без применения сложных графоаналитических расчетов. Применение объемной скорости как параметра, обеспечивает возможность определения перспектив развития внутрицилиндровых процессов с позиций оценки эффективности их протекания на основании анализа ряда статистических значений, характеризующих работу действующих дизелей. Такое условие, в том числе относится к определению объемной скорости развития внутрицилиндровых процессов при оптимальном положении коленчатого вала, когда достигается возможность получения наибольшего вращающего момента на выходном валу дизеля.

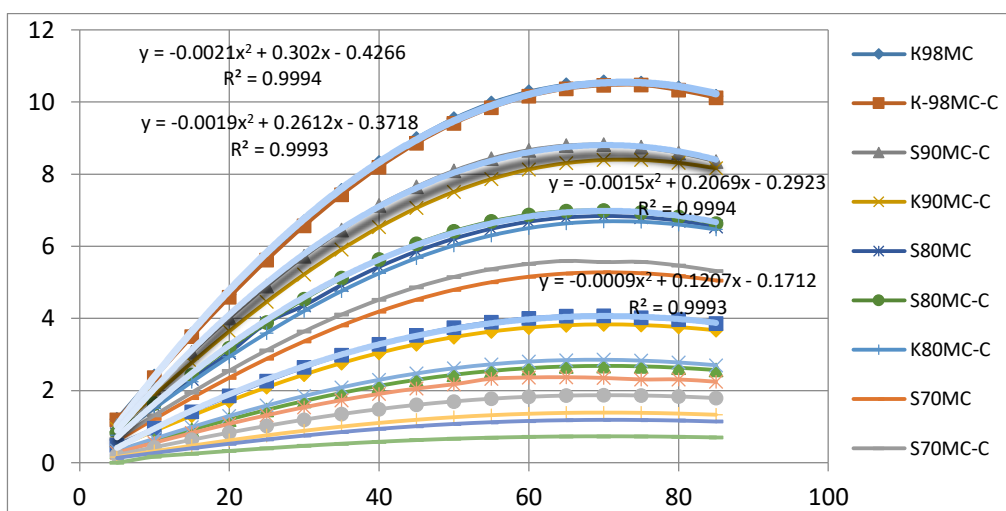


Рисунок 1– Динамика изменения скорости высвобождаемого объема цилиндра в зависимости от угла поворота коленчатого вала

Библиографический список

1. Возницкий И.В. Современные судовые среднеоборотные двигатели: учебник/ И.В. Возницкий. – СПб.: «КСИ», 2005. – 147 с.
2. Сполдинг Д.Б. Горение и массообмен /Пер. с англ. Р.Н. Гизатулина и В.И. Ягодкина; под ред. В.Е. Дорошенко. – М.: Машиностроение, 1985 – 240 с.
3. Вибе И.И. Новое о рабочем цикле двигателя. – Свердловск. «Уральский рабочий», 1962 – 270 с.
4. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001 – 270 с.
5. Истомин П.А. Динамика судовых двигателей внутреннего сгорания. – Л.: Судостроение, 1964 – 287 с.

Таблица 1 – Расчетные значения скорости высвобождаемого объема $V_{ц}(мЗ/с)$ при линейном перемещении поршня
дизеля в зависимости от угла поворота коленчатого вала – α .

Модель ДВС	Угол поворота коленчатого вала в градусах																	$V_{ос} \geq V_{ц}$	$V_{ц}^{max}$
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85		
K98MC	1,211	2,405	3,565	4,674	5,719	6,683	7,558	8,331	8,995	9,545	9,976	10,287	10,481	10,559	10,527	10,392	10,161	13°09'	71°
K98MC-C	1,188	2,359	3,498	4,588	5,616	6,567	7,431	8,196	8,858	9,408	9,844	10,164	10,369	10,462	10,474	10,332	10,122	13°24'	72°
S90MC-C	1,042	2,068	3,063	4,013	4,903	5,723	6,458	7,134	7,651	8,095	8,434	8,667	8,795	8,822	8,753	8,595	8,356	12°31'	70°
K90MC-C	0,944	1,874	2,779	3,646	4,445	5,224	5,915	6,53	7,063	7,509	7,866	8,132	8,307	8,394	8,396	8,318	8,165	13°37'	73°
S80MC	0,792	1,573	2,330	3,055	3,875	4,364	4,931	5,432	5,861	6,213	6,487	6,683	6,799	6,841	6,810	6,711	6,551	12°56'	70°
S80MC-C	0,827	1,641	2,430	3,183	3,889	4,539	5,123	5,635	6,069	6,421	6,690	6,875	6,976	6,997	6,942	6,817	6,628	12°31'	69°
K80MC-C	0,762	1,513	2,243	2,941	3,599	4,209	4,762	5,252	5,674	6,025	6,303	6,506	6,636	6,693	6,681	6,604	6,468	13°29'	72°
S70MC	0,611	1,213	1,798	2,357	2,883	3,367	3,806	4,192	4,523	4,795	5,006	5,157	5,247	5,279	5,255	5,179	5,055	12°57'	70°
S70MC-C	0,663	1,316	1,949	2,553	3,120	3,641	4,109	4,520	4,868	5,151	5,366	5,514	5,596	5,563	5,569	5,468	5,316	12°30'	69°
S60MC	0,444	0,882	1,307	1,713	2,094	2,445	2,765	3,046	3,286	3,484	3,638	3,747	3,813	3,836	3,818	3,763	3,673	12°56'	70°
S60MC-C	0,482	0,956	1,416	1,855	2,267	2,646	2,986	3,284	3,538	3,743	3,899	4,007	4,066	4,078	4,019	3,973	3,863	12°29'	69°
S50MC	0,311	0,617	0,914	1,199	1,466	1,713	1,936	2,132	2,300	2,439	2,546	2,623	2,669	2,685	2,673	2,634	2,571	12°57'	70°
S50MC-C	0,337	0,669	0,991	1,299	1,587	1,852	2,090	2,299	2,476	2,620	2,729	2,805	2,846	2,855	2,832	2,781	2,704	12°30'	69°
S46MC-C	0,280	0,556	0,823	1,079	1,318	1,538	1,736	1,909	2,057	2,176	2,255	2,329	2,364	2,371	2,352	2,310	2,246	12°36'	69°
S42MC	0,217	0,431	0,638	0,836	1,023	1,195	1,350	1,487	1,605	1,701	1,776	1,830	1,862	1,873	1,865	1,838	1,794	12°57'	70°
S35MC	0,161	0,320	0,474	0,621	0,760	0,887	1,002	1,104	1,191	1,263	1,319	1,358	1,382	1,390	1,384	1,363	1,331	12°10'	70°
L35MC	0,136	0,271	0,402	0,527	0,645	0,753	0,852	0,939	1,014	1,076	1,124	1,159	1,180	1,189	1,185	1,170	1,143	13°07'	71°
S26MC	0,085	0,169	0,250	0,327	0,400	0,468	0,528	0,582	0,628	0,666	0,695	0,716	0,729	0,733	0,730	0,719	0,702	12°55'	70°

Таблица 2 – Ранжированные параметры двигателей по условию $V_{06} \geq V_{ц}$

№ п/п	Модель двигателя	Цилиндровая мощность, $N_{ц}$ кВт.	Среднее эффективное давление, P_e , бар	Номинальное число оборотов, n , мин ⁻¹	Диаметр цилиндра, D , мм	Ход поршня, H , мм	Объемная скорость процесса, V_{06} , м ³ /с	$V_{06} \geq V_{ц}$
1	K98MC	5720	18,2	94	980	2660	3,143	13 ⁰⁹
2	L35MC	650	18,4	210	350	1050	0,353	13 ⁰⁷
3	K90MC-C	4560	18	104	900	2300	2,533	13 ⁰³⁷
4	K80MC-C	3610	18	104	800	2300	2,006	13 ⁰²⁹
5	K98MC-C	5710	18,2	104	980	2400	3,137	13 ⁰²⁴
6	S50MC	1430	18	127	500	1910	0,794	12 ⁰⁵⁷
7	S70MC	2810	18	91	700	2674	1,561	12 ⁰⁵⁷
8	S42MC	1080	19,5	136	420	1764	0,554	12 ⁰⁵⁷
9	S80MC	3840	19	79	800	3056	2,021	12 ⁰⁵⁶
10	S60MC	2040	18	105	600	2292	1,133	12 ⁰⁵⁶
11	S26MC	400	18,5	250	250	980	0,216	12 ⁰⁵⁵
12	S46MC-C	1310	19	129	460	1932	0,689	12 ⁰³⁶
13	S80MC-C	3880	19	76	800	3200	2,042	12 ⁰³¹
14	S90MC-C	4890	19	76	900	3188	2,574	12 ⁰³¹
15	S70MC-C	3105	19	91	700	2800	1,634	12 ⁰³⁰
16	S50MC-C	1580	19	127	500	2000	0,832	12 ⁰³⁰
17	S60MC-C	2255	19	105	600	2400	1,187	12 ⁰²⁹
18	S35MC	740	19,1	183	350	1400	0,387	12 ⁰¹⁰

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ СУДОВЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ И ГИБРИДНЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ В СОСТАВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Мазин Дмитрий Александрович

аспирант

E-mail: astralpolygon@yandex.ru

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Керченский государственный морской технологический
университет»*

298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82

PARAMETRIC FAILURE MODELING OF MARINE CENTRIFUGAL PUMPS AND HYBRID CONDITION MONITORING WITHIN A DIGITAL TWIN

Dmitrii Mazin

PhD student

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Kerch State Maritime Technological University»*

Ordzhonikidze st., 82, Kerch, 298309

АННОТАЦИЯ. В статье представлен обзор надёжности и мониторинга состояния судовых центробежных насосов с акцентом на применение распределения Вейбулла и справочных данных по отказам для условий морской эксплуатации. Сопоставляются требования стандартов и практика применения вибрационных и гидравлических индикаторов. Обобщены частотно-инвариантные признаки кавитации и износа и двухэтапные правила подтверждения событий. Показана применимость таких схем в архитектуре цифрового двойника и в задачах обслуживания по состоянию.

Ключевые слова: судовые центробежные насосы; надёжность; распределение Вейбулла; калибровка параметров; обслуживание по состоянию; вибрационный мониторинг; кавитация; анализ по порядкам; цифровой двойник; остаточный ресурс.

ABSTRACT. The paper presents a review of the reliability and condition monitoring of shipboard centrifugal pumps, with an emphasis on the use of the Weibull distribution and reference failure data under marine operating conditions. The requirements of relevant standards are compared with the practical use of vibration and hydraulic indicators. Frequency-invariant indicators of cavitation and wear and two stage rules for event confirmation are summarized. The applicability of such schemes within a digital-twin architecture and in condition-based maintenance tasks is demonstrated.

Keywords: shipboard centrifugal pumps; reliability; Weibull distribution; parameter calibration; condition-based maintenance; vibration monitoring; cavitation; order analysis; digital twin; remaining useful life (RUL).

Введение

Центробежные насосы обеспечивают критически важные функции судна: охлаждение и смазку главной энергетической установки (ГЭУ) и вспомогательных механизмов, пожаротушение, осушение, балластные и дренажные операции в соответствии с требованиями СОЛАС и правил классификационных обществ (DNV – Det Norske Veritas, LR – Lloyd's Register, Российский морской регистр судоходства – РС) [1–4]. По аналитическим обзорам за 2024–2025 гг. «машины/механизмы» остаются категорией с наибольшим числом происшествий, что указывает на повышенную частоту событий в насосно-трубопроводных системах [5, 6]. В эксплуатации с частотно-регулируемым приводом (ЧРП) и отклонениями от точки оптимального КПД (ВЕР) возрастают риски рециркуляции и недостаточного кавитационного запаса и темпы износа, что проявляется ростом вибрации, в том числе на частоте прохождения лопаток (ЧПЛ; англ. BPF) и снижением гидравлической эффективности [7–13]. При этом стандартная проверка параметров вибрации по Hydraulic Institute (HI), ISO и ГОСТ остаётся основой, но без учёта частоты вращения и режима работы (порядковый анализ) даёт повышенную долю ложных тревог и пропусков при ЧРП, поэтому требуется более устойчивый и интерпретируемый мониторинг.

Для описания времени до отказа насосов обычно используют двухпараметрическое распределение Вейбулла: характеризует изменение интенсивности отказов. При τ доля отказавших изделий достигает 63,2 %. Подходы к оценке и интерпретации представлены в руководствах NIST и ReliaSoft [14–16] и применялись к насосам [17, 18].

Справочные издания по надёжности OREDA предоставляют предварительные оценки параметров β и η , однако перенос этих оценок на условия морской эксплуатации требует проверки корректности применения [19, 20]. В контексте судовой эксплуатации накоплены отечественные результаты по надёжности центробежных насосов и целесообразности обслуживания по состоянию (Башуров Б. П., Носенко Е. С.; Тормашев Д. С.; Мосейко Е. С. и др.) [21–24]. Современные исследования показывают преобладание спектральной компоненты на ЧПЛ при гидравлическом возбуждении и подтверждают эффективность высокочастотных и широкополосных индикаторов для раннего выявления кавитации [25–27]. Одновременно развивается внедрение подсистем мониторинга в цифровые двойники с переходом от диагностики к прогнозированию остаточного ресурса (RUL) и оценке риска на горизонте T [28, 29].

На этой основе формулируется постановка задачи. Во-первых, в открытом доступе ограничено число специализированных судовых массивов данных, а

сводные базы по надёжности, например OREDA, требуют проверки корректности применения к условиям морской эксплуатации (морская среда, режимы нагрузки, пуски и остановки) [19, 20]. Во-вторых, переменная частота вращения смещает спектральную структуру признаков, поэтому фиксированные пороги без частотно-инвариантной обработки уязвимы к ложным срабатываниям и пропускам [7–10]. Требуется методика, которая объединяет параметрическую модель надёжности с комбинированными, физически обоснованными индикаторами деградации (ранняя кавитация → эрозионный износ → рост эквивалентной неуравновешенности), инвариантными к изменению частоты вращения, и при этом сохраняет сопоставимость с принятой практикой HI и ISO [7–13, 25–27].

Цель обзора: систематизировать нормативные требования HI/ISO/ГОСТ и практики мониторинга для судовых центробежных насосов при переменной частоте вращения. Обобщить публикации по применению распределения Вейбулла (параметры β , η) и источники априорной информации (NIST/ReliaSoft, OREDA, Barringer). Сопоставить индикаторы, инвариантные к частоте, и свести применяемые в литературе метрики оценки (ложные тревоги, задержка обнаружения, точность/доверительные интервалы RUL).

Задачи обзора:

- систематизировать нормативную базу (HI 9.6.3/9.6.4, ISO 10816-7, ISO 13373-2, ISO 9906) с указанием POR/AOR, точек измерений и правил обработки;
- обобщить формулировки распределения Вейбулла и источники априорной информации (NIST/ReliaSoft; Barringer; OREDA) с комментариями по применимости к флоту;
- описать практики калибровки параметров β и η при ограниченных и цензурированных данных и способы сопоставимости результатов между источниками;
- классифицировать частотно-инвариантные индикаторы (порядковый анализ; синхронные 1-го/2-го порядков; ЧПЛ; высокочастотные признаки кавитации) и свести типичные двухэтапные правила подтверждения событий по вибрационному и гидравлическому каналам;
- собрать используемые в публикациях базовые линии (фиксированные пороги без нормировки) и метрики эффективности (доли ложных тревог/пропусков, задержка обнаружения, ошибки прогноза RUL, покрытия доверительных интервалов) для сопоставимости с практикой HI/ISO.

Сформулированные ориентиры задают целостный, воспроизводимый и согласованный со стандартами контекст для последующих разделов.

1. Материалы и методы

1.1. Источники данных и допущения

В открытых источниках нет унифицированных судовых таблиц параметров распределения Вейбулла для широкого спектра типоразмеров и условий эксплуатации. Встречаются обзорные материалы по происшествиям и сводные данные по надёжности (OREDA) [5, 6, 20, 31–33], которые требуют оценки пригодности к морской эксплуатации и согласования терминологии с ISO 14224 [34]. В качестве метрик используются параметр b (квантиль 63,2%), среднее время до отказа (MTTF) и функция риска. Применяется общепринятая связь между средним временем до отказа и параметрами распределения Вейбулла. При экспоненциальном законе среднее время до отказа равно масштабному параметру [14–16]. Для сопоставимости результатов фиксируются редакции источников и дата формирования наборов данных [20], публичные отчёты по инцидентам используются для качественного анализа [5, 6].

1.2. Судовая эксплуатация: факторы повышенного риска

Колебания корпуса на волнении, ударные нагрузки и гидравлические удары в переходных режимах (пуски/остановы) создают внешнее возбуждение, приводя к росту вибрации, нагрузок на патрубки и опорные элементы и риску нарушения центровки агрегатов. Допустимые уровни вибрации и нагрузок задаются стандартами ИИ 9.6.4, ISO 10816-7, ГОСТ Р 55265.7 и API 610, а также правилами классификационных обществ (DNV, LR) и профильными руководствами DNV Vibration Class и ABS Guidance Notes [1, 4, 7, 8, 35–38].

Отклонение от предпочтительного рабочего диапазона (POR) и допустимого рабочего диапазона (AOR) относительно точки оптимального КПД (BEP) сопровождается изменением гидравлического режима. При больших подачах растёт требуемый кавитационный запас NPSH_r и, при фиксированном NPSH_a, увеличивается риск кавитации; при пониженной подаче усиливаются входные рециркуляции (ИИ 9.6.1, ИИ 9.6.3) [9, 11]. Гидравлические характеристики оценивают по ISO 9906 и ГОСТ ISO 9906 [12, 13]; для сопоставимости вибрационных признаков при наличии частотно-регулируемого привода применяют порядковый анализ и процедуры ISO 13373-2 [10].

Типичные признаки включают импульсную и широкополосную энергию, обусловленную ударными воздействиями и гидравлическими ударами, рост амплитуды на ЧПЛ и её боковых полосах при рециркуляциях и дефиците кавитационного запаса, а также повышение высокочастотной составляющей и снижение напора и КПД по ISO 9906 [8, 10, 12].

1.3. Кавитация: признаки и подходы к выявлению

Кавитация возникает при недостаточном кавитационном запасе ($NPSH_a < NPSH_r$ по НІ 9.6.1), что характерно для выхода режима за предпочтительный диапазон POR и сопровождается ростом требуемого $NPSH_r$ и усилением входных рециркуляций [9, 11]. Влияние абразивных частиц и двухфазности потока на износ подтверждено экспериментальными и численными исследованиями [39, 40]. Снижение напора, КПД и достижение точки $NPSH_z$ (падение напора на 3%) оценивают по ISO 9906 и ГОСТ ISO 9906, а вибрацию контролируют по НІ 9.6.4 и ISO 13373-2 [8, 10, 12, 13]. Для агрегатов с ЧПП, применяют порядковый анализ, позволяющий сопоставлять синхронные составляющие первого и второго порядков и частоту прохождения лопаток с её боковыми полосами при изменении частоты вращения. Ранние вибрационные и акустические признаки кавитации при этом нередко проявляются до достижения $NPSH_z$, что даёт возможность фиксировать ухудшение состояния на ранней стадии при сравнении с приёмочными испытаниями [8, 10, 12, 13, 41].

1.4. Базовый подход без нормировки по частоте

При стандартной проверке параметров вибрации применяют статические пороговые уровни, заданные для номинальной частоты вращения и расхода. Такой режим служит базовой линией для сопоставления с методами, инвариантными к частоте. Измерения на не вращающихся частях выполняют по ISO 10816-7, ГОСТ Р ИСО 10816-7 и НІ 9.6.4, гидравлические характеристики – по ISO 9906 [7, 8, 12, 13, 35]. Области предпочтительного (POR) и допустимого (AOR) рабочего диапазона определяют по НІ 9.6.3 [9]. Обработка сигналов ведётся в частотной области без перехода к порядковому анализу, кратковременные ложные срабатывания подавляются процедурами ISO 13373-2 [10].

Для схем с фиксированными порогами при переменной частоте вращения характерны повышенные доли ложных тревог и пропусков. В обзорных работах такой подход рассматривается как исходная точка для оценки методов, инвариантных к частоте. Для сравнения обычно используют долю ложных тревог и пропусков, задержку обнаружения относительно эталонного момента начала деградации (например, достижения $NPSH_z$), а также упрощённые показатели точности прогнозирования остаточного ресурса (RUL) [28, 30, 42].

2. Результаты

2.1. Гибридный подход: место среди методов и цели применения

В литературе по насосам с переменной скоростью выделяются две крайности: методики с фиксированными порогами, уязвимые к смещению спектра признаков при изменении частоты и режима, и методы машинного обучения, требующие размеченных отказов и не всегда интерпретируемые для

экипажа [8–10, 30]. Между указанными крайностями рассматривается гибридный подход. Физически обоснованная схема деградации (кавитация → эрозия проточной части → рост эквивалентной неуравновешенности) сочетается с признаками мониторинга (вибрационные и гидравлические каналы) и интегрируется в цифровой двойник для риска-ориентированного обслуживания и последующей оценки остаточного ресурса (RUL) [28, 30, 42]. Настоящий раздел носит обзорный характер и не задаёт нормативных требований.

2.2. Архитектура цифрового двойника и индикаторы, инвариантные к частоте вращения

К основным элементам архитектуры относятся скрытые состояния (эрозионный износ рабочего колеса и эквивалентная неуравновешенность ротора), наблюдаемые признаки (высокочастотные и широкополосные индикаторы кавитации, синхронные компоненты первого и второго порядка в порядковом спектре вибрации) и выходные показатели (вероятность отказа на горизонте прогноза (T) и оценка остаточного ресурса (RUL) с доверительными интервалами [7–10, 28, 30]). Постановка согласуется с требованиями ИИ/ISO к областям эксплуатации, точкам измерений и обработке вибрации, тогда как конкретная структура цифрового двойника и вероятностные выходные показатели не регламентированы и настраиваются под условия эксплуатации.

Для устойчивости к вариациям режима используется порядковый анализ с локальной оценкой фоновой уровня: контролируются синхронные составляющие первого и второго порядка и ЧПЛ, а ранние признаки кавитации проявляются ростом высокочастотной и широкополосной энергии. В публикациях применяются различные реализации таких индикаторов (варианты огибающих, спектральные и акустические признаки) [8–10, 30, 36, 39, 40], но во всех случаях сохраняется общая физическая связка кавитация → эрозионный износ → рост эквивалентной неуравновешенности → увеличение амплитуды первой гармоники вращения.

2.3. Правила принятия решений и показатели оценки

В настоящем обзоре используется обобщённая двухэтапная схема принятия решений. На первом этапе предварительное срабатывание регистрируется при устойчивом превышении выбранного высокочастотного индикатора кавитации. На втором этапе событие подтверждается по совокупности признаков: рост амплитуды первой гармоники в порядковом спектре, ухудшение гидравлических показателей по ISO 9906 и ГОСТ ISO 9906, а также увеличение амплитуды на частоте прохождения лопаток и её боковых полосах [8, 10, 12, 13, 41]. Для подавления кратковременных ложных тревог

применяются гистерезис и минимальная длительность удержания, а численные пороговые значения выбираются с учётом условий эксплуатации.

В качестве базового уровня рассматривается схема с фиксированными порогами без нормировки по частоте вращения (см. § 2.4). Эффективность сравниваемых подходов оценивается по долям ложных тревог и пропусков, задержке обнаружения относительно эталонного момента начала деградации, а также точности прогноза остаточного ресурса (RUL) и покрытиям доверительных интервалов [28, 30, 42]. Эти показатели не стандартизованы, но широко используются в публикациях для сопоставления методов.

3. Обсуждение

По отраслевым отчётам и материалам страхового рынка простои насосного оборудования на судне приводят к значительным совокупным издержкам: потере времени рейса, буксировке, штрафам, ремонту и росту страховых расходов. В условиях морской эксплуатации их дополнительно увеличивают логистика запасных частей (ЗИП) и ограничения на длительную остановку [5, 6]. При этом распределения ущерба асимметричны: редкие тяжёлые инциденты дают непропорционально большой вклад в суммарные потери [5, 6].

С точки зрения надёжности время до отказа насосов обычно описывают двухпараметрическим распределением Вейбулла, параметры которого оценивают по руководствам NIST, ReliaSoft и обобщённым данным OREDA [14–16, 20]. Совмещение такой модели отказов с наблюдаемым риском крупных убытков объясняет, почему стратегия «эксплуатация до отказа» во многих сценариях экономически уступает подходам с ранним выявлением ухудшения состояния [5, 6].

Нормативные документы ИИ, ISO и требования SOLAS задают области эксплуатации, точки измерений и приёмочные проверки, однако процедуры раннего прогноза и количественной оценки риска (вероятность отказа на горизонте T , оценка остаточного ресурса RUL) выходят за их рамки и относятся к задачам мониторинга состояния [1–4, 7–13, 36–38]. В этом контексте в литературе развиваются системы мониторинга, ориентированные на раннее выявление кавитации и оценку риска в составе цифровых двойников [28, 30, 42].

Анализ работ и материалов приёмочных и эксплуатационных испытаний (см. § 2.4) показывает, что при переменных режимах и использовании частотно-регулируемых приводов традиционные стратегии контроля дают повышенные доли ложных тревог и задержки обнаружения [7–10, 30]. Стратегия «до отказа» сопровождается риском внеплановых простоев и невыполнения обязательных требований [3, 42], а календарное планово-предупредительное обслуживание не учитывает индивидуальную деградацию: часть агрегатов не

достигает регламентной наработки, тогда как часть операций выполняется преждевременно [14–16, 20, 42, 43].

Для насосов с переменной частотой вращения предлагаются частотно-зависимые пороги и порядковый анализ, позволяющие учитывать смещение спектра признаков при изменении режима [7–10, 30]. При этом классические подходы остаются рациональным выбором для насосов с постоянной частотой вращения, устойчивой работой вблизи точки оптимального КПД (ВЕР), достаточным резервированием и низкой стоимостью простоя, когда соблюдение допусков ISO и НІ и требований классификационных обществ обеспечивает приемлемый уровень контроля [7–9, 12, 13].

В условиях переменной скорости и изменяющихся режимов эксплуатации в публикациях преимущественно рассматривают обслуживание по фактическому состоянию и элементы прогнозирования ресурса как часть цифрового двойника при соблюдении метрологических требований и ограничений предпочтительного (POR) и допустимого (AOR) рабочих диапазонов [7–10, 28, 42].

Выводы

Обзор систематизирует нормативные требования и практику мониторинга надёжности судовых центробежных насосов при эксплуатации с постоянной и переменной частотой вращения, включая подходы к частотно-инвариантной обработке сигналов для ЧРП в порядковом анализе. Обобщены режимные отклонения относительно ВЕР и связанные с ними факторы риска, ранние признаки деградации по вибрационным и гидравлическим данным, а также опыт применения распределения Вейбулла и агрегированных ориентиров OREDA для оценки ресурса в соответствии с ISO 14224. На этой основе сформирована рамка индикаторов и двухэтапного подтверждения событий с сопоставлением со статическими схемами порогового контроля, которая может использоваться как методический базис для дальнейших прикладных исследований и реализации цифровых двойников насосных систем.

Библиографический список

1. DNV. Rules for Classification: Ships. Part 4: Systems and Components. Chapter 6: Piping Systems. Edition July 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://civamblog.files.wordpress.com/2016/11/ts406.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).
2. Российский морской регистр судоходства (РС). Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VIII «Системы и трубопроводы» и Ч. IX «Механизмы». Санкт-Петербург: РС, 2019. [Электронный ресурс]. URL:

<https://rs-class.org/upload/iblock/346/3460eb669fb1bcfc1df18bdafa737485.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).

3. International Maritime Organization (IMO). International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS). Consolidated Edition 2018. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.samgongustofa.is/media/english/SOLAS-Consolidated-Edition-2018.docx.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).

4. Lloyd's Register. Rules and Regulations for the Classification of Ships. Part 5, Chapter 12: Piping Design Requirements. [Электронный ресурс]. URL: https://www.imorules.com/LRSHIP_PT5_CH12.html (дата обращения: 21.11.2025).

5. Allianz Commercial. Safety & Shipping Review 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://commercial.allianz.com/content/dam/onemarketing/commercial/commercial/reports/Commercial-Safety-Shipping-Review-2024.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).

6. Allianz Commercial. Safety & Shipping Review 2025. [Электронный ресурс]. URL: <https://commercial.allianz.com/content/dam/onemarketing/commercial/commercial/reports/commercial-safety-shipping-review-2025.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).

7. ISO 10816-7:2009. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 7: Rotodynamic pumps for industrial applications, including measurements on rotating shafts. Geneva: ISO, 2009. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/41726.html> (дата обращения: 21.11.2025).

8. Hydraulic Institute. ANSI/HI 9.6.4-2022 — Rotodynamic Pumps for Vibration Measurements and Allowable Values. Parsippany, NJ: Hydraulic Institute, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pumps.org/product/ansi-hi-9-6-4-rotodynamic-pumps-for-vibration-measurement-and-allowable-values/> (дата обращения: 21.11.2025).

9. Hydraulic Institute. ANSI/HI 9.6.3-2024 — Rotodynamic Pumps — Guideline for Operating Regions. Parsippany, NJ: Hydraulic Institute, 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pumps.org/product/ansi-hi-9-6-3-rotodynamic-pumps-guideline-for-operating-regions/> (дата обращения: 21.11.2025).

10. ISO 13373-2:2016. Condition monitoring and diagnostics of machines — Vibration condition monitoring — Part 2: Processing, analysis and presentation of vibration data. Geneva: ISO, 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/68128.html> (дата обращения: 21.11.2025).

11. Hydraulic Institute. ANSI/HI 9.6.1-2017 — Rotodynamic Pumps — Guideline for NPSH Margin. Parsippany, NJ: Hydraulic Institute, 2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pumps.org/product/ansi-hi-9-6-1-2017-rotodynamic-pumps-guideline-for-npsh-margin/> (дата обращения: 21.11.2025).

12. ISO 9906:2012. Rotodynamic pumps — Hydraulic performance acceptance tests — Grades 1, 2 and 3. Geneva: ISO, 2012. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/41202.html> (дата обращения: 21.11.2025).
13. ГОСТ ISO 9906-2015. Насосы динамические. Гидравлические эксплуатационные приёмочные испытания. Степени 1, 2 и 3. М.: Стандартинформ, 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293754/4293754851.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).
14. NIST/SEMATECH. Dataplot Graphics Gallery: Weibull Plot. [Электронный ресурс]. URL: https://www.itl.nist.gov/div898/software/dataplot/gra_gall/weibullp.htm (дата обращения: 21.11.2025).
15. NIST. Engineering Statistics Handbook. 1.3.6.6.8. Weibull Distribution. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda3668.htm> (дата обращения: 21.11.2025).
16. ReliaSoft. The Weibull Distribution / Hazard Function. [Электронный ресурс]. URL: https://help.reliasoft.com/reference/life_data_analysis/lda/the_weibull_distribution.html (дата обращения: 21.11.2025).
17. Singh, D.; Suhane, A. Availability of Centrifugal Pump on the Basis of Weibull Analysis. International Journal of Science and Research. 2015. Т. 4, № 6. С. 378–380. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ijsr.net/archive/v4i7/SUB156295.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).
18. Sheikh, A. K.; Younas, M.; Al-Anazi, D. M. Weibull Analysis of Time Between Failures of Pumps Used in an Oil Refinery. Proc. 6th Saudi Engineering Conference. Dhahran: KFUPM, 2002. Vol. 4. P. 475–491. [Электронный ресурс]. URL: <https://faculty.kfupm.edu.sa/COE/sadiq/proceedings/SEC2002/vol4/P475.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).
19. Barringer & Associates. Weibull Reliability Database for Failure Data for Various Components. 06.04.2017. [Электронный ресурс]. URL: https://downloads.regulations.gov/EERE-2014-BT-STD-0048-0155/attachment_1.pdf (дата обращения: 21.11.2025).
20. OREDA Project. Offshore and Onshore Reliability Data Handbook. 6th ed. OREDA Participants, 2015. 2 vols. Также: OREDA@Cloud (Veracity by DNV), 2019–2025+. [Электронный ресурс]. URL: <https://store.veracity.com/oreda-cloud-offshore-onshore-reliability-data> (дата обращения: 21.11.2025).
21. Башуров Б. П., Носенко Е. С. Экспертно-статистическое исследование функциональной надежности центробежных насосов грузовых систем нефтеналивных судов // Судостроение. 2007. № 2. С. 37–39. [Электронный ресурс]. URL: https://sstc.spb.ru/upload/iblock/973/2007_2.pdf (дата обращения 21.11.2025).

22. Тормашев Д. С. Оценка технического состояния и прогнозирование функциональной надежности насосов систем судовых дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новороссийск, 2012. — 24 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dslib.net/sudov-energoustanovki/ocenka-tehnicheskogo-sostojaniya-i-prognozirovanie-funkcionalnoj-nadezhnosti-nasosov.htm> (дата обращения 21.11.2025).
23. Мосейко Е. С., Ольховик Е. О. Исследование надежности судовых насосов по данным технического наблюдения // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2021. № 4. С. 7–16. DOI 10.24143/2073-1574-2021-4-7-16. [Электронный ресурс]. URL: <https://vestnik.astu.org/temp/fe57d202e7ca61644c72ebdcc9168055.pdf> (дата обращения 21.11.2025).
24. Сергеев К. О., Панкратов А. А. Особенности безразборной диагностики судовых роторных насосов // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20, № 4. С. 681–690. DOI 10.21443/1560-9278-2017-20-4-681-690. [Электронный ресурс]. URL: https://vestnik.mauniver.ru/v20_4_n74/04_Sergeev_681-690.pdf (дата обращения 21.11.2025).
25. Dai C., Zhang Y., Pan Q., Dong L., Liu H. Study on Vibration Characteristics of Marine Centrifugal Pump Unit Excited by Different Excitation Sources // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. 9(3). Article 274. DOI 10.3390/jmse9030274. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.3390/jmse9030274> (дата обращения 21.11.2025).
26. Han Y., Zou J., Presas A., Luo Y., Yuan J. Off-Design Operation and Cavitation Detection in Centrifugal Pumps Using Vibration and Motor Stator Current Analyses // Sensors. 2024. 24(11). Article 3410. DOI 10.3390/s24113410. [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.3390/s24113410> (дата обращения 21.11.2025).
27. Lu Y., Tan L., et al. Experiment on Cavitation–Vibration Correlation of a Centrifugal Pump under Steady State and Start-Up Conditions in Energy Storage Station // Journal of Energy Storage. 2024. 83. Article 110763. DOI 10.1016/j.est.2024.110763. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X24003475> (дата обращения 21.11.2025).
28. ISO/IEC TR 30172:2023. Internet of Things (IoT) — Digital Twin — Use Cases. — Geneva: ISO/IEC JTC 1, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/81578.html> (дата обращения 21.11.2025).
29. Zhou S. W., Zhang L., Yang X., et al. Remaining Useful Life Prediction Method of Centrifugal Pump Rolling Bearings Based on Digital Twins // Scientific Reports. 2025. 15. Article 19513. DOI 10.1038/s41598-025-03952-2. [Электронный

ресурс]. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-03952-2> (дата обращения 21.11.2025).

30. He Y., Yao Y., Ou H. Status Recognition of Marine Centrifugal Pumps Based on a Stacked Sparse Auto-Encoder // *Applied Sciences*. 2024. 14(4). Article 1371. DOI 10.3390/app14041371. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1371> (дата обращения 21.11.2025).

31. Liberacki R. The possibilities of estimating the reliability of ship pipelines' elements including destructive phenomena acting on them. *Journal of Polish CIMAC*. 2014. Vol. 9, No. 2. P. 145–150. [Электронный ресурс]. URL: https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-924741b2-4ca6-4c8e-86e7-5fdaba71fe54/c/CIMAC_2014_9_2_013.pdf (дата обращения: 21.11.2025).

32. DNV. Tubes and piping are the most failure-prone components. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dnv.com/energy/services/laboratories-test-facilities/article/tubes-and-piping-are-the-most-failure-prone-components/> (дата обращения: 21.11.2025).

