

ISSN 2949-3684

ВЕСТНИК
МОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Выпуск 92 / 2023

Вестник Морского государственного университета. Вып. 92 / Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2023. — 35 с. ; цв. ил., табл. — Библиогр. в конце ст. — ISSN 2949-3684.

Вестник Морского государственного университета содержит публикации, посвященные актуальным нормативно-организационным, техническим и технологическим проблемам судовой безопасности мореплавания, судоремонта, судовых силовых установок и их элементов, логистических транспортных систем и гидрографии, автоматизации и управления технологическими процессами, обработки информации, системного анализа и управления процессами перевозок на морском транспорте. Материалы содержат теоретические выводы и практические рекомендации, которые могут быть использованы для развития научных направлений и для принятия инженерных, административных и коммерческих решений.

Дата выхода в свет – 29 сентября 2023 г. Выходит четыре раза в год.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-82589 от 30.12.2021.

Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского».

Адрес учредителя, издателя и редакции: 690003, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а. Электронная почта редакции: vestnik@msun.ru; телефон редакции: +7 (423) 251-76-36.

Главный редактор – Соболенко Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор.

Заместитель главного редактора – Рычкова Виктория Феликсовна, начальник управления научно-исследовательской и инновационной деятельности.

Научный редактор – Холоша Михаил Васильевич, кандидат технических наук, доцент.

Выпускающий редактор – Сикорская Оксана Геннадьевна, начальник отдела электронных изданий.

Редакционная коллегия:

Азовцев Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор;

Буров Денис Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент;

Войлошников Михаил Владиленович, доктор технических наук, профессор;

Глушков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор;

Друзь Иван Борисович, доктор технических наук, профессор;

Дыда Александр Александрович, доктор технических наук, профессор;

Лазарев Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Луговец Александр Анатольевич, доктор экономических наук, доцент;

Москаленко Михаил Анатольевич, доктор технических наук, профессор;

Надежкин Андрей Вениаминович, доктор технических наук, профессор;

Огай Сергей Алексеевич, доктор технических наук, доцент;

Оськин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Холоша Михаил Васильевич, кандидат технических наук.

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Мовчан И.М., Оськин Д.А., Горшков А.А. Разработка системы динамического позиционирования для маломерного судна	4
Сушинская А.В., Мовчан И.М. Разработка системы дистанционного управления главного двигателя судна	8
Чемодаков А.Л. Алгоритмы управления балластной системой танкера	12

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Грушецкий М.Б. Сравнение современных САПР для применения в проектировании трубопроводов	16
Дарменко А.В., Тарасов М.И. Энергетическое использование сточных вод объектов морских технологий.....	19
Дрозд М.С., Кича Г.П. Эксергетический метод анализа термодинамического совершенства судовой энергетической установки.....	22
Мовчан И.М., Артемьев А.В., Тарасов М.И. Электроэнергетическая установка пассажирского судна для линии Владивосток – Большой Камень	27
Панасенко А.А., Петрашев С.В. Возвращение интереса к аккумуляторным судам-электроходам.....	30

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 629.5.06

Разработка системы динамического позиционирования для маломерного судна

Мовчан Иван Михайлович, молодой специалист, specnaz510@mail.ru
Оськин Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент, daoskin@mail.ru
Горшков Андрей Алексеевич, научный сотрудник, GorshkovAndreyA@yandex.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

Описание системы динамического позиционирования для маломерных судов, рассмотрение актуальности её разработки.

Ключевые слова: система динамического позиционирования, маломерные суда.

Development of a dynamic positioning system for a small vessel

Movchan Ivan M., specnaz510@mail.ru
Oskin Dmitry A., daoskin@mail.ru
Gorshkov Andrey A., GorshkovAndreyA@yandex.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

A brief description of the dynamic positioning system for small vessels, as well as the relevance of its development is considered.

Keywords: dynamic positioning system, small vessels.

На сегодняшний день системы динамического позиционирования широко применяются для большемерных судов таких типов как суда снабжения платформ, суда с буровой установкой, земснаряды и т.д. Однако на сегодняшний день набирает популярность тенденция разработки системы динамического позиционирования для маломерного флота.

Устанавливаться эта система должна на такие суда маломерного флота, как лоцманские суда, гидрографические суда, плавкраны, паромы и т.д.

Система динамического позиционирования состоит из аппаратной и программной части. Аппаратная часть отвечает за сбор данных о внешних факторах судна (рис. 1), программная часть, в свою очередь, находится в бортовом компьютере и представляет собой ПО, которое хранится в памяти бортового компьютера и на основе данных о судне и о внешних факторах производит вычисления по заранее подготовленной математической модели.

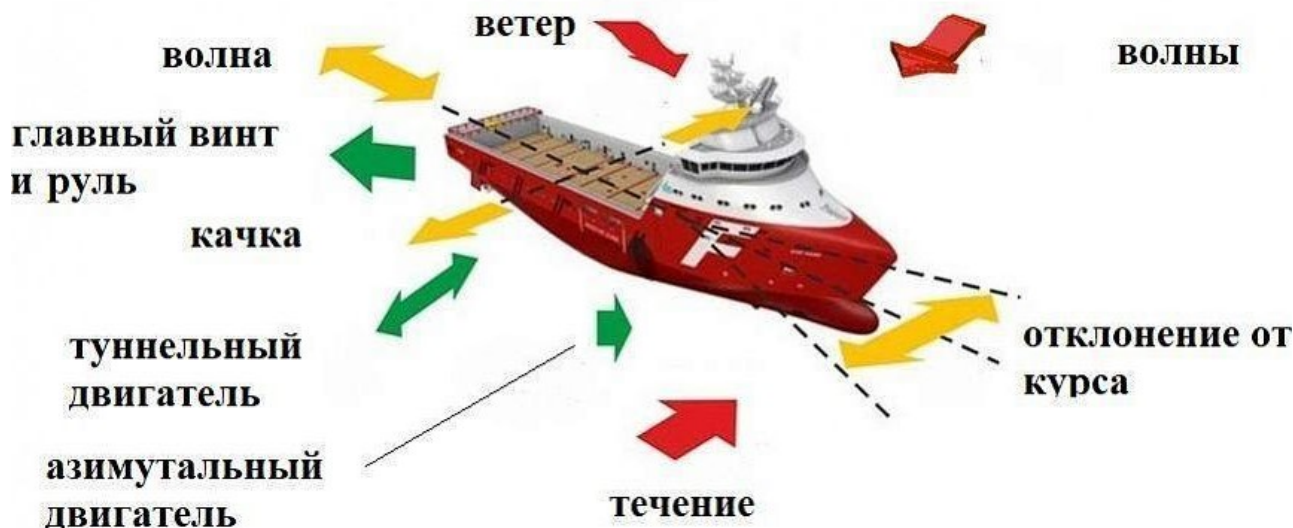


Рисунок 1 — Силы, действующие на судно

В аппаратную часть входят такие устройства как: гирокомпас, для определения и сохранения курса судна и его рыскания; анемометр – датчик, измеряющий скорость ветра, что важно для того, чтобы судно не сносило; система спутниковой связи, чтобы определить координаты судна. Также для большей точности позиционирования используются и другие датчики. Для измерения волнения моря планируется использовать блок измерения инерции (IMU). Что касается реализации дистанционного управления маломерным судном, то оно будет осуществляться при помощи радиомодуля, который будет связывать бортовой компьютер и диспетчера при помощи радиосвязи. Все эти датчики должны передавать информацию на бортовой компьютер Orange Pi, который в свою очередь будет управлять исполнительными устройствами, которыми являются ВРК судна. Датчики для большей точности вычислений бортового компьютера передают цифровые данные при помощи таких интерфейсов как UART, RS-485 или же при помощи шины CAN (рис. 2).

Ниже, на рисунке 2, представлена блок-схема системы динамического позиционирования для маломерного судна, в которую включены приборы, датчики сбора информации о внешних условиях, а также исполнительные устройства, управляющие электродвигателями. Все данные в этой системе для большей точности передаются при помощи цифровых шин и интерфейсов.

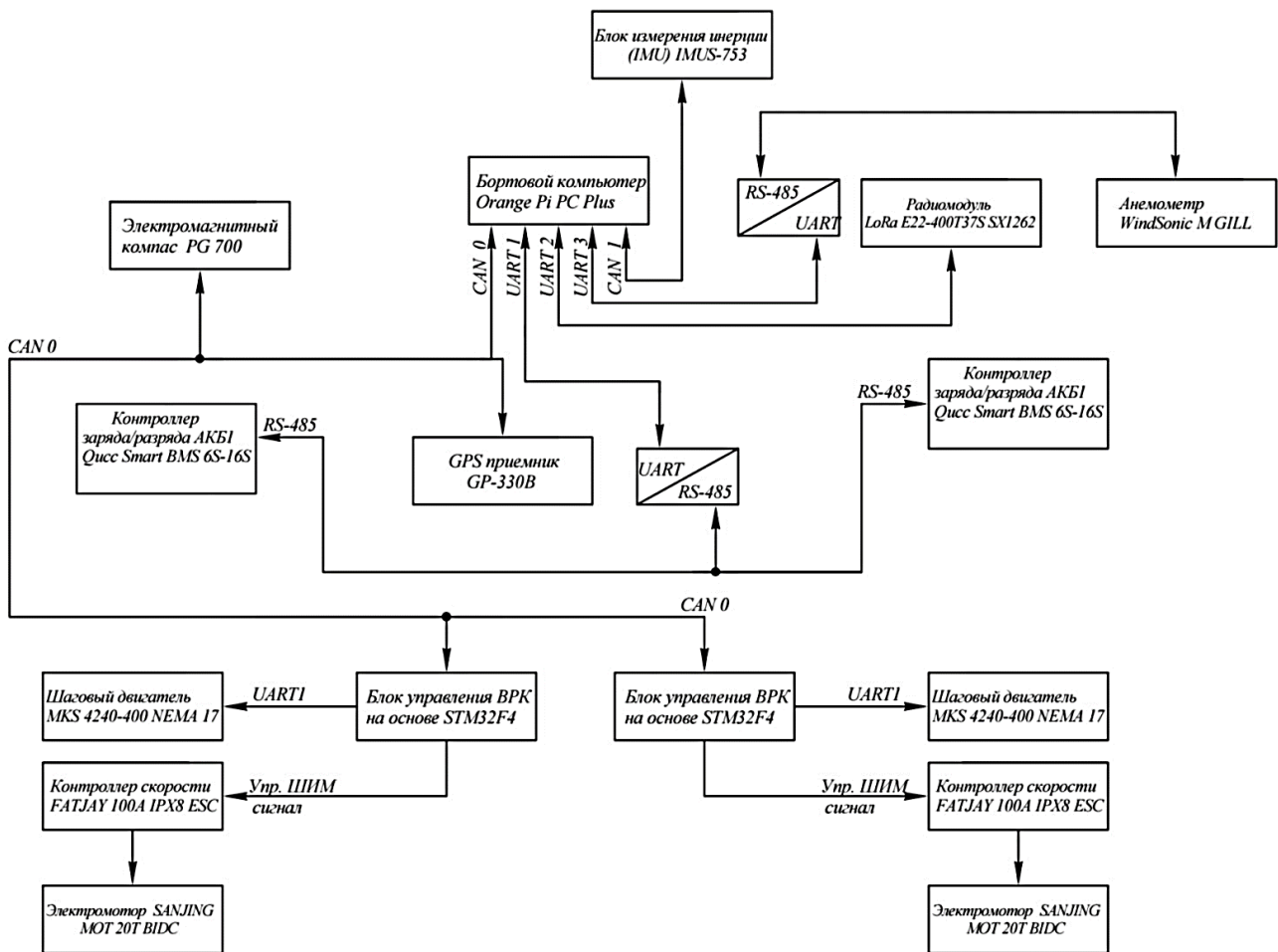


Рисунок 2 — Блочная схема системы динамического позиционирования

Для управления винторулевыми колонками используется специальный блок управления ВРК, основой которого является микроконтроллер STM32. Данный блок при помощи универсального асинхронного передатчика (UART) передает данные на шаговый двигатель, который, в свою очередь, и управляет ВРК. Управление двигателями и режим их работы рассчитывается вычислительным устройством, исходя из эталона и уставок, установленных заранее в алгоритмах динамического позиционирования (рис. 3).



