

Федеральное агентство по рыболовству
Российский союз инженеров
Международный союз машиностроителей
Камчатский государственный технический университет
Донецкий национальный технический университет
Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета
Кубанский государственный университет

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ
ВОДНОГО ТРАНСПОРТА:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

*Материалы
международной научно-технической конференции
(17–19 октября 2018 г.)*

Часть 1

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский
2019

УДК 656.6:629.5
ББК 39.42-08
Т38

Ответственный за выпуск

О.А. Белов,
кандидат технических наук

Редакционная коллегия

*О.А. Белов, к.т.н. (председатель);
А.В. Костенко, к.т.н.; С.Ю.Труднев, к.т.н.;
О.В. Ольхина; А.А. Седельникова; Т.В. Гудожникова; А.М. Нефедов*

Т38 **Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития** : материалы международной научно-технической конференции (17–19 октября 2018 г.) : в 2 ч. / отв. за вып. О.А. Белов. – Ч. 1. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2019. – 122 с.

ISBN 978-5-328-00386-5

ISBN 978-5-328-00387-2 (ч. 1)

В сборник включены материалы Международной научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития», отражающие научные и практические результаты в области технической эксплуатации водного транспорта.

Освещены актуальные проблемы, представлены современные достижения и перспективные направления развития в таких областях, как судовождение, судостроение и судоремонт, электротехнические комплексы и системы, информационные технологии и моделирование, технологические машины и оборудование, наукоемкие технологии изготовления и ремонта деталей судов и судовых агрегатов, подготовка инженерных кадров.

Авторами представленных докладов являются преподаватели, ведущие сотрудники научно-исследовательских институтов, аспиранты и студенты высших учебных заведений, ведущих научную и образовательную деятельность в сфере водного транспорта.

УДК 656.6:629.5
ББК 39.42-08

ISBN 978-5-328-00387-2 (ч. 1)
ISBN 978-5-328-00386-5

© КамчатГТУ, 2019
© Авторы, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ

Белов О.А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта	5
Ермаков С.В. Рыболовный флот в статистике Европейского агентства морской безопасности	10
Жгулев А.И., Чабанова Е.В. Перспективы е-Навигации в судождении	15
Репринцева Н.И., Рыгин Ю.Д. Глубоководная, мелководная и прибрежная рыбная ловля	20
Ямщиков В.А., Саранча А.М. Беспилотные летательные аппараты	22

СЕКЦИЯ 2. СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

Аблаев А.Р. Изменение рабочих параметров судового охладителя масла при нестационарных нагрузках главного турбозубчатого агрегата в условиях эксплуатации	26
Белов О.А., Швецов В.А., Ястребов Д.П., Ветров В.А., Щелканов А.Д., Бондарчук И.И. Разработка мероприятий по защите корпусов судов от электрокоррозии на судоремонтных предприятиях.....	31
Владецкий Д.О., Харченко А.О., Владецкая Е.А. Повышение теплоотдачи замкнутых одноконтурных систем охлаждения судовых энергетических установок.....	33
Дрозд М.С. Эксергетический баланс высокофорсированных судовых среднеоборотных двигателей.....	38
Игушев В.Ф., Вережкин В.И., Безсмолова И.В., Зеброва Е.М. Технологические аспекты использования различных флюсов при сварке судостроительных сталей.....	43
Котов В.С., Резникова Р.К. Проблема влияния качества топлива на экономичность и экологическую безопасность	48
Москаленко М.А., Москаленко В.М. Формализованная модель для оценки рисков потери конструктивной безопасности морских судов	54
Нойманн С., Варбанец Р.А., Кириладш О.И. Мониторинг рабочих циклов морского дизеля на основе данных датчиков давления IMES GmbH	58
Пашеева Т.Ю., Гуккин А.М. Величина износа – критерий качества технической эксплуатации судна	66
Семенюк Л.А., Тарасов М.И. Основные преимущества применения новой системы тонкой очистки моторного масла на примере судового дизеля 6ЧН25/34.....	69
Степанов Д.А., Костенко А.В. Повреждения деталей судовых дизелей.....	75
Тарасов М.И., Семенюк Л.А., Кича Г.П. Влияние угара масла на его старение и состояние судового дизеля.....	78

СЕКЦИЯ 3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Билан И.С., Труднев С.Ю. Прибор для проверки автоматических выключателей и устройств защитного отключения.....	82
Бозинян О.В., Марченко А.А. Моделирование электронных и электромеханических преобразователей в судовых системах	85