33. Chybowski L Gawdzińska K Laskowski R. Assessing the Unreliability of Systems during the Early Operation Period of a Ship—A Case Study. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2019. 7(7). Статья 213. DOI: 10.3390/jmse7070213. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/7/7/213> (дата обращения: 21.11.2025).

34. ISO 14224:2016. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Geneva: ISO, 2016. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/standard/64076.html> (дата обращения: 21.11.2025).

35. ГОСТ Р 55265.7-2012 (ИСО 10816-7:2009). Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 7. Насосы динамические промышленные (с поправкой ИУС № 1, 2015). М.: Стандартинформ, 2013. [

36. American Petroleum Institute. API Standard 610. Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical, and Natural Gas Industries. 12th ed. Washington, DC: API, 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://www.api.org/-/media/files/publications/2025-catalog/06_refining_2025.pdf (дата обращения: 21.11.2025).

37. DNV. Rules for Classification: Ships. Part 6: Additional Class Notations. Chapter 15: Vibration Class. 2011 (с изм. 2014). [Электронный ресурс]. URL: <https://civamblog.files.wordpress.com/2016/11/ts615.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).

38. American Bureau of Shipping (ABS). Guidance Notes on Ship Vibration. Houston: ABS, 2023. 93 p. [Электронный ресурс]. URL:

https://ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/conventional_ocean_service/147-guidance-notes-on-ship-vibration/147-ship-vibration-gn-sep-23.pdf (дата обращения: 21.11.2025).

39. Wang Y Li W He T Liu H Han C Zhu Z. Experimental Study on the Influence of Particle Diameter, Mass Concentration, and Impeller Material on the Wear Performance of Solid–Liquid Two-Phase Centrifugal Pump Blade. *Frontiers in Energy Research*. 2022. 10. Статья 893385. DOI: 10.3389/fenrg.2022.893385. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2022.893385/full> (дата обращения: 21.11.2025).

40. Zhao R-J Zhao Y-L Zhang D-S Li Y Geng L-L. Numerical Investigation of the Characteristics of Erosion in a Centrifugal Pump for Transporting Dilute Particle-Laden Flows. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021. 9(9). Статья 961. DOI: 10.3390/jmse9090961. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/9/9/961> (дата обращения: 21.11.2025).

41. ГОСТ Р ИСО 13373-2-2009 (переизд. март 2019). Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 2. Обработка, анализ и представление результатов измерений вибрации. М.: Стандартинформ, 2019. 36 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200077664> (дата обращения: 21.11.2025).

42. U.S. Department of Energy, FEMP. Operations & Maintenance Best Practices: A Guide to Achieving Operational Efficiency. Release 3.0. Washington, DC: DOE FEMP, 2010. [Электронный ресурс]. URL: <https://www1.eere.energy.gov/femp/pdfs/OandM.pdf> (дата обращения: 21.11.2025).

43. Budimir D Medić D Ružić V Kulej M. Integrated Approach to Marine Engine Maintenance Optimization: Weibull Analysis, Markov Chains, and DEA Model. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2025. 13(4). Статья 798. DOI: 10.3390/jmse13040798. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2077-1312/13/4/798> (дата обращения: 21.11.2025).

ПЛАВАЮЩАЯ И ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМАЯ МОДЕЛЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЛЁДОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ И ПРОБЛЕМ

Нестеров Олег Юрьевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: olegnesterov-1972@mail.ru

Иванов Александр Николаевич

старший преподаватель

E-mail: ANIvanov-mail.sevsu.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

FLOATING AND REMOTELY CONTROLLED INSTALLATION MODEL FOR SOLVING ICE ENGINEERING TASKS AND PROBLEMS

Nesterov Oleg

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivanov Alexander

Senior lecturer

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Sevastopol
State University", 33 Universitetskaya St., Sevastopol, 299053*

АННОТАЦИЯ. Статья посвящена решению актуальной задачи разрушения и плавления льда для обеспечения безопасности судоходства в полярных регионах. Для разработки эффективного рабочего органа ледорезного модуля установки подготовки причала проведён сравнительный анализ инструментов. Показана нецелесообразность использования длинных вращающихся ножей из-за вибрации и высокого энергопотребления. На основании экспериментальных данных обоснована эффективность применения нагретых режущих дисков с оптимальными геометрическими параметрами. Предложена конструкция комбинированного инструмента, состоящего из набора дисковых пил и коротких ножей, которая позволяет уменьшить вес, количество дисков и энергозатраты, обеспечивая при этом полное измельчение льда без остатков между пропилами. Результаты предварительных испытаний подтверждают работоспособность концепции одновременного резания нагретыми дисками и плавления ледяной шуги инфракрасным излучением.

Ключевые слова: ледотехника, разрушение льда, размельчение льда, плавление льда, инфракрасный нагрев, режущий диск, ледорезный инструмент, подготовка причала, безопасная швартовка, ледовые условия.

ABSTRACT. The article addresses the urgent task of ice destruction and melting to ensure navigation safety in polar regions. For the development of an efficient working body for an ice-cutting module of a berth preparation unit, a comparative analysis of tools was conducted. The inexpediency of using

long rotating knives due to vibration and high energy consumption is demonstrated. Based on experimental data, the effectiveness of using heated cutting discs with optimal geometric parameters is substantiated. An innovative design of a combined tool is proposed, consisting of a set of circular saws and short knives, which reduces weight, the number of discs, and energy consumption while ensuring complete ice crushing without residues between cuts. The results of preliminary tests confirm the viability of the concept of simultaneous cutting with heated discs and melting of ice slush by infrared radiation.

Keywords: ice engineering, ice destruction, ice crushing, ice melting, infrared heating, cutting disc, ice-cutting tool, berth preparation, safe mooring, ice conditions.

Введение

В ледотехнике проблема разрушения, размельчения и плавления льда является одной из наиболее актуальных: с ней связано решение многих задач в полярных областях Земли и в замерзающих морях и реках для безопасного судоходства.

Поэтому разрушение, размельчение и плавление льда является комплексной задачей лежащей на стыке физики твёрдого тела, механики сплошных сред и материаловедения.

Лёд обладает различными аномалиями, которые объясняются наличием в нём одновременно твёрдой, жидкой и газообразной фаз. Даже небольшие колебания температуры приводят к изменению соотношений этих фаз и как следствие к изменению физико-механических свойств льда. При проектировании необходимо учитывать тот факт, что при значительной отрицательной температуре воздуха узкие щели, пропиливаемые машинами во льду, очень быстро снова смыкаются, и лёд смерзается, восстанавливая свою первоначальную способность сопротивляться прикладываемой нагрузке.

Тепловой поток инфракрасного излучения различной длины волны направленный на лёд изменяет его физические свойства. Меньшая длина волны инфракрасного излучения, направленного на лёд непрозрачна для него, и энергия излучения выделяется на поверхности, размягчая и плавя его. Пик прозрачности для инфракрасного излучения находится в диапазоне от 4 до 6 мкм (в соответствии с рисунком 1).

В этом диапазоне внутренняя часть льда размягчается и лёд становится более пластичным и хрупкость его ухудшается. Поэтому наиболее целесообразно поддерживать тепловой поток на лёд и режущие диски в диапазоне температур: $500^{\circ} - 600^{\circ}\text{C}$, в зависимости от температуры окружающей среды.

В результате проведённых экспериментов было выяснено, что наиболее целесообразно для разрушения льда использовать режущие диски или фрезы, а

не длинные вращающиеся ножи (4шт.), которые создавали вибрацию при ударе об лёд и при увеличении силы давления устройства с ножами на лёд и увеличения количества оборотов (1500 – 3000об/мин) затрачивалось больше электроэнергии. При разработке режущего и размельчающего инструмента для модуля установки подготовки причала для безопасной швартовки судна в ледовых условиях были проведены практические эксперименты для определения оптимального расстояния между режущими и размельчающими лёд дисками, при которых между пропилами отсутствует лёд (в соответствии с рисунком 2).

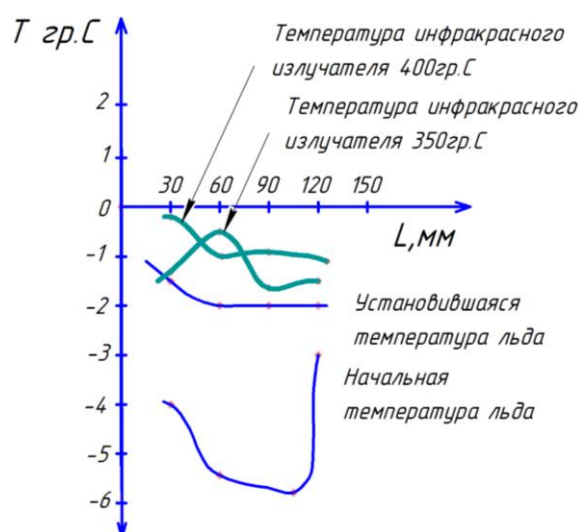


Рисунок 1 – Влияние инфракрасного излучения на лёд (L – длина испытываемого льда)

Таблица 1 – Зависимость геометрических характеристик инструмента и ширины пропилов

Расстояние между режущими дисками, мм	15	6	3
Ширина льда между пропилами, мм	11	2	0

Новые задачи, связанные с преобразованием такого сложного материала, как лёд в заданную фазу требуют комплексного подхода использования различных методов, технических средств и технологий. Разрушение любого твердого тела в первую очередь связано с понятием о его прочности – свойством материала разрушаться в определенных условиях и пределах, воспринимая различные механические нагрузки и воздействия физических полей. Прочность льда, в частности, в значительной степени зависит от многообразия его структурных особенностей. На прочность льда сильно влияют внешние условия

– характер нагрузок, тепловой режим, агрессивность окружающей среды, поверхностные эффекты и т. д.

Особенность льда по сравнению с другими материалами заключается в том, что в естественных условиях лед находится при температуре, близкой к температуре плавления, не вступает в химическое взаимодействие с примесями и имеет сравнительно крупнокристаллическую структуру. Исследования показывают, что лед обладает низким пределом упругости и даже при малых нагрузках обнаруживает ярко выраженные свойства, проявляющиеся в виде снижения во времени прочности, релаксации напряжений и развития деформаций ползучести.



Рисунок 2 – Испытания для определения оптимального расстояния между режущими дисками при отсутствии нагрева

Номинальный ток электродвигателя (600 Вт, 220 В, 1470 об/мин):

$$I_n = 2,6 \text{ А при } V = 1 \text{ мм/с.}$$

Номинальный ток электродвигателя: $I_n = 6 \text{ А при } V = 2 \text{ мм/с.}$

Глубина пропила – 50мм. Количество дисков – 6шт. Температура льда: - 20 °С.

Диаметр режущих дисков: 200 мм. Толщина диска 2,5 мм

Вследствие многообразия факторов, определяющих физические свойства льда, данные по его прочностным характеристикам, полученные исследователями многих стран по результатам многих тысяч экспериментов диапазон значений. Например, прочность на сжатие изменяется примерно от $4 \cdot 10^5$ до $130 \cdot 10^5$ Па (и даже больше), а прочность на изгиб – от $3 \cdot 10^5$ до $30 \cdot 10^5$ Па. У дисковой фрезы в начальный момент, когда толщина стружки еще не велика, усилие резания направлено поперек кристаллов далее, когда толщина стружки достигает максимальных размеров, резание происходит в наиболее благоприятном с точки зрения сопротивления льда направлении (δ срез. = 0,34 МПа) [3].

Оптимальный угол атаки зубьев у дисков 400 (угол заострения 300) должен быть направлен по ходу вращения нагретых дисков таким образом, чтобы размельчённый лёд с шугой и водой выбрасывался в устройство с индукционным нагревателем, всасываясь воздухом от компрессора для преобразования льда и шуги в жидкую фазу с положительной температурой.

Идея конструкции нового, инструмента (в соответствии с рисунком 3), для размельчения льда, установки подготовки причала, разработана с целью уменьшения веса, энергетических затрат и стоимости модуля машины за счёт уменьшения количества режущих дисков и использования коротких ножей, расположенных между режущими дисками.

Новый инструмент для размельчения льда состоит из набора стальных дисковых пил, соединённых с помощью множества режущих стальных ножей. Вся конструкция, в зависимости от заданной длины, закреплена на вращающемся валу с регулируемой скоростью вращения. Принцип работы инструмента заключается в распиливании и размельчении льда, торосов и шуги на заданную глубину и ширину стальными разведёнными пилами и ножами для облегчения реза льда ножами малой длины.

Конструкция данного инструмента позволяет получить результат по размельчению поля льда и шуги без остатков льда между пилами, в ледовых условиях, с меньшим весом рабочего органа модуля, с меньшим количеством дисков, с меньшими затратами электроэнергии, и направлять их движение в устройство для плавления размельчённого льда, шуги и стока воды, в очищаемый фарватер (в соответствии с рисунком 4). Инструмент может использоваться как в стационарных, так и в подвижных ледорезных машинах и установках.

На в соответствии с рисунком 4 представлен эскиз идеи плавающей установки, предназначенной для подготовки причала в ледовых условиях [4].

Для изготовления инструмента резания и измельчения льда и шуги планировалось использовать фрезы дисковые 400x2,8/2,2x30, $z = 42$ или D500 d50 $z = 72$ дисковая пила с победитом.

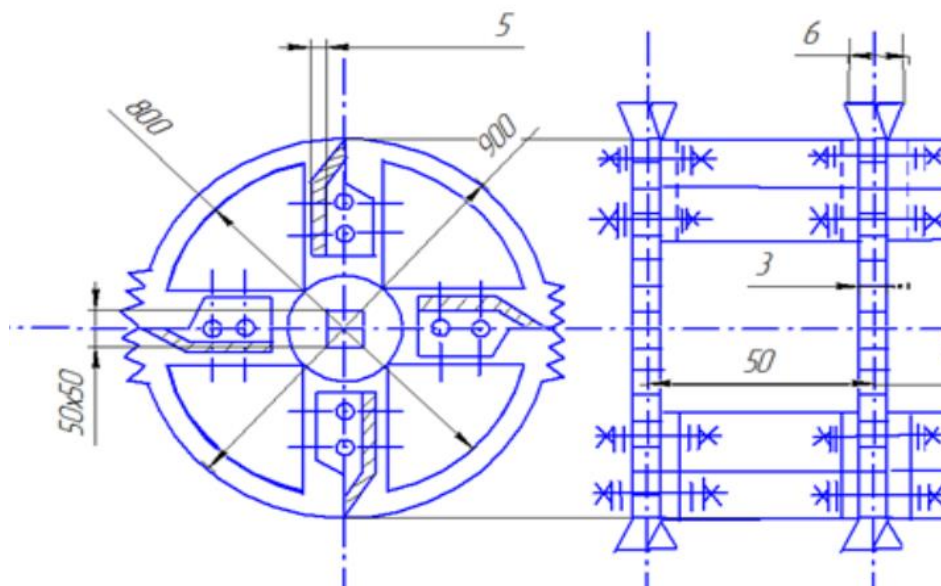


Рисунок 3 – Инструмент для резания и размельчения льда (размеры – для справок)

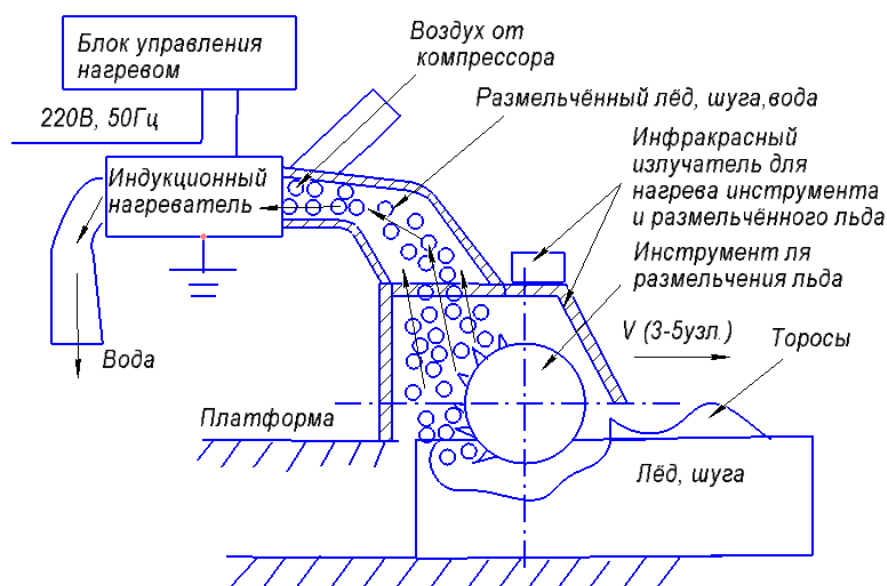


Рисунок 4 – Модуль 3 устройства размельчения и плавления льда

Выводы

Предварительные лабораторные и натурные испытания, изготовленной модели, дали положительные результаты комплексного и одновременного использования общего нагрева режущих дисков и поля льда под ними. При движении модели лёд распиливался, ледяная стружка выбрасывалась дисками на

инфракрасный нагреватель и с него вода стекала в образующийся фарватер (в соответствии с рисунком 5).

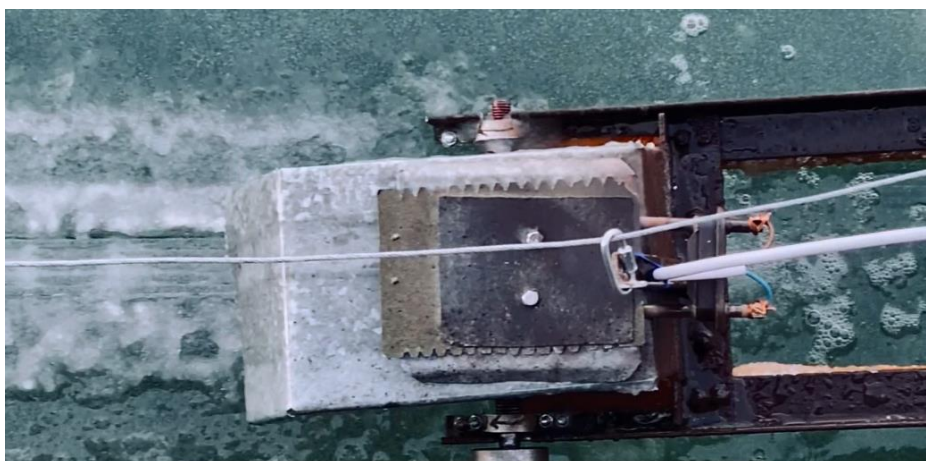


Рисунок 5 – Испытания модуля

Библиографический список

1. В. В. Богородский, В.П. Гаврало, О.А. Недошивин. Разрушение льда. Методы, Технические средства. Л. Гидрометеиздат, 1983.
2. Иванов А.Н. Применение ледоизмельчительного устройства и инфракрасного излучения для работы способом «Тендем» с ледоколом / Носко А. С., Мирошниченко В.Д., Иванов А.Н. // Подготовка морских специалистов и перспективы развития современного флота: Материалы межвузовской студенческой научной конференции 22 марта 2019 р. – Мариуполь: АМИ НУ «ОМА», 2019. - С. 42-47.
3. А. Л. Малыгин. Выбор рациональных конструктивных параметров плавающих ледорезных машин. Нижний Новгород: НГТУ. Автореферат, 2010. – 20 с.
4. Иванов О. М., Нестеров О. Ю. Концепт установки для размельчения и плавления льда в акватории порта в ледовых условиях. Материалы Международной научно-практической конференции 23 марта 2021. – Мариуполь: АМИ НУ «ОМА», 2021. – 272 с. 61.

ОЦЕНКА НАЧАЛЬНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ПРИНЯТОМ ГРУЗЕ

Никитин Евгений Васильевич

доктор технических наук, профессор

E-mail: yvnik776@yandex.ru

*Федеральное государственное образовательное учреждение высшего военного
образования «Черноморское высшее военно-морское училище имени П.С.*

Нахимова»,

299053, г. Севастополь, ул. Дыбенко, 1

THE SHIP INITIAL STABILITY ASSESSMENT IN CONDITIONS OF INCOMPLETE INFORMATION ABOUT LOADED CARGO

Nikitin Yevgeny V.

Doctor of Technical Science, Professor

Federal State Educational Institution

of Higher Military Education “The Black Sea Naval College named after P.S.

Nakhimov”

Dybenko st., 1, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. Излагается новая методика опытно-расчетной проверки остойчивости судна после погрузки в условиях неполной информации о принятом грузе. Суть ее в том, что после погрузки перед выходом в море дополнительно проверяется и наращивается остойчивость судна путем последовательного заполнения жидким балластом низкорасположенных и симметричных цистерн. В процессе заполнения цистерн измеряется крен судна и его изменения, сравниваются расчетные и фактические значения углов крена, после чего определяются и уточняется диапазон возможных значений метацентрической высоты судна.

Ключевые слова: остойчивость судна, неполная информация о массо-габаритах принимаемого груза, проверка и расчет остойчивости, заполнение цистерн, измерения крена.

ABSTRACT. A new methodology is presented for the experimental calculation of the ship stability after loading a cargo in conditions of incomplete information about this cargo. Its essence is that after loading, before going to sea, the stability of the vessel is additionally checked and increased by sequentially filling low-lying and symmetrical tanks with liquid ballast. During the filling of the tanks, the heeling the ship and its changes are measured, the calculated and actual values of the heel angles are compared, after which the range of possible values of the metacentric height of the ship is determined and clarified.

Keywords: ship stability, incomplete information about the mass and dimensions of the cargo, stability check and calculation, filling of tanks, heel angle measurements.

В практике морских перевозок в условиях форс-мажорных обстоятельств (например, в условиях военного времени) иногда возникает ситуации, когда на судно загружаются нештатные грузы (техника, вооружение и т.п.), массогабаритные показатели которых известны весьма приблизительно. Зачастую из-за дефицита времени и необходимости обеспечения скрытности погрузка таких грузов осуществляется без предварительного грузового плана, при этом расчет показателей остойчивости, в том числе начальной метацентрической высоты корабля, осуществляется весьма приблизительно. В таких ситуациях целесообразно дополнительно проверять фактическую остойчивость судна, в том числе опытным путем.

В настоящее время известны два способа опытной проверки начальной остойчивости судна: это кренование судна и опыт свободных колебаний [1-5, 8]. Однако в данном случае оба из них имеют существенные недостатки. Кренование корабля требует хороших погодных условий, а также соблюдение целого ряда организационно-технических мероприятий, требующих значительных затрат времени. Кроме того, в процессе кренования начальная остойчивость судна не наращивается (увеличивается), а лишь уточняется.

Опыт свободных колебаний может давать значительную ошибку (завышая фактическое значение начальной остойчивости в несколько раз) особенно при условии, что начальная остойчивость корабля незначительна ($h_0 \leq 0,2$ м) [1, 2].

Исходя из вышеизложенного, целью данной статьи является разработка такой процедуры (методики) опытной проверки начальной остойчивости, при которой не происходило бы переваливание (или опрокидывание) корабля. Кроме того, в процессе проверки остойчивость корабля гарантированно увеличивалась бы его остойчивость.

С учетом сформулированной цели авторам представляется целесообразным проверять и наращивать остойчивость судна путем последовательного заполнения жидким балластом двух низкорасположенных цистерн, объем которых предварительно оценивается как снизу, так и сверху из соображений безопасности проведения процедуры, а также гарантированного достижения поставленной цели – оценки и наращивания остойчивости.

Конкретно, суть предлагаемой процедуры, следующая:

1. После погрузки всех грузов необходимо измерить начальный угол статического крена судна (θ_0), а также среднюю осадку (T_0), после чего по гидростатическим таблицам (кривым) можно оценить объемное водоизмещение судна (V_0), метацентрический радиус (r_0) и вес груза, увеличивающего осадку судна на 1 см (TPC_0). Необходимо также общепринятыми методами (несмотря

не полноту информации) оценить аппликату ЦТ судна после погрузки z_{G0} , а также произвести расчет метацентрической высоты судна по формуле:

$$h_0 = z_{C0} + r_0 - z_{G0}, \quad (1)$$

где z_{C0}, z_{G0} – аппликаты центра величины и ЦТ корабля после погрузки, м.

Полученное значение h_0 полагать верхней границей истинного (фактического) значения метацентрической высоты судна (h_ϕ), то есть принять, что:

$$h_0^{max} = h_0. \quad (2)$$

2. Наличие начального угла крена судна ($\theta_0 \neq 0$) рассматривать, как проявление пониженной (отрицательной) начальной остойчивости корабля. При этом расчет этой метацентрической высоты (принимаемой за нижнюю границу ее фактического значения: h_0^{min}) можно осуществить по формуле прямобортного судна [6, 7], а именно:

$$h_0^{min} = -\frac{1}{2} r_0 t g^2 \theta_0. \quad (3)$$

3. Оценить объем v цистерн, предполагаемых к заполнению балластом. Оценку такого объема сверху (v_{max}) можно сделать из соображений неопрокидывания судна в процессе их заполнения при условии, что начальная остойчивость судна соответствует отрицательному значению, вычисленному по формуле (3). Оценка снизу может быть сделана из тех соображений, что объем цистерн должен быть достаточен, чтобы после их заполнения остойчивость судна должна быть восстановлена до положительного значения. Исходя из вышеизложенного, а также опуская промежуточные математические выкладки, соотношение, которое определит допустимые границы объема заполняемых балластом цистерн, будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{V_0(r_0 t g^2 \theta_0)}{2(T_0 - z)} \leq v \leq \frac{V_0}{y} \left(h_0^{min} + \frac{1}{2} r_0 t g^2 \theta_{np} \right) t g \theta_{np}, \quad (4)$$

где y, z – поперечная и вертикальная координаты центров объема цистерн, м;

θ_{np} – предельно допустимый угол крена судна при заполнении первой цистерны, град. (Определяется из соображений безопасности. Например, можно руководствоваться правилами [8], которые устанавливают наименьшую высоту свободного борта судна (не менее 1,0 м) при его наклонениях в процессе работы судовых кранов).

Фактический объем (v) подобранных для заполнения цистерн не должен выходить за границы, определяемые из неравенств (4).

4. Для подобранных цистерн (их объема v и координат y, z) на основе прямобортной формулы могут быть записаны соответствующие уравнения, для

расчета плеча остойчивости судна от изменения угла крена (начальные участки диаграммы статической остойчивости), а именно:

а) для исходного состояния судна при нижнем и верхнем возможных значениях h_0^{min} и h_0^{max} :

$$l_{\theta}^{min} = \left(h_0^{min} + \frac{1}{2} r_0 \operatorname{tg}^2 \theta \right) \sin \theta, \quad (5)$$

$$l_{\theta}^{max} = \left(h_0^{max} + \frac{1}{2} r_0 \operatorname{tg}^2 \theta \right) \sin \theta - l_0 \cos \theta, \quad (6)$$

где $l_0 = \left(h_0 + \frac{1}{2} r_0 \operatorname{tg}^2 \theta_0 \right) \operatorname{tg} \theta_0$ – коэффициент, учитывающий величину смещения центра тяжести судна от диаметральной плоскости в исходном состоянии ($\theta_0 \neq 0$). Он определяется из условия, что плечо восстанавливающего момента судна при угле крена θ_0 должно быть равно нулю.

б) после заполнения первой цистерны:

$$l_{\theta 1}^{min} = \left(h_1^{min} + \frac{1}{2} r_0 \operatorname{tg}^2 \theta \right) \sin \theta - \delta l \cos \theta, \quad (7)$$

$$l_{\theta 1}^{max} = \left(h_1^{max} + \frac{1}{2} r_0 \operatorname{tg}^2 \theta \right) \sin \theta - \left[l_0 \left(\frac{V_0}{V_0 + v} \right) + \delta l \right] \cos \theta, \quad (8)$$

где $\delta l = \frac{vy}{V_0 + v}$ – плечо «кренящего» момента от заполнения 1-й цистерны, м;

с) после заполнения 2-й цистерны:

$$l_{\theta 2}^{min} = \left(h_2^{min} + \frac{1}{2} r_0 \operatorname{tg}^2 \theta \right) \sin \theta \quad (9)$$

$$l_{\theta 2}^{max} = \left(h_2^{max} + \frac{1}{2} r_0 \operatorname{tg}^2 \theta \right) \sin \theta - l_2 \cos \theta, \quad (10)$$

где $l_2 = l_0 \left(\frac{V_0}{V_0 + 2v} \right)$ – коэффициент, учитывающий величину первоначального смещения центра тяжести судна после заполнения обеих цистерн.

Значения метацентрических высот в выражениях (7 – 10) могут быть рассчитаны по соответствующим формулам изменения метацентрической высоты при приеме на судно малого груза, а именно:

$$h_1^{min} = h_0^{min} + \frac{v}{V_0 + v} \left(T_0 + \frac{\rho g v}{TPC_0} - h_0^{min} - z \right), \quad (11)$$

$$h_1^{max} = h_0^{max} + \frac{v}{V_0 + v} \left(T_0 + \frac{\rho g v}{TPC_0} - h_0^{max} - z \right), \quad (12)$$

$$h_2^{min} = h_1^{min} + \frac{v}{V_0 + v} \left(T_0 + \frac{\rho g v}{TPC_0} - h_1^{min} - z \right), \quad (13)$$

$$h_2^{max} = h_1^{max} + \frac{v}{V_0 + v} \left(T_0 + \frac{\rho g v}{TPC_0} - h_1^{max} - z \right). \quad (14)$$

5. Используя полученные выражения (5 – 14), можно заранее определить возможные значения углов крена судна при заполнении цистерн. А именно:

а) После заполнения 1-й цистерны углы крена судна должны лежать в пределах:

$$\theta_1^{max} = \arctg \left[\sqrt[3]{(-q_1^{max} + \sqrt{D_1^{max}})} + \sqrt[3]{(-q_1^{max} - \sqrt{D_1^{max}})} \right], \quad (15)$$

$$\theta_1^{min} = \arctg \left[\sqrt[3]{(-q_1^{min} + \sqrt{D_1^{min}})} + \sqrt[3]{(-q_1^{min} - \sqrt{D_1^{min}})} \right], \quad (16)$$

$$D_1^{max} = (q_1^{max})^2 + \left(\frac{2h_1^{max}}{3r_0} \right)^3, \quad (17)$$

$$q_1^{max} = -\frac{1}{r_0} \left(l_0 + \frac{vy}{V_0+v} \right), \quad (18)$$

$$D_1^{min} = (q_1^{min})^2 + \left(\frac{2h_1^{min}}{3r_0} \right)^3, \quad (19)$$

$$q_1^{min} = -\frac{vy}{r_0(V_0+v)}. \quad (20)$$

После заполнения 2-й цистерны:

$$\theta_2^{max} = \arctg \left[\sqrt[3]{(-q_2^{max} + \sqrt{D_2^{max}})} + \sqrt[3]{(-q_2^{max} - \sqrt{D_2^{max}})} \right], \quad (21)$$

$$\theta_2^{min} = 0^0, \quad (22)$$

$$D_2^{max} = (q_2^{max})^2 + \left(\frac{2h_2^{max}}{3r_0} \right)^3, \quad (23)$$

$$q_2^{max} = -\frac{l_0}{r_0 \left(1 + \frac{2v}{V_0} \right)}. \quad (24)$$

Выражения (15 – 22), то есть значения углов крена судна, получены путем решения уравнений (7 – 10) при условии, что соответствующие плечи моментов $(l_{\theta_1}^{min}, l_{\theta_1}^{max}, l_{\theta_2}^{min}, l_{\theta_2}^{max})$ равны нулю.

б) После заполнения балластом 1-й, а затем 2-й цистерн необходимо измерить фактический угол крена судна: θ_1 и θ_2 . Эти значения нужно сравнить с расчетными значениями. При этом, если:

$$\theta_1^{max} \leq \theta_1 \leq \theta_1^{min} \text{ и/или } 0 \leq \theta_2 \leq \theta_2^{max}, \quad (25)$$

то фактическая начальная остойчивость судна обеспечена, и его метацентрическая высота находится в пределах:

$$h_2^{min} \leq h_{факт} \leq h_2^{max}. \quad (26)$$

Если же неравенства (25) не выполняются, то это будет означать, что выбранные граничные значения метацентрической высоты (h_0^{min} , h_0^{max}) не соответствовали действительности. При этом, наиболее опасным для судна может быть случай, когда после заполнения 1-й цистерны угол крена судна больше расчетного: $\theta_1 > \theta_1^{min}$. По существу, это будет означать, что остойчивость судна (до балластировки) была хуже принятой нижней границы, то есть $h_{факт} < h_0^{min}$. Заполнение 2-й цистерны ситуацию улучшит по сравнению с исходной, однако полного восстановления остойчивости не произойдет, что потребует дополнительных мер.

Гораздо комфортней будет ситуация если $\theta_1 < \theta_1^{max}$, что будет означать, что исходная остойчивость судна выше установленной верхней границы: $h_{факт} > h_0^{max}$. Если при этом $\theta_2 \leq \theta_2^{max}$, то это значит, что фактическая остойчивость судна после балластировки больше расчетного значения h_2^{max} .

Для демонстрации возможностей предлагаемого подхода рассмотрен численный пример, суть которого в следующем. Судно после погрузки имеет среднюю осадку $T_0=4,5$ м и статический крен на правый борт $\theta_0 = 3^0$. Известны также водоизмещение судна $V_0 = 4877$ м³, метацентрический радиус $r_0 = 4,792$ м, аппликата центра величины $z_{C0} = 2,379$ м, а также вес груза, увеличивающего осадку судна на 1 см $TPC_0 = 12360 \frac{кН}{м}$ (все в соответствии с гидростатическими данными судна [7]). Приблизительно выполнена оценка метацентрической высоты $h_0^{max} = 0,40$ м, а также ее минимальное значение $h_0^{min} = -0,00658$ м, полученное по формуле (3). В соответствии с условиями (4) для двух симметричных цистерн с координатами $y=\pm 3,6$ м и $z=0,8$ м определены нижняя и верхняя границы их объема: $v=8,8 \div 114$ м³ ($\theta_{пр}=180$, удельный вес забортной воды: $\rho g = 1,025 \frac{тс}{м^3}$). Необходимо построить ДСО судна, оценить возможные углы крена и метацентрические высоты до и после заполнения балластом выбранных цистерн. Расчеты выполнить для граничных значений объемов цистерн (8,8 м³ и 114 м³).

Основные результаты наших расчетов представлены на рис. 1-3. Из рис.1 видно, что при объеме цистерн, соответствующем нижней границе (8,8м³) предлагаемый способ малоэффективен, так как конечная ДСО судна мало отличается от исходной. При этом крен судна после заполнения 1-й цистерны значителен ($\theta_1=4 \div 170$). Приращение остойчивости, в том числе метацентрической высоты судна, незначительно.

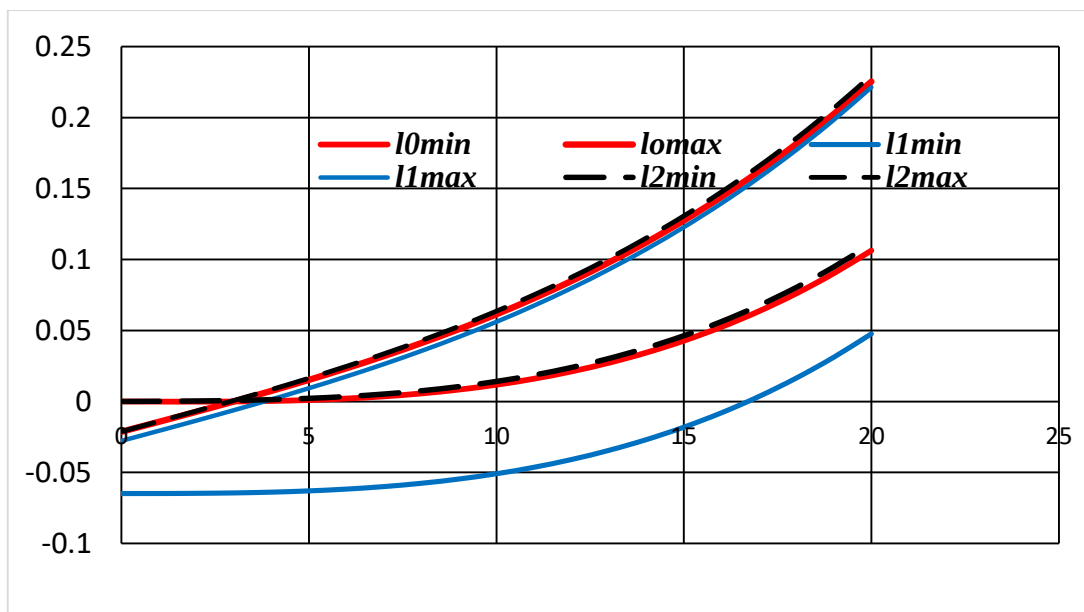


Рисунок 1 – Динамика изменения ДСО судна при заполнении цистерн ($v=8,8 \text{ м}^3$): l_{0min} , l_{0max} – до заполнения цистерн; l_{1min} , l_{1max} – после заполнения 1-й цистерны; l_{2min} , l_{2max} – после заполнения 2-й цистерны.