Рисунок 3 — Блок-схема системы управления ДП

На основании вышеописанной системы было решено создать собственную систему динамического позиционирования, опираясь на аналоги и опыт предыдущих исследователей данной области, с учетом составления новых алгоритмов управления и создания программы для работы системы.

Исходя из изучения имеющихся аналогов, была поставлена задача создать устройство, которое по своим характеристикам должно соответствовать следующим параметрам.

1. Минимальное количество отслеживаемых и координатных осей не должно быть меньше девяти. Максимальное отклонение по этим осям не должно превышать 2-3 градусов.

2. Датчики и периферия должны автоматически синхронизироваться с бортовым вычислительным устройством.

3. Устройство должно быть масштабируемым для универсальности, чтобы с минимальными доработками можно было расширить сферу его применения. Устройство должно быть способно на дальнейшую модернизацию и развитие для улучшения своих качеств и характеристик.

В процессе всей работы планируется создать систему динамического позиционирования для управления моделью маломерного надводного судна, управляемую не только данной системой, но также с возможностью дистанционного управления при помощи её движителей и специальных командных устройств, а также составить алгоритмы для управления данной системой и разработать программное обеспечение для бортового устройства.

Подводя итоги проделанной работы, можем сделать выводы, что данная система динамического позиционирования для маломерных судов поможет в развитии отечественных систем динамического позиционирования и заполнит вакантные места на рынке подобных приборов для маломерного флота. Она сможет повысить качество технологических процессов и улучшить условия работы трудящихся.

Список литературы

1. Штайн-Инге Торсет Эйен. Динамическое позиционирование для малых автономных надводных судов. – Тронхейм: Норвежский университет науки и технологий, 2016. – 26-29. – 46 с.
2. Крылова О.П. Моделирование процесса динамического позиционирования морского судна с визуальной информацией в обратной связи. – СПб.: СПбГУ, 2021. – 19 с.

Поступила в редакцию 25.09.2023 г.

Разработка системы дистанционного управления главного двигателя судна

Сушинская Анастасия Вадимовна, Nsushinskay@gmail.com
Мовчан Иван Михайлович, молодой специалист, Specnaz510@mail.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

Данная статья посвящена теме дистанционного управления энергетической установкой отдельно взятого судна, что повлечет за собой улучшение условий труда моряков, упрощение управления энергетической установкой, а также уменьшение количество обслуживающего персонала.

Ключевые слова: катамаран, дистанционное управление, энергетическая установка, перевозка людей, главный судовой двигатель.

Development of a remote-control system for the main engine of a vessel

Sushinskaya Anastasia V., Nsushinskay@gmail.com
Movchan Ivan M., Specnaz510@mail.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

This article is devoted to the topic of remote control of the power plant of a single vessel, which will entail improving the working conditions of seafarers, simplifying the management of the power plant, as well as reducing the number of maintenance personnel.

Keywords: catamaran, remote control, power plant, transportation of people, main ship engine.

В сегодняшнем мире очень активно развиваются технологии, особенно это касается микроэлектроники и всевозможных ЭВМ. Данные устройства значительно позволяют упростить как жизнь обычных людей, так и их работу при помощи автоматизации технологических процессов, которые как аппаратно, так и программно строятся на основе вычислительной техники. Речь в нашей статье пойдет о судне, а именно катамаране, типа «Авангард», который представлен ниже на рисунке 1, а если конкретно, то о его главной энергетической установке, возможных методах и решениях для дистанционного управления ей.

Данное судно оснащено двумя главными двигателями, которые и приводят в движение судно при помощи двух винтов фиксированного шага (ВФШ). Марка данных двигателей 12М33С1300-18, они работают на дизельном топливе и имеют систему электронного впрыска, что плодотворно влияет на качество топливной смеси, хорошо сказывается на динамических показателях, а также КПД работы двигателей. Каждый двигатель имеет мощность 956 кВт, а в сумме они дают мощность равную 1912 кВт, или 2600 л.с. Номинальная частота вращения – 1800 об/мин.

Что касается системы дистанционного управления судна, то она включает в себя функции и компоненты, перечисленные ниже.

Управление главным двигателем – эта функция контролирует количество оборотов главного двигателя и скорость хода судна. В качестве компонентов используется топливная

рейка, или, как в данном случае, электромагнитный клапан, который и регулирует количество подачи топлива.

Для отслеживания параметров системы используются датчики. Будет производиться мониторинг следующих параметров системы: температура главного двигателя, количество оборотов, скорость судна, уровень топлива, а также другие факторы, влияющие на безопасность и нормальную работу катамарана. Вывод информации с датчиков реализуется с помощью цифровых интерфейсов CANOpen.

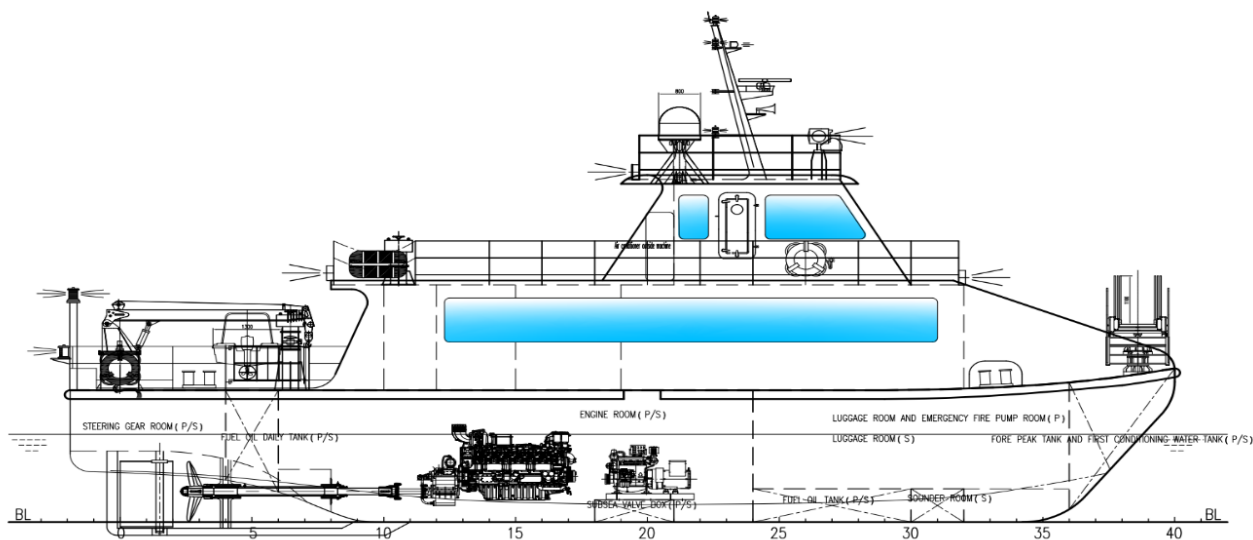


Рисунок 1 — Чертеж пассажирского судна МСС «Авангард»

Планируется использование ПЛК для анализа информации датчиков и отслеживания состояния судовой энергетической установки.

Для контроля и распределения принимаемых команд и отправляемой оператору информации используется микрокомпьютер Raspberry Pi, который связан с ПЛК через высокоскоростной интерфейс Ethernet, что обеспечивает надежность и быстродействие.

Для связи с устройством, а именно с блоком управления двигателем, планируется использовать интерфейс UART, который впоследствии преобразуется в RS-485, и далее регулирует обороты и работу главного двигателя в целом.

Радиомодуль Semtech связывается с бортовым компьютером Raspberry Pi при помощи интерфейса UART для последующей передачи информации о состоянии судовой энергетической установки оператору, либо для приема сигналов управления от оператора и отправки их исполнительным устройствам в виде сервоприводов, реле и шаговых двигателей.

Что касается датчиков, которые должны отслеживать состояние судовой энергетической установки, то они будут использовать для передачи данных интерфейс CANOpen. В качестве некоторых датчиков планируется использовать датчики температуры и давления, а также энкодер для отслеживания частоты оборотов двигателя.

Беря во внимание и суммируя все описания и необходимые параметры системы дистанционного управления судовой энергетической установки, была составлена структурная схема, на которой изображены блоки системы, а также указаны интерфейсы связи, при помощи которых система ДУ должна коммуницировать, и те интерфейсы, которые будут это осуществлять.

Данный проект системы дистанционного управления судовой энергетической установкой катера «Авангард» использует как нижние коммуникационные уровни связи между блоками системы ДУ, так и верхние. Таким образом, к нижним уровням относится интерфейс RS-485

и CANOpen. При помощи интерфейса RS-485 реализуется система управления главным двигателем катамарана, а также обратная связь. В качестве блока управления двигателем было решено выбрать систему фирмы Navco модель M-800-II.

Что касается другого интерфейса нижнего уровня, CANOpen, то он используется для связи с программируемым логическим контроллером (ПЛК) от фирмы ABB, который, в свою очередь, контролирует и участвует в мониторинге нормальной работы судовой энергетической установки.

Связь ПЛК с бортовым компьютером осуществляется при помощи интерфейса верхнего уровня Ethernet, который имеет высокую скорость передачи информации до 1000 Мбит/сек, что обеспечивает высокую точность и быстродействие системы.

Пример реализации системы дистанционного управления представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 — Пример системы дистанционного управления судовой энергетической установкой

Структурная схема системы дистанционного управления судовой энергетической установкой катера «Авангард» представлена ниже на рисунке 3.

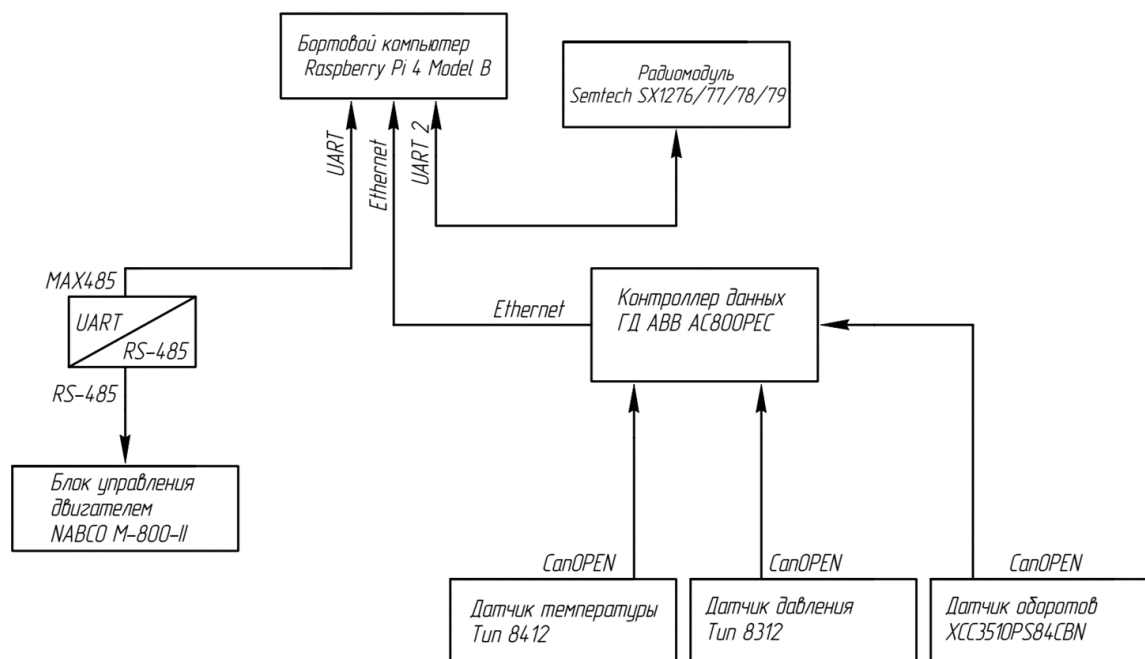


Рисунок 3 — Блок-схема системы дистанционного управления судовой энергетической установкой

Подводя итоги данной работы, сделаем **вывод**, что в современных реалиях данная система сможет поспособствовать созданию безэкипажных судов и развитию автономного судовождения с использованием высокотехнологичных устройств и ЭВМ, что, в свою очередь, повысит качество технологических процессов, а также улучшит условия труда для рабочих.