Еремеева Ю.В., Чусова Т.О. Развитие спутниковой связи на судах	89
Мырза В.Л., Марченко А.А. Применение электрических машин в роли преобразователей частоты в судовых электроприводах.....	93
Рак А.Н., Корощенко А.В., Капанадзе Г.А. К вопросу настройки и эксплуатации дизелей с электронным управлением.....	97
Рак А.Н., Капанадзе Г.А. Особенности определения генерирующих мощностей в термоэффективной системе судовой электростанции	103
Руденко М.Ф., Руденко А.М., Власов В.А. Аналитические исследования плоского концентратора солнечной энергии для морских платформ и береговых сооружений	107
Сучков А.Н., Орощук И.М., Васильев М.В. Метод моделирования отклика цифровых антенных решеток с пространственно-корреляционным методом обработки сигналов	111
Шуваева А.О., Труднев С.Ю. Компьютерное моделирование автономного питания системы катодной защиты морских буровых платформ	117

СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ

УДК 629.5.07:656.61

О.А. Белов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: boa-1@mail.ru*

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ФАКТОРОВ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

Эффективная эксплуатация морского транспорта является необходимым условием развития как отдельных отраслей народного хозяйства, так и экономики страны в целом. В широком смысле эффективность эксплуатации морского транспорта подразумевает не только приемлемые экономические показатели, но и обеспечение безопасности плавания, безаварийности, а также экологической безопасности. Определение и анализ основополагающих факторов эффективной эксплуатации морского транспорта, а также их качественная оценка применительно к обеспечению условий эксплуатации являются актуальной задачей.

Ключевые слова: эффективность, техническая эксплуатация, судоремонт, автоматизация, техническое обслуживание, человеческий фактор, подготовка специалистов.

O.A. Belov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: boa-1@mail.ru*

ANALYTICAL OVERVIEW OF SEA TRANSPORT EFFICIENT OPERATION

Effective operation of maritime transport is a necessary condition for the development of both individual sectors of the national economy and a whole one. In wide sense the efficiency of the maritime transport operation involves not only acceptable economic indicators, but also safety of navigation, trouble-free, as well as environmental safety. Identification and analysis of the fundamental factors of the efficient maritime transport operation and also the qualitative evaluation of them in relation to the provision of operating conditions is an urgent task.

Key words: efficiency, technical operation, ship repair, automation, maintenance, human factor, training of specialists.

Развитие судоходства и морского транспорта является общемировой тенденцией. На сегодняшний день морские грузоперевозки составляют около 65% в мировом грузообороте и около 20% в пассажирообороте. Также интенсивно развивается и рыбопромысловый флот, доля которого в составе морского транспорта достигает 50%. Интенсивное развитие флота способствует увеличению численности специальных судов и судов обеспечения (ледоколы, буксиры, научные, природоохранные суда). Вероятно, данная тенденция будет сохраняться, так как эффективность и конкурентоспособность морского транспорта растет.

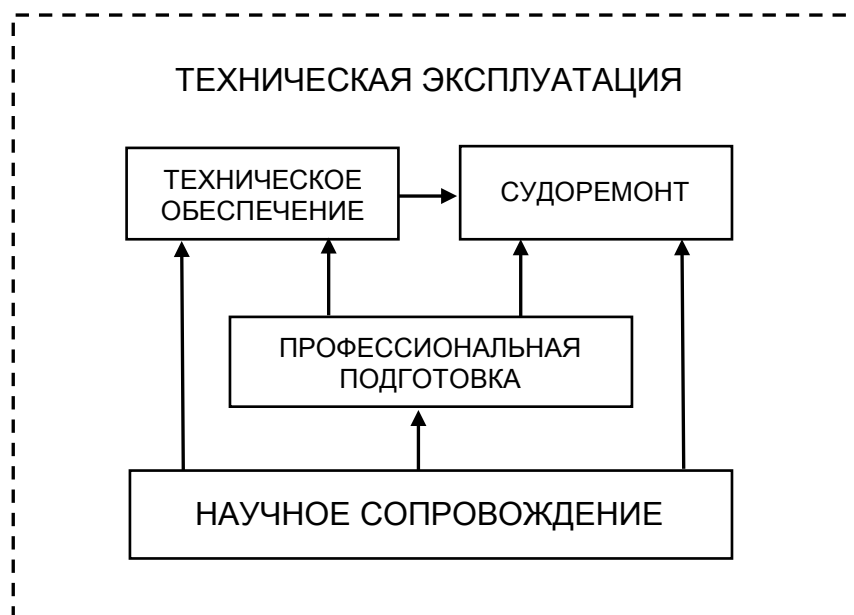
Вместе с тем доля морского транспорта в грузоперевозках в России составляет всего около 4%. Интенсивность использования морских транспортных судов и рыбопромысловых судов низкая как по России в целом, так и в Дальневосточном регионе. Дальневосточный регион по морскому грузопотоку находится на третьем месте, после Балтийского и Азовско-Черноморского бассейна. Одной из причин данного обстоятельства является низкая эффективность эксплуатации морского транспорта в Дальневосточном бассейне [1–3].