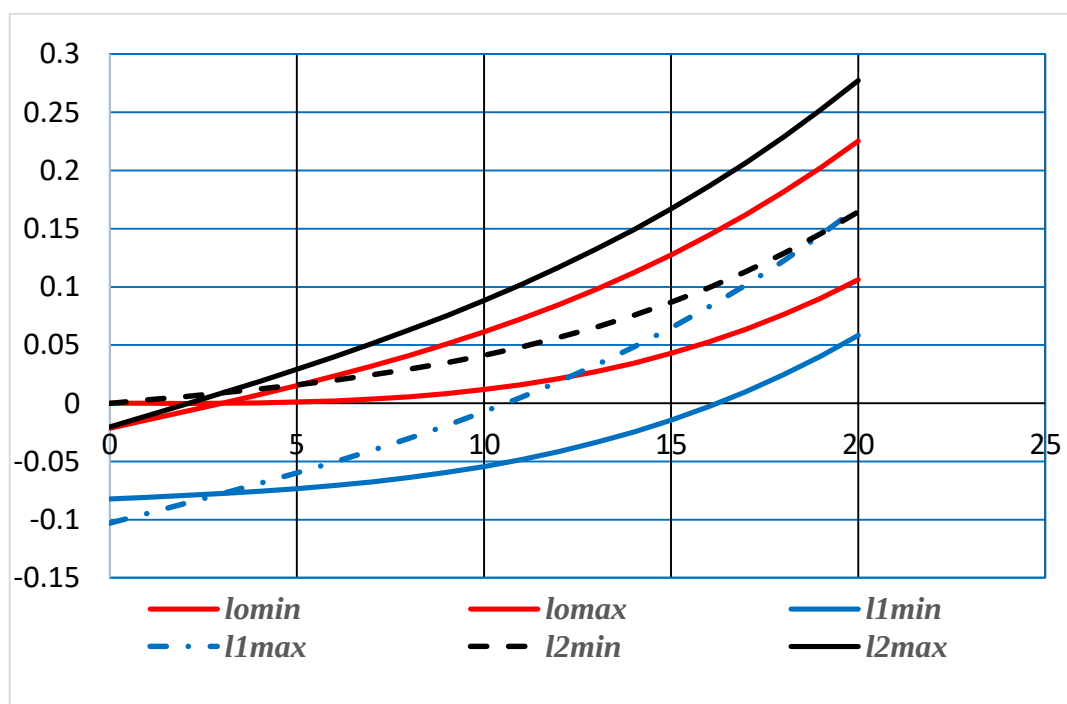


Рисунок 2 – Динамика изменения ДСО судна при заполнении цистерн ($v=114 \text{ м}^3$): l_{0min} , l_{0max} – до заполнения цистерн; l_{1min} , l_{1max} – после заполнения 1-й цистерны; l_{2min} , l_{2max} – после заполнения 2-й цистерны.

Иная ситуация если объем заполняемых цистерн соответствует верхней допустимой границе ($v = 114 \text{ м}^3$). Изменение остойчивости (ее восстановление и приращение) существенно больше. При этом накренение судна после заполнения 1-й цистерны так же, как и при малом объеме цистерн (рис.1) составляет 11-17°.

Рисунок 3 нам демонстрирует, что существенный прирост (восстановление) остойчивости происходит при относительно большом объеме цистерн, подлежащих заполнению.

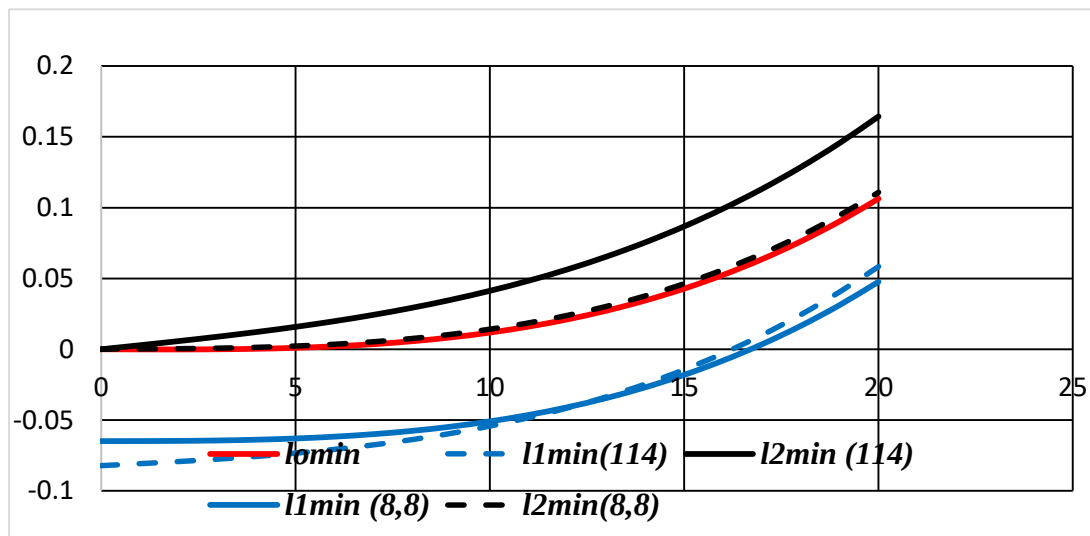


Рисунок 3 – Динамика изменения ДСО судна при заполнении цистерн для случая, когда изначально остойчивость соответствует нижней оценке ($h_0^{min} = -0,00658\text{м}$):

l_{0min} – до заполнения цистерн; $l_{1min}(114)$ – после заполнения 1-й цистерны ($v_1=114\text{м}^3$); $l_{1min}(8,8)$ – после заполнения 1-й цистерны ($v_1=8,8\text{м}^3$); $l_{2min}(114)$ – после заполнения 2-й цистерны ($v_2=114\text{м}^3$); $l_{2min}(8,8)$ – после заполнения 2-й цистерны ($v_2=8,8\text{м}^3$)

Выводы

1. Разработана методика оперативной (расчетно-опытной) проверки и восстановления начальной остойчивости судна в условиях неполной информации о принятом на борт грузе. В ее основе – процедура последовательного заполнения жидким балластом двух низкорасположенных и симметричных относительно диаметральной плоскости цистерн. В отличие от известных методик и способов предлагается не только измерять углы крена судна в процессе балластировки, но и заранее рассчитывать диапазоны их возможных значений, а также диапазоны значений метацентрической высоты, что существенно повышает безопасность всей процедуры проверки и наращивания остойчивости судна.

2. Приведен численный пример применения предложенной методики для многоцелевого судна [7], который показал:

а) если изначально фактическая остойчивость судна (его м.ц.в.) близка к нулю или отрицательна, то выбор цистерн небольшого объема для балластировки малоэффективен и не приводит к существенному наращиванию остойчивости;

б) лучший эффект как для оценки остойчивости судна, так и для ее наращивания дает выбор и заполнения балластом достаточно больших по объему и низкорасположенных цистерн;

3. Наиболее опасной является ситуация, когда в процессе заполнения 1-й цистерны крен судна может стать больше установленного предела ($\theta_{пр}$). В этом случае дальнейший прием балласта в эту цистерну следует прекратить, а судно необходимо выровнять любым безопасным способом. (Например, путем откачки воды из 1-й цистерны.)

4. Основное преимущество предлагаемого подхода расчетно-опытной проверки остойчивости – это возможность заранее рассчитать и проверить несколько возможных вариантов размера и расположения цистерн, при этом, выбрать наиболее подходящий, и только после этого осуществить процедуру балластировки его на практике.

Библиографический список

1. Сизов В.Г. Теория корабля. Учебник. – Изд.4-е, пер. и доп. М.: Транслит, 2014, с. 95-100.
2. Мельник В.Н. Эксплуатационные расчеты мореходных характеристик судна. М.: Транспорт, 1990. – 28-50.
3. Дорогостайский Д.В., Жученко М.М., Мальцев Н.Я. Теория и устройство судна. Судостроение. Л.:1976, с. 178-187.
4. Пат. RU 2 240 254 C1 Российской Федерации, МПК В63В 39/00 Способ определения метацентрической высоты судна и система для его осуществления/ В.Е. Салов, А.А. Финогенов, Д.Ю. Холодов; Патентообладатели: ЗАО "Судовые системы" (RU) – 2003138261/11, 24.12.2003; опубл. 20.11.2004.
5. Пат. RU 2 405 712 C1 Российской Федерации, МПК В63В 39/14 Способ контроля остойчивости судна/Ю.И.Нечаев, В.В.Ярисов; Патентообладатели: Ю.И. Нечаев, В.В. Ярисов – 2009117935/11; заявл. 12.05.2009; опубл. 10.12.2010.
6. Rawson K.J., Tupper E.C. Basic Ship Theory: volume 1, London & New York: Longman. 1976. – pp. 101-138.
7. Никитин Е.В. Оценка посадки и остойчивости судна в условиях эксплуатации. /на русск. и англ. языках. Севастополь: Академия ВМС им. П.С. Нахимова, 2011.—с. 316-317.
8. Международный кодекс остойчивости судов в неповрежденном состоянии 2008 года (Кодекс ОНС 2008 года) (Одобен Резолюцией MSC.267(85) (с изменениями на 5 июня 2015 года). <http://docs.cntd.ru/document/499028808>

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РОТАЦИОННЫХ ФОРСУНОК СУДОВОГО ПАРОВОГО КОТЛА

Очеретяный Владимир Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

Куличенко Никита Олегович

студент

E-mail: ivanovivan@gmail.com

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF ROTATIONAL NOZZLES FOR MARINE STEAM BOILERS

Ocheretyaniy, Vladimir Anatolyevich

Candidate of Technical Science, Assistant Professor

Kulichenko Nikita Olegovich

Student

*Federal State Educational Institution
of Higher Education "Sevastopol State University"
Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053*

АННОТАЦИ. Рассматриваются широко используемые на судовых котлах ротационные форсунки. Представлена их сравнительная оценка по тонкости распыливания, глубине регулирования, шумности. Приведен анализ конструктивных особенностей ротационных форсунок, в частности способов подачи топлива на вращающийся стакан. Предложены меры по совершенствованию форсунок с точки зрения повышения их надежности и упрощения технической эксплуатации.

Ключевые слова: ротационная форсунка, вращающийся стакан, тонкость распыливания.

ABSTRACT. The paper discusses rotary nozzles, which are widely used in marine boilers. It provides a comparative assessment of these nozzles based on their atomization, control depth, and noise level. The paper also analyzes the design features of rotary nozzles, including the methods of fuel supply to the rotating cup. The paper suggests improvements to rotary nozzles to enhance their reliability and simplify their maintenance.

Keywords: rotary nozzle, rotating cup, spray fineness.

Введение

Основная задача топочного устройства, как совокупности форсунки, воздух направляющего устройства, воздушных шибров и стабилизатора – обеспечение полного сгорания топлива при минимальных (не превышающих

нормативных) выбросов вредных веществ в атмосферы. При этом должны выполняться стандартные требования высокая эффективность, минимальные массогабаритные параметры и несложность обслуживания [1, 2].

Конструкция форсунок или горелочных устройств очень разнообразная, так как процессы горения, в конечном итоге – распыливания широко применяются не только на морском транспорте, но и в стационарной и коммунальной энергетике [3, 4].

Вращающиеся форсунки нашли свое применение в первой половине XX века [5]. Основные причины их реализации: удовлетворительное качество распыливания и пониженные требования по чистоте топлива. И в настоящее время второе требование достаточно актуально для обслуживающего персонала, так как наличие значительного количества точных малоразмерных каналов, например, у механических форсунок, вызывают значительные затраты времени на достижение необходимой чистоты топлива и центробежных каналов.

На рисунке 1 представлена типовая ротационная форсунка, широко применяющаяся на судах с паросиловой или паротурбинной главной энергетической установкой [5].

Типовой диаметр вращающегося стакана 100...140 мм, частота вращения 4000...5000 мин⁻¹.

На рисунке 1 топливо вязкостью 12-40 сСт через шарнирный трубопровод 1 подается во вращающийся топливопровод 1, из которого подается на внутреннюю полость вращающегося совместно с валом конического стакана 19. Центробежные силы и коническая поверхность стакана обеспечивают необходимую толщину топливной пленки, срывающейся с кромки стакана 19. Для достижения требуемой дисперсности топлива сформирован специальный кольцевой канал, в который воздушным компрессором 14 подается распыливающий воздух 18. Вращение вала обеспечивается электродвигателем 9 с мультипликаторной ременной передачей 10.

Ротационные форсуночные агрегаты отличаются достаточной сложностью и, соответственно, стоимостью. Однако в конструкциях современных судовых котлов весомую роль занимают именно форсунки с данным способом распыливания [6]. Ниже рассматриваются тенденции развития вращающихся ротационных форсунок.

Современные ротационные форсуночные агрегаты

Тенденция к агрегатированию сложных устройств не обошла и форсуночные устройства. На рисунке 1 форсуночное устройство имело два привода подачи воздуха – для дробления топлива применялся воздушный компрессор, а подача воздуха для горения обеспечивалась внешним вентилятором (на рисунке не показан). Ведущие лидеры отрасли судового

котлостроения не отказались от использования воздушного компрессора для подачи распыливающего воздуха. Так в форсуночном агрегате SKV/SKVG-A [7] фирма Saaske использует приводимый компрессор для разбивания топлива на мелкие капли. Мировой опыт показывает, что для полного сгорания топлива достаточен диаметр капель в диапазоне 100...500 мкм. Однако это обеспечивается при необходимом подогреве топлива, воздуха, смесеобразования в топке, высоком температурном фоне вдоль оси факела. Поэтому производители судовых котлов ориентируются на достижение размеров капель в интервале 60...200 мкм [8].

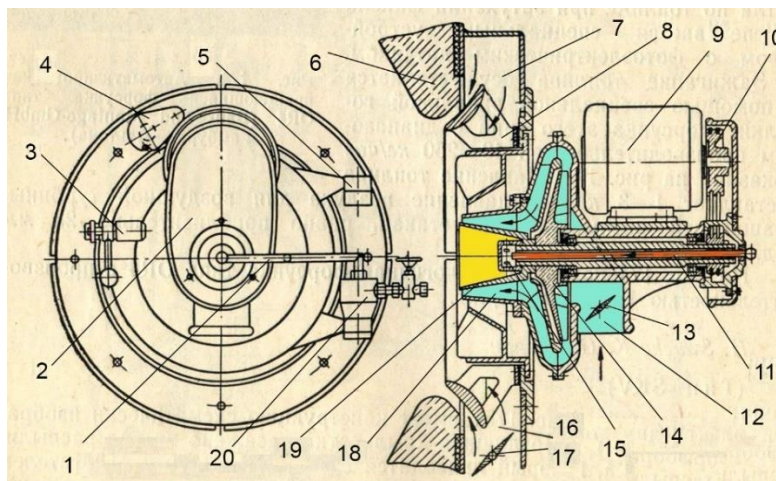


Рисунок 1 – Устройство типовой ротационной форсунки

1 – шарнирный топливопровод; 2 – кожух привода; 3 – затвор; 4 – глазок; 5 – петля; 6 – фурменный кирпич; 7, 8, 12, 16 – канал для подвода воздуха для горения и распыливания; 9 – электродвигатель; 10 – ременная передача; 11 – вращающийся топливопровод; 13, 17 – поворотные регулируемые шиберы; 14 – воздушный компрессор; 15 – отверстия для подачи топлива; 18 – кольцевой канал для подачи распыливающего воздуха; 19 – вращающийся стакан; 20 – регулятор подачи топлива

На рисунке 2 представлен общий вид расположения ротационного топчного устройстве на фронте котла. Данное топчное устройство производительностью 134 кг/ч позволяет использовать два вида топлива: жидкое и газообразное. Стандартно, на этом автоматизированном устройстве предусмотрен автоматическая регулировка расхода топлива (в зависимости от режима работы) и объема подаваемого воздуха как для горения, так и для распыливания. Глубина регулирования агрегата 8,5. Давление воздуха для горения 2000 Па, давление воздуха для распыливания 5000 Па.

На рисунке 3 схематически представлена подача воздуха на распыливание и горение топлива. Как видно из рисунка 3 воздух для распыливания топлива (в объеме 10...20 % от суммарного) полагается приводным воздушным компрессором центробежного типа 6. Воздух для горения подается двумя волнами: через стабилизатор 7, обеспечивающий струйную подачу воздуха к

горящему факелу и завихренный 8 для формирования формы и устойчивости факела.

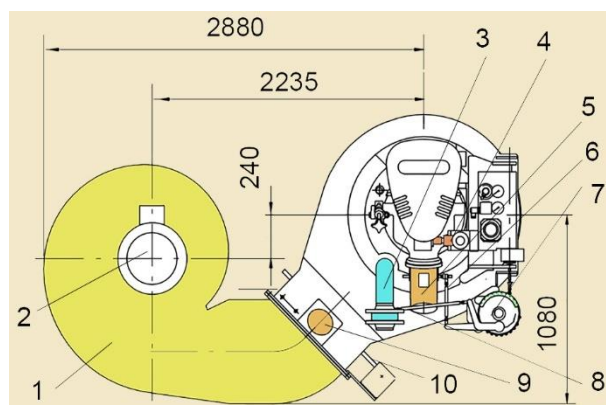


Рисунок 2 – Расположение форсуночного агрегата на фронте котла

1 – вентилятор; 2 – электродвигатель; 3 – подвод газообразного топлива; 4 – подвод жидкого топлива; 5 – подвод воздуха для распыливания; 6, 8 – тяги для управления воздушными шиберами; 7 – командоаппарат зависимости топливо-воздуха; 9 – отвод воздуха на распыливание; 10 – привод шибера регулирования объема воздуха для горения

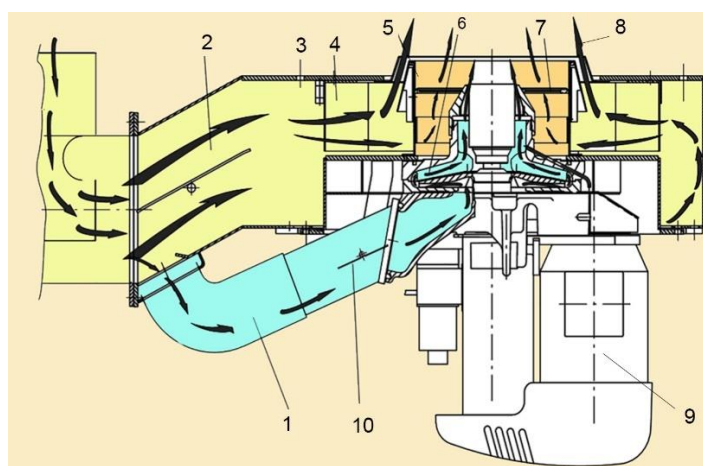


Рисунок 3 – Схема подачи воздуха на форсуночный агрегат

1 – подача воздуха на распыливание; 2 – подача воздуха на горение; 3 – воздушный короб; 4 – пред фурменный короб; 5 – подача воздуха к корню факела; 6 – компрессор; 7 – стабилизатор; 8 – подача завихренного воздуха для стабилизации факела; 9 – электродвигатель; 10 – шибер

Размер образующихся капель зависит от различных свойств жидкости, в частности от как плотность, давления, вязкости и поверхностного натяжения среды. Изучение вопросов достижения малых или заданных размеров изучено достаточно широко [9, 10]. Известен критерий Вебера, характеризующий способность капли к дроблению. При высоких значениях вращательного числа Вебера капля теряет устойчивость и разрушается [11]:

$$We = \frac{\rho \cdot L^3 \cdot \omega^2}{\sigma},$$

где – плотность среды, кг/м^3 ; L – характерный размер, м; ω – угловая скорость, с^{-1} ; σ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

Распад капель происходит в том случае, если число Вебера больше критического значения $W > W_{\text{кр}}$.

При достижении необходимой частоты вращения достигается слабая устойчивость капель при срыве с края вращающегося стакана, и тогда можно избежать применения большого воздушного компрессора.

На рисунке 4 представлено устройство механической части ротационной форсуночного агрегата MPR-1222 компании Sunflame, Япония.

Топливо с подпором до 0,15 МПа подается по гибкому шлангу 7 в трубопровод 16. Неподвижный топливный трубопровод расположен в коаксиально установленных цилиндрических направляющих 15 и 25. В кольцевой зазор 14 подается воздух для распыливания топлива, срывающегося с кромки вращающегося стакана 21. Для направления воздуха на наружном корпусе 15 установлены направляющие лопатки 22. Вращающийся стакан 21 посредством гильзы 20 крепится на валу 2. Вал установлен во внутреннем корпусе 25 на двух

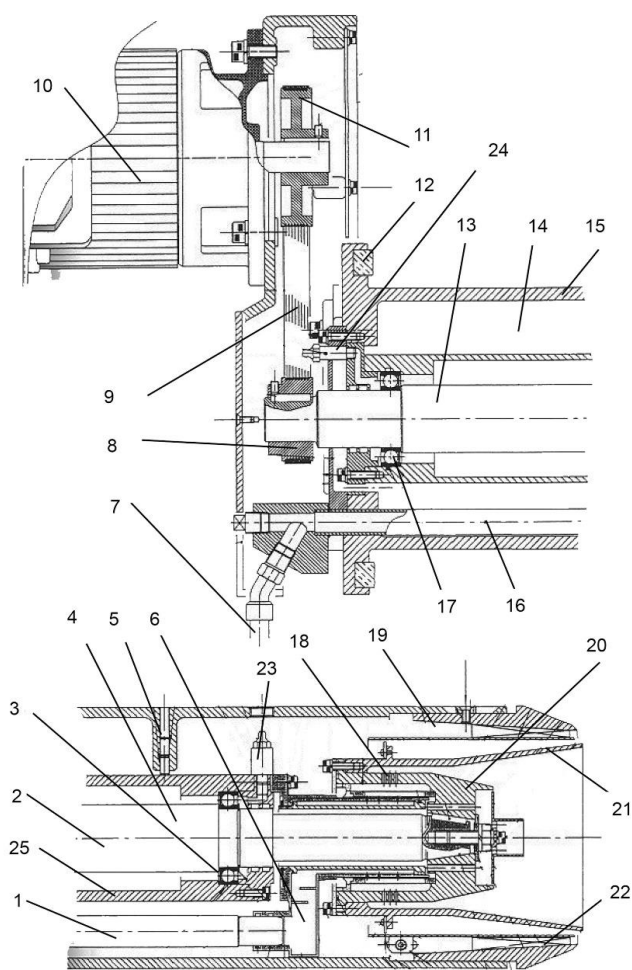
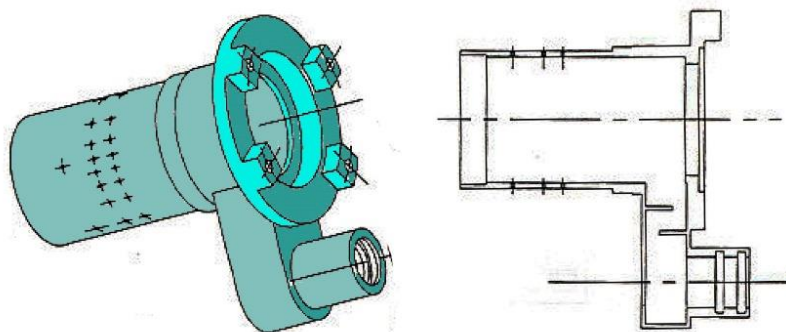


Рисунок 4 – Механическая часть ротационной бескомпрессорной форсунки

подшипниках. Смазка подшипников осуществляется посредством пресс-масленок 23 и 24. Из трубопровода 1 топливо поступает герметичный объем 6, из которого выдавливается на внутреннюю поверхность гильзы 20. За счет центробежных сил топливо с вязкостью 12...40 сСт поступает через расположенные на обертке гильзы отверстия 18 на внутреннюю поверхность вращающегося стакана, откуда поступает на распыливание и горение в топке котла. Частота вращения стакана 6000...9000 мин^{-1} . Вращения приводной вал 13 осуществляется электродвигателем 10 посредством ременной передачи. Передача состоит из ведущего шкива 11, ведомого 8 и поликлинового ремня.

Отсутствие вращающегося топливопровода, автономного воздушного компрессора существенно упрощает конструкцию устройства. Вал установлен на двух радиальных шарикоподшипниках. Небольшое количество подвижных элементов существенно упрощает конструкцию агрегата. Интересное решение представляет собой топливный приемно-распределительный элемент сложной форсы (рисунок 5). Полученный методом прецизионного литья играет важную



роль в равномерной подаче топлива на распыливающий стакан.

Ротационные форсуночные агрегаты не содержат прецизионных

Рисунок 5 – Приемно-распределительный топливный элемент

сопловых аппаратов, топливных насосов

высокого давления, фильтров тонкой очистки. В этих устройствах возможна подача топлива за счет простого подпора. Однако, для управления подачей топлива в современных форсуночных агрегатах топливные насосы создают давление 0,1...0,3 МПа. Простым изменением расхода топлива обеспечивается глубокое регулирование (до 10) по производительности.

Ротационные форсуночные агрегаты чувствительны к неравномерности подачи топлива на стенку стакана, которая в пределах нахождения топливного элемента в стакане слабо усредняется. Это приводит к нарушению симметрии факела, его пульсации. Появляющиеся при этом радиальные микровибрации стакана могут ухудшить процессы горения.

Выводы

Доля ротационных форсуночных агрегатов продолжает увеличиваться. Среди основных причин этому – почти полное отсутствие деталей, подвергаемых различного вида коррозии и износа, малая чувствительность к чистоте топлива и значительная глубина регулирования. Среди путей развития, связанных с повышением надежности составляющих элементов – упрощение привода вращающегося стакана путем изъятия ременной передачи, применение встраиваемых тепловых элементов для прогрева корпуса агрегата и др.

Библиографический список

- 1 Российский морской регистр судоходства. Часть X. Котлы, теплообменные аппараты и сосуды под давлением. URL:

<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293757/4293757699.pdf> (дата обращения 24.11.2025). – Текст: электронный.

2 ГОСТ 23689-79. Форсунки механические и паромеханические типы и основные параметры. общие технические требования URL: https://rosgosts.ru/file/gost/27/060/gost_23689-79.pdf (дата обращения 24.11.2025).

3 Винтовкин А.А. Современные горелочные устройства. Справочник / А.А. Винтовкин и др. – М. : Машиностроение. 2001. – 497 с.

4 Nozzles, nozzle system and droplet separations for the shipbuilding industry. Catalogo Lechler Industria Navier. URL: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87270/Catalogo-Lechler-Industria-Naviera.pdf (дата обращения 24.11.2025). – Текст: электронный.

5 Иллиес Курт. Судовые котлы. Том 1. Проектирование / Курт Иллиес. – Л. ГСИСП. 1963. – 306 с.

6 Шерстнев Н. В. Обслуживание и ремонт судовых котлов : учебное пособие / Н. В. Шерстнев. – М. : ИНФРА-М. 2023. – 497 с.

7 Compact burner SKV-A. Technical information/ Technical documentation Saacke Gmbh&Co. KG,Bremen. Germany. 2003. – 98с.

8 Хряпченков А. С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы : учебное пособие / А. С. Хряпченков. – Л. : Судостроение, 1988. – 296 с.

9 Гельфанд Б.Е Особенности разрушения жидких капель при высоком давлении газа / Б.Е. Гельфанд и др. – М. ПМТФ №4, 1975. – С.61-65. URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/8c0/8c0dec1e283d16cffe8913cb38adae08.pdf> (дата обращения 24.11.2025). – Текст: электронный.

10 Шлегель Н.Е. Комбинированные схемы вторичного измельчения капель жидких и композиционных топлив в камерах энергетических установок. 05.14.04 Промышленная теплоэнергетика. Дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Томск. :ФГАОУ ВО «НИТПУ». – 245с. URL: <https://hmtslab.tpu.ru/upload/constructor/b31/7qmk4os4gcqr9qggv9f8bsshvy3m1fh3.pdf> (дата обращения 24.11.2025). – Текст: электронный.

11 Макушев Ю.П. Расчет систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания математическими методами. / Ю.П. Макушев и др. – Омск. : СибАДИ, 2011. 284 с. URL: <https://scinetwork.ru/disk/file/4257> - для авторизованных пользователей (дата обращения 24.11.2025). – Текст: электронный.

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В НАВИГАЦИИ ПОДВОДНЫХ
РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДКИ, МОНИТОРИНГА И ПАТРУЛИРОВАНИЯ
АКВАТОРИЙ В ТЯЖЕЛЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ.**

Петрушечкин Андрей Юрьевич

кандидат технических наук, доцент

Захаров Валерий Вадимович

кандидат технических наук, доцент

Поползина Валерия Константиновна

студентка

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF UNDERWATER ROBOTIC
NAVIGATION SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF GEOLOGICAL
EXPLORATION, MONITORING, AND PATROLLING WATERS IN THE
HARSH CLIMATIC CONDITIONS OF THE RUSSIAN ARCTIC COAST.**

Petrushechkin Andrey Yurievich

Candidate of Technical Science, Assistant Professor

Zakharov Valery Vadimovich

Candidate of Technical Science, Assistant Professor

Popolzina Valeria Konstantinovna

Student

*Federal State Educational Institution
of Higher Education “Sevastopol State University”
Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053*

АННОТАЦИЯ. Статья раскрывает современное видение решения сложных задач в применении подводных и волновых робототехнических комплексов. Перспективы и скорость внедрения подводных робототехнических комплексов в мировой практике отмечает тенденцию применения робототехнических средств в сферах, связанных с подводными морскими исследованиями, мониторингом навигационных критериев и экологическим контролем в тяжелых арктических условиях. Основные области, где подводные робототехнические комплексы находят свое применение это: а) Исследования мирового океана [1]. б) Контроль и мониторинг прибрежных акваторий [2]. в) Охрана подводной части гидротехнических сооружений портов и геологоразведки [3]. г) Применение МЧС для ликвидации экологических катастроф [4]. д) Мониторинг прибрежной акватории особенно в

устьях Северных рек Оби, Енисея, Лены и т.д. [5]. f) Система мониторинга океанических течений особенно Гольфстрим. [6]

Ключевые слова: Подводная робототехника, мобильный робототехнический комплекс, МРТК, телеуправление в подводной навигации, алгоритмы автономности МРТК.

ABSTRACT. This article explores a modern approach to solving complex problems using underwater and wave robotic systems. The prospects and pace of implementation of underwater robotic systems in global practice highlight the trend toward using robotic systems in areas related to underwater marine research, monitoring navigational criteria, and environmental control in harsh Arctic conditions. The main areas where underwater robotic systems are used are: a) World Ocean research [1]. b) Coastal water monitoring and control [2]. c) Protection of the underwater portion of port hydraulic structures and geological exploration [3]. d) Use of the Ministry of Emergency Situations to eliminate environmental disasters [4]. e) Monitoring of coastal waters, especially at the mouths of the northern rivers of the Ob, Yenisei, Lena, etc. [5]. f) Ocean current monitoring systems, especially the Gulf Stream. [6]

Keywords: Underwater robotics, mobile robotic complex, MRTC, remote control in underwater navigation, MRTC autonomy algorithms.

Введение

В настоящее время в мире наблюдается интерес в исследованиях природоподобных алгоритмов группового управления и реализации группового применения как однородных, так и разнородных групп робототехнических комплексов. В РФ при санкционном давлении задача организации взаимодействия между роботами становится одним из важнейших направлений в отечественной робототехнике. В современных реалиях и условиях экстремальной окружающей среды чрезвычайно сложно решать задачи с помощью одного робота. Проектирование и внедрение таких алгоритмов вдохновлено наблюдениями за физическими явлениями – такими как, например, магнитное поле. Так, на рисунке 1 изображен метод потенциальных полей, где препятствие «отталкивает», а целевая точка «притягивает» робота. В исследовании [11] разработана система планирования АНПА на основе традиционного ИИ. Она использует базу знаний, накопленную роботом для оценки состояния, принятия решений и реализации их в физической среде. Перечисленные традиционные подходы ИИ обладают следующими недостатками: централизованное управление; высокие требования вычислительным ресурсам, вызванные большим количеством состояний; отсутствие модуля оптимизации; часто возникающая ситуация попадания в локальный минимум; невозможность прохода.

Цель исследования.

Целью исследования является анализ и перспективы использования природоподобных алгоритмов управления МРТК для эффективной эксплуатации при выполнении ими различных задач. Определение автономности

МРТК – это возможность воспринимать окружающую среду с помощью его сенсорных датчиков анализировать морское пространство и при необходимости устранять неполадки в своей системе управления. При этом МРТК должны выполнять свое позиционирование и навигацию. Основные пути развития современной морской робототехники и перспективы ее развития будут рассмотрены. в этой работе

Материалы и методы исследования.

Работа автономных роботизированных подводных комплексов неразрывно связана с взаимодействия с его оператором, и его алгоритмами управления. Три основные базовые процедуры управления – это алгоритмы: «чувствовать (сенсорная группа)», «планировать (анализировать процессорная группа)» и «действовать (конструкционные особенности МРТК)». Классификация уровней автономности была отмечена в [9], а более современные варианты проанализированы в [10]. В таб. 1 предложена классификация уровней автономности исходя из распределения функций по базовым процедурам.

Таблица 1 – Уровни автономности, где Ч – человек, Р – робот

Уровень автономности	Восприятие	Планирование	Действие	Описание
1. Телеуправление без поддержки (Manual Teleoperation)	Ч		Ч	Человек выполняет все аспекты задачи, включая восприятие окружающей среды и мониторинг систем, разработку планов / вариантов / целей и их реализацию.
2. Поддержка отдельных действий (Action Support)	Ч/Р	Ч	Ч/Р	Робот помогает человеку в реализации некоторых действий. Однако функции восприятия и планирования остаются за человеком. Например, человек может дистанционно управлять роботом, но при этом он может запросить у робота поддержку на выполнение некоторых подзадач (например, захват объектов).
3. Телеуправление с поддержкой (Assisted Teleoperation)	Ч/Р	Ч	Ч/Р	Оператор выполняет все задачи. Но робот анализирует и воспринимает окружающую обстановку и в ряде случаев может вмешаться в выполнение задачи. Например, если оператор перемещает робот слишком близко к препятствию, робот автоматически останавливается или поворачивает, чтобы избежать столкновения.
4. Пакетная обработка или пакетное задание (Batch Processing)	Ч/Р	Ч	Р	И человек, и робот воспринимают и анализируют окружающую обстановку. Человек, однако, определяет цели и планы задачи. Затем робот выполняет задачу автоматически.