Список литературы:

1. Weichaiрower [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.weichaiрower.com /product_business/powertrain/engine/industrial/Genset/202003/t20200328_61841.html (дата обращения: 20.11.2022).
2. Пассажирское судно МСС АВАНГАРД [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mssavangard.ru/> (дата обращения: 25.11.2022).
3. Крыловский государственный научный центр. Судовая электротехника и технология, топливные элементы и водородная энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://krylov-centre.ru/activities/ship-electrical-engineering-and-technology/the-latest-developments-and-customers/> (дата обращения: 27.11.2022).

Поступила в редакцию 25.09.2023 г.

Алгоритмы управления балластной системой танкера

Чемодаков Андрей Леонидович, канд. техн. наук, доцент, chemodakov@msun.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

Разработан алгоритм управления балластной системы танкера при проведении следующих технологических операций: прием и слив балласта насосом и/или самотеком, зачистка и промывка балластных танков, замещение балласта. Представлены основные процедуры, реализуемые алгоритмами, контролируемые параметры.

Ключевые слова: алгоритмы управления, танкер, балластная система, замещение балласта, балластный насос, промывка балластных танков, зачистка.

Control algorithms for tanker ballast system

Chemodakov Andrei L., chemodakov@msun.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

Algorithms have been developed to control the tanker's ballast system during the following technological operations: ballast intake and discharge by a pump and/or gravity, stripping and washing of ballast tanks, ballast replacement. The main procedures implemented by the algorithms and controlled parameters are presented.

Key words: control algorithms, tanker, ballast system, ballast replacement, ballast pump, washing of ballast tanks, ballast tanks stripping.

Для разработки программного обеспечения системы управления грузовым комплексом танкера требуется соответствующее информационное и алгоритмическое обеспечение, учитывающее конструктивные особенности и характеристики объекта управления, требования к видам и технологии проведения балластных операций. Предлагаемые алгоритмы управления разрабатывались применительно к балластной системе (БС) следующего состава и конфигурации.

Система состоит из двух магистралей, обслуживающих две группы цистерн, правого и левого борта. Балластные танки (БТ) располагаются в междудонном и межбортовом пространстве. Балластные насосы (БН) – центробежные электроприводные, частота вращения регулируется ступенчато. Зачистка балластных цистерн осуществляется водяными эжекторами. Для подачи рабочей жидкости к эжекторам используется пожарный насос. Возможна реализация алгоритма управления для системы с газосепарационными установками и, соответственно, отсутствием зачистных магистралей и эжекторов с ручным управлением. Привод поворотных затворов – гидравлический. В каждой цистерне по два приёмных патрубка – основной и зачистной меньшего диаметра.

Необходимое для реализации алгоритмов информационное обеспечение состоит из двух групп: «постоянные» данные, вводимые при установке и настройке системы управления, и переменные данные, вводимые оператором перед началом выполнения балластных операций и поступающие от датчиков системы управления. В первую группу входят следующие данные: таблицы объемов балластных цистерн в зависимости от уровней в них; число балласт-

ных магистралей (групп); число балластных цистерн в группах; число управляемых поворотных затворов на магистралях; номера поворотных затворов, установленных на приемных трубопроводах балластных цистерн; номинальные подача, напор, потребляемая мощность БН; интервал времени между расчетами подач; время срабатывания управляющей аппаратуры при пуске/остановке БН; время открытия/закрытия поворотного затвора; время срабатывания управляющей аппаратуры при изменении частоты вращения БН; плотность морской воды.

Группа переменных данных: параметр, определяющий режим работы балластных магистралей; параметр, определяющий работу насосом или самотеком; параметр необходимости пуска БН; параметры, задающие номера обрабатываемых цистерн; параметр необходимости пуска зачистного эжектора; параметры, задающие положения поворотных затворов; максимально допустимое значение температуры обмотки приводного электродвигателя; максимально допустимое значение давления в нагнетательном патрубке БН; минимально допустимое значение давления во всасывающем патрубке БН; максимально допустимая температура подшипников БН; максимально допустимый уровень в цистерне; минимально допустимый уровень в цистерне; «рабочая» частота вращения БН; минимально допустимая частота вращения БН. Данные от датчиков системы управления: параметр, характеризующие состояния БН (в работе, не работает); параметры, характеризующие положения поворотных затворов; параметры, характеризующие состояние зачистных эжекторов; температура обмотки приводных электродвигателей БН; давление в нагнетательном патрубке БН; давление во всасывающем патрубке; температура подшипников БН; скорость вращения БН; уровень в балластных цистернах и др.

Алгоритмы управление БС обеспечивают выполнение следующих операций: слив балласта самотеком, слив балласта насосом, приём балласта самотеком, приём балласта насосом, зачистка балластных танков, выполнение операций замещения балласта одним из рекомендуемых способов: последовательным, методом вытеснения или разбавления. Зачистка балластных цистерн выполняется зачистными эжекторами через приемные патрубки меньшего диаметра. Окончанием зачистки считается полное осушение зачищаемых цистерн. При применении газосепарационных установок полное осушение цистерн выполняется балластными насосами.

Алгоритмы обеспечивают выполнение заданной технологии проведения балластных операций наибольшей или заданной подачей при сохранении контролируемых параметров в допустимых пределах изменения. Контролируются следующие параметры: уровни в цистернах, крен, дифферент, осадка носом и кормой, температура обмотки приводного электродвигателя БН, давление во всасывающем и нагнетательном патрубке БН, температура подшипников ГН, давление газовой среды в танках.

Для каждого контролируемого параметра назначаются две уставки – предупредительная и предельная. При достижении первой уставки выдается предупредительное сообщение. При достижении предельной – выводится сообщение и вырабатывается управляющие воздействия, устраняющие аварийную ситуацию или прекращающие выполнение технологической операции. Значения предупредительных уставок или вычисляются, как в представленном алгоритме, или задаются предварительно. В качестве управляющего воздействия используются отключение/включение БН, снижение скорости вращения насоса, закрытие/открытие соответствующей запорной арматуры.

Через определенные промежутки времени производится расчёт подачи по магистралям, объёма, массы балласта, объёма пустого пространства в балластных танках.

При управлении балластными операциями возможно проведение математическое моделирование работы системы с целью определения предполагаемого времени грузовых и балластных операций, возможных критических отклонения параметров посадки, прочности корпуса с целью выбора оптимальных технологических схем грузообработки и балластировки.

Укрупненный алгоритм управления БС (рис. 1) представляет собой набор следующих процедур, выполняемых в указанной последовательности.

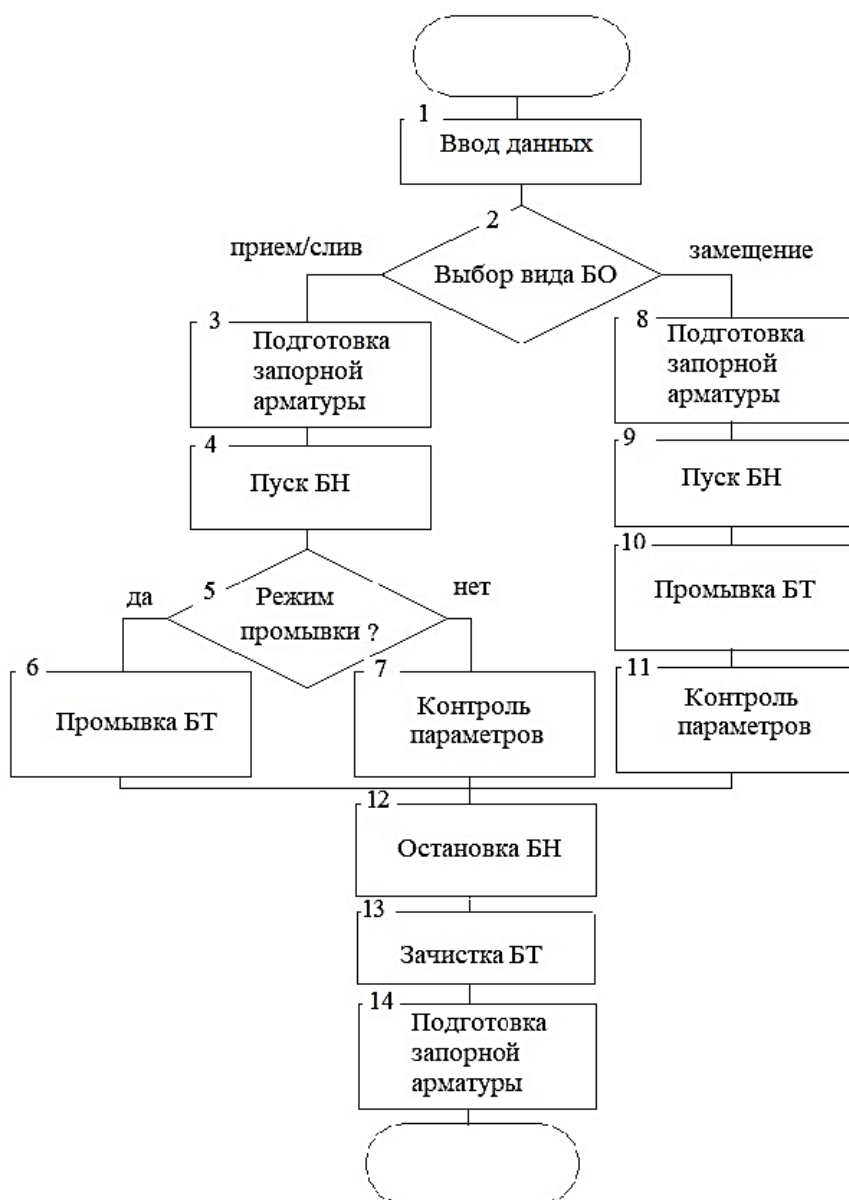


Рисунок 1 — Укрупненный алгоритм управления балластной системой

1. Ввод данных по технологии выполнения операции (вид операции, номера используемых магистралей, насосов, танков и цистерн).
2. Определение вида балластной операции.
3. Подготовка запорной арматуры. Приведение запорной арматуры в положения, соответствующие выбранному виду операции. Может выполняться оператором дистанционно. Если задана работа самотеком, то после окончания процедуры начнет выполняться слив/прием балласта самотеком без включения насоса. Как только подача балластной воды становится меньше заданного значения, выдается сообщение о необходимости перехода на БН.
4. Пуск балластного насоса. Выполняются процедуры подготовки, пуска и вывода на заданный режим БН.
5. Определение необходимости выполнения операции промывки танков.
6. Выполнение процедуры промывки балластных танков. Осуществляется подготовка, пуск промывочной системы, выполнение технологической последовательности промывки заданных балластных танков, остановка процедуры по заданному признаку (уровню в цистерне, времени выполнения, аварийному сигналу и др.)
7. Контроль параметров процесса. Определение признаков окончания балластной операции.

8. Подготовка запорной арматуры. Приведение запорной арматуры в положения, соответствующие операции замещения балласта.
9. Пуск балластного насоса.
10. Промывка БТ. Осуществляется подготовка, пуск промывочной системы, выполнение технологической последовательности промывки БТ, используемых для замещения балласта, остановка процедуры по определенному признаку.
11. Контроль параметров процесса. Определение признаков окончания операции замещения балласта.
12. Остановка БН. Выполняются процедуры вывода из режима и остановки БН.
13. Зачистка балластных танков. Включает в себя процедуры ввода данных о необходимом положении запорной арматуры, подготовки и пуска зачистного эжектора, определения признаков окончания операции. Данные вводятся либо оператором с пульта, либо с хранителей информации. Данная процедура выполняется только при выполнении слива балласта. При отсутствии зачистной системы и наличии газосепарационных установок вместо нее выполняются процедуры подготовки, включения и управления газосепарационной установкой и контроля параметров. В этом случае предыдущая процедура (остановка БН) будет выполняться после данной процедуры.
14. Подготовка запорной арматуры. Поворотные затворы приводятся в заданные положения.

Каждая из описанных процедур представляет собой укрупненный алгоритм, который также может быть рассмотрен более детально.

Представленные алгоритмы реализуют процедуры управления основными режимами работы балластной системы танкера, а именно: прием и слив балласта самотеком с автоматическим переходом по заданным признакам на насосы; операциями замещения балластных вод по заданной схеме; операциями промывки балластных танков как отдельной процедурой, так и как заключительный этап осушения танков. При разработке программного обеспечения системы управления они могут быть дополнены алгоритмами моделирования работы балластной системы, позволяющими расширить функционал системы управления за счет прогнозирования хода балластных операций. Также алгоритмы управления могут быть использованы для разработки программного обеспечения тренажеров грузобалластных операций танкеров.

Список литературы

1. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года и кодекс по одобрению систем управления балластными водами (Кодекс СУБВ). – СПб.: ЦНИИМФ, 2018. – 254 с.

Поступила в редакцию 08.09.2023 г.

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 658.5

Сравнение современных САПР для применения в проектировании трубопроводов

Грушецкий Марк Брониславович, Mark16062101@mail.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

В статье особое внимание уделяется применению САПР, описанию их основных функций, произведено сравнение различных видов САПР для проектирования различных видов трубопроводов, приведен их обзор. На основе полученной информации выдвинуто предложение о выборе наиболее подходящей программы.

Ключевые слова: САПР, трубопроводы, САД, расчет, программа.

Comparison of modern CAD for application in pipeline design

Grushetskii Mark B., Mark16062101@mail.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

In the article, special attention is paid to the use of CAD, a description of their main functions, a comparison of various types of CAD for the design of various types of pipelines, their review is made. Based on the information received, a proposal was made to select the most suitable program.

Keywords: CAD, pipelines, CAD, calculation, program.

Реализация любого инженерного проекта, связана с разработкой проектной документации. В современном мире с целью упрощения и автоматизации этого процесса компании используют системы автоматизированного проектирования (САПР). Данные системы дают возможность создания образа проектируемого объекта. Проектирование включает в себя разработку технического задания и дальнейшую его реализацию в виде документации. Последующие этапы реализации проекта следуют за этим наиболее важным этапом разработки. Преобразование технического задания в конечный результат проходит не в один, а в несколько этапов. До применения ЭВМ все этапы проектирования проводились вручную. Проектирование, при котором все проектные решения или какая-то их часть производится с помощью ЭВМ, и есть автоматизированное проектирование. Система, которая предназначена специально для автоматизации проектирования, называется САПР.

Существуют множество программ, предназначенных для автоматизации проектирования. САПР классифицируют на САПР-Ф для функционального проектирования, САПР-К для общего машиностроения, САПР-Т для технологической подготовки производства. Различные компании выпускают собственное программное обеспечение для конкуренции на рынке САПР. Была поставлена задача проанализировать направление развития и конкуренции различных видов САПР. Программы используются для проведения расчетов всех видов трубопроводов,

начиная от промышленных и заканчивая судовыми. Проведем сравнение продуктов различных компаний с целью уточнения их плюсов и минусов и выбора оптимальной программы.

Для начала стоит отметить, что также системы разделяются на системы, работающие в 2D, к которым относится AutoCAD, и 3D, которые будут приведены ниже. AutoCAD не будет участвовать в сравнении из-за отсутствия функций 3D.

Программа Bentley AutoPLANT включает модули разработки схем, 3D-моделирования, расчеты, генерацию чертежей, спецификаций и изометрических схем. Программа позволяет решать различные задачи.

Первоначально можно использовать «АвтоПайп» для расчетов гидравлики, также существует «ПлентФлоу» для расчетов на прочность различных узлов, врезок, патрубков и аппаратов, используемых в промышленности. Программа обладает интерфейсом, который работает в две стороны и дает огромный прирост в скорости сообщения между стадиями от проектирования и до расчета. Кроме того, «АвтоПайп» используется для расчета операций, связанных с температурным воздействием в трубопроводах на всей их протяженности. Данная программа идеально подходит для расчетной и аналитической части любого проекта, так как позволяет визуализировать то, что будет подлежать расчету. Также одним из самых важных факторов является возможность работы сотрудников дистанционно по сети Интернет.

В программу CADWorx Plant добавлено огромное количество различных функций, необходимых для работы в сфере трубопроводного транспорта. Ее функционал можно использовать для работы с металлом, системами, обеспечивающими предприятия водой или воздухом, а также для прокладки различных кабелей на любые расстояния. Наиболее удобной особенностью данной программы является легкость добавления рабочей информации в библиотеки. Эта функция дает пользователям шанс увидеть всю документацию в виде текстовых файлов и подвергнуть их изменениям, если таковые потребуются.

Система PLANT-4D основана на применении параметрического ядра, специально спроектированного под данный вид работы. Указанная программа позволяет разработчикам работать совместно в локальной сети. В свойства программы входит трехмерное и твердотельное моделирование. Отметим, что данная функция является обычной для большинства САД-систем, у программ выше она также имеется, однако интерфейс PLANT-4D позволяет легко работать с моделями систем, различными конструкциями, оборудованием и необычной изометрией, а также со спецификациями, отчетами и другой документацией.

Программа PDS использует интегрированную возможность реализовывать технологический проект, поскольку САД-системы – это не только разработка и проектирование, но и сопровождение проекта на всем этапе его реализации. Так, программа позволяет следить за поставками материалов для выполнения проекта. PDS изначально проектировалась под большие предприятия, такие как заводы, станции, платформы, поэтому у нее нет особых ограничений по работе с данными. Единственным ограничением является только мощность материальной базы, иначе говоря, компьютеров.

В список программ, входящих в систему Microsoft Project 2007, входит Microsoft Project Standard 2007 – современная версия основных возможностей для управления проектом.

В нее входят обычные для САД-систем функции, также эта программа в основном используется для одиночного использования, при этом не исключена возможность работы в команде.

Microsoft Project Professional 2007 – приложение, нашедшее свое применение в компаниях и проектных офисах, специализирующихся на разработке документации для больших компаний. Функционал программы направлен на совместную разработку с участием локальной сети, а также сети Интернет.

Microsoft Project Server 2007 – особо технологичный для своего времени продукт, является лучшим в линейке приложением для работы на уровне предприятия. Его особенностью, по сравнению с другими приложениями, является особый протокол защиты данных. Стоит отметить, что в этой версии была включена возможность подключения онлайн-библиотек.

Microsoft Project Server Client Access License (CAL) – второстепенная возможность, она дает покупателям право пользоваться услугами сервера Microsoft Project Server. Пользователи,

обладающие САЛ, могут видеть и перестраивать данные о проекте посредством особого Web-интерфейса.

Данные программы используются для автоматизации проектирования трубопроводов. Правильная, созданная без ошибок схема или чертеж помогут достичь идеального качества инженерного проекта.

Выводы

Проведя обзор различных видов программ для автоматизированного проектирования, мы можем сделать вывод, что AutoPLANT является одной из наиболее простых программ для работы, а ее преимуществом перед остальными типами программ является возможность работы над проектом в сети Интернет. Совместная работа помогает упростить трудовой процесс и улучшить его эффективность. AutoPLANT – это перечень программ для решения задач в комплексе проектирования на графической платформе. AutoPLANT предназначен для гидравлических расчетов трубопроводов, прочностных расчетов элементов трубопровода, таких как тройники, фланцы и другие. Это позволяет решать проблему, находясь за компьютером, а не в рабочем поле, где реализуется проект.

Список литературы

1. Электронное руководство к Своду знаний по управлению проектами. Издание 3-е. – USA, Project Management Institute, 2004. – 388 с.
2. Вилевич И.Ю. Управление проектами. Электронное учебное пособие.
3. Седов А.В. Управление конфигурацией систем автоматизированного проектирования объектов нефтегазовой отрасли: автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина, 2008.
4. Солиев Н.Н. Единый программный комплекс для моделирования в нефтегазовой промышленности // Академический журнал Западной Сибири. – 2015. – Т. 11, № 2. – С. 52-53.
5. Якшибаев А.Н. Обзор современных прикладных программных продуктов и автоматизированных систем управления в проектировании, строительстве и эксплуатации объектов нефтегазовой промышленности // Машины, агрегаты и процессы нефтегазовой отрасли. – 2020. – Т. 18, № 2. – С. 123-130.

Поступила в редакцию 09.09.2023 г.

Энергетическое использование сточных вод объектов морских технологий

Дарменко Александр Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Darmenko@msun.ru
Тарасов Максим Игоревич, старший преподаватель, Nadezkin@msun.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

Выполнено общее обоснование повторного энерготехнологического использования бытовых и производственных сточных вод объектов морских технологий. Произведена оценка стационарных и нестационарных объектов на возможность оптимизации организации процесса водопотребления-водоотведения. Рассмотрены условия сброса очищенных сточных вод в море.

Ключевые слова: объекты морских технологий, водопотребление, условия водоотведения, классификация стоков, обработка и повторное использование сточных вод.

Energy use of wastewater from marine technology facilities

Darmenko Alexander V., Darmenko@msun.ru
Tarasov Maxim I., Nadezkin@msun.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

A general justification for the re-energy-technological use of domestic and industrial wastewater from marine technology facilities has been completed. An assessment was made of stationary and non-stationary objects for the possibility of optimizing the organization of the water consumption and wastewater disposal process. The conditions for the discharge of treated wastewater into the sea are considered.

Keywords: marine technology objects, water consumption, water disposal conditions, classification of wastewater, treatment and reuse of wastewater.

Объекты морских технологий (ОМТ) – производственные объекты, расположенные на морском побережье, либо работающие на акватории мирового океана, функционально и технологически связанные с добычей и переработкой ресурсов океана, транспортировкой изделий и грузов, ремонтом, изготовлением и обслуживанием морских объектов.

Классифицируя ОМТ, их можно разделить на две группы. К первой отнесем стационарные объекты, которые могут иметь либо береговое базирование (судоремонтные заводы (СРЗ), рыбоперерабатывающие (РП) предприятия и т.д.), либо морского базирования (платформы, плавдоки и т.д.). Вторая группа – нестационарные объекты, которые выполняют свои функции, перемещаясь по акватории океана. Это транспортные и добывающие суда, корабли, РП плавбазы (ПБ).

Необходимо отметить, что из всего разнообразия ОМТ нами выделены только те, которые обладают высоким водопотреблением и соответственно значительным водоотведением, это обычно обусловлено двумя основными факторами: высокой численностью людей, работающих на объекте, или/и высоким уровнем использования воды в технологических процессах, используемых на объекте.

Режим стационарной работы этих объектов – длительный или круглогодичный, при этом для указанных ОМТ характерно значительное потребление пара не только для технологических и бытовых целей, но и для выработки электрической энергии и получения тепловой.

К таким объектам относятся береговые РП и СРЗ, а также буровые платформы и РП ПБ. Для всех указанных стационарных объектов характерно наличие проблем с водоотведением, т. к. сброс неочищенных бытовых сточных вод (БСВ) и производственных сточных вод (ПСВ) запрещен, причем это требует гораздо более высоких затрат на их очистку, чем для не стационарных объектов, что вызвано, во-первых, гораздо более высоким объемом сточных вод (СВ), как БСВ, так и ПСВ; во-вторых, необходимостью более высокой степени их очистки, а также необходимостью дополнительной обработки (обеззараживание, дезодорирование и т. п.) ввиду того, что объект является стационарным.

Рассматривая условия работы ОМТ с точки зрения водопотребления, необходимо отметить, что нестационарные ОМТ практически не испытывают проблем с получением пресной воды, т. к. на ходу работают опреснители, чаще всего испарители, использующие теплоту охлаждающей воды дизельной силовой установки, а потребности в ней невысокие.