5. Поддержка принятия решений (Decision Support)	Ч/Р	Ч/Р	Р	И человек, и робот воспринимают и анализируют окружающую обстановку и вырабатывают план выполнения задачи. Однако человек выбирает план (свой или разработанный роботом) и отдаёт команду роботу осуществить действие.
6. Коллективное (совместное) управление с инициативой оператора (Shared Control with Human Initiative)	Ч/Р	Ч/Р	Р	Робот самостоятельно воспринимает окружающую среду, разрабатывает планы / цели и осуществляет действия. Тем не менее, человек следит за ходом выполнения работы и может вмешиваться в процесс, если что-то идёт не так или если робот испытывает трудности.
7. Коллективное (совместное) управление с инициативой робота (Shared Control with Robot Initiative)	Ч/Р	Ч/Р	Р	Робот выполняет самостоятельно все аспекты задачи (восприятие, планирование, действие). При этом если робот сталкивается с трудностями, он может обратиться к оператору за помощью в постановке новых целей / разработке планов.
8. Супервизорное управление (Supervisory Control)	Ч/Р	Р	Р	Робот выполняет все аспекты задачи, но человек постоянно следит за роботом. Человек обладает преимущественным правом и может устанавливать новую цель / план. В этом случае уровень автономности снизится до совместного управления или поддержки принятия решений.
9. Контроль выполнения подзадач (Executive Control)	Р	Ч/Р	Р	Человек может поставить абстрактную цель высокого уровня (например, перейти в окружающей среде в указанное место). Робот автономно воспринимает окружающую среду, устанавливает план и осуществляет действия.
10. Полная автономность (Full Autonomy)	Р	Р	Р	Робот выполняет все аспекты задачи автономно, без вмешательства человека в процесс восприятия среды, планирования или реализации действий.

Одна из примитивных систем планирования на основе методов искусственного интеллекта (ИИ) предназначена для МРТК, способных выполнять несколько поставленных перед ними задач – это «Адаптивное Реагирование». Такой подход основан на адаптивном реагировании на локальную обстановку вокруг робота. Для усиления сигнала отзыва системы необходимо комбинировать данный метод с определенной глобальной стратегией. Более того, сенсорные датчики робота работают только в локальной среде; следовательно, если окружение постоянно меняется поэтому роботу будет сложно распознать и контролировать свое движение, что влияет на успешность выполнения задачи. Традиционные подходы ИИ обладают следующими недостатками: высокие требования к вычислительным ресурсам, централизованное управление; вызванные большим количеством состояний; отсутствие модуля оптимизации; часто возникающая ситуация попадания в локальный минимум; невозможность прохода между близко расположенными

препятствиями. Для решения этих проблем целесообразна разработка стратегии управления, которая обеспечивала бы решение задачи планирования.

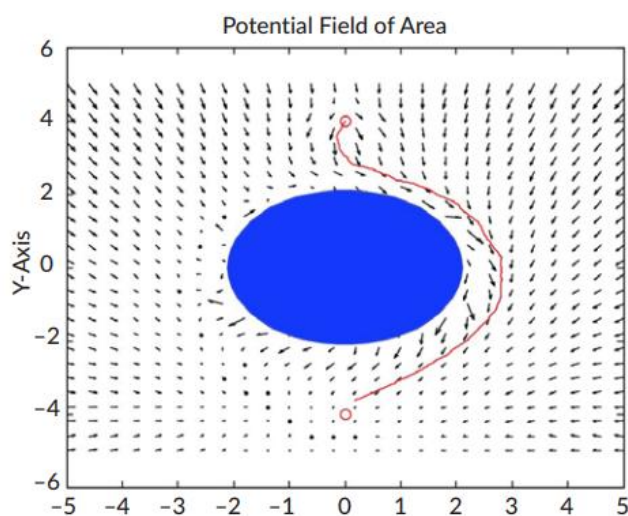


Рис 1. Реализация метода потенциальных полей

Следующим методом развития алгоритмов для морских роботизированных комплексов является метод мягких вычислений. Целью методов мягких вычислений (МВ) является получение надежного и вычислительно не затратного решения. Эта категория алгоритмов опирается на способность человеческого разума учиться и рассуждать. Мягкие вычисления являются

альтернативным решением некоторых из вышеупомянутых проблем планирования. При этом от традиционных методов ИИ они не обладают недостатками, как частичная истина и приближения, неточность, неопределенность. Алгоритмы мягких вычислений могут работать в неопределенной и изменяющейся среде, что сделало эти алгоритмы подходящими для решения проблем управления роботами, а также проблем в навигации и управления ими. Нечеткая логика – это эффективное решение для планирования движения группы роботов из-за присущей ей неточности. Функция принадлежности элемента множеству может принимать любые значения в интервале $[0, 1]$, а не только значения 0 или 1. Классическое понятие функции принадлежности элемента множеству является недостаточным для рассмотрения ситуаций, которые описываются с помощью нечетко определенных понятий типа «очень истинно», «более или менее истинно», «не очень ложно» и тому подобных. Подобные лингвистические значения представляются нечеткими множествами. Таким образом, применение нечеткой логики позволяет разработать систему, которая может пользоваться такими понятиями, как, например, «очень далеко», «далеко», «близко», «очень близко», что позволяет сделать управление более гибким [12]. Как правило, морская среда – среда неточная, динамичная и неструктурированная. Следовательно, для подводного МРТК важно уметь распознавать и классифицировать локальное окружение, чтобы достичь цели, избегая столкновения с препятствиями. Такие свойства нейронных сетей, как способности к обработке, распознаванию,

обучению рассуждению, интерпретации данных, позволяют построить адаптивную систему планирования для робота [13]. При этом в задачах обработки навигационной информации, поступающей от различных датчиков, существует проблема с зашумленными данными.

Результаты распознавания и принятия решений необходимо оптимизировать, особенно при попытке определить оптимальное значение целевой точки. В сложных задачах оптимизации применимы генетические

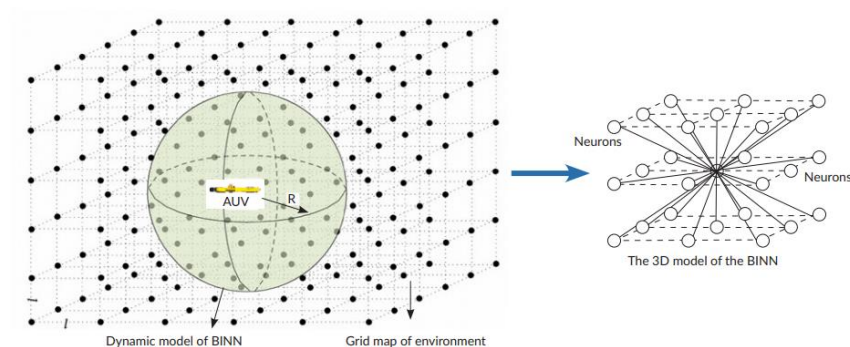


Рис2. Схема работы нейросетевого планировщика

алгоритмы (ГА) [17].

Помимо этого, ГА также могут решить проблемы, которые

присущи

традиционным

методам

оптимизации,

(например,

градиентные

методы): высокие вычислительные затраты, большие объемы памяти и затраты времени. Однако реализация генетических алгоритмов в навигации роботов затрудняет создание глобального оптимального решения, а также вызывает медленную сходимость. Реализация интеллектуальной системы навигации АНПА [18], работающего на возобновляемых источниках энергии и предназначенного для подводного мониторинга акватории в длительных миссиях представляет интерес.

Система состоит из подводного аппарата, буксирующего надводный аппарат. Надводный аппарат представляет собой небольшую лодку с фотоэлектрическими панелями, топливным элементом на метаноле и оборудованием навигации и связи, которые обеспечивают подводный аппарат энергией, данными спутниковой навигации и связью. Подводный аппарат тоже оснащен навигационными датчиками и сенсорами для наблюдения за подводной средой, такими как гидролокатор бокового обзора и видеокамера в гибкой конфигурации, а также датчиками для измерения физических и химических параметров воды на заранее определенных маршрутах на больших расстояниях. В подводном аппарате реализована биоинспирированная нейронная архитектура для автономной интеллектуальной навигации. Навигация осуществляется путем интеграции кинематического адаптивного нейроконтроллера для отслеживания траектории и адаптивного нейроконтроллера для предотвращения столкновения с препятствиями.

Нейронные сети обладают способностью к обучению и отличным умением распознавать шаблоны. Однако они не могут объяснить, как принимать решения. Эволюционный алгоритм обеспечивает отличную производительность в процессе оптимизации, что нашло свое применение в большом количестве существующих решений. Алгоритм имитирует способ эволюции, позволяя улучшить производительность контроллеров или адаптировать их к различным ситуациям. Однако генетические алгоритмы основаны на случайном процессе, который является вероятностным, локально оптимален и имеет медленную сходимость.

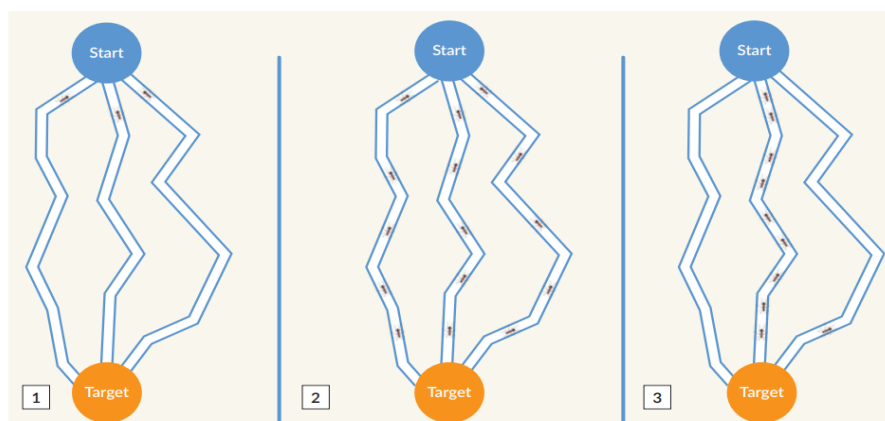


Рис 3. Муравьиный алгоритм

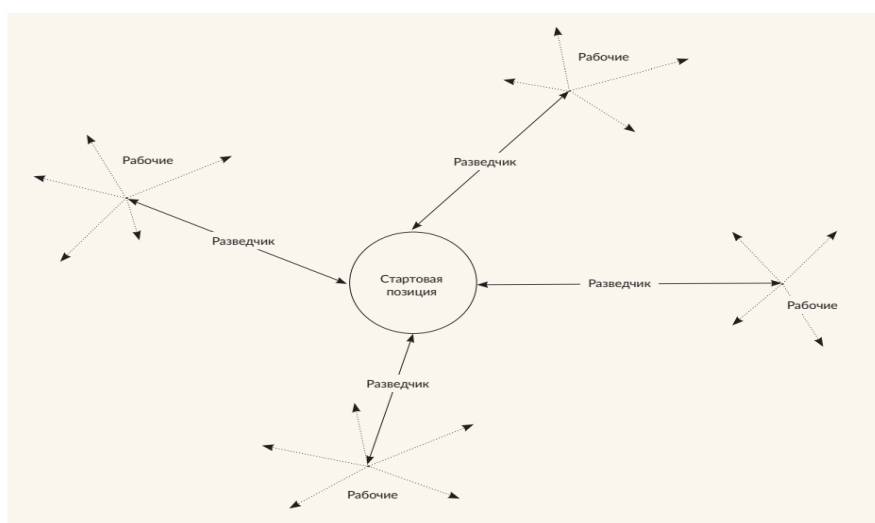


Рис 4. Пчелиный алгоритм

Существует ряд ограничений, связанных с методами мягких вычислений, которые затрудняют выполнение задач планирования в крупномасштабной среде. Наконец, они не могут гарантировать устойчивость, поскольку относятся к централизованной архитектуре системы управления и не подразумевают самоорганизацию. Следующим этапом развития является «Роевой Алгоритм». Роевые алгоритмы вдохновлены поведением социальных существ – например, насекомых или стайных животных. Этот класс методов относится к

децентрализованным. Системы, основанные на роевых алгоритмах, децентрализованы, каждый отдельный элемент действует по определенному алгоритму и не обладает признаками интеллектуальности. Однако согласованное взаимодействие позволяет принимать решения, демонстрирующие интеллект [19]. Признаки роевой системы:

- рой состоит из однородных автономных агентов с ограниченными функциональными возможностями;
- автономные агенты децентрализованно взаимодействуют с окружающей средой и между собой для решения общей задачи;
- эффективное решение общей задачи возможно только совокупностью агентов.

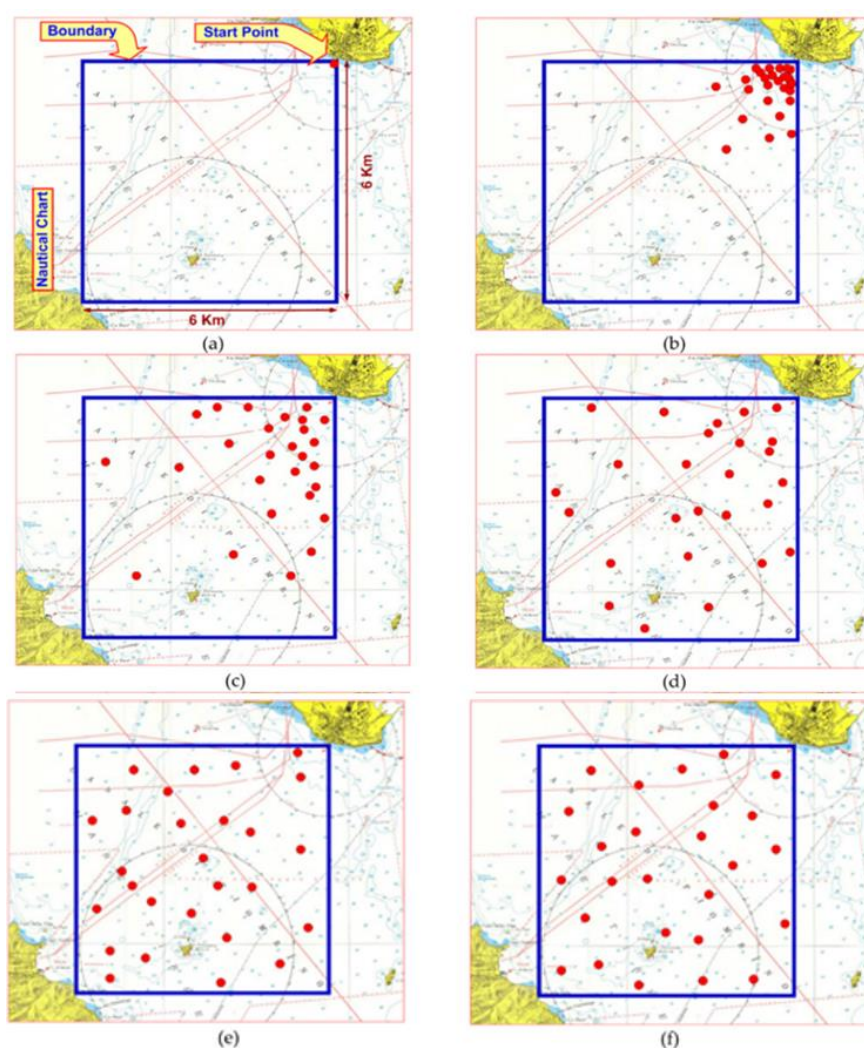


Рис 5. Модель роевого алгоритма, равномерно распределяющегося по акватории

Подобно другим методам, каждый из алгоритмов в рамках этого подхода имеет ряд сильных сторон и ряд ограничений. Однако не существует наилучшего метода, который можно было бы использовать для эффективного решения задачи оптимизации. Пример поиска пути муравьиным алгоритмом показана

рисунке 3: чем больше агентов проходит по конкретному пути, оставляя «феромон», тем «привлекательнее» он становится для последующих [20]. На рисунке 4 показана схема реализации пчелиного алгоритма: сначала в область вылетают разведчики, а затем уже остальные пчелы [21]. Примером роевой морской робототехники может являться проект Collective Cognitive Robots (CoCoRo), финансируемый Европейским союзом. В период с 2011 по 2014 год ученым из стран Евросоюза удалось разработать гетерогенную группу из 40 морских роботов, которые способны действовать согласованно. Группа состоит из 20 подводных роботов--разведчиков дна и 20 роботов, осуществляющих связь между разведчиками и базовой станцией, которая представляет собой катамаран, находящийся на поверхности. Робот-разведчик оснащен множеством датчиков, обладает высокой маневренностью и способен функционировать при течении до 1 м/с. Организация внутригруппового взаимодействия основана на биоинспирированных алгоритмах – таких как пчелиный алгоритм, муравьиный алгоритм, алгоритм светлячков, алгоритм стаи рыб. Алгоритм клональной селекции (является одной из разновидностей алгоритмов искусственной иммунной системы) был реализован для построения интеллектуальной навигационной системы в задачах построения акваферм [22]. В этой системе АНПА выполняет функцию наблюдения за физическими параметрами (температура, растворенный кислород и кислотность) большой акватории, на которой расположена акваферма. Для выполнения схожей задачи в большой акватории, но в условиях, осложненных ледовой обстановкой, проработано решение [23], сосредоточенное на создании интеллектуальных буев, дрейфующих подо льдом. Данное решение позволяет построить навигационную систему из АНПА, функционирующих в заданной подледной акватории. Буи обеспечивают АНПА возможность уточнять свое местоположение, нивелируя ошибки показаний спутниковой навигационной системы, возникающие при подледном функционировании. Для ограниченных акваторий проведено моделирование поведения роя АНПА, распределенного на замкнутом участке моря [24]. Рой начинает свое функционирование из единой отправной точки. Каждый член группы в данном случае обладает невысоким децентрализованным интеллектом, однако система в целом успешно решает задачу равномерного распределения по акватории. Это достигается путем постоянной связи агентов системы друг с другом.

Выводы.

После проведенного нами анализа научных и технических изданий, как в зарубежных так и отечественных источниках были сделаны следующие выводы: Интеллектуальные технологии навигации и планирования нашли широкое

применение в задачах морской робототехники. В настоящее время реализовано множество проектов, опирающихся на эти технологии. Подводя итог, следует признать, что не все алгоритмы подходят для решения общей задачи в индивидуальном применении, потому что каждая задача должна следовать собственным специфическим критериям. Однако объединение и комбинирование алгоритмов позволяют повысить эффективность решения, дополняя достоинства и перекрывая недостатки друг друга.

Библиографический список

1 Маевский А.М., Копылов С.А. Аспекты использования группировки подводных глайдеров для экологического мониторинга Мирового океана. – Материалы всероссийской конференции и школы молодых ученых «Системы обеспечения техносферной безопасности». – Таганрог: Южный федеральный университет, 2014. – С. 11–12.

2 Beloglazov D., Pereverzev V., Soloviev V., Pshikhov V., Morozov R. Method of formation of quantitative indicators of complexity of the environment by a group of autonomous mobile robots Journal of Robotics. – 2020. – Т. 2020. – С. 68–74.

3 Волошин С.Б., Занин В.Ю. Маевский А.М. и др. Аспекты применения гетерогенных групп робототехнических комплексов повышенной автономности, в том числе из состава обсерваторий, с целью получения океанографических данных и их дальнейшего использования для освоения Арктической зоны. – Сборник работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа 2020 года. – М., Министерство энергетики Российской Федерации, ООО «Технодевелоп», 2020. – С. 62–77.

4 Занин В.Ю., Кожемякин И.В., Маевский А.М. Использование морской робототехники в задачах оперативной океанографии. Отечественный и зарубежный опыт // Морские информационно-управляющие системы, № 1 (17), 2020. – С. 39–49.

5 Маевский А.М., Занин В.Ю., Кожемякин И.В. Разработка комбинированной системы управления резидентным/интервенционным АНПА на основании поведенческих методов // Известия ЮФУ. Технические науки. – № 1 (211), 2020. 6. <https://www.bbc.com/news/world-asia-27017928>.

6 <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-46245686#:~:text=The%20wreckage%20of%20a%20submarine,coast%20on%2015%20November%202017>.

7 Devitt D., Morozov R., Medvedev M., Shapovalov I., Konovalov G. Implementation of the hybrid technology for quadcopter motion control in a complex non-

deterministic environment. – В сборнике International Conference on Control, Automation and Systems. – № 18, 2018. – С. 451–456.

8 Белоглазов Д.А., Гузик В.Ф., Медведев М.Ю., Пшихопов В.Х., Пьявченко А.О., Сапрыкин Р.В., Соловьев В.В., Финаев В.И. Интеллектуальные технологии планирования перемещений подвижных объектов в трехмерных недетерминированных средах / Под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: Наука, 2017. – 231 с.

9 Белоглазов Д.А., Гайдук А.Р., Косенко Е.Ю., Медведев М.Ю., Пшихопов В.Х., Соловьев В.В., Титов А.Е., Финаев В.И., Шаповалов И.О. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах / Под ред. В.Х. Пшихопова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 305 с.

10 Michael Cashmore, Maria Fox, Derek Long, Daniele Magazzeni, Bram Ridder, Artificial Intelligence Planning for AUV Mission Control, IFAC-PapersOnLine, Volume 48, Issue 2, 2015. – P. 262–267.

11 Игнатьев В.В., Соловьев В.В., Игнатьева А.С. Метод синтеза исходной базы правил адаптивного нечеткого регулятора. – В сборнике «Фундаментальные исследования, методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике. Материалы 17-й Международной молодежной научно-практической конференции. – 2018. – С. 31–35

12 Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю., Пархоменко В.Б., Васильева М.А. Исследование интеллектуальной системы управления автономного наземного робота с нейронной сетью глубокого обучения. – В сборнике «Информационные технологии в управлении (ИТУ-2018). Материалы конференции. – 2018. – С. 176–182.

13 Gaiduk A.R., Martjanov O.V., Medvedev M.Yu., Pshikhopov V.Kh., Hamdan N., Farhood A. Neural network-based control system for robots group operating in 2-d uncertain environment Mechatronics, Automation, Control. – 2020. – T. 21. – № 8. – С. 470–479.

14 Jianjun Ni, Liuying Wu, Pengfei Shi, Simon X. Yang. A Dynamic Bioinspired Neural Network Based Real-Time Path Planning Method for Autonomous Underwater Vehicles. – Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2017, Article ID 9269742, 16 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9269742>.

15 J. Guo, D. Li, B. He. Intelligent Collaborative Navigation and Control for AUV Tracking. In IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 17, № 3, March 2021. – P. 1732–1741. doi: 10.1109/TII.2020.2994586.

16 Игнатьев В.В., Соловьев В.В., Белоглазов Д.А., Спиридонов О.Б., Игнатьева А.А. Оптимизация базы правил нечеткого регулятора на основе генетического алгоритма. В сборнике «Труды Международного научно-технического конгресса «Интеллектуальные системы и информационные

технологии – 2019» («ИС & ИТ – 2019», IS&IT'19). Научное издание в 2 томах. – 2019. – С. 24–31.

17 Garcia-Cordova Francisco & González Antonio. (2013). Intelligent Navigation for a Solar Powered Unmanned Underwater Vehicle. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 10. 10.5772/56029.

18 Николашкин А.Г., Ершов Н.М. Адаптация алгоритмов роевой оптимизации к решению поисковых задач роевого интеллекта // Системный анализ в науке и образовании. – № 3, 2019. – С. 50–55.

19 Самигулина Г.А., Самигулин Т.И. Разработка smart-технологии для управления сложным объектом с использованием алгоритма муравьиной колонии // Вестник Алматинского университета энергетики и связи. – № 1 (44), 2019. – С. 106–113.

20 Литовка Н.В. Роевой интеллект в задачах оптимального размещения объектов пространственно распределенного предприятия / Н.В. Литовка // Научные труды КубГТУ. – № 11, 2018. – С. 70–80.

21 J. Lee, M. Roh, J. Lee, D. Lee. Intelligent Navigation of Autonomous Underwater Vehicles for Cage Aquafarm Surveillance, 2007. *Frontiers in the Convergence of Bioscience and Information Technologies*, Jeju, Korea (South), 2007. – P. 867–871. – doi: 10.1109/FBIT.2007.74.

22 Norgren, Petter & Mo-Bjørkelund, Tore & Gade, Kenneth & Hegrenæs, Øyvind & Ludvigsen, Martin. (2020). Intelligent Buoys for Aiding AUV Navigation Under the Ice. 10.1109/AUV50043.2020.9267889.

23 Petritoli E., Cagnetti M, Leccese F. Simulation of Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) Swarm Diffusion. *Sensors* 2020,20, 4950. <https://doi.org/10.3390/s2017495>.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛАФЕТНЫХ ПОЖАРНЫХ СТВОЛОВ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА ПРИ ПОЖАРОТУШЕНИИ

Самонов Илья Алексеевич

магистрант

E-mail: samonovilya2004@gmail.com

Дьяченко Илья Алексеевич

Студент

E-mail: dyackenko2003@gmail.com

Балашов Михаил Георгиевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: mgbalashov@sevsu.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CARRIAGE FIRE BARRELS ON THE STABILITY OF THE VESSEL DURING FIREFIGHTING

Samonov Ilya

Master's Degree Student

Dyachenko Ilya

student

Balashov Mikhail

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. В статье произведен расчет влияния лафетных пожарных стволов на остойчивость эксплуатирующийся служебных судов, при работе данных устройств, на разных судах, имеющих возможность оказания помощи судам, морским сооружениям и объектам расположенных вблизи берега.

Ключевые слова: остойчивость; лафетный пожарный ствол; пожарные суда; спасательные суда.

ABSTRACT. The article calculates the effect of carriage fire barrels on the stability of operational service vessels when these devices are operating on various vessels capable of providing assistance to ships, offshore structures and facilities located near the shore.

Keywords: stability; carriage fire barrel; firefighting vessels; rescue vessels.

Объект исследования является поперечная остойчивость служебных и специальных судов.

Предмет исследования является влияние лафетных пожарных стволов.

Целью исследования является определение остойчивости судов, оснащенных противопожарными средствами в процессе выполнения спасательных операций. Определить угол крена от воздействия работы лафетных стволов при тушении пожаров.

Введение

Возникновение пожароопасной ситуации на судах, морских сооружениях и береговых сооружениях, расположенных вблизи поверхности воды (предприятия) представляет угрозу как судну, так и экипажу. Современные суда оборудуются противопожарными средствами, однако при увеличении возгорания в результате недостаточной способности пожаротушения или/и неорганизованных действий экипажа, требуется помощь в оказании тушения или эвакуации экипажа и пассажиров. Для подобных задач применяются специальные суда, оснащенные средствами для тушения пожаров и спасения людей, к ним можно отнести катера, буксиры, аварийно-спасательные и прочие суда, имеющие возможность оказания помощи. В качестве основных устройств противопожарной борьбы выступают лафетные пожарные стволы.

Методика исследования. Влияние лафетных пожарных стволов исследуется с помощью математических расчетов. Для расчета используются данные остойчивости судна при отсутствии влияния внешних сил на судно, количество лафетных стволов и их характеристики, место установки, параметры пожарных насосов и подруливающих устройств.

Постановка задачи. Определить влияния лафетных пожарных стволов на остойчивость судна при пожаротушении.

Лафетный пожарный ствол – представляет из себя устройство для тушения пожаров, установленное на неподвижное основание – лафет, который дает возможность применения более крупных стволов что соответственно позволит бороться с возгоранием на дальних дистанциях и эффективнее.

В работе рассмотрены суда, имеющие возможность оказания помощи в тушении пожаров:

1. Аварийно-спасательное судно проекта MPSV06
2. Многоцелевой морской буксир проекта T3150
3. Буксир ледокольного класса проекта 3262

Описание и расположение противопожарных средств.

Лафетные стволы установлены над рулевой рубкой, по диаметральной плоскости установлен 1 лафетный ствол на высоте 28,28 метров относительно

середины осадки судна, а также по одному на каждый борт на высоте 25,52 метров аналогично.

Подруливающие устройства (ПУ) – 2 ед.

Тяга каждого – 19 т.

Расчетная схема и лафетный ствол представлены на рисунке 1 и рисунке 2 соответственно.

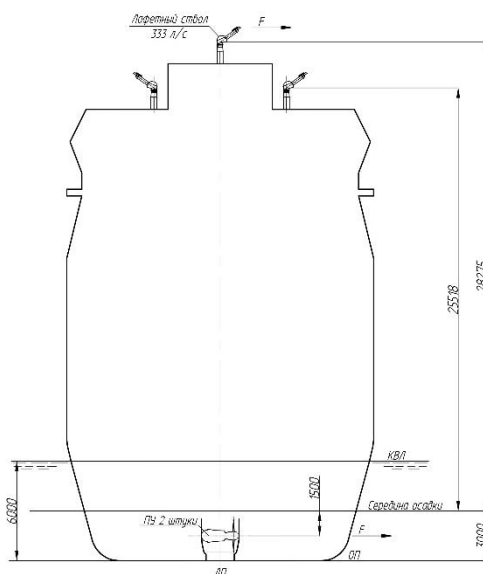


Рисунок 1 – Расчетная схема для аварийно-спасательного судна проекта MPSV06



Рисунок 2 – Лафетный ствол FFS1200/300 Long Barrel

Многоцелевой морской буксир проекта Т3150 имеет следующие характеристики:

С кормовой части крыши навигационной рубки установлены на каждом борту площадки, где размещаются лафеты пожарных стволов на высоте 11,251 метров относительно середины осадки судна

Расчетная схема и лафетный ствол представлены на рисунке 3 и рисунке 4 соответственно.

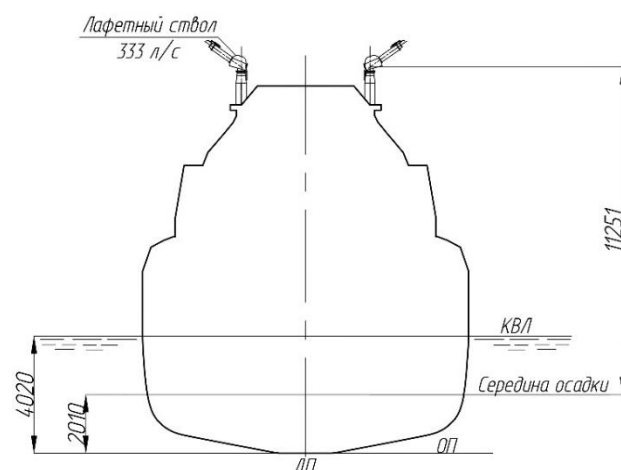


Рисунок 3 – Расчетная схема для многоцелевого морского буксира проекта Т3150



Рисунок 4 – Лафетный ствол FFS1200 P

Буксир ледокольного класса проекта 3262 имеет следующие характеристики:

Лафетные стволы, устанавливаемые на главной палубе судна за надстройкой по ЛБ и Пр.Б на высоте 4,63 метров относительно середины осадки судна. Приводной пожарный насос принимает забортную воду из отдельного днищевое кингстонного ящика. Управление двумя пожарными лафетными стволами и дисковыми затворами, установленными непосредственно перед ними, осуществляется с переносной панели управления. Расчетная схема представлена на рисунке 5.

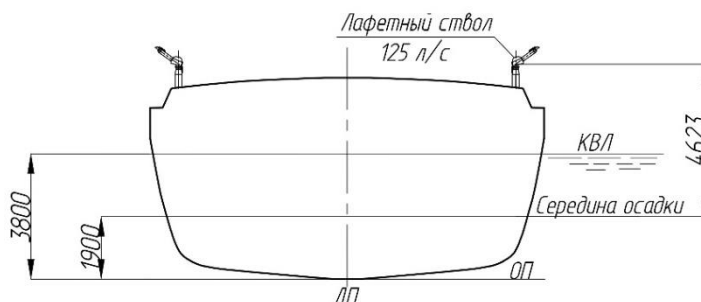


Рисунок 5 – Расчетная схема для Буксир ледокольного класса проекта 3262

Исходные данные которых и характеристики противопожарного оборудования представлены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Исходные данные

Параметр	Длина судна	Ширина судна	Осадка судна	Водоизмещение массовое судна	Поперечная метацентрическая высота
Обозначение	L, м	B, м	d, м	Δ , т	h, м
MPSV06	70,6	18,0	6,0	4992	1,22
T3150	29,0	11,2	4,02	620	2,55
3262	38,0	11,8	3,8	655,7	3,15

Таблица 2 – Характеристики лафетных стволов

Параметр	Лафетные стволы	Производительность лафетного ствола	Отстояние от середины осадки	Расход струи	Дальность струи
Обозначение	п, шт	Q, м ³ /ч	$l_{лс}$, м	q, л/с	L_c , м
MPSV06	3	1700	28,28/25,52	485	120
T3150	2	1200	11,25	385	160
3262	2	1000	4,62	125	105

Расчет влияния лафетных стволов будет производиться по следующим формулам:

Формула упрощенной баллистической модели:

$$L_c \approx \frac{v^2 \cdot \sin(2\alpha)}{g}, \text{ м,}$$

где L_c – дальность полета струи, м; $\alpha = 1^\circ$ – угол наклона ствола к горизонту, град.; v – скорость струи, м/с; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ускорение свободного падения.

Преобразуем формулу для вычисления скорости:

$$v \approx \sqrt{\frac{L_c \cdot g}{\sin(2\alpha)}}, \text{ м/с,}$$

Определим реактивную силу по формуле:

$$F_R = \frac{q \cdot v}{g}, \text{ т,}$$

где q – расход жидкости, л/с; v – скорость воды в струе, м/с.

Угол крена, возникающего в результате воздействия работы лафетных стволов и подруливающих устройств (если таковые имеются) определим по формуле отношения моментов:

$$\theta = \frac{M_{к\text{лс}}}{M_c} \cdot 57,3, \text{ град,}$$

где $M_{к\text{лс}}$ – кренящий момент от работы лафетного ствола, определяемый по формуле:

$$M_{к\text{лс}} = F_R \cdot l_{лс}, \text{ т/м,}$$

где $l_{лс}$ – плечо лафетного ствола;

M_c – момент судна, определяемый по формуле:

$$M_c = \Delta \cdot h, \text{ т/м};$$

Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результат расчета

Параметр	Проект		
	MPSV06	T3150	3262
v , м/с	36,0	41,5	33,7
F_R , т	1,8	1,7	0,5
M_c , т/м	6090,2	1581	2066,1
$M_{\text{кис}}$, т/м	202,8	38,3	4,6
Θ , град	1,91	1,39	0,13

Согласно требованиям Правил, остойчивость судна должна быть достаточной для того, чтобы при одновременной работе всех лафетных стволов с максимальным расходом в направлении, соответствующем минимальной остойчивости судна, угол статического крена не превышал 5°.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что требования правил удовлетворены.

Заключение

Пожарные суда в том числе и суда, оборудованные средствами пожаротушения с помощью, которых имеют возможность оказывать помощь терпящим бедствие, суда подобных типов должны обладать достаточной остойчивостью, для оказания помощи и при тушении пожаров.

Произведенный расчет позволяет оценивать угол крена служебного судна при выборе типа, количества, производительности и места расположения средств пожаротушения как с наличием, так и отсутствием подруливающих устройств.

Библиографический список

1. Правила классификации и постройки морских судов, часть I «Классификация» [Электронный ресурс]. – ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?from=19>.

2. Правила классификации и постройки морских судов, часть VI «Противопожарная защита» [Электронный ресурс]. – ФАУ «Российский морской регистр судоходства». Режим доступа: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?from=19>.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ "ЗЕЛЕНОГО" АММИАКА И МЕТАНОЛА В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ МОРСКИХ ТОПЛИВ

Сергеев Кирилл Максимович

Студент

E-mail: ksergeev93564@gmail.com

*Научный руководитель,
заведующий кафедрой судовождения:*

Боков Г.В.

*Высшее учебное заведение, Морской институт им. вице-адмирала В.А.
Корнилова - филиал ФГБОУ ВО "ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова",
299001, г. Севастополь, корпус 8/22, ул. Героев Севастополя, 7*

PROSPECTS FOR THE USE OF GREEN AMMONIA AND METHANOL AS ALTERNATIVE MARINE FUELS

Sergeev Kirill

Student

Scientific supervisor,

Head of the Department of Navigation:

Bokov G.V.

*Higher educational institution, Maritime Institute named after. Vice Admiral V.A.
Kornilov - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education "SMU named after. adm. F.F. Ushakova"
building 8/22, st. Heroes of Sevastopol, 7, Sevastopol, 299001*

АННОТАЦИЯ. В контексте декарбонизации морской отрасли проведено комплексное исследование по оценке потенциала «зеленого» аммиака и метанола как альтернатив традиционному судовому топливу. В рамках работы выполнен сравнительный анализ полного жизненного цикла топлив — от производства на основе возобновляемых источников энергии до практического применения в судовых энергетических установках. Методология включает многофакторную оценку, учитывающую технологические особенности, экономические показатели и инфраструктурные ограничения. Полученные результаты демонстрируют, что аммиак, обладая нулевым углеродным следом и высокой энергоемкостью, перспективен для дальних рейсов, тогда как метанол благодаря развитой производственной базе и адаптированным технологиям сжигания может стать ключевым переходным решением. Научная новизна работы заключается в выявлении синергетического эффекта при параллельном развитии обоих направлений с учетом данных действующих пилотных проектов. Практическая значимость исследования подтверждается разработанными рекомендациями по формированию системы «зеленых» премий и унификации международных стандартов безопасности. Установлено, что основным препятствием для массового внедрения остается необходимость развития инфраструктуры и решения технологических задач, связанных с оптимизацией процессов сжигания аммиака и логистики метанола. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой эффективных каталитических систем и созданием глобальных цепочек поставок экологических топлив.