Для этой же группы объектов характерно водоотведение трех видов СВ: фекальная (фановые) СВ (ФСВ), хозяйственно-бытовые (ХБ) и нефтесодержащие СВ (НСВ). Водоотведение для этой группы судов, ввиду ее функциональной и технологической направленности, а также небольшой численности экипажа, отличается малым расходом. А существующие установки по очистке НСВ и ФСВ, вполне удовлетворительно справляются со своими функциями.

Что касается стационарной группы ОМТ, в наиболее тяжелых условиях находятся ПБ. Это вызвано особыми условиями работы. ПБ, находясь на путине, меняют промысловые районы, работая в стояночном режиме от одного до четырех месяцев, с короткими переходами, при общей длительности рейсов от 270 до 500 суток [1]. Таким образом, ПБ на путине переходят из нестационарного в стационарный морской режим и работают в нем месяцами. Но если береговые объекты (СРЗ, РП предприятия) получают дешевую пресную воду, имеют площади, для расположения установок биохимической очистки, которые обрабатывают ФСВ и ХБ СВ, и установок для очистки технологических сточных вод, то что касается плавбаз, они могут получать воду, либо при доставке танкерами (что очень дорого), либо производя её в испарителях большой производительности, чего требует технология РП (консервы, глазировка и т.д.). Значительные по размеру экипажи судов (120-140 человек) и большое число (300-400 человек) работников, обеспечивающих переработку рыбы и морепродуктов, требуют необходимого количества воды для камбуза. Продукты переработки рыбы являются, в основном, пищевыми продуктами, что требует больших расходов пресной воды, необходимой для прачечных и душевых, чтобы соблюдать нормы санитарии и гигиены. Кроме этого, котельная установка должна обеспечить паром технологическое оборудование, отопление помещений, работу испарителей и т.д.

Кроме перечисленного, ПБ обязаны выполнять самый жесткий режим по предотвращению загрязнения моря. При этом ограничивается концентрация загрязняющих веществ по условиям отведения очищенных СВ. Это относится и к судам, даже если угар моторного масла оптимизирован [2], и используются восстановленные смазочные материалы [3] при работе силовой установки, поэтому в СВ могут попадать нефтесодержащие включения, связанные с работой дизеля. Требуется тщательно следить за их концентрацией и очищать СВ от данных примесей.

Что касается условий сброса очищенных СВ с судов в море, то сброс запрещён, если судно находится:

- в порту;
- в особом районе (Балтийское, Черное, Красное моря и другие акватории [4]);
- в территориальных водах (иногда);
- в морской экономической зоне (некоторых стран).

На судах преодолевают эти проблемы следующим образом: очищенные ХБ СВ, обработанные и обеззараженные ФСВ, собираются в соответствующих цистернах и осуществляется их сброс за борт, когда указанные выше ограничения прекращают действовать. Для таких стационарных ОМТ как ПБ, находящихся в стояночном режиме, указанный способ преодоления этих ограничений нереален, так как они не могут собирать сточные воды для последующего сброса. К примеру, суточный объём ФСВ плавбазы численностью 440 человек составляет 22 м³ в сутки, а ХБ СВ – 97 м³ в сутки. Поэтому для плавбаз необходимо производить более глубокую очистку БСВ и ФСВ от органических веществ и поверхностно активных веществ, обеззараживание, дезодорирование и т. д. Нефтедержащие воды обрабатываются на сертифицированных установках. При этом степень очистки льяльных вод на соответствующих установках достигает 15 мг/л, однако для сточных вод, содержащих нефтепродукты при сбросе со стационарных объектов, в том числе береговых, требуется более глубокая очистка, т. к. предельно допустимая концентрация нефтепродуктов в воде водоемов рыбохозяйственного назначения составляет 0,05 мг/л. При этом и дезодорирование и обеззараживание отводимых вод обязательны.

Таким образом, организация водопотребления-водоотведения на плавбазах двуединая: первая – снижение количества потребляемой пресной воды, что значительно уменьшит затраты на её получение, вторая – повышение степени очистки отводимых с ПБ сточных вод, что позволит сбрасывать их в океан. Но тогда возникает вопрос, зачем это делать, когда можно использовать воды повторно, в первую очередь для генерации технологического пара. Обеспечить необходимую степень очистки вод для получения пара низких параметров возможно с применением технологии жидкофазного окисления [5], в свое время эта технология была опробована и продемонстрировала удовлетворительные результаты.

Список литературы

1. Лукиных Н.Л. Оценка возможного загрязнения хозяйственно-бытовыми сбросами районов групповой работы рыбодобывающих судов // Проблемы охраны окружающей среды и рекуперации вторичных ресурсов на предприятиях отрасли и при эксплуатации судов. Всесоюзн. науч-техн. конф. – Л.: Судостроение, 1982. – С. 143-144.
2. Тарасов М.И., Семенюк Л.А., Гак Г.А. Оптимизация угара моторного масла в судовом дизеле с высоким наддувом по критерию изнашивания // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2018. – № 3. – С. 78-86.
3. Тарасов В.В., Соболенко А.Н., Тарасов М.И. Эффективность применения регенерированного моторного масла, легированного присадками в судовых дизелях разной форсировки // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1 (47). – Т. 2. – С. 116-122.
4. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г. и протокол к ней 1978 г. (МАРПОЛ 73/78).
5. Дарменко А.В., Тарасов М.И., Грушецкий М.Б. Выбор оптимальной технологии глубокой очистки некоторых видов нефтедержащих вод судовой энергетической установки // Вестник Морского государственного университета. – 2023. – № 91. – С. 35-37.

Поступила в редакцию 25.09.2023 г.

Эксергетический метод анализа термодинамического совершенства судовой энергетической установки

Дрозд Михаил Сергеевич, старший преподаватель, drozd.mikhail@rambler.ru
Кича Геннадий Петрович, д-р техн. наук, профессор, nadezkin@msun.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

В статье представлен универсальный метод анализа энергетической эффективности существующих или проектируемых транспортных судов с точки зрения степени их термодинамического совершенства. Авторы доказывают, что определение составляющих теплового баланса и энергетического к.п.д. судовых дизелей является недостаточным для корректного и всестороннего понимания работоспособности тепловых потоков судовой энергетической установки. Требуется определять не только количество бросовой теплоты дизелей, но и в какой мере она может быть преобразована в работу. Рассмотренный метод эксергетического анализа учитывает потери от необратимости и неравномерности процессов теплообмена в судовой энергетической установке, что позволяет оценить качественный потенциал потоков теплоты и определить эффективные способы утилизации вторичных энергоресурсов. Предлагается оценивать термодинамическую эффективность судовой энергетической установки и её элементов на основе эксергетического к.п.д. выработки и потребления энергии в зависимости от степени потерь теплоты в окружающую среду и необратимости процессов.

Ключевые слова: энергоэффективность, эксергетический анализ, эксергетический КПД, энергия теплового потока, вторичные энергоресурсы, утилизация бросовой теплоты.

An exergy method for analyzing the thermodynamic perfection of a ship power plant

Drozd Mikhail Sergeevich, drozd.mikhail@rambler.ru
Kicha Gennadiy Petrovich, Dr. Sci. (Eng.), professor, nadezkin@msun.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

The article presents a universal method for analyzing the energy efficiency of existing or planned transport ships in terms of the degree of their thermodynamic perfection. It is proved that the determination of the components of the heat balance and the energy efficiency of marine diesel engines is insufficient for a correct and comprehensive understanding of the performance of heat flows of a marine power plant. It is required to determine not only the amount of waste heat of diesel engines, but also to what extent it can be converted into work. The considered method of exergy analysis takes into account losses from the irreversibility and unevenness of heat transfer processes in a ship power plant, which makes it possible to assess the qualitative potential of heat flows and determine effective methods for utilizing secondary energy resources. It is proposed to evaluate the thermodynamic efficiency of a ship power plant and its elements on the basis of the exergy efficiency of energy generation and consumption, taking into account heat removal to the environment and coolant throttling.

Keywords: energy efficiency, exergy analysis, exergy efficiency, heat flow energy, secondary energy resources, waste heat recovery.

Энергоэффективность морского транспортного судна определяется кратностью произведенной работы к затраченной теплоте в судовой энергетической установке (СЭУ), т. е. термодинамическим (эффективным) к.п.д. (η_e). Вместе с тем, в сфере генерации энергии η_e современных судовых дизелей практически достиг максимума (53 %), тогда как в сфере потребления η_e СЭУ может быть увеличен до 90 % [1, 2]. Достижение этой цели возможно за счёт регенерации тепловых потоков СЭУ, а также путем статической и динамической оптимизации параметров схем глубокой утилизации теплоты (СГУТ) судовых дизелей и интенсификация процессов теплопередачи.

В общем случае, для оценки термодинамической эффективности СЭУ применяется метод энергетического анализа, заключающийся в определении тепловых потерь, сопровождающих работу дизеля и его η_e , при этом для определения составляющих энергетического баланса применяются контрольно-измерительные приборы как во время стендовых испытаний дизелей, так и на ходовых испытаниях судна.

Недостатком энергетического метода анализа СЭУ является невозможность оценить степень её термодинамического совершенства, поскольку тепловой баланс не дает представление об ограничениях и возможности осуществления процессов трансформации энергии, поэтому он не может быть методом для поиска наиболее перспективных направлений интенсификации процессов теплопередачи в СЭУ.

Кроме того, при определении составляющих энергетического баланса суммируется энергия, потоки которой обладают разной ценностью и имеют качественное различие. Фактически, посредством энергетического метода анализа возможно определить долю механической мощности в общей (механической и тепловой) мощности СЭУ, так как он основан на отношении полезного энергетического эффекта к энергии топлива [3].

Более точной теоретической базой для термодинамического анализа СЭУ и разработки эффективных и рациональных СГУТ, наряду с энергетическим методом, может служить метод эксергетического анализа, поскольку в нём учитывается работоспособность (эксергия) тепловых потоков в СЭУ и изменение эксергетического к.п.д. (η_{ex}).

Эксергетический анализ степени совершенства СЭУ заключается в определении эксергетических потерь установки путем установления разности между суммами всех входящих и выходящих из неё эксергий (см. рис. 1).

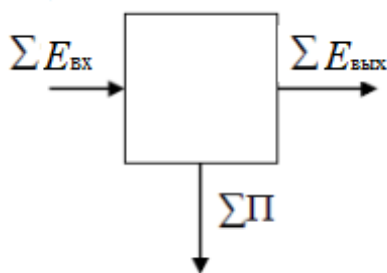


Рисунок 1 – Эксергетический баланс системы

Разность эксергий входящих $\Sigma E_{вх}$ и выходящих $\Sigma E_{вых}$ из СЭУ потоков теплоты определяет суммарную величину потерь $\Sigma П$ в установке (рис. 1), которая складывается из суммы не утилизируемых внутренних потерь эксергии $\Sigma П_n$ на трение, гидравлическое сопротивление, дросселирование, массообмен и суммы общих внешних потерь эксергии $\Sigma П_o$, в том числе потери через тепловую изоляцию, с отработанными газами, с охлаждающей жидкости, масла и другие потери, эксергия которых не используется [4]:

$$\Sigma E_{вх} - \Sigma E_{вых} = \Sigma П_n + \Sigma П_o = \Sigma П \geq 0; \quad (1)$$

$$\Sigma E_{вх} = (BQ_H^p)_{гд} + (BQ_H^p)_{дг} + (BQ_H^p)_{вк}; \quad (2)$$

$$\Sigma E_{вых} = 3600(P_{гд} + P_{дг}) + E_{сн} + E_{пв}; \quad (3)$$

$$E_{сн} = E_{вк} + E_{ук} = D_{вк}[i_1 - i_0 - T_0(s_1 - s_0)] + D_{ук}(i_2 - i_0 - T_0(s_2 - s_0)); \quad (4)$$

$$E_{\text{пв}} = G_{\text{пв}} \left[r \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{и}}} \right) + 3600 \sum P_{\text{оу}} \right], \quad (5)$$

где B – расход топлива, кг/ч; $Q_{\text{н}}^{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; P – эффективная мощность главного (ГД) и вспомогательного (ДГ) дизелей, кВт; $E_{\text{сн}} = E_{\text{вк}} + E_{\text{ук}}$ – эксергия пара, выработанного вспомогательным (ВК) и утилизационным (УК) котлами соответственно, и полезно затраченная на судовые нужды, кДж; $E_{\text{пв}}$ – эксергия греющей воды, полезно расходуемая для получения дистиллированной воды в опреснительной установке (ОУ), кДж/ч; $D_{\text{вк}}$ и $D_{\text{ук}}$ – расход пара, вырабатываемого ВК и УК на судовые потребители, кг/ч; i_1, s_1 и i_2, s_2 – энтальпия и энтропия пара в ВК и УК соответственно; i_0 и s_0 – энтальпия и энтропия пара при соответствующей температуре T_0 и давлении p_0 окружающей среды; $G_{\text{пв}}$ – производительность ОУ, кг/ч; r – теплота парообразования в ОУ, кДж/кг; $T_{\text{и}}$ – минимальная температура испарения воды в ОУ, К; $\sum P_{\text{оу}}$ – суммарная электрическая энергия, подводимая к ОУ и приходящаяся к 1 кг пресной воды, кВт·ч/кг.

Потери эксергии в СЭУ ($\sum P_{\text{сэу}}$) слагаются из $\Pi_{\text{н}}$ и $\Pi_{\text{о}}$, в том числе потери эксергии в ГД, ДГ, ВК, УК, ОУ и других теплообменниках, при этом не утилизируемыми потерями можно пренебречь, так как они малы в сравнении с общими потерями эксергии:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{сэу}} &= \sum (\Pi_{\text{н}} + \Pi_{\text{о}})_{\text{сэу}} = BQ_{\text{н}}^{\text{п}} - 3600(P_{\text{гд}} + P_{\text{дг}}) - E_{\text{сн}} - E_{\text{пв}} = \\ &= \Pi_{\text{гд}} + \Pi_{\text{дг}} + \Pi_{\text{вк}} + \Pi_{\text{ук}} + \Pi_{\text{ов}} + \Pi_{\text{м}} + \Pi_{\text{ост}}; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\Pi_{\text{гд}} = (E_{\text{т}} + E_{\text{э}}) - 3600P_{\text{гд}} = (BQ_{\text{н}}^{\text{п}} + E_{\text{э}}) - (E_{\text{ог}} + E_{\text{во}} + E_{\text{м}}) - 3600P_{\text{гд}}; \quad (7)$$

$$\Pi_{\text{вк}} = (E_{\text{т}} + E_{\text{э}}) - E_{\text{вк}} = \left[D_{\text{вк}}(i_1 - i_{\text{пв}}) \frac{1}{\eta_{\text{вк}}} + E_{\text{э}} \right] - D_{\text{вк}}[i_1 - i_0 - T_0(s_1 - s_0)]; \quad (8)$$

$$\Pi_{\text{ук}} = E_{\text{ог}} - E_{\text{ук}} = q_{\text{ог}} BQ_{\text{н}}^{\text{п}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{ог}}} \right) - D_{\text{ук}}(i_2 - i_0 - T_0(s_2 - s_0)); \quad (9)$$

$$\Pi_{\text{ов}} = E_{\text{ов}} - E_{\text{оу}} = q_{\text{ов}} BQ_{\text{н}}^{\text{п}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{ов}}} \right) - G_{\text{пв}} \left[q'_{\text{гв}} c \Delta T_{\text{гв}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{гв}}} \right) + 3600 \sum P_{\text{оу}} \frac{1}{\eta_{\text{э}}} \right]; \quad (10)$$

$$\Pi_{\text{м}} = E_{\text{м}} = q_{\text{м}} BQ_{\text{н}}^{\text{п}} \left(1 - \frac{T_0}{T_{\text{м}}} \right); \quad (11)$$

$$\Pi_{\text{ост}} = \sum P_{\text{сэу}} - (\Pi_{\text{гд}} + \Pi_{\text{дг}} + \Pi_{\text{вк}} + \Pi_{\text{ук}} + \Pi_{\text{ов}} + \Pi_{\text{м}}), \quad (12)$$

где Π – потери эксергии в ГД, ДГ, ВК, УК, ОУ и прочих теплообменных аппаратах, кДж/ч; $E_{\text{т}} = BQ_{\text{н}}^{\text{п}}$ – эксергия топлива, сжигаемого в ГД, ДГ и ВК, кДж/ч; $E_{\text{э}}$ – эксергия электроэнергии, затрачиваемая на привод механизмов ГД, ДГ и ВК, кДж/ч; $E_{\text{ог}}, E_{\text{во}}, E_{\text{м}}$ – эксергия отработанных газов (ОГ), охлаждающей воды (ОВ) и масла ГД и ДГ соответственно, кДж/ч; $\bar{T} = \frac{(T_{\text{н}} + T_{\text{к}})}{2}$ – среднединамическая температура отвода тепла с ОГ, ОВ, маслом ГД и ДГ, греющей водой в ОУ, где $T_{\text{н}}$ и $T_{\text{к}}$ – температура теплоносителя в начале и конце процесса теплообмена, К; $i_{\text{пв}}$ – энтальпия питательной воды ВК; $\eta_{\text{вк}} = \frac{E_{\text{вк}}}{E_{\text{т}}}$ – эффективный к.п.д.; q – доля тепла, уносимого с ОГ, ОВ и маслом; $\Delta T_{\text{гв}}$ – изменение температуры греющей воды в ОУ, К; $q'_{\text{гв}}$ – относительное количество греющей воды, равное количеству ОВ, подаваемой в ОУ и приходящееся на 1 кг дистиллированной воды, кг/кг; $\eta_{\text{э}} = \eta_{\text{т}} \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}}$ – к.п.д. выработки электроэнергии, где $\eta_{\text{т}}$ и $\eta_{\text{м}}$ – термический и механический к.п.д. ДГ, $\eta_{\text{г}}$ – к.п.д. генератора.

СЭУ являет собой сложную термодинамическую систему, где происходит передача энергии суммы тепловых потоков Q_1 и Q_0 , входящих извне, к теплоносителю Q_2 , отводимого в окружающую среду (см. рис. 2). Вместе с тем, в силу второго закона термодинамики и деградации энергии (внешней необратимости) во всех теплоиспользующих элементах СЭУ энергия теплового потока Q_2 не может быть передана к теплоносителям с большей температурой, вследствие чего становится необратимой потерей.

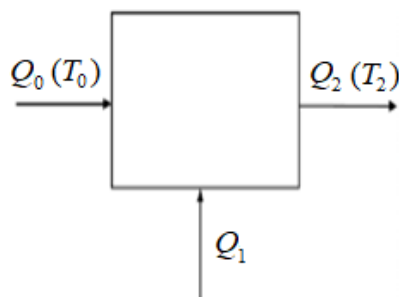


Рисунок 2 – Термодинамическая подсистема (элемент СЭУ)

Для расчета потерь энергии от необратимости процессов в отдельных элементах СЭУ, следует использовать уравнение приращения эксергии [5]:

$$Q_1 = T_0 \cdot \Delta s + Q_2 \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right); \quad (13)$$

$$Q_{min} = T_0 \cdot \Delta s = \Pi_n; \quad (14)$$

$$\Delta s = s_{\text{ВЫХ}} - s_{\text{ВХ}} = \frac{Q_2}{T_2} - \frac{Q_0}{T_0}, \quad (15)$$

где Π_n – потери эксергии от необратимости процессов; Δs – приращение энтропии системы; $s_{\text{ВХ}}$ и $s_{\text{ВЫХ}}$ – энтропия теплоносителя на входе и выходе из подсистемы.

Кроме того, эксергетический анализ степени совершенства СЭУ может быть произведен путем определения количества работы, которую возможно получить или необходимо затратить в процессе переноса энтропии теплового потока на уровень температуры окружающей среды [6]:

$$E_q = (i - i_0) \left(1 - \frac{T_0}{T}\right); \quad (16)$$

$$(\Delta E_q)_n = G_n(i' - i'') - \left(1 - \frac{T_0}{T_n}\right); \quad (17)$$

$$\sum \Pi_{\text{сэу}} = \sum_{n=1}^{\text{ВХ}} (\Delta E_q)_n - \sum_{n=1}^{\text{ВЫХ}} (\Delta E_q)_n, \quad (18)$$

где E_q – эксергия теплового потока при средней термодинамической температуре \bar{T} ; G_n – массовый расход n -го потока теплоносителя, кг/ч; i' и i'' – энтальпия подвода и отвода энергии от теплоносителя в анализируемом элементе СЭУ; \bar{T}_n – средняя термодинамическая температура отвода теплового потока в n -м элементе СЭУ.

Поскольку во всех теплообменных элементах СЭУ происходят потери эксергии теплового потока в окружающую среду через изоляцию, а также при дросселировании и вследствие термодиффузии теплоносителя, для корректного определения η_{ex} целесообразно ввести поправочные коэффициенты:

$$\varphi_{\Pi} = \frac{\sum_n (\sum (\Delta E_q)_o)}{\sum_n (\sum (\Delta E_q)_o) + \sum (\Delta E_q)_{\Pi}}; \quad (19)$$

$$\varphi_{\text{д}} = \frac{\sum_n (\sum (\Delta E_q)_o) + \sum (\Delta E_q)_{\Pi}}{\sum_n (\sum (\Delta E_q)_o) + \sum (\Delta E_q)_{\Pi} + \sum (\Delta E_q)_{\text{д}}}; \quad (20)$$

$$\varphi_{\text{и}} = \frac{\sum Q}{\sum Q'}; \quad (21)$$

$$\eta_{\text{ex}} = \eta'_{\text{ex}} \varphi_{\Pi} \varphi_{\text{д}} \varphi_{\text{и}}; \quad (22)$$

где φ_{Π} , $\varphi_{\text{д}}$, $\varphi_{\text{и}}$ – коэффициенты использования энергии теплоносителя, потерь эксергии в результате дросселирования теплоносителя и отвода энергии через поверхность оборудования соответственно; $(\Delta E_q)_{\Pi}$ – приращение эксергии охлаждаемого теплоносителя; $(\Delta E_q)_{\text{д}}$ – приращение эксергии дросселируемого теплоносителя; Q и Q' – воспринятые и переданные тепловые потоки.

Эксергетический к.п.д. СЭУ определяется как отношение энергии, воспринятой в процессе, к подводимой энергии, и пригодный для технического использования [7]:

$$(\eta_{\text{ex}})_{\text{сэу}} = \sum_n \frac{(\sum (\Delta E_q)_{\Pi})_n}{\sum_n (\sum (\Delta E_q)_o)_n} = \sum_n [(\eta_{\text{ex}})_n \cdot \gamma_n]; \quad (23)$$

$$\gamma_n = \frac{(\sum(\Delta E_q)_o)}{\sum_n(\sum(\Delta E_q)_o)_n}, \quad (24)$$

где $(\Delta E_q)_n$ и $(\Delta E_q)_o$ – приращение эксергии нагреваемого и охлаждаемого потоков в n -м элементе СЭУ; γ_n – отношение доли затраченной эксергии в n -м элементе СЭУ к суммарным затратам эксергии всей СЭУ.

При определении эффективности применения энергосберегающих мероприятий в СЭУ фиксируется изменение эксергетического к.п.д. $(\Delta\eta_{ex})$ СЭУ после их проведения:

$$\Delta\eta_{ex} = (\Delta\eta_{ex})_1 - (\Delta\eta_{ex})_0; \quad (25)$$

$$\Delta\eta_{ex} = \frac{\Delta E_{вых} - (\eta_{ex})_0 \Delta E_{вх}}{\sum(E_{вх})_0 + \Delta E_{вх}}, \quad (26)$$

где $(\Delta\eta_{ex})_1$ и $(\Delta\eta_{ex})_0$ – эксергетический к.п.д. СЭУ до и после реализации энергосберегающих мероприятий; $\Delta E_{вх}$ и $\Delta E_{вых}$ – изменение эксергий на входе и выходе в СЭУ после внедрения энергосберегающих мероприятий; $\sum(E_{вх})_0$ – сумма эксергий на входе в СЭУ до внедрения энергосберегающих мероприятий.