Ключевые слова: декарбонизация судоходства, «зеленый» аммиак, «зеленый» метанол, альтернативные топлива, ИМО, технико-экономический анализ, цепочка создания стоимости.

ABSTRACT. In the context of maritime industry decarbonization, a comprehensive study has been conducted to assess the potential of green ammonia and methanol as alternatives to conventional marine fuels. The study performs a comparative analysis of the complete fuel life cycle—from production based on renewable energy sources to practical application in marine power plants. The methodology incorporates a multifactorial assessment considering technological features, economic indicators, and infrastructure constraints. The obtained results demonstrate that ammonia, with its zero-carbon footprint and high energy density, is promising for long-distance shipping, while methanol, due to its established production base and adapted combustion technologies, can become a key transitional solution. The scientific novelty of the work lies in identifying the synergistic effect of parallel development of both pathways, taking into account data from ongoing pilot projects. The practical significance of the research is confirmed by the developed recommendations for forming a system of green premium mechanisms and harmonizing international safety standards. It has been established that the main obstacle to mass implementation remains the need for infrastructure development and solving technological challenges related to optimizing ammonia combustion processes and methanol logistics. Future research prospects are associated with developing efficient catalytic systems and establishing global supply chains for environmentally friendly fuels.

Keywords: shipping decarbonization, "green" ammonia, "green" methanol, alternative fuels, IMO, techno-economic analysis, value chain.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

Международное судоходство является кровеносной системой глобальной экономики, обеспечивая около 90% мировых торговых перевозок. Однако эта отрасль остается одной из наиболее трудно поддающихся декарбонизации: на ее долю приходится примерно 2-3% глобальных выбросов CO₂ [1]. Перед лицом климатических изменений Международная морская организация (ИМО) ужесточила экологические нормативы, поставив амбициозные цели по сокращению выбросов парниковых газов на 50% к 2050 году по сравнению с 2008 уровнем и стремясь к полной декарбонизации как можно скорее в этом столетии [2].

Достижение этих целей требует фундаментального пересмотра энергетической базы судоходства. Традиционные судовые мазуты (HFO, VLSFO) и даже сжиженный природный газ (LNG), снижающий выбросы SO_x и NO_x, но не решающий проблему CO₂ в долгосрочной перспективе, не являются устойчивыми решениями. В связи с этим актуализируется поиск безуглеродных или низкоуглеродных альтернативных топлив, производимых с использованием возобновляемой энергии.

Научная и практическая задача заключается в идентификации наиболее перспективных топлив, которые сочетают в себе экологическую эффективность, экономическую целесообразность и технологическую реализуемость в масштабах всей отрасли. Среди множества кандидатов (водород, биотопливо,

электрические батареи) «зеленый» аммиак (NH_3) и «зеленый» метанол (CH_3OH) выделяются как два наиболее вероятных претендента для глубоководных перевозок, где энергоемкость топлива является критическим параметром.

Анализ последних исследований и публикаций

Проблеме декарбонизации судоходства посвящено значительное количество исследований. В работах [3, 4] проводится обзор широкого спектра альтернативных топлив, где аммиак и метанол отмечаются как многообещающие варианты. Исследование [5] детально анализирует технологические аспекты модификации судовых двигателей для работы на аммиаке, указывая на проблемы медленного горения и образования оксидов азота (NO_x). В [6] рассматриваются экономические аспекты производства «зеленого» метанола и его логистики, подчеркивая относительную простоту адаптации существующей портовой инфраструктуры.

Ряд публикаций [7, 8] посвящен оценке жизненного цикла (LCA) выбросов парниковых газов для различных альтернативных топлив, подтверждая практически нулевой углеродный след «зеленого» аммиака и значительный потенциал снижения выбросов у «зеленого» метанола.

Однако большая часть существующих исследований сосредоточена либо на отдельном топливе, либо на анализе части цепочки создания стоимости (например, только производство или только использование на судне). Комплексный сравнительный анализ, который бы охватывал всю цепочку – от производства с использованием возобновляемой энергии до хранения, распределения, бункеровки и применения на судах с учетом капитальных затрат (CAPEX) и операционных расходов (OPEX) для обоих топлив, - представлен в литературе фрагментарно. Кроме того, многие исследования носят общий характер и не учитывают данные новейших пилотных проектов и заявлений индустрии.

Выделение нерешенных частей проблемы и формулировка целей статьи

Нерешенными частями общей проблемы, которым посвящена данная статья, являются:

- Сравнительный технико-экономический анализ (ТЭА) полной цепочки создания стоимости для «зеленого» аммиака и метанола в контексте морского судоходства, включая прямые и косвенные затраты.
- Оценка синергии и конкуренции двух топливных путей в переходный период с учетом их различных характеристик и уровня технологической готовности (TRL).

- Анализ новых, не опубликованных в широкой научной литературе данных по инфраструктурным требованиям и результатам испытаний двигателей, основанный на последних отчетах отраслевых консорциумов и производителей оборудования.

Цель данной статьи – провести сравнительное исследование перспектив «зеленого» аммиака и метанола как альтернативных морских топлив путем комплексного технико-экономического анализа их полных цепочек создания стоимости, сформулировать научно обоснованные сценарии их внедрения и выявить ключевые барьеры, требующие преодоления.

Методология: Комплексный технико-экономический анализ цепочки создания стоимости

Методология исследования основана на моделировании цепочки создания стоимости для каждого топлива, разбитой на ключевые этапы:

Производство: Расчет энергоемкости и капитальных затрат на сооружение заводов по производству «зеленого» аммиака и «зеленого» метанола.

Хранение и транспортировка: Оценка затрат на криогенное хранение аммиака (-33°C) при атмосферном давлении и хранение метанола при окружающей температуре и давлении. Анализ стоимости морской перевозки.

Бункеровка: Сравнение требований к портовой инфраструктуре, включая модификации бункеровочных судов и терминалов.

Использование на судне: Оценка стоимости модификаций судовых двигателей (двухтопливные двигатели, системы подачи топлива, дополнительные меры безопасности) и эксплуатационных характеристик.

Для анализа использовались данные из открытых отчетов (ИМО)

«Зеленый» аммиак: решение для долгосрочной перспективы

Наш анализ подтвердил, что «зеленый» аммиак обладает наибольшим потенциалом для глубоководного судоходства. Его ключевые преимущества:

- Безуглеродность: при сжигании не выделяет CO₂.
- Высокая объемная плотность энергии: по сравнению с жидким водородом, аммиак легче хранить и транспортировать.
- Налаженная глобальная инфраструктура: существуют мощности для производства, хранения и транспортировки аммиака в промышленных масштабах (около 180 млн тонн в год для удобрений), хотя они требуют адаптации для использования в качестве топлива.

Однако выявлены серьезные барьеры:

- **Токсичность:** Аммиак представляет значительную опасность для экипажа и окружающей среды, что требует разработки строгих протоколов безопасности и сложных систем обнаружения утечек.
- **Проблемы с горением:** Низкая скорость горения и высокая температура воспламенения требуют использования пилотного топлива (до 10-15% на переходный период), что снижает общий экологический эффект.

Метанол: доступное переходное решение

Анализ показывает, что метанол позиционируется как более практичное решение для ближайшего будущего:

- **Технологическая готовность:** Двухтопливные двигатели, работающие на метаноле, уже коммерчески доступны. Более 20 метаноловых судов уже эксплуатируются, и портфель заказов превышает 100 единиц.
- **Более безопасное обращение:** хотя метанол токсичен и горюч, он не представляет такой экстремальной опасности, как аммиак, и существуют хорошо отработанные процедуры работы с ним.
- **Инфраструктурная готовность:** как жидкость при комнатной температуре, метанол может храниться и бункероваться с использованием технологий, аналогичных традиционным топливам, с минимальными модификациями.

Главные недостатки:

- ❖ **Углерод в составе:** для производства «зеленого» метанола требуется источник «зеленого» CO₂ (прямой захват из воздуха или от биогенных источников), что удорожает процесс и создает дополнительную логистическую сложность. Цепочка «электричество -> водород -> метанол -> двигатель» имеет КПД около 25-30%.
- ❖ **Более низкая энергоемкость:** Энергетическая плотность метанола примерно в 2,5 раза ниже, чем у HFO, что требует судов с топливными баками большего объема и, как следствие, снижения грузоподъемности.

Сравнительный технико-экономический анализ

Сводные результаты ТЭА представлены в Таблице 1.

Наши расчеты, основанные на моделировании глобальных торговых потоков, показывают, что к 2040 году «зеленый» метанол может занять до 15-20% рынка морского топлива, в основном в сегментах короткого и среднего морского плавания и на паромов. «Зеленый» аммиак, как ожидается, начнет

массово внедряться после 2035 года и к 2050 году может стать доминирующим топливом для трансконтинентальных контейнеровозов и балкеров.

Таблица 1. Сравнительная характеристика цепочек создания стоимости

Параметр	«Зеленый» Аммиак	«Зеленый» Метанол
Удельная стоимость производства	Высокая (~1.5-2х к метанолу)	Средняя
CAPEX инфраструктуры	Высокий (криогенное хранение, безопасность)	Низкий/Средний (адаптация)
CAPEX судна	Высокий (сложные системы, защита от токсичности)	Средний (похоже на LNG)
Энергоемкость (МДж/л)	~12.7 (выше)	~16.0 (ниже)
Стоимость топлива (прогноз на 2050)	Конкурентоспособна при цене CO ₂ > 150 \$/т	Конкурентоспособна при цене CO ₂ > 100 \$/т

Выводы и перспективы дальнейших изысканий

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. «Зеленый» аммиак и метанол являются взаимодополняющими, а не конкурирующими решениями. Метанол служит критически важным «переходным» топливом, позволяющим начать декарбонизацию уже сейчас и наработать опыт работы с альтернативными топливами. Аммиак – это стратегическая цель на долгосрочную перспективу для полной декарбонизации глубоководного судоходства.

2. Массовое внедрение обоих топлив невозможно без скоординированных усилий на глобальном уровне. Ключевыми задачами являются: развитие производственных мощностей и портовой инфраструктуры; создание механизмов финансового стимулирования (например, «зеленых» коридоров); и, что наиболее важно, гармонизация международных правил безопасности, особенно в части обращения с аммиаком на борту судов.

3. Экономическая конкурентоспособность напрямую зависит от цен на возобновляемую энергию и стоимости выбросов углерода. Снижение стоимости производства «зеленого» водорода является краеугольным камнем для обоих топлив.

Перспективы дальнейших исследований включают:

- Разработка и оптимизация цепочек поставок «зеленого» CO₂ для массового производства «зеленого» метанола.
- Детальный анализ региональных возможностей для создания хабов по производству и бункеровке альтернативных топлив.
- Исследование гибридных энергетических установок, комбинирующих аммиак/метанол с топливными элементами и системами улавливания углерода на борту судна.

Библиографический список

1. International Maritime Organization (IMO). (2021). Fourth IMO GHG Study 2020.
2. IMO. (2023). Revised GHG Reduction Strategy for Global Shipping.
3. Lloyd's Register and UMAS. (2020). Zero Emission Vessels 2030. How do we get there?
4. Balcombe, P., et al. (2019). "How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies." *Energy Conversion and Management*, 182, 72-88.
5. Kobayashi, H., et al. (2019). "Science and technology of ammonia combustion." *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(1), 109-133.
6. Methanol Institute. (2021). Methanol as a Marine Fuel: An Environmental and Economic Assessment.
7. Gilbert, P., et al. (2018). "Assessment of the full lifecycle carbon emissions of alternative shipping fuels." *Journal of Cleaner Production*, 172, 855-866.
8. Bicer, Y., & Dincer, I. (2018). "Life cycle assessment of ammonia utilization in city transportation and power generation." *Journal of Cleaner Production*, 170, 1594-1601.
9. IRENA. (2022). Innovation Outlook: Renewable Ammonia.

МОРСКИЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Смолин Павел Андреевич

студент

E-mail: sevgmy@yandex.ru

*Морской институт им. вице-адмирала В.А. Корнилова- филиал ФГБОУ ВО
"ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова" Г. Севастополь, ул. Героев Севастополя, 11*

MARITIME AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEMS

Smolin Pavel Andreevich

Student

*Maritime Institute named after Vice-Admiral V.A. Kornilov - branch of the
Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Admiral F.F.
Ushakov State Medical University"
Geroev Sevastopolya st., 11, Sevastopol*

АННОТАЦИЯ. Цель: получить доступ к элементам движения не маневрирующих и маневрирующих целей в реальном масштабе времени. Метод: метод временного разделения передач отдельных судов. Результат: сокращение времени обнаружения маневра цели. Вывод: Автоматическая идентификационная система позволяет получать элементы движения не маневрирующих и маневрирующих целей в реальном масштабе времени

Ключевые слова: идентификационная система, кадр (фрейм), динамическая информация, статическая информация.

ABSTRACT. Background: Get access to the movement elements of non-maneuvering and maneuvering targets in real time. Method: the method of temporary separation of transfers of individual vessels. Result: reduction of target maneuver detection time. Conclusion: The automatic identification system allows to obtain elements of movement of non-maneuvering and maneuvering targets in real time.

Keywords: identification system, frame, dynamic information, static information.

Введение

Автоматизированная идентификационная система (АИС) представляет собой систему, которая работает в УКВ-диапазоне и имеет судовую и наземную составляющие. АИС является современной системой, обеспечивающая повышение безопасности мореплавания, уровня защиты окружающей среды и эффективной работы береговых служб.

Судовая станция АИС – приёмопередатчик, способный передавать на другие суда и в береговые службы определённую информации, а также принимать и отображать на дисплее эту же информацию от других судов и служб. К тому же, станция АИС работает непрерывно, т.е. в автоматическом режиме, без участия судового специалиста.

Принцип действия функционирования системы

Принцип действия автоматической идентификационной системы представлен на рисунке 1. Суда, оборудованные аппаратурой АИС, которые находятся в открытом море или в прибрежных районах, постоянно, в автоматическом режиме передают сообщения, содержащие информацию о судне, его координатах, курсе, опасном грузе на борту, порте назначения, времени прибытия.

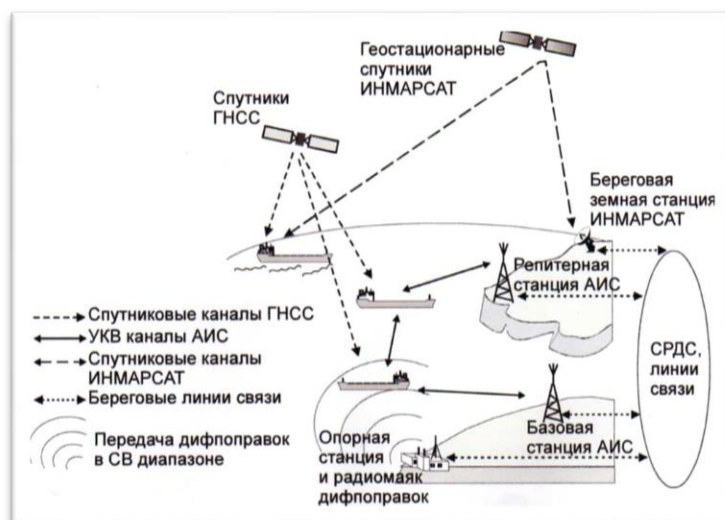


Рисунок 1 – Общий принцип функционирования АИС

Береговые базовые станции АИС могут работать в активном режиме, когда они управляют режимом работы судовых станций и передают информацию, связанную с безопасностью мореплавания: местные навигационные предупреждения, дифференциальные поправки, данные о встречных судах и т.п.

Если же судно находится за пределами работы базовых станций, то судовая АИС может передавать информацию в режиме дальней связи в береговые службы информации через Инмарсат-С, используемый в целях мониторинга.

Аппаратура АИС может также устанавливаться на летательных аппаратах, участвующих в поисково-спасательных операциях на море и на средствах навигационного оборудования (СНО) морских путей (плавучих и стационарных). Лоцманские службы могут использовать портативную аппаратуру АИС, доставляемую на борт судна, которая работает в автономном режиме или с подключением к судовому оборудованию АИС.

Каналы УКВ диапазона, используемые системой

Радиостанции АИС обмениваются данными между собой по умолчанию на двух каналах ультракороткого диапазона с временным разделением сигналов (TDMA): 87В (161,975 МГц) и 88В (162,025 МГц). Станции автоматической

идентификационной системы используют TDMA-каналы на одинаковых частотах с разделением передач по времени. Как источник единого времени станции АИС используют внешний и внутренний GPS или приемники ГЛОНАСС/GPS.

Сущность временного разделения каналов (рис.2.) в том, что каждая станция передает информацию в строго определенном ей временном интервале – слоте.

Длительность одного слота составляет 27,6 мс. Поскольку время передачи одного слота занимает 26,7 мс, то при скорости передачи данных 9600 бит/сек в одном слоте может быть размещено 256 бит информации.

$$9600 \text{ бит/сек} \times 26,7 \text{ мкс} = 256 \text{ бит.}$$

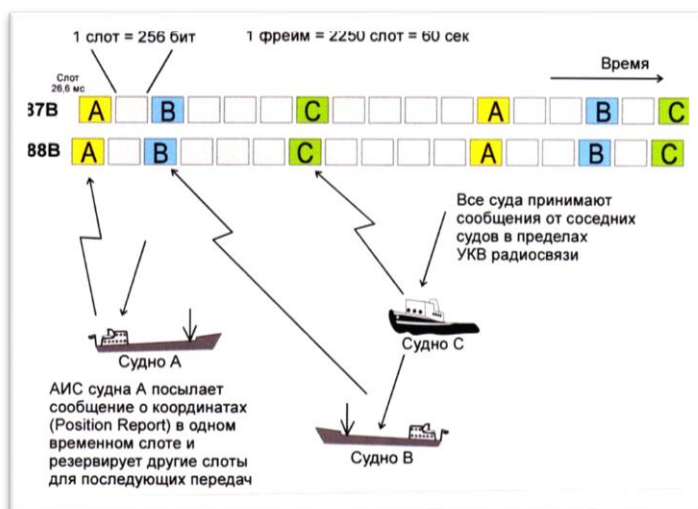


Рисунок 2 – Метод временного разделения передач отдельных судов

Сигналы времени со спутников глобальной навигационной спутниковой системы применяют для точного определения начала слота, используемые для обеспечения точности синхронизации по времени не хуже 10 мкс. Исходя из этого, каждая станция, можно сказать, «вклинивается» для передачи в конкретный слот.

Соответственно, поднимается вопрос о назначении слотов для передач каждой станции. Для предотвращения конфликтов, когда в пределах УКВ радиосвязи два судна будут использовать для своих передач один и тот же слот, применяется специальный алгоритм самоорганизации выбора занимаемых слотов. Этот алгоритм представляет собой передачу каждым судном своего расписания передач на ближайший период времени. Помимо параметров судна, в сообщение включены номера забронированных слотов, которые судно планирует использовать для последующих передач. Все другие суда анализируют картину занятых слотов и планируют свои передачи только в свободных.

Такой алгоритм называется SOTDMA – Self-Organizing TDMA. Алгоритм SOTDMA применяется судами в открытом море, когда все станции АИС –

равноправные. В зоне действия базовой (береговой) станции назначения слотов для передач каждого судна осуществляет сама базовая станция. Такой алгоритм называется FATDMA – Fixed Access TDMA, множественный фиксированный доступ с временным разделением каналов.

В регионах, где осуществляется мониторинг береговыми станциями, могут использоваться другие частотные каналы АИС, если каналы 87В и 88В заняты другими службами.

Кроме двух TDMA-каналов станция автоматической идентификационной системы в одно время работает и на канале DSC (канал 70). По этому каналу осуществляется назначение рабочих каналов АИС со стороны береговой станции.

Минутный интервал представляет собой кадр, включающий 2250 слотов.

$$26,7 \text{ мкс} \times 2250 = 60 \text{ сек.}$$

Для повышения надежности системы и повышения пропускной способности системы используются два канала АИС, обеспечивая передачу/прием по 2250 слот/мин на каждом канале.

Таким образом, пропускная способность автоматической идентификационной системы на двух УКВ каналах составляет 4500 слот/мин.

$$2250 \text{ слот/мин} \times 2 = 4500 \text{ слот/мин.}$$

Информация, предоставляемая автоматической идентификационной системой

Информация, передаваемая АИС-транспондером класса А в автономном непрерывном режиме, разделяется на данные о судне, сведения о рейсе и короткие сообщения о безопасности.

Информация о судне делится на статическую и динамическую.

Статическая информация включает в себя следующие данные:

- 1) MMSI номер (Maritime Mobil Service Identity number);
- 2) ИМО номер судна (если он имеется);
- 3) позывной сигнал и название судна;
- 4) значения длины и ширины судна;
- 5) тип судна;

Динамическая информация – это сведения о положении, элементах движения, навигационном статусе судна. Навигационный статус характеризует состояние судна как объекта маневрирования. В перечень видов навигационного состояния входят следующие значения: «судно не управляется», «судно ограничено в возможности маневрирования» и т.д.

Информация о навигационном статусе вводится в память системы вручную. Данные об элементах движения судна поступает в данную систему

автоматически от соответствующих датчиков. Имеется также возможность ручного ввода этих сведений.

Информация, связанная с рейсом, содержит значение осадки судна, сведения о наличии опасного груза и его тип. По усмотрению капитана в эту информацию может включаться порт назначения судна, ожидаемое время прибытия в него и план перехода (последовательность координат путевых точек).

В основном режиме работы виды данных АИС передаются с разной частотой. Статические сведения о судне посылаются каждые 6 минут и по требованию. Интервал передачи динамической информации зависит от скорости судна и изменения курса (таблица 1).

Таблица 1 – Интервал передачи данных, характеризующих движение судна

Состояние судна	Интервал между сообщениями
Судно на якоре	3 минуты
Скорость 0...14 узлов	12 секунд
Скорость 0...14 узлов при изменении курса	4 секунды
Скорость 14...23 узла	6 секунд
Скорость 14...23 узла при изменении курса	2 секунды
Скорость более 23 узлов	3 секунды
Скорость более 23 узлов при изменении курса	2 секунды

Связанные с рейсом сведения посылаются с периодом 6 минут, а также при изменении этих данных или по запросу. Короткие сообщения относительно безопасности направляются в эфир по мере надобности.

Вывод: Автоматическая идентификационная система позволяет получать элементы движения не маневрирующих и маневрирующих целей в реальном масштабе времени.

Библиографический список

1. Кошевой В.М. Система и устройства автоматической идентификации судов: Учебное пособие / В.М. Кошевой, А.В. Шишкин, В.И. Купровский. – Одесса: ОНМА, 2015. – 79 с.
2. Вагущенко Л.Л. Электронные системы отображения навигационных карт / Л.Л. Вагущенко, В.А. Данцевич, А.А. Кошевой. – Одесса: Латстар, 2016. – 129 с.
3. Вагущенко Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Латстар, 2023. – 170 с.

КИНЕМАТИКА ПРИ РАСЧЁТЕ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ СТРЕЛ

Терлыч Станислав Владимирович

кандидат технических наук,

E-mail: slavus_limanskii@mail.ru

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Херсонская государственная морская академия»,
273022, г. Херсон, проспект Ушакова, 20*

Стрельникова Ирина Александровна

кандидат экономических наук, доцент,

Додонов Валерий Иванович

E-mail: rn6ay@yandex.ru

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Луганский государственный университет имени
Владимира Даля»,
291034, Луганская Народная Республика, г. Луганск, квартал Молодежный,
дом 20А*

KINEMATIC CALCULATION OF SHIP-BASED LOAD-CARRYING HEAVY-WEIGHT MECHANIZED CARGO BOOMS

Terlych Stanislav

Candidate of Technical Science

*Federal State Educational Institution
of Higher Education “Kherson State Maritime Academy”
Ushakov Avenue, 20, Kherson, 273002*

Strelnikova Irina

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

Dodonov Valery

*Federal State Educational Institution
of Higher Education “Vladimir Dal Lugansk State University”,
291034, Lugansk People's Republic, Lugansk City, Molodezhny District, 20A*

АННОТАЦИЯ. Разработан способ определения скорости нока при подъёме (опускании) грузовой стрелы и её повороте, что является основанием для расчёта производительности грузового механизированного устройства с двумя топенант-оттяжками.

Ключевые слова: кинематика подъёма-спуска, грузовое устройство, механизация грузовой стрелы.

ABSTRACT. The method has been developed for determining the speed of the nock during the lifting (lowering) of the cargo boom and its rotation, which is the basis for calculating the performance of a mechanized cargo device with two top-rope ties.

Keywords: lifting-lowering kinematics, cargo device, mechanization of the cargo boom.

Введение

Для определения производительности грузовых механизированных стрел необходимо знать скорости перемещения нока стрелы V , изображённой на рисунке 1, при её повороте и изменении угла наклона.

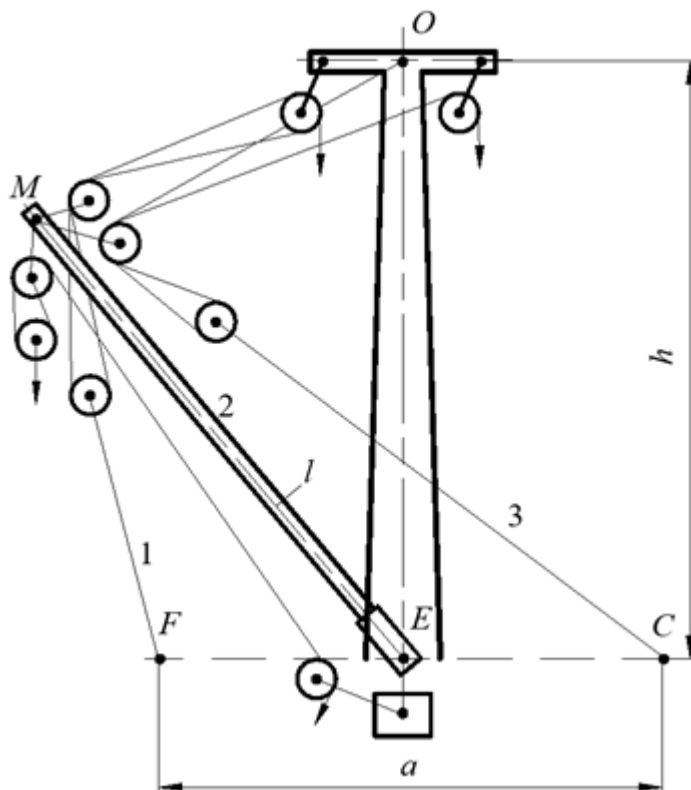


Рисунок 1 – Схема такелажа механизированной стрелы

1 – наружная топенант-оттяжка; 2 – стрела; 3 – внутренняя топенант-оттяжка

В расчёте грузовой механизированной стрелы, упрощённая схема которой показана на рисунке 2, приняты следующие допущения [1-3]: коренные и ходовые концы талей топенант-оттяжек как-бы пересекаются в одной точке мачты и при выбирании (травлении) их линии действия также проходят через одну точку нока стрелы; точки крепления топенант-оттяжек на мачте и шарнир шпора стрелы находятся на одной вертикальной оси при положении судна на ровном киле; окружные скорости на барабанах топенантных лебёдок равны.

Изложение основного материала

При одновременном травлении или выбирании топенант-оттяжек вектор скорости нока M перпендикулярен плоскости треугольника FMC и находится в

плоскости треугольника KNM (рисунки 1, 2). Тогда скорость нока M может быть получена из уравнений:

$$\vec{V}_M = \vec{V}_{MN}; \vec{V}_M = \vec{V}_{отн} + \vec{V}_{MO}, \quad (1)$$

где $\vec{V}_{MO}$ – скорость нока M вокруг точки O ;

$\vec{V}_{MN}$ – скорость нока M вокруг точки N ;

$\vec{V}_{отн}$ – скорость выбирания (травления) топенанта MO (относительная скорость).

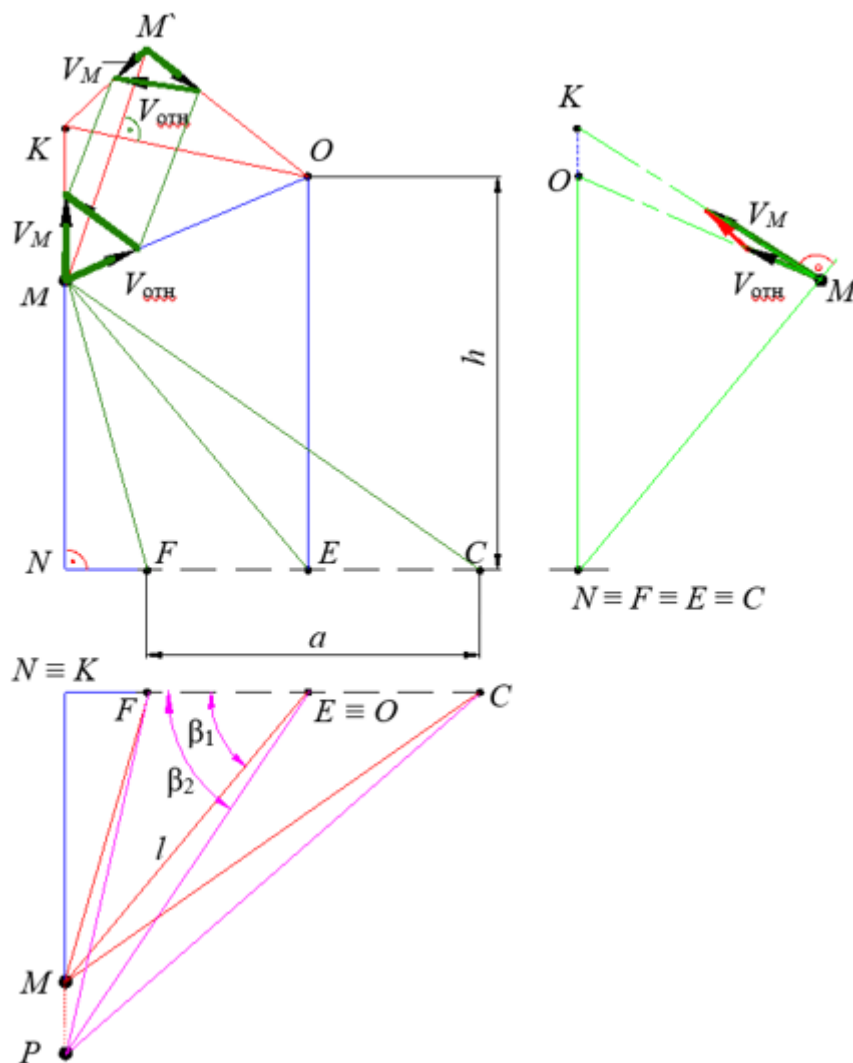


Рисунок 2 – Принципиальная схема механизированной стрелы

Для графического определения скорости нока M , используя уравнения (1) необходимо спроектировать треугольник KMO в натуральную величину (положение KMO) и из конца вектора $\vec{V}_{отн}$ восстановить перпендикуляр до пересечения с прямой KM . Полученный вектор $\vec{V}_M$ представляет собой в принятом масштабе скорость нока M . Из построенного треугольника скоростей можно аналитически получить скорость нока стрелы:

$$V_M = \frac{V_{отн}}{\cos \angle KM'O}, \quad (2)$$

где из треугольника $KM'O$ получено:

$$\cos \angle KM'O = \frac{(KM')^2 + (M'O)^2 - (KO)^2}{2KM' \cdot M'O}. \quad (3)$$

Выразив значения KM' , $M'O$ и KO через параметры грузового устройства, можно найти величину скорости нока стрелы при её подъёме (опускании)

$$V_M = \frac{V_{отн} \sqrt{\left(\frac{h}{l}\right)^2 - \frac{2h}{l} \sin \theta + 1} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \theta \cos^2 \beta_1}}{\frac{h}{l} \cos \theta \sin \beta_1}, \quad (4)$$

где θ – угол наклона стрелы к горизонту (на рисунках он не обозначен).

Грузовая стрела с двумя топенант-оттяжками обладает той кинематической особенностью, что при её повороте нок M перемещается не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскости за счёт изменения длины топенанта MO . Окружную горизонтальную скорость нока стрелы можно представить в виде функций:

$$V_M = f(V_H + \Delta V_H); \quad (5)$$

$$V_M = f(V_B - \Delta V_B); \quad (6)$$

где V_M – окружная горизонтальная скорость нока стрелы;

V_H – скорость травления (выбирания) наружной топенант-оттяжки;

V_B – скорость выбирания (травления) внутренней топенант оттяжки;

$\Delta V_H = \Delta V_B$ – дополнительная скорость, на которую за счёт изменения длины топенанта увеличивается скорость травления (выбирания) наружной (короткой) топенант-оттяжки и уменьшается скорость внутренней (длинной).

Поскольку в первом случае V и ΔV направлены противоположно, а во втором – совпадают по направлению, в равенство (5) ΔV входит со знаком «минус». Функции (5) и (6) определяются путём вычисления производных от длин оттяжек FP и CP , значения которых находятся соответственно из треугольников FPE и CPE , то есть

$$2FP(V_H + \Delta V) = a \sin \beta V_M; \quad (7)$$

$$2CP(V_B - \Delta V) = a \sin \beta V_M; \quad (8)$$

После совместного решений уравнений (7) и (8) относительно V_M с учётом того, что $V_H = V_B = V$, а также заменив FP и CP через параметры грузового устройства, найдена окружная горизонтальная скорость нока стрелы:

$$V_M = \frac{4Vgf}{\frac{a}{l} \sqrt{1 - \cos^2 \beta_1 \cos^2 \theta} (g+f)}, \quad (9)$$

где V – скорость изменения длин топенант-оттяжек;

$$g = \sqrt{\left(\frac{a}{2l}\right)^2 + \frac{a}{l} \cos\beta_1 \cos\theta + 1};$$

$$f = \sqrt{\left(\frac{a}{2l}\right)^2 - \frac{a}{l} \cos\beta_1 \cos\theta + 1}.$$

Заключение

Полученные зависимости (4) и (9) позволяют определить скорости нока при подъёме (опускании) стрелы и её повороте, что является основанием для подсчёта производительности грузового механизированного устройства с двумя топенант-оттяжками. Продолжительность технического (машинного) цикла может быть так же определена аналогичным способом.

Библиографический список

1. Патент № 2043251 Судовое грузовое устройство: № 5061461/11: заявл. 04.09.1992 : опубл. 10.09.1995/ Кеслер А.А.; заявитель, патентообладатель Кеслер А.А. // сайт : <https://patentimages.storage.googleapis.com/08/76/52/e7fe2744c384e6/RU2043251C1.pdf> (дата обращения 11.09.2025).
2. Рязанова Т.В. Технологии перевозки грузов / Керчь: Изд-во КГМТУ. – 2017. – 216 с.
3. Жинкин В.Б. Теория и устройство корабля: учебник / В.Б. Жинкин. – СПб: Судостроение. 2010. - 408 с

СОЗДАНИЕ КОНЦЕПТА БОЛЬШОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФЕКТОВ СУДОВЫХ СИСТЕМ

Фадевнин Глеб Аркадьевич

аспирант

E-mail: fadevnin@bk.ru

Душко Вероника Ростиславовна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: v.r.dushko@mail.ru

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, Севастополь, ул. Университетская, 33,*

CREATION OF A LARGE LANGUAGE MODEL CONCEPT FOR PREDICTING DEFECTS IN SHIP SYSTEMS

Fadevnin Gleb

PhD student

Dushko Veronika

*Candidate of Technical Science, Assistant Professor
Federal State Autonomous Educational Institution
of Higher Education "Sevastopol State University,
Universitetskaya, 33, Sevastopol, 299053*

АННОТАЦИЯ. В статье представлен концепт большой языковой модели (БЯМ), предназначенной для прогнозирования дефектов судовых систем с учётом проектных особенностей судов. Описаны архитектура решения, ключевые этапы реализации и преимущества подхода, интегрирующего разнородные данные: эксплуатационные журналы, техническую документацию и проектные спецификации. Показано, что использование БЯМ позволяет повысить точность прогнозирования за счёт выявления скрытых паттернов, характерных для судов одного проекта.

Ключевые слова: Большая языковая модель, прогнозирование дефектов, судовые системы, проектные данные, предиктивная аналитика, машинное обучение, техническая диагностика, судостроение.

ABSTRACT. The article presents the concept of a large language model (BYAM) designed to predict defects in ship systems, taking into account the design features of ships. The architecture of the solution, the key stages of implementation, and the advantages of an approach that integrates heterogeneous data are described: operational logs, technical documentation, and design specifications. It is shown that the use of BYAM makes it possible to increase the accuracy of forecasting by identifying hidden patterns characteristic of vessels of the same project.

Keywords: Large language model, defect prediction, ship systems, design data, predictive analytics, machine learning, technical diagnostics, shipbuilding.

Введение

Современные суда представляют собой сложные технические системы, включающие сотни взаимосвязанных подсистем: энергетические установки, навигационное оборудование, системы жизнеобеспечения и др. Своевременное выявление потенциальных дефектов критически важно для безопасности мореплавания и снижения эксплуатационных затрат

Традиционные методы диагностики опираются на регламентированные осмотры и статистический анализ отказов, однако они не учитывают [1]:

- контекстные взаимосвязи между событиями;
- специфику проектных решений;
- эволюцию состояния систем во времени.

Цель статьи – разработка концепта БЯМ, способной прогнозировать дефекты судовых систем с учётом:

- исторических данных об эксплуатации;
- технической документации;
- проектных характеристик судов.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующих методов прогнозирования дефектов и выявить их основные недостатки;
- разработать архитектуру БЯМ, учитывающую специфику судовой отрасли;
- описать этапы реализации предложенного решения;
- оценить преимущества и ограничения разработанного концепта;
- определить перспективы развития и внедрения БЯМ в практику судостроения и судоходства.

Обзор проблемы и существующие решения

Прогнозирование отказов судовых систем сталкивается с тремя основными преградами. Данные живут разрозненно: проектные чертежи, ремонтные записи и показания датчиков хранятся в разных форматах и временных шкалах, поэтому собрать из них единую картину состояния приходится вручную, с постоянными уточнениями и пересчётами [2].

Сам дефект редко имеет однозначную причину. Его развитие зависит от сочетания конструктивных особенностей, наработки, внешней среды и режима эксплуатации; свести это многофакторное взаимодействие к одному индексу износа невозможно без потери важной информации [3].

Наконец, для новых или редких типов судов прецедентов отказов пока слишком мало, чтобы статистические модели выдавали устойчивые оценки.

Доверительные интервалы остаются широкими, и прогноз, формально выполненный, не даёт достаточной точности для практических решений о ремонте или продлении ресурса.

Концепция БЯМ для прогнозирования дефектов

Основная идея заключается в использовании большой языковой модели для комплексного анализа текстовых данных в сочетании с числовыми показателями (ремонтные ведомости, акты доковых осмотров, дефектовочные акты). Такой подход может существенно повысить точность прогнозирования дефектов [4].

Архитектура предложенной модели включает следующие модули:

1. Модуль интеграции данных:

- осуществляет сбор информации из различных источников:
 - бортовых журналов (`log_entries`);
 - проектной документации (`design_specs`);
 - отчётов о выявленных дефектах и проведённых ремонтах;
 - данных, полученных от бортовых датчиков (`sensor_data`);
- приводит собранные данные к единому формату, сохраняя при этом важные метаданные (проект судна, дата записи, название системы и т. д.);
- обеспечивает централизованное хранение для последующего анализа.

2. Модуль предобработки данных:

- выполняет токенизацию текстовых данных, разбивая их на отдельные смысловые единицы (токены);
- нормализует числовые значения, приводя их к сопоставимому виду;
- создаёт векторные представления для текстовых фрагментов, что позволяет работать с ними с помощью методов машинного обучения.

3. Ядро БЯМ:

- анализирует контекстные связи между различными типами данных:
- проектными особенностями судна (p);
- историческими данными об узлах и дефектах (f);
- текущими эксплуатационными показателями (s);
- выявляет скрытые паттерны и закономерности, например: «Для проекта P_i характерен ускоренный износ узла F при значении параметра S , превышающем S_0 ».

4. Модуль прогнозирования:

- на основе выявленных паттернов генерирует вероятностные оценки возникновения дефектов;

– ранжирует выявленные риски по степени критичности, что позволяет экипажу и техническому персоналу приоритезировать мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту [5].

Преимуществами предложенного подхода являются: учёт проектной специфики (модель способна выявлять типовые дефекты и слабые места, характерные для судов одного проекта, что невозможно при использовании универсальных статистических моделей); интеграция разнородных данных, обеспечивая более полное представление о состоянии судна, адаптивность и интерпретируемость результатов.

Последовательность этапов для реализации и внедрения предложенной модели

Предположительный план реализации предложенной модели может состоять из следующих этапов:

1. *Сбор и аннотирование данных:* сформировать обширный датасет (включающий свыше 500 отчётов о дефектах и ремонтах), провести разметку ключевых сущностей в данных (система, проект, тип дефекта, дата выявления и т. д.), чтобы подготовить материал для обучения модели [6].

2. *Выбор базовой модели:* взять за основу одну из современных предобученных БЯМ (например, LLaMA-3 или Falcon)

3. *Дообучение модели:* применить методы фасетного обучения (fine-tuning) для адаптации модели к специфике судовых систем, использовать методы обучения с подкреплением (RLHF) для повышения точности и качества генерируемых прогнозов.

4. *Валидация и тестирование модели:* провести кросс-валидацию на исторических данных, разбив их по проектам судов; сравнить результаты работы БЯМ с базовыми моделями, используя метрики качества (F1-мера, ROC-AUC и др.), – доработать модель с учётом полученных результатов.

Заключение

В ходе исследования был разработан концепт БЯМ, предназначенной для прогнозирования дефектов судовых систем с учётом проектных особенностей судов. В процессе работы были достигнуты следующие ключевые результаты:

– предложена архитектура решения, которая позволяет интегрировать и анализировать разнородные данные: тексты, числовые показатели, временные ряды;

– обоснована важность учёта проектных характеристик судов для повышения точности прогнозирования дефектов;

– описан подробный план реализации решения, включающий этапы сбора данных, дообучения модели и её интеграции с бортовыми системами.

Перспективы развития:

- расширение датасета за счёт данных, предоставляемых международными классификационными обществами и ассоциациями;
- внедрение механизмов онлайн-обучения, которые позволят модели адаптироваться к новым проектам и типам судов;
- разработка мобильных интерфейсов и приложений для экипажей, которые будут использовать БЯМ для мониторинга состояния судна в режиме реального времени;
- интеграция БЯМ с системами предиктивного обслуживания (CBM), что позволит оптимизировать график технического обслуживания и ремонта судовых систем.

Предложенный концепт БЯМ открывает новые возможности для повышения надёжности и безопасности судовых систем, оптимизации затрат на их эксплуатацию и обслуживания, а также способствует развитию предиктивной аналитики в судостроительной и судоходной отраслях.

Библиографический список

1. Michail Cheliotis. Machine Learning and Data-Driven Fault Detection for Ship Systems Operations // Ocean Engineering, 2020. URL: DOI:10.1016/j.oceaneng.2020.107968 (дата обращения: 23.11.25).
2. Dragos Simion. AI-Driven Predictive Maintenance in Modern Maritime Transport — Enhancing Operational Efficiency and Reliability // Applied Sciences, 2024. URL: <https://doi.org/10.3390/app14209439> (дата обращения: 23.11.25).
3. Alexandros S. Kalafatelis. Naval AI-Based Utility for Remaining Useful Life Prediction and Anomaly Detection for Lifecycle Management // Systems, 2025. URL: <https://doi.org/10.3390/systems13100845> (дата обращения: 23.11.25).
4. Carlos E. Pardo B. Towards Predictive Maintenance in the Maritime Industry: A Component-Based Overview // JMSE, 2025. URL: <https://doi.org/10.3390/jmse13030425> (дата обращения: 24.11.25).
5. Seunghun Lim. Maintenance Time Prediction for Predictive Maintenance of Ship Engines // Applied Sciences, 2025. URL: <https://doi.org/10.3390/app15094764> (дата обращения: 24.11.25).
6. Alaaeddine Chaoub. Learning representations with end-to-end models for improved remaining useful life prognostics // PHM Society European Conference. 2021. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2104.05049> (дата обращения: 24.11.25).

АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЛЕДОВОЙ ХОДКОСТИ ПРОЕКТИРУЕМОГО ЛЕДОКОЛА

Фадиль Аббас Сулейман Ремахович

студент

E-mail: suleyman27012004@gmail.com

Иванова Ольга Александровна

кандидат технических наук, доцент

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

E-mail: o.a.ivanova.kmt@mail.ru

Никонова Екатерина Александровна

конструктор 3 категории

E-mail: katanikonova355@mail.ru.

*Акционерное общество «Ростовское центральное
проектно-конструкторское бюро «Станель»,
344116, г. Ростов-на-Дону, ул. 2-я Володарского, 76/23а
E-mail: katanikonova355@mail.ru.*

INVERTED BOW VESSELS FOR THE ARCTIC

Fadil Abbas Suleiman Remakhovich

Student

Ivanova Olga Alexandrovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Federal State Educational Institution

of Higher Education "Sevastopol State University"

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

Nikonova Ekaterina Alexandrovna

Constructor of the 3rd category

Rostov Central Design Bureau "Stapel"

2nd Volodarsky st., 76/23A, Rostov-on-Don., 344116

АННОТАЦИЯ. В работе выполнен сравнительный анализ ледовой ходкости судов, эксплуатирующихся в арктических условиях. Для анализа выбраны и рассмотрены четыре основных метода расчета: метод В.И. Каштеляна, метод Г. Линдквиста, метод Б.П. Иконова, метод И. Левиса и Р. Эдвардса. На основе вышеизложенных методов выполнен расчет ледового сопротивления проектируемого ледокола, построены кривые ледового

сопротивления от различных толщин льда, выбран ключевой метод для дальнейшего выбора энергетической установки пропульсивного комплекса.

Ключевые слова: ледовая ходкость, ледокол, обводы, сопротивление движению судна, ледовое сопротивление.

ABSTRACT. The paper presents a comparative analysis of the ice resistance of vessels operating in Arctic conditions. Four main calculation methods were selected and reviewed for the analysis: the method of V.I. Kashtelian, the method of G. Lindquist, the method of B.P. Ionov, and the method of I. Levis and R. Edwards. Based on these methods, the ice resistance of the proposed icebreaker was calculated, and curves of ice resistance were plotted for different ice thicknesses. A key method was selected for further selection of the propulsion system's energy plant.

Keywords: ice mobility, icebreaker, hull shape, resistance to vessel movement, ice resistance.

Введение

В настоящее время одной из наиболее ключевых задач для российского судостроения является освоение Арктики, что связано с открытием природных залежей полезных ископаемых. Данные открытия влекут за собой необходимость в создании новых технологий и технических средств для ее освоения, а также увеличение ледокольного флота.

При проектировании ледокола одной из наиболее важных задач является оценка его ходкости при различных ледовых условиях. Отсюда следует необходимость в расчете ледового сопротивления, поскольку при начальных этапах проектирования судов данный фактор является одним из наиболее важных при выборе энергетической установки, архитектурно-конструктивного типа судна и определения эксплуатации судна в конкретных ледовых условиях. Также данный фактор является наиболее важным для оценки рисков повреждения корпуса и механизмов судна. Учет ледового сопротивления необходим для повышения надежности и экономичности судов, предназначенных для работы в районах с наиболее интенсивным образованием ледяного покрова.

Ледовое сопротивление — это сила, возникающая при движении судна через морской лёд, препятствующая продвижению корабля вперед. Оно обусловлено взаимодействием корпуса судна с поверхностным слоем льда, образованием трещин и разрушением отдельных фрагментов льда. Основными составляющими ледового сопротивления являются:

1. Фрикционное сопротивление;
2. Давление раздавливания;
3. Подъёмное сопротивление.

Дальнейшие расчеты ледового сопротивления проводились на основе проектируемого ледокола (рис. 1) со следующими основными характеристиками:

- длина по КВЛ L , м – 164,00;
- ширина по КВЛ B , м – 33,80;
- осадка по КВЛ T , м – 10,50;
- высота борта D , м – 15,20;
- коэффициент общей полноты δ – 0,599;
- водоизмещение объемное V , м – 34863,96;
- длина ветви ВЛ L_H , м – 82,00;
- длина цилиндрической вставки $L_{цв}$, м – 24,60;
- угол притыкания ВЛ α_0 – 50°;
- коэффициент динамического трения f_d – 0,065;
- число Фруда по ширине Fr – 0,057.

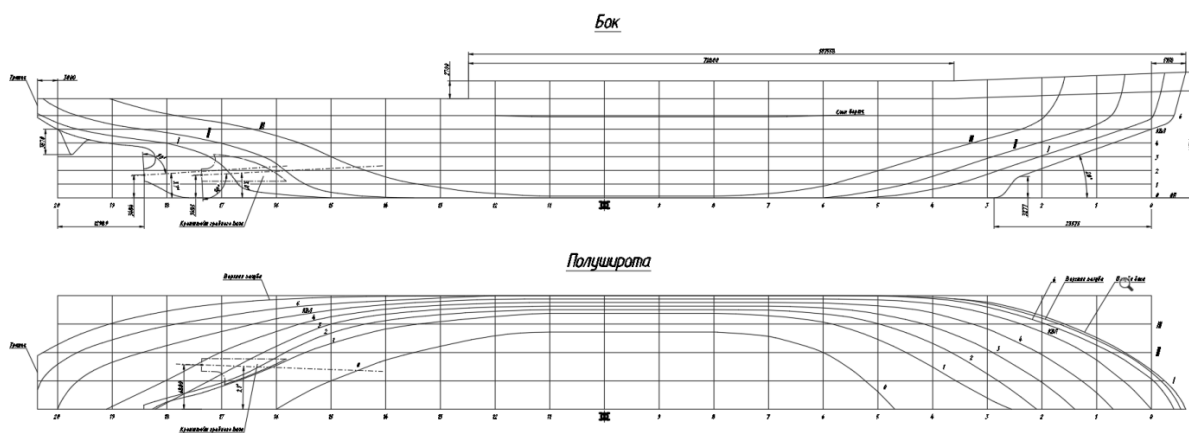


Рисунок 1 – Проектируемый ледокол.

Методы исследования и расчет ледового сопротивления

Метод Б.П. Ионова

Метод расчета ледового сопротивления Б.П. Ионова складывается из нескольких, составляющих сопротивлений:

- 1 сопротивление разрушению льда форштевнем и бортами;
- 2 сопротивление, обусловленное притапливанием и поворачиванием льда;
- 3 сопротивление раздвиганию разрушенного ледяного покрова;
- 4 сопротивление воды движению ледокола во льдах;
- 5 сопротивление цилиндрической вставки.

На основе вышеизложенного Б.П. Ионовым были выведены следующие формулы для расчета ледового сопротивления и его составляющих при движении судна в сплошных льдах, которые в конечном виде представлены как:

$$R_{ice}^* = 0,011 \frac{\sigma_f h^2}{b} [a_1(\beta)B + 2f_d a_2(\beta)L_H] +$$

$$+0,3\rho_0ghBL_H\left(\frac{tg\alpha_0}{tg\alpha_0+B/2L_H}\right)[\alpha_1(\beta)\sin\alpha_0+f_d\alpha_2(\beta)(1+\cos\alpha_0)]+\\ +0,7\rho_{ice}ghB^2Fr_B\left(1+\frac{1}{\cos\alpha_0}\right)\left[\frac{(tg\alpha_0)^2}{2tg\alpha_0-B/2L_H}+f_d\right]+\\ +1,2\left(\frac{B}{2T+B}\right)f_d\rho_0ghBL_{HB}$$

где $\alpha_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{0,57}{\sin\beta_i} \cdot (1,6 \cdot \cos\beta_i + 0,11)$ и $\alpha_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sin\beta_i}$

Данный метод – полуэмпирический и его основным отличием является переменные, которые описывают и форму корпуса проектируемого ледокола, и свойства льда в районах его эксплуатации.

На основе выполненных расчетов ледового сопротивления проектируемого ледокола методом Б.П. Ионова, результаты приведены на рисунке 2.

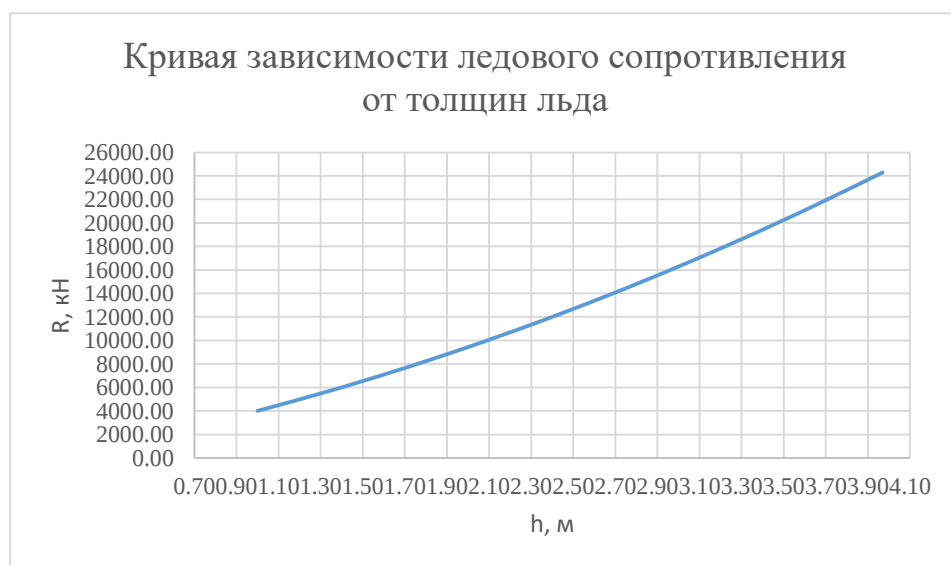


Рисунок 2 – Кривая зависимости ледового сопротивления от толщин льда (Метод Б.П. Ионова)

Метод В.И. Каштеляна

Метод расчета ледового сопротивления В.И. Каштеляна основывается на влиянии формы корпуса проектируемого ледокола и свойств льда на ледовое сопротивление. Метод базируется на результатах модельных испытаний ледокола «Ермак» в опытовом бассейне. Выражение для расчета сопротивления имеет следующий вид:

$$R = 0,04 \cdot B \sigma_p h \mu_0 + 3,6 \cdot \rho_{\text{л}} \cdot B \cdot h^2 \cdot \mu_0 + 0,25 \cdot B^{1,65} \cdot h \cdot V \cdot \eta_2^{-1}$$

где μ_0 , η_2 – коэффициенты ледокольности и ледорезности, характеризующие в интегральном виде форму корпуса в районе КВЛ, предложенные Ю.А. Шиманским.

Выполнен расчет ледового сопротивления проектируемого ледокола методом В.И. Каштеляна, результаты проведенных на рисунке 3.

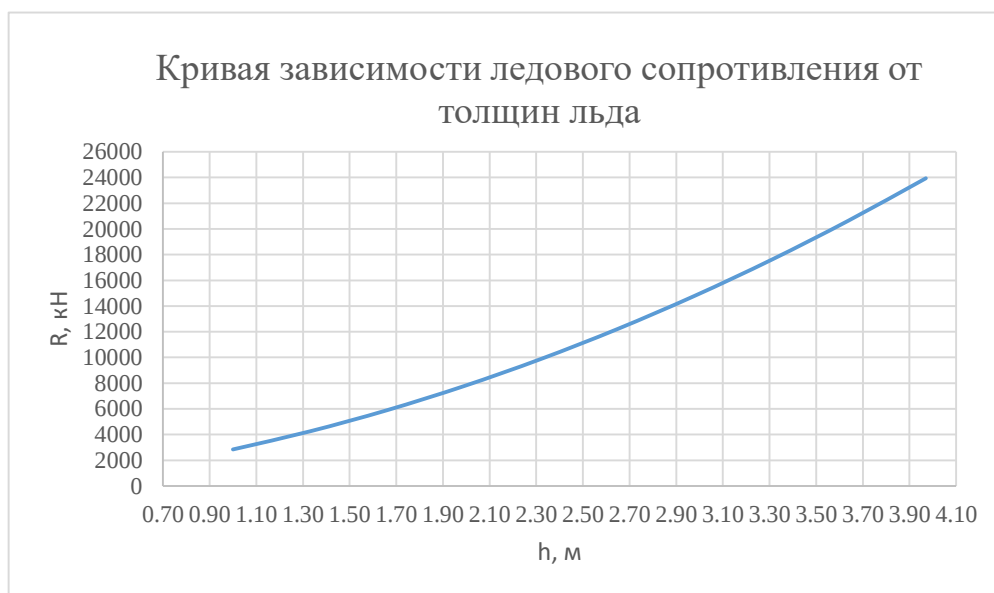


Рисунок 3 – Кривая зависимости ледового сопротивления от толщин льда (Метод В.И. Каштеляна)

Метод Г. Линдквиста

Метод расчета ледового сопротивления Г. Линдквиста заключается в разделении его на следующие составляющие:

- 1 сопротивление разрушению льда форштевнем;
- 2 сопротивление разрушению льда изгибом;
- 3 сопротивление притапливанию льда.

Данный метод был разработан на основе натурных испытаний судов ледового плавания в Ботническом заливе. В ходе проведенных исследований Линдквист не включил в итоговое выражение все составляющие сопротивления, выбрав лишь доминирующие, что может привести к некорректным результатам. Так итоговое выражение имеет следующий вид:

$$R = (R_c + R_b) \left(1 + \frac{1,4v}{\sqrt{gh}} \right) + R_s \left(1 + \frac{9,4v}{\sqrt{gL}} \right);$$

$$R_c = 0,5\sigma h^2 \left(\operatorname{tg} \varphi + \frac{\mu \cos \varphi}{\cos \phi} \right) / (1 - \mu \sin \varphi / \cos \phi);$$

$$R_b = 0,003\sigma B (h^{1,5} / \sqrt{m}) \left(\operatorname{tg} \phi + \frac{\mu \cos \varphi}{\sin \alpha \cos \phi} \right) \left(1 + \frac{1}{\cos \phi} \right);$$

$$R_s = (\rho_B - \rho_L)ghB[T(B+T)/B+2T] + (0,7L - \frac{T}{tg\varphi} - \frac{B}{4tg\alpha} + T\cos\varphi\cos\phi\sqrt{\frac{1}{\sin^2\alpha} + \frac{1}{tg^2\alpha}});$$

где $\phi = \arctg\left(\frac{tg\varphi}{\sin\alpha}\right)$; $m = \sqrt{\frac{EI}{12(1-\nu^2)\rho_B g}}$; $I = h^3$; $\nu = 0,3$

Выполнен расчет ледового сопротивления проектируемого ледокола методом Г. Линдквиста, результаты приведены на рисунке 4.

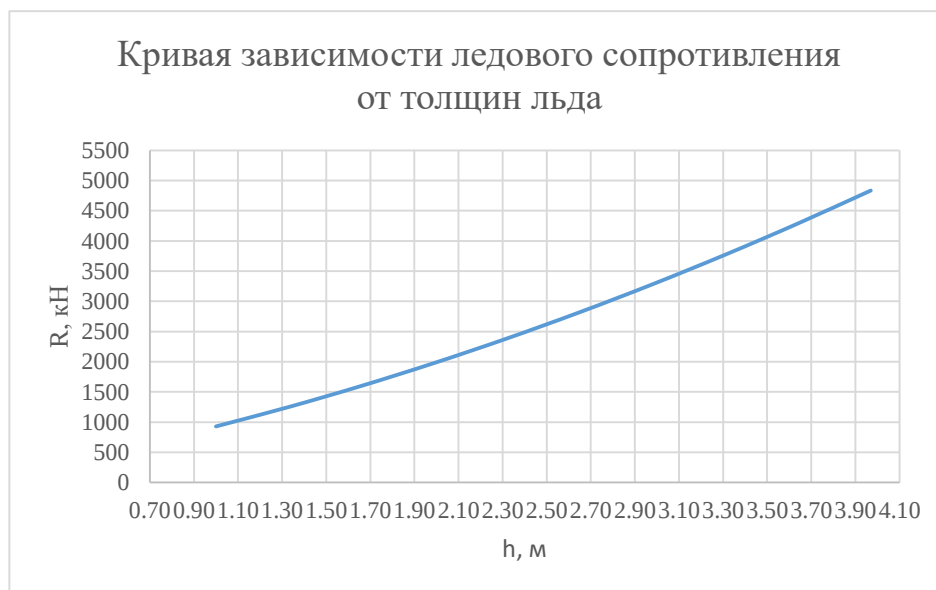


Рисунок 4 – Кривая зависимости ледового сопротивления от толщин льда (Метод Г. Линдквиста)

Метод И. Левиса и Р. Эдвардса

Метод расчета ледового сопротивления И. Левиса и Р. Эдвардса это полуэмпирические модели, которые разбивают полное ледовое сопротивление на составляющие. Целью данного метода является прогнозирование ледовой ходкости на начальных этапах проектирования ледоколов, где итоговое выражение имеет следующий вид:

$$R_{ice} = C_1\sigma_b h^2 + C_2\rho_{ice}gBh^2 + C_3\rho_{ice}Bhv^2$$

Коэффициенты C_1 , C_2 и C_3 получены в результате обработки данных натурных испытаний ледокола типа "Wind", модельных испытаний ледокола М-класса и натурных испытаний USCGC "Raritan"

Результаты расчета ледового сопротивления проектируемого ледокола методом И. Левиса и Р. Эдвардса представлены на рисунке 5.

Заключение

В результате выполненных расчетов выявлено, что при относительно малых значения толщин сплошного ровного льда (от 1 м до 2 м), наибольшую сходимость результатов расчета ледового сопротивления дают методы Б.П. Ионова, В.И. Каштеляна и метод И. Левиса и Р. Эдвардса, в то время как метод Г. Линдгвиста уже при толщине льда 1 м, дает малые значения ледового сопротивления. В методе Г. Лингвиста все три составляющие линейно зависят от скорости, но не включены все компоненты сопротивления для описания процесса разрушения льда.

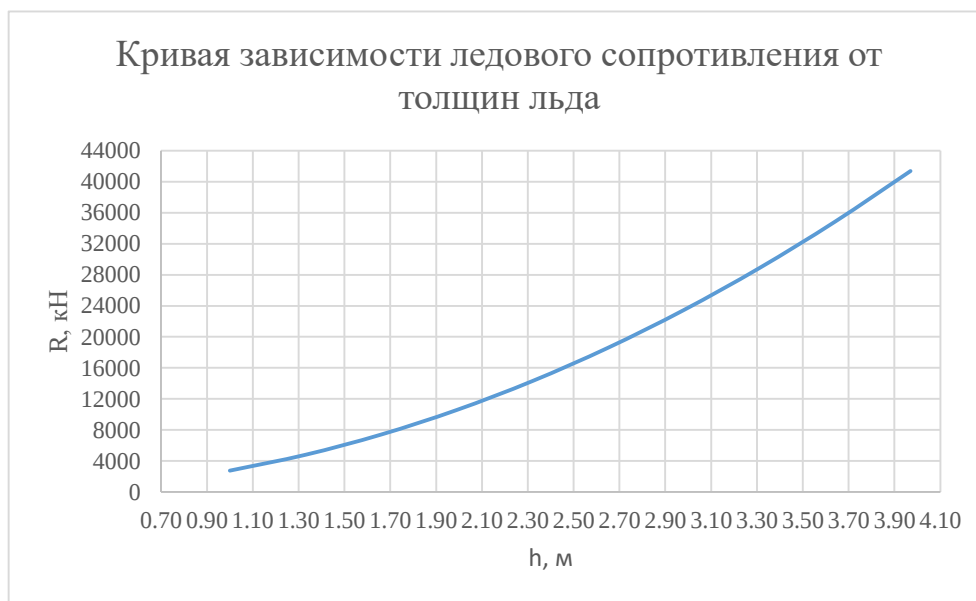


Рисунок 5 – Кривая зависимости ледового сопротивления от толщин льда (Метод И. Левиса и Р. Эдвардса)

Проектируемый ледокол имеет обводы и форму корпуса присущие ледоколам отечественной постройки. Метод Б.П. Ионова основывается на результатах испытаний отечественных ледоколов, в то время как в формуле Каштеляна коэффициенты составляющих ледового сопротивления получены при модельных испытаниях ледокола «Ермак». Метод Б.П. Ионова отличается большим количеством переменных, описывающих как форму корпуса судна, так и свойства льда. Б.П. Ионов учитывает сопротивление цилиндрической вставки, а также коэффициент динамического трения льда о корпус судна, что в значительной степени влияет на ледовое сопротивление. Поэтому в дальнейших расчетах при определении таких характеристик как пропульсивная мощность двигателя ледокола, целесообразней использовать метод расчета ледового сопротивления предложенный Б.П. Ионовым.

**СВЯЗИ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ КАРИБСКОГО МОРЯ, С ЗАПАЗДЫВАЮЩИМИ ПО
ОТНОШЕНИЮ К НИМ, ВАРИАЦИЯМИ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА НАД
МОРЕМ У БЕРЕГОВ ЕВРОПЫ**

Холопцев Александр Вадимович

доктор географических наук, профессор

E-mail: kholoptsev@mail.ru

Курочкин Леонид Егорович

кандидат технических наук, доцент

E-mail: l.kurochkin.mj@mail.ru

Подпорин Сергей Анатольевич

кандидат технических наук, доцент

E-mail: s.a.podporin@gmail.com

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Севастопольский государственный университет»,
299053, г. Севастополь, ул. Университетская, 33*

**THE RELATIONSHIP OF INTERANNUAL CHANGES IN THE SURFACE
TEMPERATURE OF THE CARIBBEAN SEA, WITH DELAYED RELATIVE
VARIATIONS IN AIR TEMPERATURES OVER THE SEAS OFF THE
COAST OF EUROPE**

Kholoptsev Aleksander Vadimovich

Doctor of Geographical Sciences, Professor

Kurochkin Leonid Egorovich

Candidate of Technical Science, Assistant Professor

Podporin Sergey

Candidate of Technical Science, Assistant Professor

Federal State Educational Institution

of Higher Education «Sevastopol State University»

Universitetskaya st., 33, Sevastopol, 299053

АННОТАЦИЯ. Актуальной проблемой гидрометеорологического обеспечения судоходства является совершенствование методик долгосрочного прогнозирования изменений метеорологических условий над различными участками трансокеанских водных путей. В статье выдвинута гипотеза о существовании участков морей у берегов Европы, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных температур воздуха над водной поверхностью с вариациями поверхностных температур Карибского моря в 2010-2024гг. оцениваются как значимые, а с учетом данных за период 1979-2024гг. отмечается тенденция к усилению. Для этого

осуществлен корреляционный анализ связей между временными рядами изучаемых процессов, в которых предварительно скомпенсированы линейные тренды. Установлено, что достоверность статистического вывода о справедливости выдвинутой гипотезы превышает 0,99. Доказано, что на акваториях морей у берегов Европы, для месяцев с апреля по август, искомые участки существуют. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности учета выявленных связей при долгосрочном прогнозировании изменений метеоусловий на выявленных участках рассматриваемых водных путей.

Ключевые слова: моря у берегов Европы, Карибское море, судоходство, долгосрочное прогнозирование, температура приземного воздуха, поверхностная температура, связи.

ABSTRACT. An urgent problem of hydrometeorological support for navigation is the improvement of methods for long-term forecasting of changes in meteorological conditions over various sections of transoceanic waterways. The article hypothesizes on the existence of areas of the seas off the coast of Europe, for which the relationship of interannual changes in average monthly air temperatures above the water surface with variations in surface temperatures of the Caribbean Sea in 2010-2024 is estimated as significant, and taking into account the data for the period 1979-2024, there is a tendency to strengthen. For this purpose, a correlation analysis of the relationships between the time series of the studied processes was carried out, in which linear trends were previously compensated. It has been established that the reliability of the statistical conclusion on the validity of the proposed hypothesis exceeds 0.99. It is proved that in the waters of the seas off the coast of Europe, for the months from April to August, the desired areas exist. The results obtained indicate that it is advisable to take into account the identified relationships in the long-term forecasting of changes in weather conditions in the identified sections of the waterways under consideration.

Keywords: seas off the coast of Europe, Caribbean Sea, shipping, long-term forecasting, surface air temperature, surface temperature, communications.

Введение

Характеристики метеоусловий на тех или иных участках водных путей во многом определяют условия и безопасность осуществления по ним судоходства. Поэтому совершенствование методик долгосрочного прогнозирования их изменений – актуальная проблема не только гидрометеорологии, но также судовождения.

Наибольший интерес ее решение представляет для регионов Мирового океана, по которым пролегают трансокеанские водные пути с повышенным трафиком, прохождение которых занимает месяц и более, так как при планировании рейсов через такие регионы долгосрочные прогнозы погоды актуальны. К их числу относятся моря Атлантического и Северного Ледовитого океана у берегов Европы, через которые проходят важнейшие водные пути, связывающие ее порты, с портами других частей света. Многие из таких портов принадлежат России. К последним относятся порты на Черном море: Новороссийск, Керчь и Севастополь, на Балтийском море: - Большой порт Санкт Петербург, Усть-Луга, Приморск, Выборг, Калининград и Высоцк, а также важнейшие порты Российской Арктики порты - Мурманск и Архангельск, грузооборот через которые в последние годы существенно возрос.

При разработке прогноза любого природного процесса необходимо принять какое-либо допущение о характере сценария его дальнейшего развития. Примером такого сценария может служить: - «что было то и будет». Упомянутый сценарий, называемый инерционным, предполагает, что в будущем статистические свойства рассматриваемого процесса сохранятся такими же, какими они были в прошлом [1].

Краткосрочные и среднесрочные прогнозы изменений характеристик метеоусловий, разработанные с учетом допущения о том, что сценарий этих изменений является инерционным, обладают оправдываемостью, вполне достаточной для удовлетворения многих потребностей практики [2]. Принятие этого допущения, позволяет изучать статистические свойства таких изменений, а также верифицировать их прогностические модели по соответствующим предысториям [3]. По ним же возможна и априорная оценка качества разработанных прогнозов, которая тем меньше отличается от его апостериорной оценки, чем более справедливым является упомянутое допущение [4].

Из упомянутого допущения следует, что соответствующий рассматриваемому сценарию прогноз изучаемого процесса, может оказаться тем точнее и успешнее, чем точнее моделирование его предыстории. Поэтому главным направлением развития методик прогнозирования гидрометеорологических процессов ныне является расширение множества факторов, которые при этом учитываются.

Основой существующих представлений о принципах долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических процессов являются труды З.М. Гудковича и других ученых Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ), посвященные решению проблем мониторинга ледовой обстановки на судоходных маршрутах Северного Морского пути [5]. В них предложено при разработке таких прогнозов также принять упомянутое допущение.

В современном периоде методики прогнозирования гидрометеорологических процессов, в том числе и их долгосрочного прогнозирования, развиваются по указанному направлению. Наибольший вклад в их совершенствование вносят ученые Гидрометцентра России [6-8], Главной Геофизической обсерватории имени А.И. Воейкова [9], а также ААНИИ [1, 5].

Применяемые ими при разработке долгосрочных прогнозов математические модели учитывают ныне уже многие десятки факторов. В результате этого оправдываемость таких прогнозов удалось повысить до уровня 0,7-0,8.

В действительности, свойства любых природных процессов с течением времени несколько изменяются. Поэтому, чем больше заблаговременность

разрабатываемого прогноза, тем отличия фактических сценариев учитываемых при этом процессов от инерционного сценария, могут оказаться больше.