Отношение (26) позволяет определить полезный эффект от внедрения в СЭУ энергосберегающих мероприятий, рассчитав $\Delta\eta_{ex}$, $\Delta E_{вх}$ и $\Delta E_{вых}$ до их реализации. Также приведенный метод позволяет определять степень влияния параметров процесса или режима работы СЭУ на изменение η_{ex} .

Достоинством предложенного метода анализа является возможность совершенствования СЭУ путем проведения режимных мероприятий, связанных с изменением количества и параметров потоков теплоносителей, и энергосберегающих мероприятий, с конструктивными и технологическими усовершенствованиями, при проведении которых количество и параметры потоков теплоносителей не изменяются.

Кроме того, определение эксергетического к.п.д. отдельных теплообменных элементов СЭУ позволяет учитывать в установке потери энергии от необратимости и неравномерности процессов теплообмена и намечать пути по их уменьшению. Определение эксергетических потерь и их распределение в СЭУ позволяет выявлять отдельных теплообменные элементы установки, интенсификация процессов теплообмена в которых даст позволит повысить эффективность всей установки в целом.

Список литературы

1. Оценка энергоэффективности двигателей внутреннего сгорания при использовании природного газа в качестве топлива: сборник докладов Международной науч.-техн. конф. «Двигатель-2017», посвященной 110-летию специальности «Поршневые двигатели» в МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 120 с.
2. Waste Heat Recovery System (WHRS) for Reduction of Fuel Consumption, Emissions and EEDI. – Augsburg: MAN Diesel& Turbo, 2014. – 32 p.
3. Кича Г.П., Дрозд М.С. Уточнённые зависимости для определения бросовой теплоты судового высокофорсированного дизеля // Морские интеллектуальные технологии. – 2023. – № 1 (59). – Т. 1. – С. 105–110.
4. Бродянки В.М., Верхивкер Г.П., Карчев Я.Я. Эксергетические расчеты технических систем. Справочное пособие. – Киев: Наукова Думка, 1991. – 360 с.
5. Гохштейн Д.П. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок. – М.: Энергия, 1969. – 368 с.
6. Захаров Ю.В., Шостак В.П., Горovenko Н.Д. Эксергетический анализ и баланс судовых энергетических установок с ДВС // Труды НКИ. – 1970. – Вып. 37. – С. 3-12.
7. Шаргуй Я., Петела Р. Эксергия: пер. с польского Ю.И. Батурина и Д.Ф. Стрижаковского, под ред. В.М. Бродянского. – М.: Энергия, 1968. – 279 с.

Поступила в редакцию 19.09.2023 г.

Электроэнергетическая установка пассажирского судна для линии Владивосток – Большой Камень

Мовчан Иван Михайлович, молодой специалист, specnaz510@mail.ru
Артемьев Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, artemyev.an.vl@gmail.com
Тарасов Максим Игоревич, старший преподаватель, Nadezkin@msun.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

В данной статье рассматривается вопрос возобновления работы и расширения судостроительного комплекса «Звезда» в Большом Камне на Дальнем Востоке, в связи с чем возникает необходимость увеличения занятости и привлечения специалистов из других городов. Ранее существовал маршрут Владивосток – Большой Камень, но он выполнялся только сезонно. В данной статье описана проблема и предложено ее решение.

Ключевые слова: катамаран, пассажирское судно, электроэнергетическая установка, перевозка людей.

Electric Power Plant Passenger Ship Vladivostok – Bolshoi Kamen

Movchan Ivan M., specnaz510@mail.ru
Artemyev Andrey V., artemyev.an.vl@gmail.com
Tarasov Maxim I., Nadezkin@msun.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

This article deals with the problem that in the Far East, when the Zvezda shipbuilding complex was resumed and expanded in the city of Bolshoi Kamen, there was a need to increase jobs and attract specialists from other cities. Previously, there was a water connection by the Vladivostok – Bolshoi Kamen route, but it was only seasonal. Our task in this article is to describe the problem and propose its solution.

Keywords: catamaran, passenger ship, electric power plant, transportation of people.

В настоящее время завод «Звезда» в Большом Камне активно развивается, что приводит к росту вакансий и дефициту кадров на предприятии, замедляя темпы развития завода и отрасли в регионе в целом. Во Владивостоке существует еще одна проблема – невозможность трудоустроить амбициозных и перспективных молодых специалистов.

Решить обе проблемы можно, возобновив и модернизировав морское сообщение между Владивостоком и Большим Камнем. Ранее связь между двумя городами обеспечивало судно на подводных крыльях «Комета» (рис. 1), но из-за различных недостатков и нюансов связь осуществлялась только сезонно, а в процессе эксплуатации судно приходило в негодность.

Сегодня перед нами стоит задача создания энергетических установок для кораблей. Эта электростанция должна поддерживать связь между городами таким образом, чтобы скорость и время прибытия были не меньше мировой скорости такого судна, а в некоторых случаях и превышали ее.



Рисунок 1– Судно типа «Комета»

Такое решение вполне разумно. Ведь маршруты практически прямые и, в отличие от автомобильного транспорта, значительно короче, практически в два раза, а в некоторых местах скорости даже выше. Однако автомобильный транспорт подвержен пробкам и частым ремонтным работам, качество дорог оставляет желать лучшего, что приводит к значительному увеличению времени перевозки в пути. Это положительный момент для нашей идеи, особенно если учесть, что скорость судов иногда может превышать скорость автомобильного транспорта.

Исходя из предыдущего опыта, было решено изменить концепцию судна и отказаться от судов на подводных крыльях в пользу судна катамаранного типа, чтобы маршрут был открыт круглый год, а не только в определенные сезоны. Пример такого судна показан на рис. 2.



Рисунок 2 – Пример пассажирского катамарана

Помимо расширения круглогодичных маршрутов, планируется также модернизация судов и замена гребного винта с фиксированным шагом (FPP) на винторулевую колонку (PSC).

Если предположить, что средняя скорость катамарана составляет 60 км/ч, то с учетом задержки в один час он преодолет 45 км пути от Владивостока до Большого Камня.

Также ниже, на рисунке 3, схематично и примерно показан предполагаемый маршрут следования катамарана из Владивостока в Большой Камень.

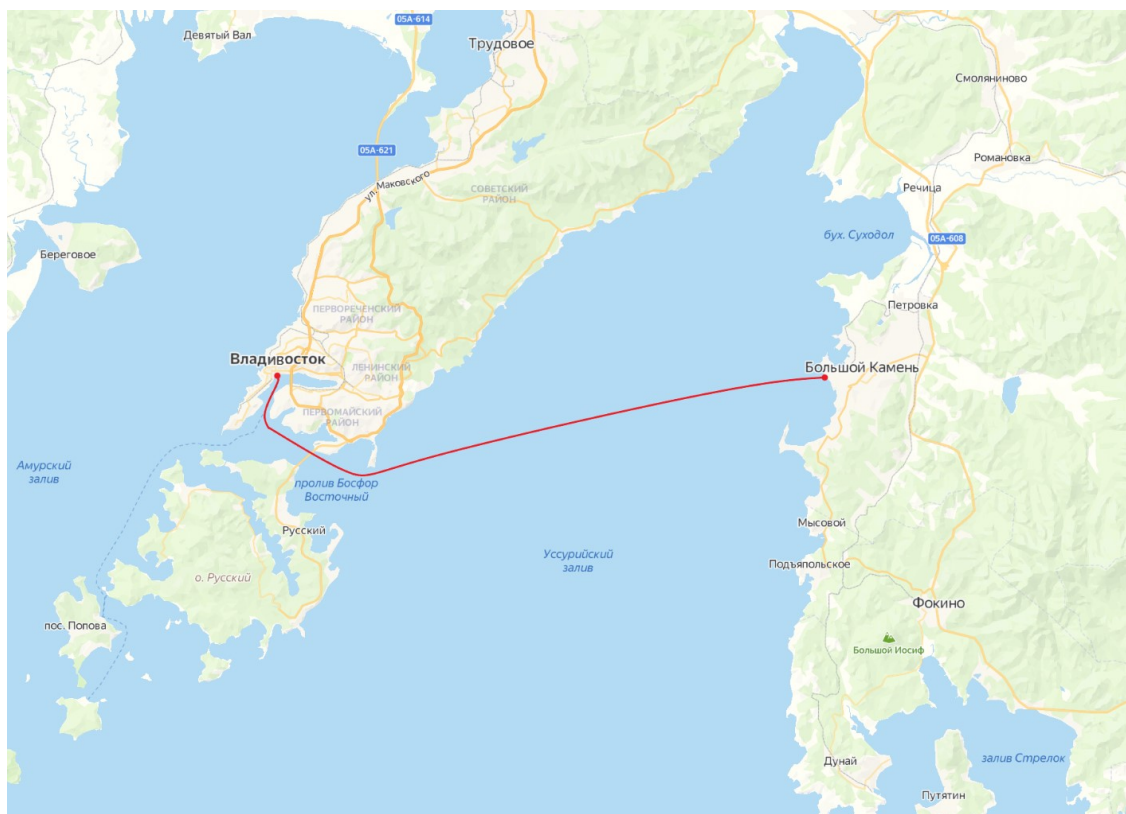


Рисунок 3 – Примерный маршрут следования судна

Исходя из приведенного выше обсуждения и аргументов, идея судостроения является целесообразной и востребованной в современных условиях развития промышленности и проблем занятости в Приморском крае.

Подводя итоги данной статьи, сделаем выводы. Создание электроэнергетической установки пассажирского катамарана для линии Владивосток – Большой Камень поспособствует развитию морских путей сообщения, а также сможет привлечь кадры и высококвалифицированных специалистов для работы на заводах в других городах, что косвенно будет способствовать развитию российской промышленности и судостроению. Также это поможет в некоторой мере решить проблемы с безработицей в больших городах и дефицитом компетентных кадров в провинциях.

Список литературы

1. Комета (теплоход) [Электронный ресурс]. – [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0_\(%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%85%D0%BE%D0%B4\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B0_(%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%85%D0%BE%D0%B4)) (дата обращения: 20.11.2022).
2. Катамаран [Электронный ресурс]. – <https://en.wikipedia.org/wiki/Catamaran> (дата обращения: 20.11.2022).

Поступила в редакцию 25.09.2023 г.

Возвращение интереса к аккумуляторным судам-электроходам

Панасенко Андрей Александрович, канд. техн. наук, доцент, AAPanasenko@msun.ru
Петрашёв Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, petrashov@msun.ru

МГУ им. адм. Г.И. Невельского, Владивосток

В обзоре представлена историческая справка по развитию судов-электроходов с аккумуляторным электроснабжением, рассмотрены их отдельные параметры и конструктивные особенности, рассмотрены современные суда. Сделан вывод о перспективности аккумуляторных электроходов для отдельных вариантов применения.

Ключевые слова: электроход, аккумуляторное судно, гибридное судно, электролодка, электрический катер, судно-электроход.

Return of interest in battery-powered electric ships

Panasenko Andrey A., AAPanasenko@msun.ru
Petrashev Sergey V., petrashov@msun.ru

MSU named after admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

The review provides historical information on the development of electric vessels with battery power supply, their individual parameters and design features are considered, modern vessels are considered. Was done conclusion about the perspectives of battery electric vehicles for individual applications.

Keywords: electric boat, battery vessel, hybrid vessel.

В последнее время в новостных каналах мировых информационных агентств все чаще встречается информация о проектировании, строительстве и эксплуатации судов-электроходов, то есть судов с энергетическими установками на базе питания всех потребителей от аккумуляторов, в том числе и главного двигателя. Так, о заказе электробуксира для портовых работ объявила портовая администрация в Новой Зеландии, в Японии строят судно-накопитель для доставки выработанной электроэнергии от удаленных ветроэлектростанций, в Китае – целую флотилию электроходов-сухогрузов и т. д. [1]

Принимая во внимание, что в настоящее время абсолютное большинство судов являются теплоходами или турбоходами, такое стремительное развитие аккумуляторных электроходов может показаться новым словом в судостроении. Однако первые суда с энергоустановкой на аккумуляторах появились еще в XIX веке.