Установлено, что статистические свойства некоторых факторов, учитываемых при прогнозировании гидрометеорологических процессов для ряда участков земной поверхности, за время, характерное для заблаговременности долгосрочных прогнозов [10], успевают существенно измениться. В результате этого верификация математических моделей таких факторов по соответствующим предысториям, к повышению точности описания дальнейшей их динамики приводит не всегда, что может вызывать снижение оправдываемости и разрабатываемых прогнозов [11, 12]. Следовательно, принятие упомянутого допущения может являться одной из причин ошибочности разработанного в соответствии с ним долгосрочного прогноза.

Иной подход к разработке долгосрочных прогнозов физико-географических процессов предложен в [13]. В соответствии с ним, при разработке таких прогнозов рекомендовано принять допущение о том, что сценарий развития прогнозируемого процесса является консервативным. Последнее означает, что в будущем тенденции изменения значений выборочного коэффициента корреляции рассматриваемого процесса, с каждым фактором, учитываемым в его прогностической модели, сохранятся такими же, какими они были в прошлом [2]. Очевидно, что инерционный сценарий является в тоже время консервативным, но обратное не верно. Следовательно, указанное допущение является менее «жестким», чем упомянутое выше, и потому оно может быть справедливо в большем количестве случаев.

Как известно [14], математическая модель процесса описывает его тем точнее, чем сильнее статистические связи этого процесса, с каждым фактором, учитываемым ею. Поэтому апостериорная оценка оправдываемости прогноза этого процесса, который разработан с учетом некоторых факторов, оказывается не ниже ее априорной оценки, если сценарий его развития, как и сценарии таких факторов консервативны, и при условии, что связи между ними либо не изменяются, либо устойчиво усиливаются.

Нетрудно видеть, что общее количество таких факторов может быть значительно меньше, чем их общее количество. Поэтому точность моделирования предыстории изучаемого процесса с учетом одних лишь таких факторов всегда значительно ниже, чем с учетом всех факторов. Оправдываемость его прогнозов, разработанных с учетом упомянутых факторов, может быть выше, чем в случае, если при их разработке учитывались все факторы. Последнее возможно, если связи изучаемого процесса с упомянутыми факторами достаточно сильны. При планировании рейсов могут учитываться

лишь априорные оценки оправдываемости полученных гидрометеорологических прогнозов.

Если известно, что указанные оценки являются заниженными (по итогам рейса оказывается, что прогнозы оправдывались чаще, чем ожидалось), учет таких прогнозов при планировании рейса каких-либо проблем при его осуществлении не вызывает. Поэтому в [13] предложено при разработке долгосрочных прогнозов изучаемых процессов учитывать лишь те их факторы, которые, которые в современном периоде значимы, опережая его на время, равное заблаговременности прогноза, а также, если в прошлом связи между ними либо не изменялись, либо усиливались. Согласно существующим представлениям об атмосферных процессах, способных значимо влиять на изменения метеоусловия на акваториях морей у берегов Европы [15], одним из них является прохождение над ними циклонов, образующихся над Северной Атлантикой. Время, за которое такие циклоны достигают побережий морей Европы составляет от единиц суток (для Норвежского моря) до единиц недель (для Азовского и Черного моря) [16]. Траектории, по которым перемещаются Атлантические циклоны (т.н. треки), определяются фазой Североатлантического колебания (далее САК) [17, 18].

В периоды времени, когда значение разности атмосферных давлений в Азорском максимуме и Исландском минимуме увеличивается, треки Атлантических циклонов над Европой смещаются к северу. В противоположных случаях они смещаются к югу. В период прохождения над некоторым районом циклона в нем усиливается ветер, а в летние месяцы снижаются средние температуры воздуха над водной поверхностью (далее СТВ) [15].

Атмосферные давления в упомянутых центрах действия атмосферы существенно зависят от поверхностных температур соответствующих участков акватории Северной Атлантики, которые определяются вариациями температур вод, доставляемых в них Канарским течением и течением Ирмингера, являющихся северной и южной струями Североатлантического течения. Воды последнего формируются у Большой Ньюфаундлендской банки, с участием вод, приносимых течением Гольфстрим. Упомянутые воды поступают в Атлантический океан через Флоридский пролив, из Мексиканского залива, в который Карибское течение доставляет поверхностные воды Карибского моря [19- 22].

Следовательно, повышение средней поверхностной температуры вод Карибского моря, аномалия которой рассматривается как Глобальный климатический индекс CAR [22] (далее Карибский индекс), через некоторое время, приводит к повышению поверхностной температуры района Атлантики, соответствующего Исландскому минимуму, что вызывает противоположные изменения значений индекса САК [23-25].

По указанным причинам вариации Карибского индекса способны влиять на траектории Атлантических циклонов и метеоусловия на акваториях морей у берегов Европы. Поэтому допустимо предположить, что на акваториях некоторых морей у берегов Европы существуют участки, над которыми межгодовые изменения СТВ для весенне-летних месяцев, запаздывающие по времени на единицы месяцев по отношению к вариациям Карибского индекса в 2010-2024 гг. были связаны с ними значимо, а за период 1979-2024 гг. эта связь усиливалась.

Подтверждение справедливости выдвинутой гипотезы позволило бы применить информацию об изменениях Карибского индекса при долгосрочном прогнозировании межгодовых изменений СТВ над соответствующими районами Европы. Тем не менее, ранее такой проверки выполнено не было.

Поэтому целью данной работы является осуществление проверки выдвинутой гипотезы. Для ее достижения решены следующие задачи:

1. Определение участков акваторий морей у берегов Европы, для которых статистические связи межгодовых изменений СТВ для тех или иных месяцев, с вариациями Карибского индекса, опережающими их на единицы месяцев в 2010-2024гг. являлись значимыми.

2. Выявление участков акваторий изучаемых морей, для которых статистические связи межгодовых изменений СТВ для рассматриваемых месяцев с рассматриваемым фактором за 1979-2024 гг. усиливались.

Фактический материал и методика исследования

При решении указанных задач учитывалось, что связи между рассматриваемыми процессами могли быть и случайными. Поэтому для подтверждения того, что упомянутые связи носят причинный характер, изучались также связи межгодовых изменений Карибского индекса с запаздывающими по отношению к ним на единицы месяцев вариациями индекса САК.

Следовательно, как фактический материал использованы сведения об изменениях значений индекса САК и Карибского индекса, представленные в [26].

Данные об изменениях Карибского индекса получены из набора данных NOAA ERSST V3b. Аномалии были рассчитаны относительно климатологических данных 1981–2010 годов. Они сглажены методом трёхмесячного усреднения и спроецированы на 20 опережающих EOF. [27].

Из рис.1 видно, что межгодовые изменения значений Карибского индекса для всех рассматриваемых месяцев представляют собой сложные колебания, в которых за период 1985-2024гг. присутствуют возрастающие тренды, близкие к

линейным. Изучаемая информация об изменениях СТВ над морскими акваториями у берегов Европы получена в результате соответствующего усреднения сведений о среднечасовых температурах воздуха на высоте 2 м над ними. Упомянутые сведения соответствуют каждому часу из периода с 00 часов 1.01.1979 г. по 23 часа 31.12.2024 г. Указанная область включает не только акватории изучаемых морей, но и всю территорию Европы, а также территорию Казахстана. Упомянутые сведения получены из глобального реанализа ERA-5 [31, 32]. Они соответствуют узлам координатной сетки этого реанализа, с шагом $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$.

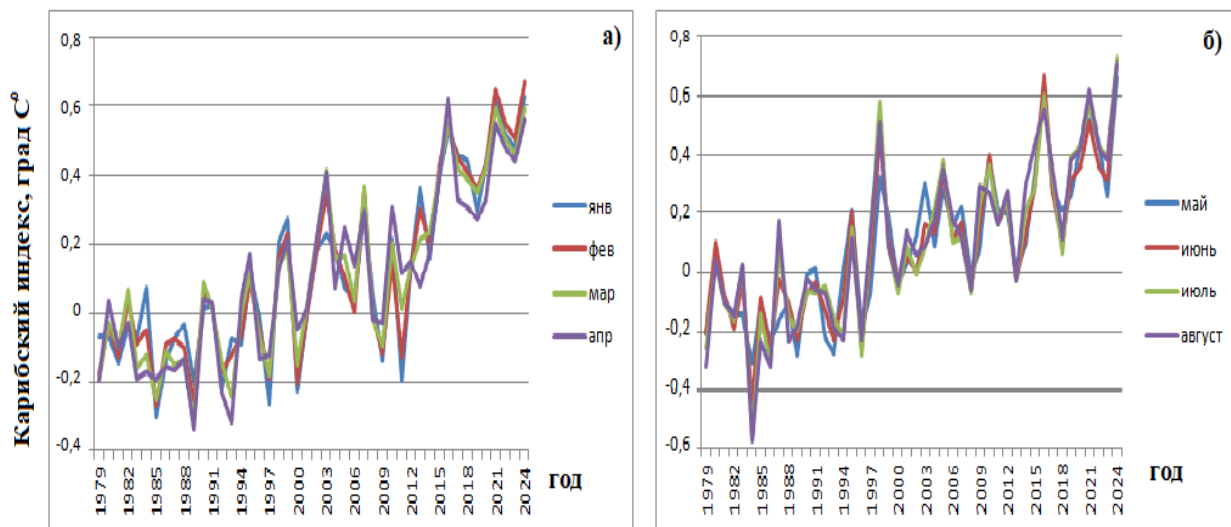


Рисунок 1 - Межгодовые изменения значений Карибского индекса для месяцев
а) январь-апрель; б) май-август

Значения СТВ вычислены для каждого из таких узлов и для каждого месяца пожароопасного сезона. Из полученных таким образом значений СТВ сформированы изучаемые временные ряды. Рассматриваемые задачи решались для всех узлов координатной сетки указанного реанализа, находящихся в пределах части земной поверхности, ограниченной меридианами 0° в.д. и 60° в.д., а также параллелями 35° с.ш. и 80° с.ш. Сопоставляемые с ними временные ряды значений Карибского индекса, соответствующие тому же периоду времени, получены из [27]. Как характеристика связи между изучаемыми временными рядами рассматривалось соответствующее им значение коэффициента парной корреляции (далее К). Поэтому методика решения первой задачи предполагала использование метода корреляционного анализа.

Значение К вычислялось для отрезков рядов СТВ для различных месяцев, соответствующих периоду 2010-2024 гг. и отрезков рядов Карибского индекса, опережающих их по времени на 2-6 месяцев. В каждом таком отрезке скомпенсирован линейный тренд. Статистический вывод о значимости К делался, если его достоверность, оцененная по критерию Стьюдента, составляла

не менее 0,95. Пороговое значение уровня модуля К, при превышении которого принималось указанное решение, выбиралось с учетом количества степеней свободы сопоставляемых отрезков.

Для подтверждения закономерности выявленных связей для тех же месяцев и периодов времени оценена корреляция временных рядов, отражающих изменения индекса САК и вариации Карибского индекса (опережающие их на единицы месяцев). Причинный характер рассматриваемых связей признавался подтвержденным, если достоверность вывода о значимости связи между упомянутыми рядами составляла не менее 0,95.

При решении второй задачи применялась методика, предполагающая вычисление значений К, соответствующих аналогичным по продолжительности отрезкам временных рядов СТВ и Карибского индекса, которые начинались в другие годы изучаемого периода. Такие вычисления производились для каждого рассматриваемого пункта земной поверхности и каждого месяца пожароопасного сезона. Из установленных таким образом значений К, были сформированы временные ряды длиной 32 члена, соответствующих тому или иному году начала отрезка ряда СТВ, использованного при его вычислении.

Сценарий развития изучаемого процесса и рассматриваемого фактора в соответствии с [12] признавался инерционным, если:

$$\chi = (K_{\text{ake}} m_{\text{no}}) / (K_{\text{ake}} m_{\text{no}}) > 10, \quad (1)$$

где: I_{max} и O_{min} – соответственно максимальное и минимальное значение К среди всех его значений, образующих изучаемый временной ряд этих показателей.

Для каждого временного ряда К определено значение углового коэффициента его линейного тренда (далее УКЛТ).

Принято допущение, согласно которому, отклонения членов каждого ряда К от соответствующего линейного тренда – случайные числа с гауссовым законом распределения вероятностей. Справедливость этого допущения подтверждалась с применением критерия Пирсона.

Решение о значимости УКЛТ принималось если:

$$32 * \text{ABS}(\text{УКЛТ}) > 1,65 * \text{СКО}, \quad (2)$$

где: ABS – оператор вычисления абсолютной величины своего аргумента;
СКО – среднеквадратическое отклонение членов изучаемого ряда от соответствующего линейного тренда.

Из допущения о нормальности закона распределения вероятностей отклонений К следует, что достоверность такого вывода составляет не менее 0,95. Если $\text{УКЛТ} > 0$, принималось решение об усилении связи между рассматриваемыми процессами. В противном случае делался вывод об ослаблении этой связи.

Сценарий развития изучаемого процесса и его факторов признавался близким к консервативному, если знаки УКЛТ, которые вычислены для отрезков временных

рядов К, включающих их лены с номерами 1-16 и 17-32 (соответствующие 1979-1994 гг. и 1995-2024 гг.) совпадали. Как следует из изложенного, решения поставленных задач, которые могут быть найдены с применением такой методики, являются приближенными. Основной причиной этого является малая длина временных рядов К, при которой критерий Пирсона, как тест на нормальность, недостаточно надежен. Следовательно, полученные результаты носят качественный характер.

Результаты исследования и их анализ

Анализ автокорреляционных функций сопоставляемых рядов показал, что соответствующие им значения количества степеней свободы равны 15. Поэтому, как пороговый уровень модуля К, при превышении которого достоверность вывода о значимости связи между ними, равна 0,95, определен как 0,52. Достоверности упомянутого вывода 0,9 соответствует уровень модуля этого коэффициента 0,4, а его достоверности 0,99 – уровень 0,62.

При решении первой задачи установлено, что среди изучаемых участков земной поверхности тех, для которых сценарии развития изучаемых процессов могут быть признаны инерционными, для рассматриваемых месяцев не обнаружено, что подтверждает выводы [12]. При решении второй задачи для каждого такого месяца определены участки, где корреляция рассматриваемых процессов с КЛП или ППО на территориях одного из упомянутых регионов за период 2000-2024 гг. значимо усиливалась. Сопоставление результатов решения обеих задач позволило выявить участки, где связи изучаемых процессов в 2010-2024 гг. были значимы, а за 2000-2024 гг. они усиливались.

На рис. 2 представлены участки акваторий морей у берегов Европы, где связи межгодовых изменений СТВ для месяцев с апреля по август с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 2 месяца в 2010-2024 гг. являлись значимыми, а за 1979-2024 гг. устойчиво усиливались. Как видно из рис.2а, для апреля требуемыми свойствами связи между изучаемыми процессами обладают на участках акваторий Ботнического залива Балтийского моря и Норвежского моря. Корреляция между ними в 2010-2024 гг. отрицательна и значима с достоверностью не менее 0,9.

Рис. 2 б свидетельствует о том, что для мая связи между теми же процессами обладают такими же свойствами лишь на участках акватории Норвежского и Северного моря. Корреляция рассматриваемых процессов в 2010-2024 гг. значима и положительна, а за 1979-2024 гг. усиливалась на участках акватории Белого, Баренцева, Черного моря и Финского залива Балтийского моря.

Как следует из рис.2 в, для июня связи межгодовых изменений СТВ с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 2 месяца в 2010-2024 гг. являлись значимыми, а за 1979-2024 гг. устойчиво усиливались лишь на

некоторых участках акваторий Норвежского, Баренцева, Средиземного, Азовского и Черного моря (для них корреляция отрицательна).

Как нетрудно заметить из рис. 2 г, для июля на акваториях морей у берегов Европы обнаружены многочисленные участки, для которых изучаемые связи обладают требуемыми свойствами. Выявленные участки относятся к морям Белому, Баренцеву, Черному (корреляция положительна) и Норвежскому (корреляция отрицательна).

Рис. 2 д позволяет заключить, что для августа также обнаружены участки акватории изучаемых морей. Они принадлежат морям Норвежскому, Баренцеву, Черному и Средиземному.

Из сравнения рис. 2а–2д следует, что суммарные площади рассматриваемых акваторий максимальны при условии, что временные ряды СТВ соответствуют месяцам маю и июлю.

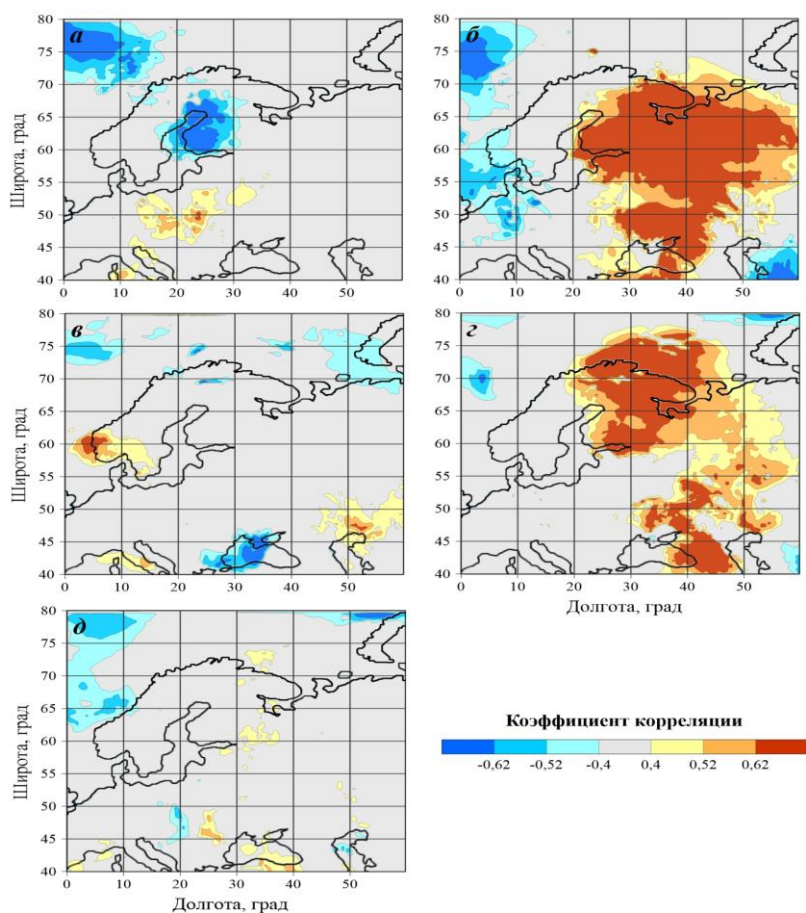


Рисунок 2 - Участки акваторий морей у берегов Европы и ее территории, где связи межгодовых изменений СТВ с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 2 месяца в 2010-2024гг. являлись значимыми, а за 1979-2024гг. устойчиво усиливались для месяцев : а) апрель; б) май; в) июнь; г) июль; д) август

На рис. 3 показаны участки акваторий морей у берегов Европы, где связи межгодовых изменений СТВ для месяцев с апреля по август с вариациями

Карибского индекса, опережающими их на 3 месяц в 2010-2024 гг. являлись значимыми, а за 1979-2024 гг. устойчиво усиливались.

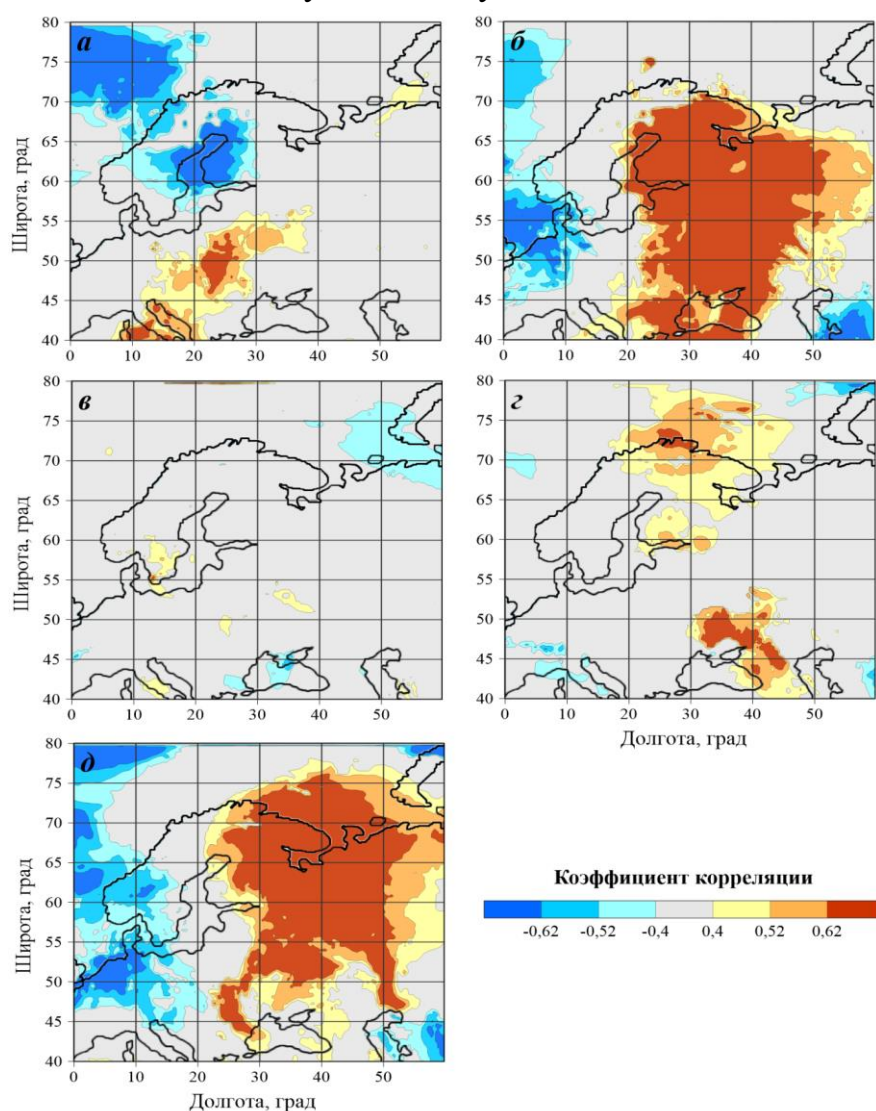


Рисунок 3 - Участки акваторий морей у берегов Европы и ее территории, где связи межгодовых изменений СТВ с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 3 месяца в 2010-2024гг. являлись значимыми, а за 1979-2024гг. устойчиво усиливались для месяцев :

а) апрель; б) май; в) июнь; г) июль; д) август

Как видим из рис. 3 а, для апреля связи между изучаемыми процессами обладают требуемыми свойствами лишь на участках акватории Норвежского м Средиземного моря, а также Ботнического залива Балтийского моря.

Рис. 3 б позволяет утверждать, что для мая связи между рассматриваемыми процессами обладают указанными свойствами практически на акваториях Норвежского, Северного, Балтийского, Адриатического и Черного моря.

Из рис. 3 в понятно, что для июня участки морских акваторий, где связи между изучаемыми процессами обладают требуемыми свойствами, относятся к

морям Баренцеву и Черному. Рис. 3 г свидетельствует о том, что для июля участки, для которых связи между рассматриваемыми процессами обладают перечисленными выше свойствами, существуют на акваториях морей Баренцева, Балтийского, Средиземного и Черного. Рис. 3 д показывает, что для августа искомые участки обнаружены на акваториях морей Норвежского, Северного, Баренцева, Белого, Балтийского и Черного. Для многих таких участков достоверность вывода о значимости положительной корреляции межгодовых изменений СТВ с вариациями Карибского индекса в 2010-2024 гг. превышает 0,99.

На рис. 4 представлены участки акваторий морей у берегов Европы, где связи межгодовых изменений СТВ для месяцев с апреля по август с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 4 месяц в 2010-2024 гг. являлись значимыми, а за 1979-2024 гг. устойчиво усиливались. Из рис.4а следует, что для апреля связи между изучаемыми процессами обладают требуемыми свойствами лишь на участках акваторий Норвежского, Балтийского, Баренцева, Средиземного и Черного моря. Из Рис. 4 б件но, что для мая связи между рассматриваемыми процессами обладают указанными свойствами на участках акваторий Норвежского, Северного, Черного, Балтийского, Белого и Средиземного моря. Из рис. 4 в нетрудно видеть, что для июня участки, где связи между изучаемыми процессами обладают требуемыми свойствами, выявлены лишь на некоторых участках Баренцева и Балтийского моря. Как следует из рис. 4 г., для июля участки, где связи между рассматриваемыми процессами обладают такими же свойствами, расположены на акваториях Норвежского, Баренцева и Средиземного моря. Как видно из рис.4 д, для августа участки ЕТР, для которых связи между изучаемыми процессами обладают требуемыми свойствами преобладают на акваториях Баренцева, Белого, Норвежского, Северного, Балтийского и Черного моря. Аналогичным образом установлено, что в случаях, когда сдвиг по времени между сопоставляемыми временными рядами составлял 5 и 6 месяцев, участков акватории морей у берегов Европы, где изучаемые связи для июля и августа обладают требуемыми свойствами, не выявлено.

Поэтому на рис. 5 представлены участки акваторий таких морей, для которых связи межгодовых изменений СТВ для месяцев с апреля по июнь с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 5 месяцев в 2010-2024гг. являлись значимыми, а за 1979-2024 гг. устойчиво усиливались. Как видно из рис. 5а, для апреля искомые участки обнаружены на акваториях Норвежского, Баренцева, Балтийского и Северного моря. Рис. 5 б показывает, что для мая обнаруживаемые участки выявлены на акватории Норвежского, Балтийского, Средиземного, Эгейского, Азовского и Черного моря. Из рис. 5 в следует, что

для июня рассматриваемые участки обнаружены на акваториях Северного, Балтийского, Средиземного, Эгейского, Азовского и Черного моря.

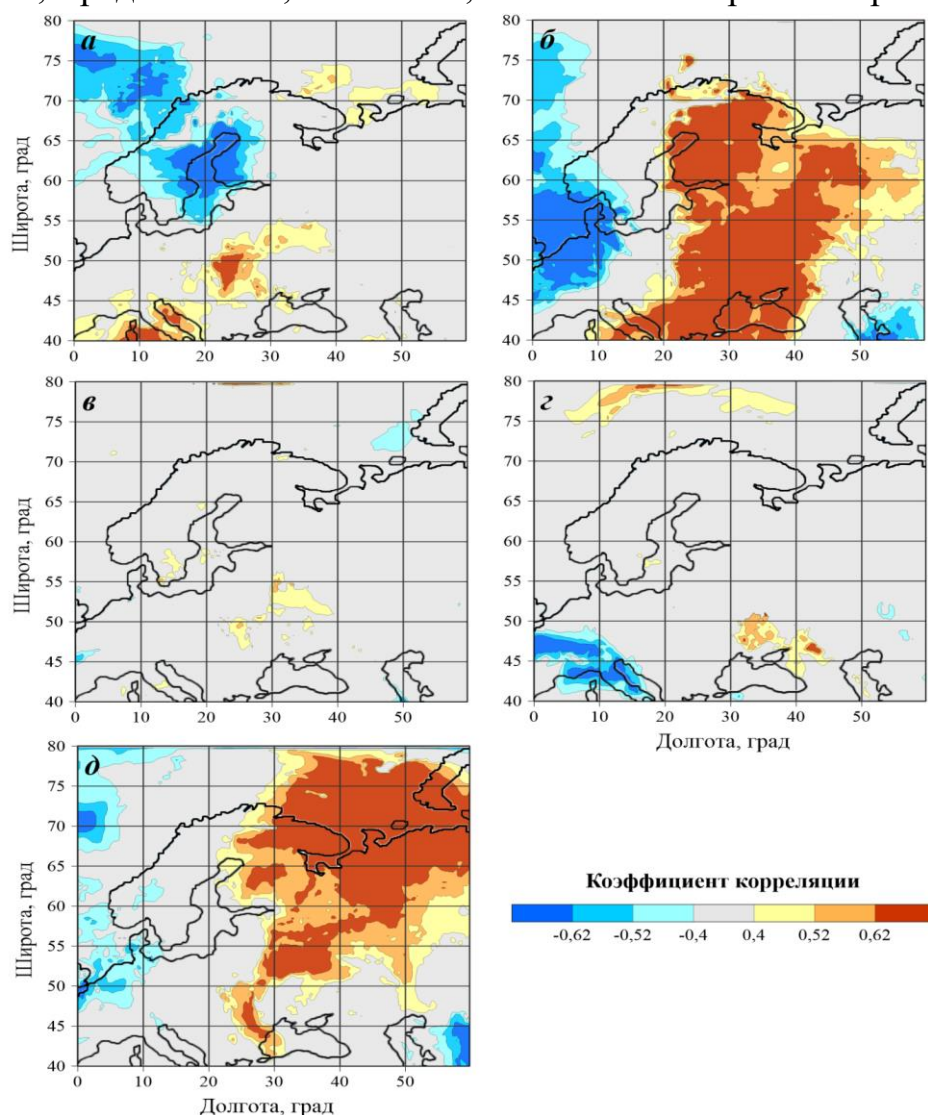


Рисунок 4 - Участки акваторий морей у берегов Европы и ее территории, где связи межгодовых изменений СТВ с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 4 месяца в 2010-2024гг. являлись значимыми, а за 1979-2024гг. устойчиво усиливались для месяцев :

а) апрель; б) май; в) июнь; г) июль; д) август

На рис.6 представлены участки акваторий морей у берегов Европы, где связи межгодовых изменений СТВ для месяцев с апреля по август с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 6 месяц в 2010-2024 гг. являлись значимыми, а за 1979-2024 гг. устойчиво усиливались. Из рис. 6 а видно, что для апреля изучаемые участки обнаружены лишь на акваториях Норвежского и Черного моря. Из рис. 6 б件тно, что для мая такие участки выявлены на акваториях Норвежского, Баренцева, Белого, Балтийского и Черного моря, а их суммарная площадь значительно больше, чем аналогичный показатель для участков, соответствующих апрелю.

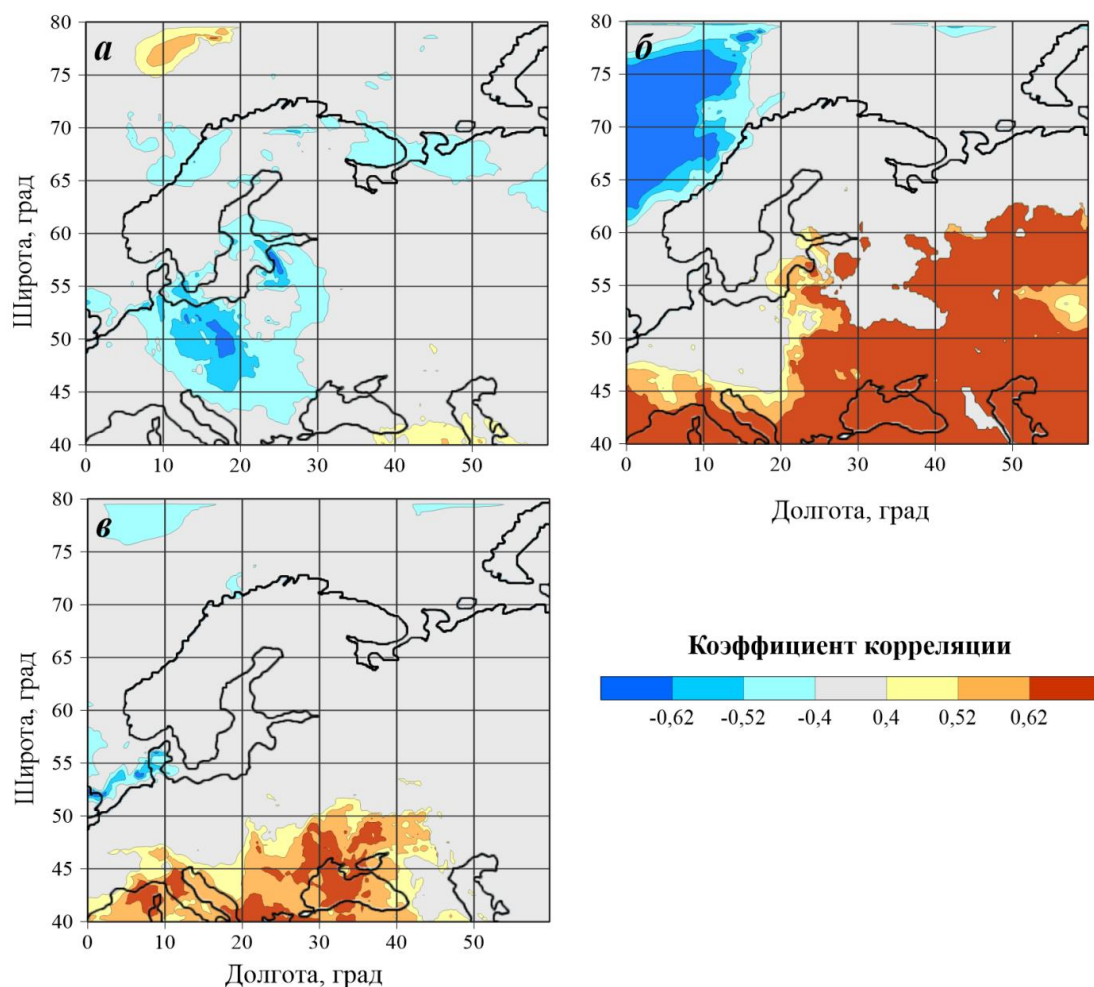


Рисунок 5 - Участки акваторий морей у берегов Европы и ее территории, где связи межгодовых изменений СТВ с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 5 месяцев в 2010-2024гг. являлись значимыми, а за 1979-2024гг. устойчиво усиливались для месяцев :
а) апрель; б) май; в) июнь

Из рис. 6 в) нетрудно заметить, что для июня искомые участки присутствуют на акваториях Норвежского, Северного, Баренцева, Балтийского, Средиземного, Эгейского, Черного и Азовского моря, а их суммарная площадь несколько меньше, чем для мая. Таким образом, справедливость выдвинутой гипотезы подтверждена. Выполненные по той же методике исследования связей между вариациями Карибского индекса и САК подтвердили, что для многих месяцев им присущи свойства, позволяющие рассматривать сценарии их изменений как близкие к консервативным.

Как пример, на рис.7 представлены зависимости от года начала отрезка длиной 15 членов ряда САК для июня, значений коэффициента его корреляции с отрезком ряда Карибского индекса, опережающим его на 3-5 месяцев.

Из рис. 7 понятно, что рассматриваемые зависимости на отрезках 1979-1995 гг. и 1996-2010 гг. являются возрастающими, хотя соответствующие им

значения УКЛТ различаются. Следовательно, на указанных частях периода 1979-2024 гг. перемен знака тенденций изменений К не выявлено, что характерно для консервативного сценария развития изучаемых процессов.