Первым судном с электродвижением был бот, построенный в 1838 г. в Санкт-Петербурге физиком и изобретателем, на котором он установил свое изобретение – электродвигатель собственной разработки. [2]

Позднее, только через 18 лет, британский инженер Деркиг построил первую электролодку на Темзе. Эта лодка была небольших размеров и могла брать на борт лишь несколько человек. Она послужила прототипом для разработки аналогичных плавсредств. Позднее, один из их разработчиков – Роберт Гунт, сообщал, что переписывался с Борисом Семеновичем Якоби на эту тему.

Наблюдая успехи англичан, за проектирование и постройку электрических лодок взялись французы. Им удалось внести заметные улучшения в энергоустановку электроходов.

Так, все представленные выше электросуда в качестве источника тока использовали первичные гальванические элементы. А французский изобретатель и инженер-электрик Гюстав Пиер Труве представил на Парижской выставке 1881 года свой вариант небольшой электролодки. В ее энергоустановке впервые были применены аккумуляторы. На ней же впервые гребной электродвигатель был выполнен в подвесном исполнении.

Заметный вклад в развитие электроходов внес и австрийский инженер Рекенцаун. В том же 1881 году он построил первую применявшуюся на практике электрошлюпку «Электрисити». Она могла вмещать до 14 пассажиров и двигаться со скоростью более 7 узлов. Научные работы этого автора также оказали влияние на практические решения в конструкциях электролодок.

Небольшие суда с электроприводом в конце XIX века «состоялись». Начали проводиться показательные переходы. В итоге электрические лодки стали строить в разных странах и они стали модным приобретением для богатой публики.

Однако суда-электроходы были не только дорогими игрушками богатых людей, их также начали применять в хозяйственной деятельности. Так, в Англии на них перевозили до 40 солдат в полном вооружении между королевскими арсеналами, а в норвежском Бергене 8 электролодок совершали регулярные рейсы через местный фьорд.

Электрические лодки конца XIX века обладали весьма неплохими показателями для своего времени, особенно в сравнении с «царящими» в тот период паровыми катерами. Так, скорость голландской лодки «Кронпринц» превышала 19 узлов, а английская «Контецца» могла вместить до 50 пассажиров и перевозить их со скоростью более 6 узлов.

В Российской империи в тот период особого внимания электродвижению судов не уделяли. И только когда электролодки и катера стали модным приобретением для состоятельных людей, Адмиралтейством было разработано техническое задание для постройки в Англии роскошных электрокатеров для императора Николая II и морского министра. Однако, в 1910 году произошла утечка гремучего газа с его последующим взрывом. После чего этот вид транспорта для поездов царя не применялся.

Несмотря на официальное «прохладное» отношение в России к электроходам, они всё же строились и эксплуатировались. Так, в Кронштадте в 1893 г. использовалась 20-футовая шлюпка, переоборудованная из паровой. Скорость хода ее составляла порядка 5 узлов, а 2,5 тонны свинцовых аккумуляторов обеспечивали движение в течение 8 часов. При этом для управления такой крупной шлюпкой хватало одного рулевого. На Охтенском пороховом заводе в 1886 г. электротехником В.Н. Чиколевым была построена электролодка для доставки продукции завода на казенные пороховые склады. Эта лодка находилась в эксплуатации еще в начале XX века.

К началу прошлого века электролодки получили всеобщее признание и, казалось, перед ними открываются огромные перспективы. Действительно, уровень шума у них был на порядок ниже паровых, вместимость – выше примерно на 25 %, отсутствовали грязь и угольная пыль, они были проще в управлении и обслуживании. Пик популярности электрокатеров в конце XIX – начале XX веков очень быстро перешел в резкий спад их популярности. Электроходы довольно быстро практически полностью перестали проектировать и строить. Уже через 15-20 лет такой вид плавсредств оказался забыт и почти нигде не строился, за исключением мизерного количества узкоспециализированных малых судов. Причиной всего этого явилось широкое внедрение двигателей внутреннего сгорания, сначала с калильным и искровым зажиганием, а в последствии – дизелей. Энергоустановка, состоящая из паровой машины, парового котла, цистерн запасов воды, а также достаточно объемных угольных ям, однозначно проигрывала установке из электродвигателя, аппаратуры управления с хоть и тяжелым, но не столь объемным аккумулятором. Последняя же не смогла конкурировать с «компактным» двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и более энергоемким жидким топливом. Применение электродвижения на флоте осталось в виде комбинированных энергоустановок – турбо- и дизель-электрических.

Обладая целым рядом положительных свойств, ДВС при этом имеет также весьма существенные недостатки: относительно невысокий КПД, сжигание не возобновляемого орга-

нического топлива, высокие уровни вибрации и шума, а также постоянным и довольно значительным загрязнением окружающей среды. Последний из недостатков особенно побуждает современных разработчиков обратить внимание на электроходы с аккумуляторным энергообеспечением.

Выше рассмотрено прошлое аккумуляторных судов. В настоящее время получили довольно широкое развитие суда маломерного и относительно небольшого водоизмещения, не поднадзорные Российскому морскому регистру судоходства в нашей стране и зарубежных классификационных обществ. Суда-электроходы, поднадзорные классификационным обществам, – это, в основном, дизель-электрические суда и относительно небольшое количество гибридных судов. Последние в составе энергоустановки содержат как аккумуляторы большой емкости, так и традиционные дизель-генераторы. Так, например, европейская компания Scandlines имеет флот из 6 штук гибридных паромов [3].

Электроходы с электроснабжением от аккумуляторов начали активно проектироваться и строиться. Например, в 2015 году в Норвегии построили паром «Amperе» вместимостью до 120 автомобилей и 350 пассажиров (рис. 1). Судно является катамараном, выполненным из алюминия. Энергоустановка содержит два главных электродвигателя по 450 кВт [4].



Рисунок 1 — Электропаром «Amperе»

Там же, в Норвегии, для местных рыбаков построили судно для прибрежного лова рыбы с аккумуляторным электродвижением «Karoline». Длина судна – 11 метров, емкости бортовой батареи хватает на 8-12 часов плавания. Для аварийных, штормовых и непредвиденных случаев установлен вспомогательный дизель-генератор. Полная зарядка должна производиться за ночь.



Рисунок 2 — Рыболовное судно «Karoline»

Компания Yara International из Норвегии спустила на воду первое полностью электрическое и безэкипажное судно-контейнеровоз Yara Birkeland [5]. На судне установлены две винторулевых колонки мощностью по 900 кВт и два подрулевающих устройства. Энергосистема запитывается от аккумуляторов емкостью 7 МВт·ч. Максимальная скорость – не выше 13 узлов. Управление судном производится дистанционно с береговых постов.



Рисунок 3 — Электрoкoнтейнерoвoз Yara Birkeland

В Китае в 2021 году построен крупный речной аккумуляторный электроход – круизный лайнер Three Gorges I (рис. 2). Заявленная вместимость составляет 1300 человек. Имеющиеся в составе энергоустановки – аккумуляторы емкостью порядка 7,5 МВт·ч – позволяют судну двигаться в течение 8 часов. Также по пути следования лайнера предусмотрены зарядные станции в промежуточных пунктах.



Рисунок 4 — Аккумуляторный электрический круизный лайнер Three Gorges I

В Москве компания АО «Водоходь» запускает целый флот электрических всесезонных речных трамвайчиков. Расчетная скорость хода – 22 км/ч, запас хода на одной зарядке – до 200 км [4].



Рисунок 5 — Модель электрического речного трамвайчика от «Водоходь»

Довольно большое развитие аккумуляторные электроходы получили в сегменте прогулочных катеров [6]. Здесь имеется довольно большое разнообразие: встречаются катера как с гибридными, так и полностью аккумуляторными установками. Технические характеристики последних приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики прогулочных аккумуляторных электроходов

Название	Длина	Мощность двигателя	Емкость батареи	Скорость	Дальность плавания
Magonis Wave e-550	5,50 м	1 x 4 30 кВт	23 кВт·ч	22 узл.	30 миль при 3 узл.
Iguana Foiler	10 м	300 л.с. подвесной	Не указано	30 узл.	50 миль
Hinckley Dasher	6,7 м	2 x 50 кВт	40 кВт·ч	23,5 узл.	40 miles at 20 узл.
Hermes Speedster E	6,7 м	100 кВт	1 x 35 кВт·ч	30 узл.	50 миль при 5 узл.
Greenline 40	11,99 м	2 x 50 кВт	2 x 40 кВт·ч	11 узл.	30 миль при 7 узл.
Frauscher 740 Mirage	7,47 м	1 x 60 - 110 кВт	40-80 кВт·ч	26 узл.	17-60 миль при 26-5 узл.
Four Winns H2e	6,7 м	180 л.с. подвесной	2 x 700 в	35 узл.	По запросу
Duffy Sun Cruiser 22	6,7 м	1 x 50 кВт	16 x 6 в	5,5 узл.	40 миль при 5,5 узл.
Delphia 10	9,78 м	40-80 л.с.	Не указано	44 узл.	–
Cosmopolitan 66	20,1 м	2 x 180 кВт	450 кВт·ч	20 узл.	По запросу
Candela C-8	8,50 м	45-55 кВт	44-69 кВт·ч	24 узл.	51 миль
Boesch 750 Portofino Deluxe	7,5 м	2 x 50 кВт	2 x 35,6 кВт·ч	21 узл.	14 nm миль при 20 узл.
ARC One	7,3 м	350 кВт	200 кВт·ч	35 узл.	160 миль при 35 узл.
Alfastreet 28 Cabin	8,61 м	2 x 10 кВт	2 x 25 кВт·ч	7,5 узл.	50 миль

Подводя итог, можно сказать, что аккумуляторные суда-электроходы возрождаются на новом техническом уровне благодаря применению новых аккумуляторов с высокой емкостью. Однако пока аккумуляторные электроходы могут быть использованы только на линиях, где возможно установить зарядные станции для них.

Список литературы

1. Sudostroenie Info. Новости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sudostroenie.info/novosti/28843.html> (дата обращения: 19.09.2023)
2. История и будущие перспективы электрических лодок // Катера и Яхты. – 1991. – С. 150 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.barque.ru/stories/1991/future_prospects_of_electric_boats (дата обращения: 19.09.2023).
3. Профессиональные корабли и катера. Грузовые и пассажирские суда. Гибридный пассажирский паром [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nauticexpo.ru/proizvoditel-sudno/gibridnyj-passazirskij-parom-47427.html?ysclid=lmqe2vg9tc439568496> (дата обращения: 19.09.2023).
4. Пудова Е. Водный транспорт на электротяге: как новые технологии покоряют реки и моря [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://zoom.cnews.ru/publication/item/64547?ysclid=impgzdi4tz553686540> (дата обращения: 19.09.2023).
5. Первое электрическое грузовое судно, не нуждающееся в экипаже [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fishki.net/3913931-pervoe-jelektricheskoe-gruzovoe-sudno-nenuzhdajuweesja-v-jekipazhe.html?ysclid=impgyu7kh7412601867> (дата обращения: 19.09.2023).
6. Hugo Andreae. Best electric boats: A-Z of the top all-electric models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mby.com/features/best-electric-boats-116768> (дата обращения: 19.09.2023)

Поступила в редакцию 20.09.2023 г.

**ВЕСТНИК
МОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Выпуск 92 / 2023

Дата выхода в свет – 29 сентября 2023 г.
Выходит четыре раза в год

Зарегистрировано
Федеральной службой по надзору
в сфере связи и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-82589 от 30.12.2021.

Учредитель и издатель – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского».

Адрес учредителя, издателя и редакции: 690003, Россия, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а.
Электронная почта редакции: vestnik@msun.ru; телефон редакции: +7 (423) 251-76-36.