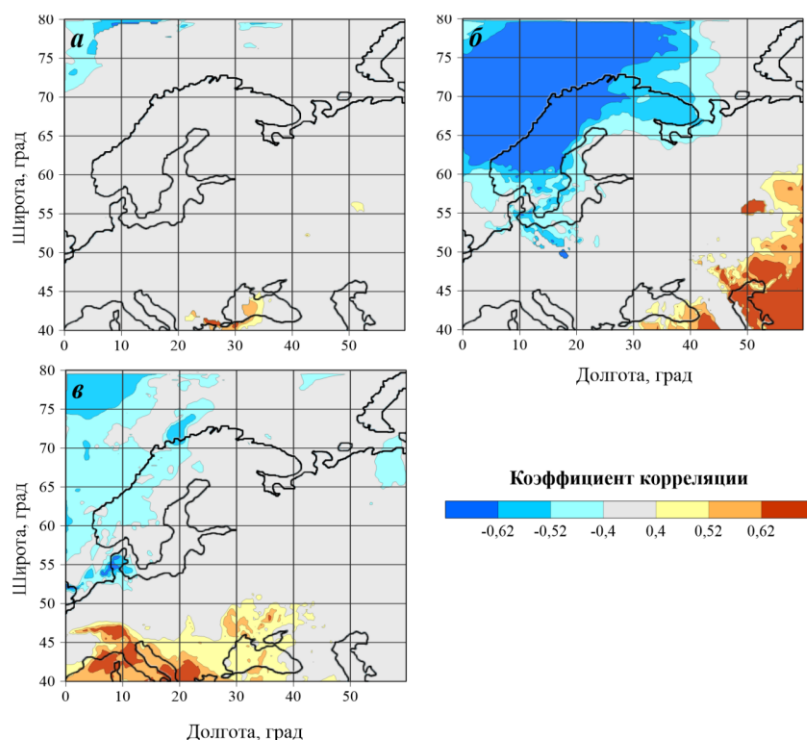


Рисунок 6 - Участки акваторий морей у берегов Европы и ее территории, где связи межгодовых изменений СТВ с вариациями Карибского индекса, опережающими их на 6 месяцев в 2010-2024гг. являлись значимыми, а за 1979-2024гг. устойчиво усиливались для месяцев :

а) апрель; б) май; в) июнь

Значения коэффициента корреляции отрезков временных рядов изучаемых процессов, для месяцев апрель-август, соответствующих 2010-2024 гг., существенно превышают 0,52 (вывод о значимости связи между ними превышает 0,95). Это, а также аналогичные закономерности, выявленные для всех месяцев с апреля по август, свидетельствуют о том, что обнаруженные связи между вариациями СТВ на акваториях морей у берегов Европы, а также изменениями Карибского индекса устойчивы и потому могут являться причинными.

Таким образом, цель работы достигнута.

Обсуждение полученных результатов

Из полученных результатов следует, что они в полной мере соответствуют существующим представлениям о влиянии изменений поверхностных температур Карибского моря на траектории атлантических циклонов над Европой и акваториями ее морей [15-23], а также о влиянии циклонов на

изменения СТВ и других характеристик метеоусловий на акваториях, над которыми они перемещаются [15-17].

Подтверждена справедливость выводов [12], об отсутствии на акватории морей у берегов Европы участков, где сценарий межгодовых изменений СТВ в период 1979-2024 гг. мог бы быть признан инерционным.

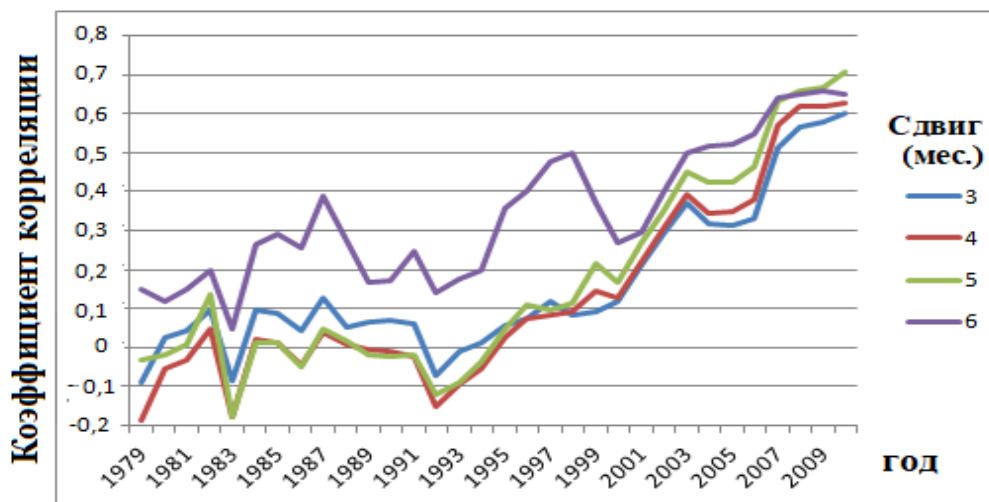


Рисунок 7 - Зависимость коэффициента корреляции между отрезком временного ряда индекса САК для июня, длиной 15 членов, а также опережающим его по времени отрезком ряда CAR, от года начала отрезка индекса САК.

При этом существенной научной новизной обладают следующие установленные факты:

1. Существуют многочисленные участки акваторий морей у берегов Европы, для которых корреляция межгодовых изменений СТВ для весенне-летних месяцев 2010-2024 гг., а также опережающих их на единицы месяцев вариаций CAR являлась значимой (как положительной, так и отрицательной), а за 1979-2024 гг. она усиливалась. Выявленные связи целесообразно учитывать при разработке долгосрочных прогнозов изменений СТВ, для консервативного сценария развития изучаемых процессов.

2. Для абсолютного большинства выявленных участков акватории Норвежского и Северного моря значимая корреляция межгодовых изменений СТВ для изучаемых месяцев, с вариациями поверхностных температур Карибского моря, опережающими их на 2-6 месяцев, является отрицательной.

3. Среди выявленных участков акватории Белого, Баренцева, Средиземного, Эгейского, Черного и Азовского морей преобладают те, для которых значимая корреляция межгодовых изменений СТВ для изучаемых месяцев, с вариациями поверхностных температур Карибского моря, опережающими их на 2-6 месяцев, является положительной.

4. Для Балтийского моря характерно наличие участков его акватории, где для одних месяцев значимая корреляция изучаемых процессов при некоторых сдвигах между ними положительна, а для других отрицательна.

Выводы

Таким образом, установлено:

1. Выдвинутая гипотеза для многих участков акватории морей у берегов Европы и для рассматриваемых месяцев справедлива.
2. При разработке долгосрочных прогнозов изменений среднемесячных температур воздуха над выявленными участками акваторий морей у берегов Европы, а также других характеристик метеоусловий, влияющих на безопасность судоходства на проходящих по ним водных путях, учет вариаций средних температур поверхности Карибского моря является целесообразным.

Библиографический список

1. Миронов Е.У., Клячкин С.В., Макаров Е.И., Юлин А.В., Афанасьева Е.В. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 40-53. DOI:10.24412/2658-4255-2021-4-40-53.
2. Холопцев А.В., Никифорова М.П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. – Saarbrücken, Deutschland.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. – 352 с.
3. Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Проскова Н.Ю. Консервативный прогноз на 2024 год количества ландшафтных пожаров и совокупной площади, пройденной при них огнем, с учетом предысторий термического режима и показателей горимости лесов для Красноярского края // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2024. -№2(14). – С. 37-51.
4. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году»// Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – Москва. – 2023. – 461 с.
5. Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г., Сметанникова А.В., Спичкин В.А. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 348 с.
6. Вильфанд Р.М., Зарипов Р.Б., Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Крыжов В.Н., Куликова И.А., Тищенко В.А., Толстых М.А., Хан В.М. Долгосрочные

метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России. // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 4 (374). – С. 12-36.

7. Филатов. А.Н., Муравьев А.В., Реснянский Ю.Д.: Долгосрочный метеорологический прогноз: математические проблемы и возможности гидродинамических моделей с.141-165 в кн.70 лет Гидрометцентру России, СПб, Гидрометеиздат, 1999, 276 с.

8. Технологии динамико-статистических долгосрочных метеорологических прогнозов: современное состояние и перспективы. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://seakc-old.meteoinfo.ru/training/206-2011-02-20-07-18-08>.

9. Мелешко В.П., Гаврилина В.М., Мирвис В.М., Матюгин В.А., Пичугин Ю.А., Вавулин С.В. Гидродинамико - статистический долгосрочный прогноз метеорологических полей по модели ГГО. 2. Результаты оперативных испытаний и перспективы улучшения прогностической схемы. // Метеорология и гидрология. 2002. №10, С.5-17.

10. Классификация сроков метеорологических прогнозов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/forcabout/1597-f>.

11. Холопцев А.В. Физические основы теории долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования рисков возникновения ландшафтных пожаров: монография / А.В. Холопцев, Р.Г. Шубкин, И.Ю. Сергеев, А.Н. Батуро, Н.Ю. Проскова// Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. – 337 с. – Текст: электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование: [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/140586> (дата обращения: 16.06.2025).

12. Холопцев А.В., Шубкин Р.Г. Территории Западной и Средней Сибири, где априорные оценки оправдываемости долгосрочных прогнозов термического режима в XXI веке являлись несмещенными или заниженными // Сборник материалов IX Международного Арктического Саммита «Арктика: перспективы, инновации и развитие регионов». Часть 2. 22-25 апреля 2025 г. Москва- Санкт Петербург. С.26-32.

13. Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Проскова Н.Ю. Долгосрочные прогнозы количества лесных пожаров в Красноярском крае с учетом предыстории изменений потоков космических лучей в тропосфере// В сборнике: Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций. Материалы VI всероссийской научно-практической конференции. Железногорск, 2024. С. 340-349.

14. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. – 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2001. – 319с.

15. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Гидрометеорологическое издательство, Ленинград, 1969 г., 644 с.
16. Salby, M. L. *Fundamentals of Atmospheric Physics*/ M. L. Salby- New York: Academic Press/ - 1996. – 560 p.
17. Кислов А.В. Климатология с основами метеорологии. – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва: Издательство Московского университета, 2023. – 255 с.
18. Нестеров Е.С. Североатлантическое колебание: атмосфера и океан. – М.: Триада, лтд, 2013. – 144 с.
19. Лаппо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан-атмосфера и энергоактивные области Мирового океана Л., Гидрометеоиздат. 1990, 336с.
20. Стоммел Г., Гольфстрим, пер. с англ., М., Издательство иностранной литературы. – 1963. – 227с.
21. Caesar, L. et al. Current Atlantic Meridional Overturning Circulation weakest in last millennium. *Nature Geoscience*. Vol. 14. February 25, 2021. doi: 10.1038/s41561-021-00699-z.
22. Showstack, Randy. What’s happening with the AMOC? *Oceanus*. August 3, 2023. <https://www.whoi.edu/oceanus/feature/whats-happening-with-the-amoc/>.
23. Мохов И.И., Петухов В.К. Центры действия в атмосфере и тенденции их изменения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2000. – Т. 36, № 3. – С. 321-329.
24. Stauning P. Solar activity – climate relations: A different approach // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2011. V. 73, N 13. P. 1999–2012.
25. Ueno K. Inter-annual variability of surface cyclone tracks, atmospheric circulation patterns, and precipitation patterns, in winter // *J. Meteor. Soc. Japan*. – 1993. – Vol. 71, № 6. – P. 655-671. DOI: 10.2151/jmsj1965.71.6_655.
26. Meinen C.S., Baringer M.O., Garcia R.F. 2010. Florida current transport variability: an analysis of annual and longer-period signals. – *Deep Sea Research*, vol. 57(7), pp. 835-846.
27. IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp.

**РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ БОРТОВОЙ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО
ПОДВОДНОГО АППАРАТА**

Храпин Дмитрий Юрьевич

магистрант

E-mail: hrabin03@mail.ru

Мурза Полина Андреевна

старший преподаватель

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской
технический университет»,
190121, г. Санкт-Петербург, ул. Лоцманская, 3*

**DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF ONBOARD COMPUTER NETWORK
MODELS FOR AUTONOMOUS UNMANNED UNDERWATER VEHICLES**

Khrapin Dmitry Yurievich

Master's Degree Student

Murza Polina Andreevna

Senior Lecturer

*Federal State Budgetary Educational Institution
of Higher Education "Saint Petersburg State Maritime Technical University"
Lotsmanskaya st., 3, Saint Petersburg, 190121*

АННОТАЦИЯ. Рассмотрена задача проектирования бортовой вычислительной сети автономного необитаемого подводного аппарата. Обосновано применение многопроцессорных архитектур для обработки данных в реальном времени. Предложены две модели многоканальных систем массового обслуживания. Проведено параметрическое исследование, установившее зависимости показателей эффективности от интенсивности потока данных и вычислительных ресурсов. Результаты позволяют выбрать оптимальную конфигурацию БВС на этапе проектирования.

Ключевые слова: автономный необитаемый подводный аппарат, бортовая вычислительная сеть, система массового обслуживания, многопроцессорная система, производительность, математическое моделирование.

ABSTRACT. The design task for an onboard computer network of an autonomous unmanned underwater vehicle is considered. The use of multiprocessor architectures for real-time data processing is justified. Two models of multichannel queuing systems are proposed. A parametric study was conducted, establishing dependencies of performance indicators on data flow intensity and computational resources. The results allow selecting the optimal onboard computer network configuration at the design stage.

Keywords: autonomous unmanned underwater vehicle, onboard computer network, queuing system, multiprocessor system, performance, mathematical modeling.

Введение

Современные автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) представляют собой сложные робототехнические комплексы, предназначенные для решения широкого круга задач: от обзорно-поисковых и геологоразведочных работ до военных миссий и экологического мониторинга [1, 2]. Анализ последних исследований показывает, что эффективность выполнения этих задач напрямую зависит от производительности и надежности бортовой вычислительной сети (БВС), которая является центральной нервной системой аппарата. В работах [3, 4] рассмотрены вопросы выбора бортового компьютера и организации вычислительных систем, а в [5] представлен математический аппарат для анализа производительности многопроцессорных систем.

Особенностью БВС АНПА является необходимость обработки больших объемов информации в условиях жестких ограничений по энергопотреблению, массогабаритным характеристикам и в реальном масштабе времени. Вместе с тем, остаются нерешенными вопросы количественной оценки производительности БВС на этапе проектирования, а также выбора оптимальных параметров многопроцессорной архитектуры в зависимости от характеристик рабочей нагрузки. Это обуславливает актуальность задачи оптимизации архитектуры БВС. Целью данного исследования является разработка и анализ математических моделей БВС, позволяющих количественно оценить ее производительность и обосновать выбор ключевых параметров.

Для анализа производительности БВС была предложена ее концептуализация в виде многоканальной системы массового обслуживания (СМО).

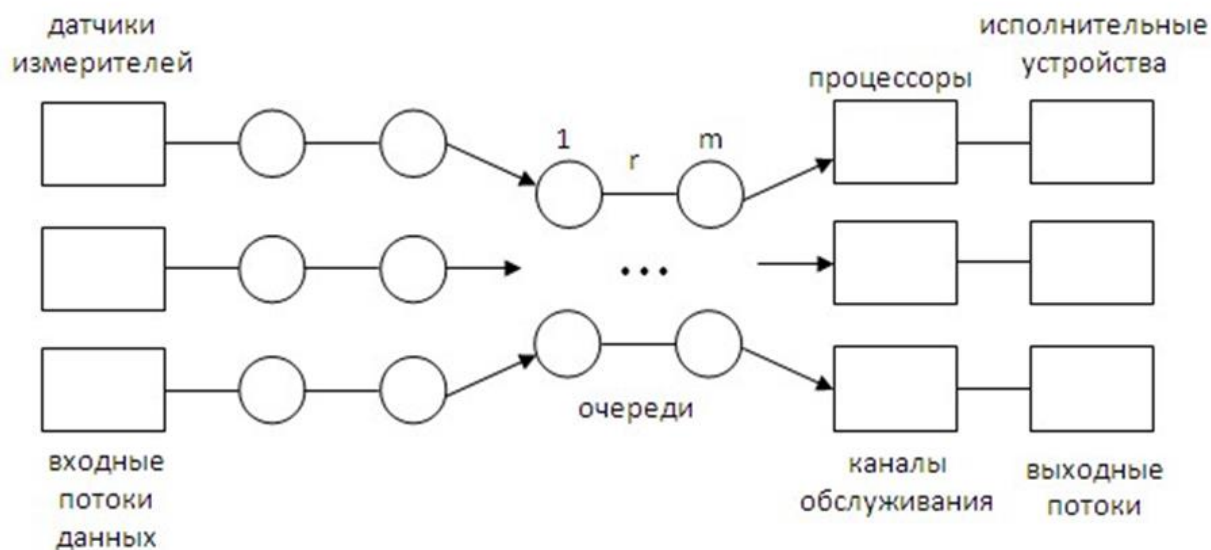


Рисунок 1 – Структура многоканальной СМО как модели БВС

Рассмотрены две альтернативные модели:

Многопроцессорная СМО с ограниченной очередью. Данная модель адекватна для систем с ограниченным объемом буферной памяти.

Многопроцессорная СМО с неограниченной очередью. Модель применима для систем, где допустимо накопление задач в очереди без потерь.

Задание:

- БВС обслуживает поток заявок, поставляемых от СМО с интенсивностью $\lambda \frac{\text{заявок}}{\text{сек}}$.

- БВС может принять и поставить на очередь на обслуживание не более m заявок. Заявки, превышающие m , не обслуживаются и в очередь не принимаются.

- В системе n - процессоров.

К показателям эффективности работы бортовой вычислительной сети, моделируемой с помощью СМО, принято относить:

- R – относительная пропускная способность;
- A – абсолютная пропускная способность;
- $P_{от}$ – вероятность отказа сети в обслуживании заявок;
- D_q – среднее число заявок, находящихся в очереди сети;
- D_p – среднее число заявок, находящихся на обработке в сети;
- D_s – среднее число заявок, находящихся на обслуживании;
- t_0 – среднее время ожидания заявки в очереди;
- t_p – среднее время пребывания заявки в БВС.

В качестве входных характеристик модели используется:

- λ – интенсивность потока заявок (среднее число заявок в единицу времени, поступающее на вход сети);
- μ – производительность канала СМО (среднее число заявок, обслуживаемое каналом в единицу времени);
- t – среднее время решения одной задачи в сети;
- m – длина очереди, если она существует;
- n – число процессоров, используемых в модели.

Промежуточные величины:

- P_k – предельная вероятность состояния сети, где $k=0, 1, 2, \dots, (m+1)$.
- P_k характеризует установившийся режим работы моделируемой МКК.

Например, для модели с ограниченной очередью вероятность того, что все каналы свободны, определяется по формуле:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{(\frac{\rho}{n}) - (\frac{\rho}{n})^{m+1}}{1 - \frac{\rho}{n}}}, \quad (1)$$

где $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, $\mu = \frac{1}{t}$

Среднее время ожидания заявки в очереди:

$$\bar{t}_0 = \frac{D_Q}{\lambda} \quad (2)$$

Среднее число заявок находящихся в очереди БВС:

$$D_Q = \frac{\rho^{n+1} \cdot P_0}{n \cdot n!} \cdot \frac{1 + (m+1) \cdot \chi + m \cdot \chi}{(1-\chi)^2} \quad (3)$$

Вероятность, в БВС заняты все n каналов, и буферная память заполнена:

$$P_{n+m} = \frac{\rho^{n+m}}{n^m \cdot n!} \cdot P_0 \quad (4)$$

Для модели с неограниченной очередью:

Вероятность состояния БВС, когда все n -каналы сети свободны:

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{1!} + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^k}{n!} + \frac{\rho^{n+1}}{n!(n-p)}} \quad (5)$$

где $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, $\mu = \frac{1}{t}$

Среднее время ожидания заявки в очереди:

$$\bar{t}_0 = \frac{\rho^n \cdot P_0}{\mu \cdot n \cdot n! \cdot (1-\chi)^2} \quad (6)$$

Среднее число заявок находящихся в очереди БВС:

$$D_Q = \frac{\rho^{n+1} \cdot P_0}{n \cdot n!} \cdot \frac{1}{(1-\chi)^2} \quad (7)$$

Вероятность отказа в обслуживании:

$$P_{от} = 0 \quad (8)$$

Анализ результатов моделирования:

Для исследования моделей было проведено параметрическое варьирование входных данных (λ , t , m , n) с использованием программного пакета Mathcad. Сравнительный анализ двух моделей показал:

Общие закономерности:

- Рост интенсивности потока заявок (λ) приводит к нелинейному увеличению времени ожидания и длины очереди в обеих моделях
- Увеличение количества процессоров (n) наиболее эффективно снижает время ожидания - при $n=4-5$ очередь полностью устраняется

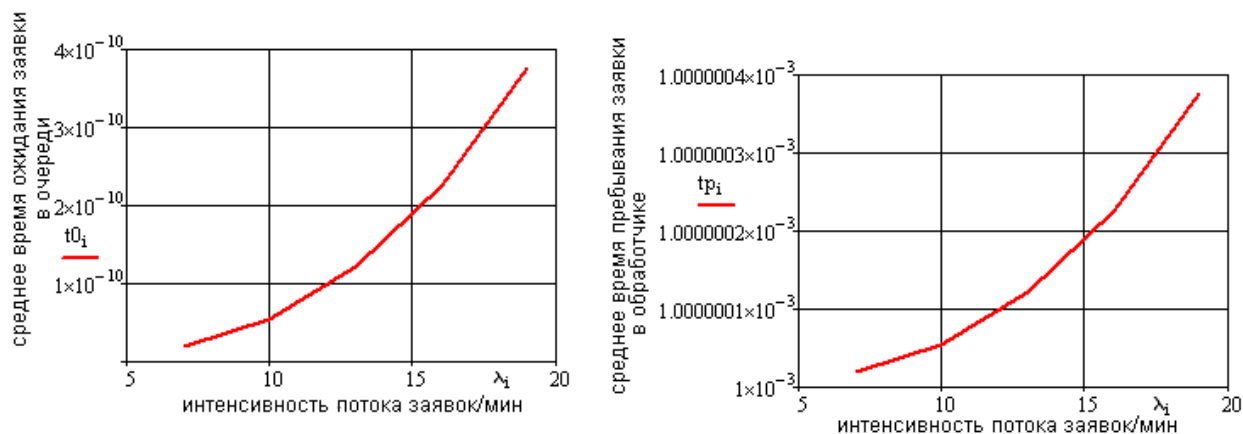


Рисунок 2 – Графики зависимости среднего времени ожидания заявки в очереди, среднего времени пребывания заявки в обработчике от интенсивности заявок МП СМО с ограниченным числом мест в очереди

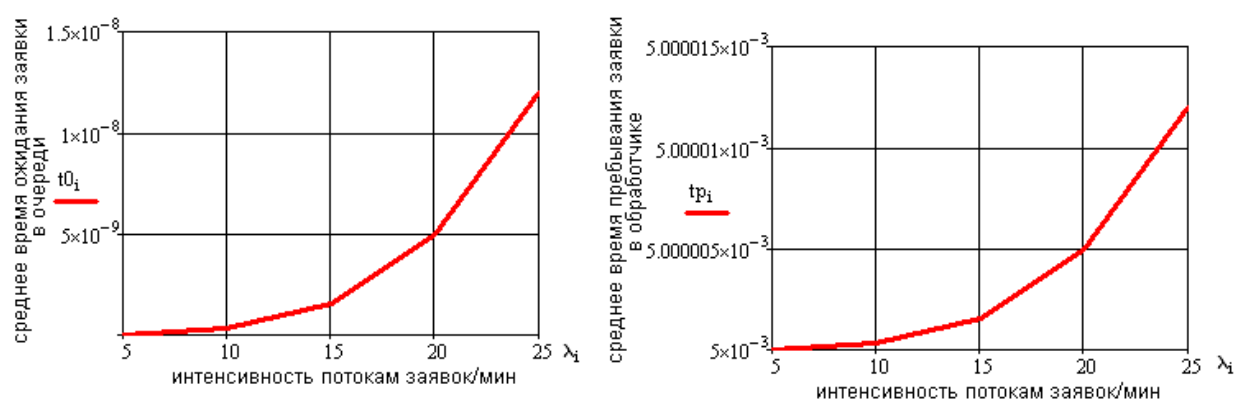


Рисунок 3 – Графики зависимости среднего времени ожидания заявки в очереди, среднего времени пребывания заявки в обработчике от интенсивности заявок МП СМО без ограничений на очередь

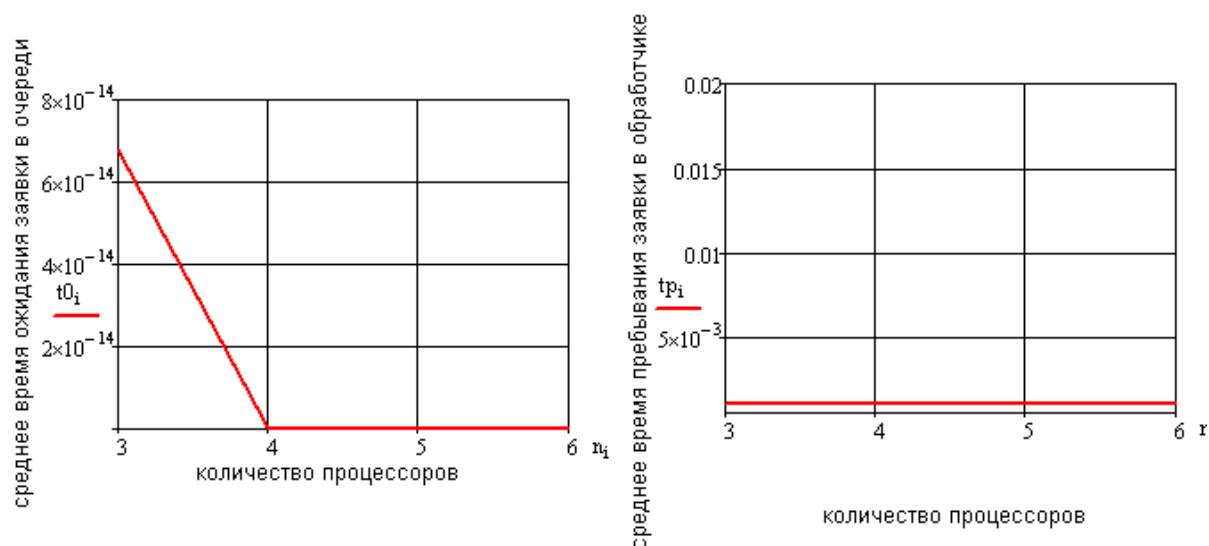


Рисунок 4 - Графики зависимости среднего времени ожидания заявки в очереди, среднего времени пребывания заявки в обработчике от количества процессоров МП СМО с ограниченным числом мест в очереди

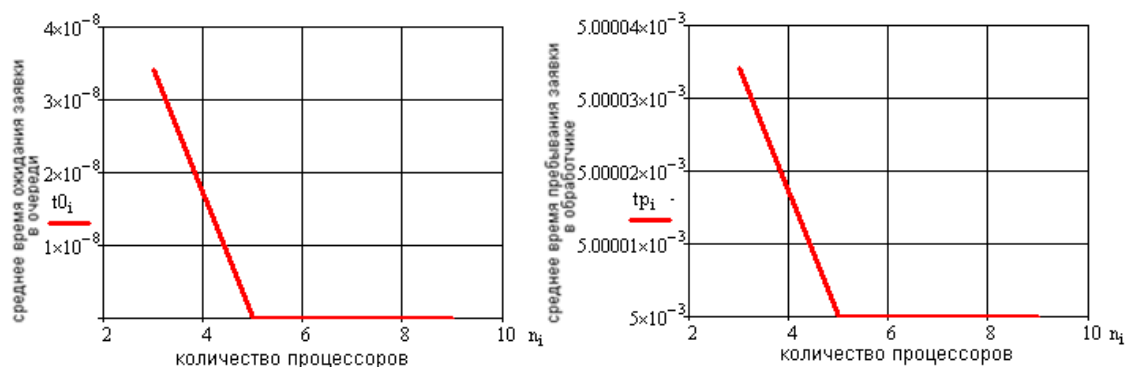


Рисунок 5 - Графики зависимости среднего времени ожидания заявки в очереди, среднего времени пребывания заявки в обработке от количества процессоров МП СМО без ограничений на очередь

Ключевые отличия:

Модель с ограниченной очередью: при увеличении времени обработки появляется вероятность отказа

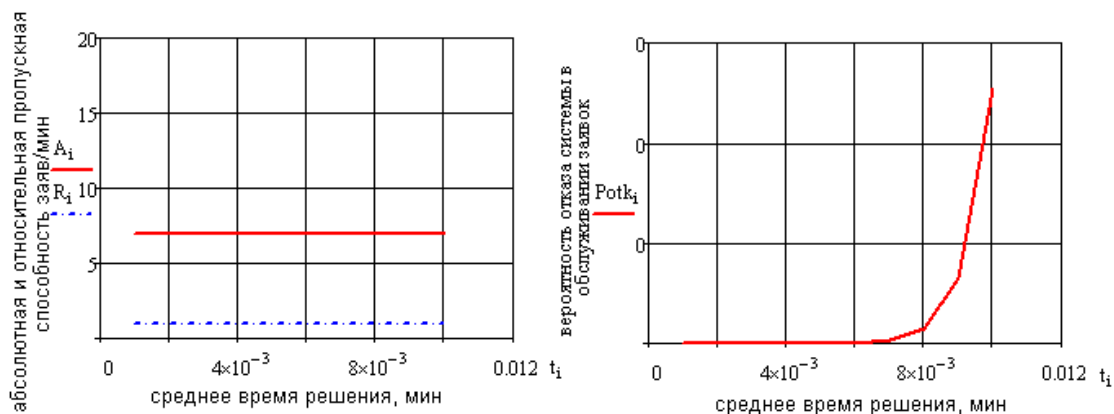


Рисунок 6 - Графики зависимостей абсолютной, относительной пропускной способности и вероятности отказа системы в обслуживании от информации, находящейся в системе от среднего времени решения МП СМО с ограниченным числом мест в очереди

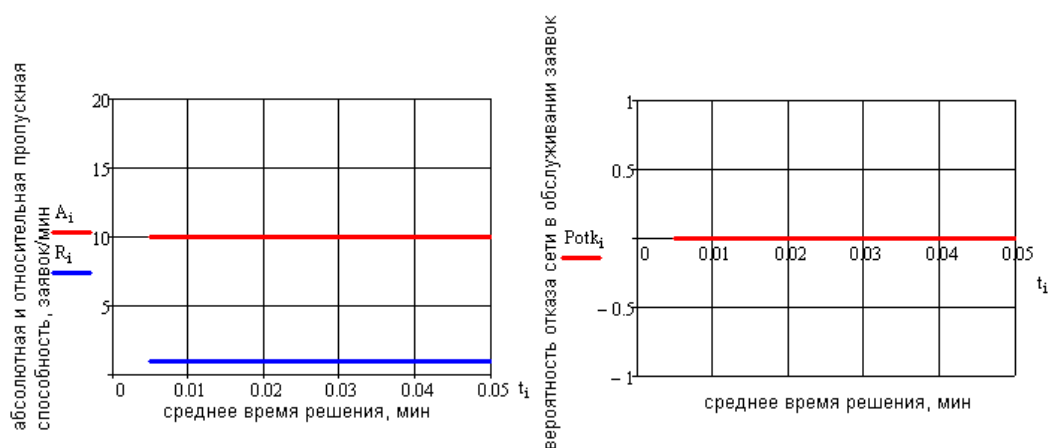


Рисунок 7 - Графики зависимостей абсолютной, относительной пропускной способности и вероятности отказа системы в обслуживании от среднего времени решения МП СМО без ограничений на очередь

Модель с неограниченной очередью: гарантирует обслуживание всех заявок, но требует больше вычислительных ресурсов ($n=5$ для полного устранения очереди)

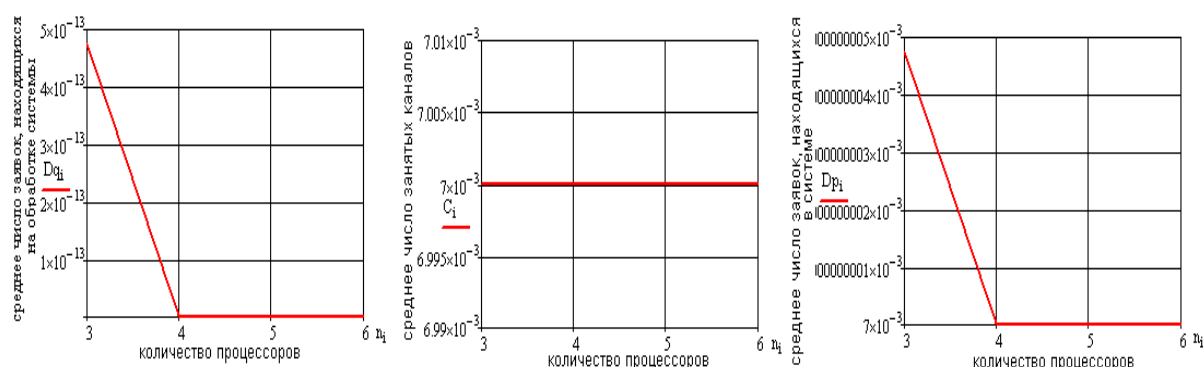


Рисунок 8 - Графики зависимостей среднего числа занятых каналов, среднего числа заявок, среднего числа информации, находящейся в системе от количества процессоров МП СМО с ограниченным числом мест в очереди

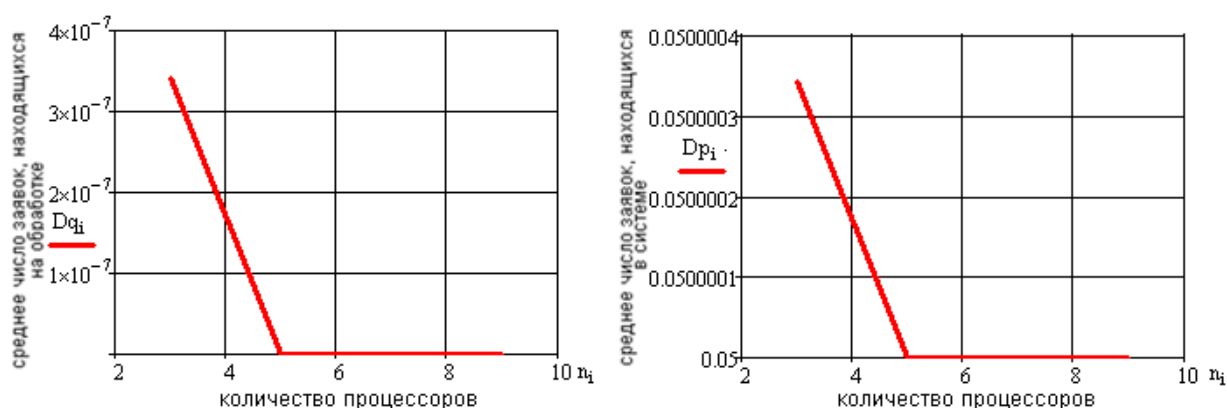


Рисунок 9 - Графики зависимостей среднего числа заявок, находящихся на обработке системы, и среднего числа заявок, находящихся в системе от количества процессоров МП СМО без ограничений на очередь

В ходе исследования были разработаны и проанализированы две альтернативные математические модели бортовой вычислительной сети АНПА, основанные на теории систем массового обслуживания. Проведенное параметрическое исследование позволило получить количественные оценки влияния основных проектных параметров (количество процессоров, производительность канала, размер буфера) на ключевые показатели производительности БВС.

Установлено, что для обеспечения высокой пропускной способности и минимальных временных задержек целесообразно использование многопроцессорной архитектуры. Наибольшее влияние на производительность оказывает соотношение между интенсивностью входного потока данных и вычислительной мощностью процессоров.

Полученные результаты и выявленные зависимости позволяют проводить обоснованный выбор структуры и параметров БВС на ранних стадиях проектирования автономных необитаемых подводных аппаратов, что способствует созданию более эффективных и надежных подводных робототехнических комплексов.

Библиографический список

1. Агеев М.Д., Киселев Л.В., Матвиенко Ю.В. Автономные подводные роботы: системы и технологии. – Владивосток: ДВО РАН, 2005. – 398 с.
2. Инзарцев А.В., Киселев Л.В., Костенко В.В. Подводные робототехнические комплексы: системы, технологии, применение. – Владивосток: Дальнаука, 2018. – 368 с.
3. Львов О.Ю. О выборе бортового компьютера для автономного необитаемого аппарата // Сб. «Морские технологии». – Владивосток: Дальнаука, 2001. – №4. – С. 32–43.
4. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 356 с.
5. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979. – 600 с.

Научное издание

**Актуальные вопросы проектирования, постройки и
эксплуатации морских судов и сооружений**

Труды
Всероссийской научно-практической конференции
г. Севастополь, 26-27 ноября 2025 г.

Ответственный редактор
Д.В. Бурков, директор Морского института,
доцент, канд. техн. наук

Компьютерное составление и верстка

В.С. Василенко

Тираж 20 экз. Зак. № __/__

Редакция, издатель – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет»
Адрес: ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053
Тел.: (8692) 54-42-32; (8692) 43-50-19