Проведенный анализ эксплуатации морских судов в порту Петропавловска-Камчатского позволил определить ряд факторов, в наибольшей степени влияющих на техническую эксплуатацию судна [4, 5].

К таким факторам относятся:

- организация технического обеспечения судов;
- организация судоремонта;
- качество подготовки кадрового состава флота;
- уровень научного сопровождения эксплуатации судов.

Взаимосвязь этих элементов в системе технической эксплуатации представлена в виде структурной схемы на рисунке.



Структурная схема системы обеспечения технической эксплуатации

Организация технического обеспечения определяет качество повседневной эксплуатации судна, уровень его технической готовности, уровень безопасности как при стоянке в порту, так и в режиме плавания.

Техническое обеспечение включает в себя несколько направлений [6–16]:

- материально-техническое снабжение;
- система топливо- и водоподготовки;
- ремонтно-техническая база;
- обслуживание электроники и систем автоматики;
- электроснабжение и водоснабжение в районах базирования;
- предоставление судов обеспечения для специальных мероприятий;
- обеспечение антикоррозионного контроля и защиты судов.

Основой технического обеспечения является техническая база флота. Организация управления и сосредоточения сил и средств повышает эффективность функционирования базы, а также полноту и качество технического обеспечения морских судов и судов обеспечения.

Дробление направлений или их исключение из состава вспомогательных сил флота нарушает комплексное техническое обслуживание судов и снижает эффективность и безопасность их эксплуатации [17, 18].

Для восстановления требуемых технических характеристик, мореходных качеств и параметров безопасности судна необходимо проведение ремонтно-восстановительных работ. Решение этой задачи невозможно без соответствующей организации судоремонта.

Система судоремонта должна быть направлена на полное восстановление судов, их технических характеристик, утраченных в процессе эксплуатации или в результате аварийных ситуаций. Также судоремонтные мероприятия обеспечивают проведение по реконструкции или модернизации как отдельных судовых систем и устройств, так и судна в целом [19, 20].

Основой системы судоремонта является судоремонтное предприятие, располагающее достаточными мощностями для производства текущего, среднего, капитального и докового ремонта, а также аварийных ремонтов.

Техническое обеспечение судов и судоремонт должны быть связаны общностью процессов и в идеале дополнять друг друга в вопросах технической безопасности эксплуатации судна.

Опыт эксплуатации и анализ аварийных происшествий с кораблями и судами показывает, что важным элементом качественной технической эксплуатации является обслуживающий персонал. Влияние человеческого фактора на уровень аварийности и безопасность плавания огромно и напрямую связано с качеством подготовки морских специалистов. Требования к подготовке морских специалистов четко прописаны в руководящих документах и предполагают формирование в процессе обучения целого ряда компетентностей. Качественная подготовка морского специалиста предполагает [21, 22]:

- высокий уровень профессионализма плавсостава;
- наличие материально-технической и лабораторной базы;
- наличие тренажерных комплексов;
- тесную связь с производством на всех этапах обучения.

Кроме этого система допуска и сертификации специалистов должна предусматривать возможность повышения квалификации, переекспертацию или дополнительные программы обучения.

В результате организованная система подготовки специалистов флота должна не только обладать достаточными знаниями и умениями, но и обладать способностью применять их на практике в различных ситуациях [23].

Достижение необходимого уровня организации всех перечисленных факторов невозможна без научного сопровождения.

Глубокий анализ происходящих процессов (экономических, технических, социальных и т. д.) в системе эксплуатации морского флота позволяет своевременно прогнозировать ситуацию, определять пути решения проблем, эффективно внедрять инновации и современные научные достижения в систему управления флотом и его технической эксплуатации [24, 27].

Таким образом, эффективность эксплуатации морского транспорта напрямую зависит не только от качественного обеспечения рассмотренных факторов, но и от их полной взаимосвязи. Разрыв данных связей вызывает дисбаланс всей системы, «отслаивание» отдельных элементов и приводит к общей деградации качества эксплуатации судов.

Поэтому для восстановления качественной технической эксплуатации необходима реализация комплексного подхода к восстановлению всех базовых факторов и системных связей между ними.

Литература

1. Белов О.А., Парфенкин А.И. Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – № 35. – С. 11–14.
2. Белов О.А. Процесс формирования постепенного отказа в технических системах // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Шестой всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 44–49.
3. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 34. – С. 12–18.
4. Белов О.А. Интегрированные системы технической диагностики электроустановок // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2013. – № 25. – С. 5–8.
5. Белов О.А., Марченко А.А., Труднев С.Ю. Анализ расчетно-аналитических методов прикладных задач технической безопасности // Вестник Астраханского государственного университета. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – № 4. – С. 7–15.
6. Белов О.А., Парфенкин А.И. Системная интеграция контроля электрооборудования // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10, № 1. – С. 14–17.
7. Белов О.А. Методология оценки технического состояния электрооборудования при развитии параметрических отказов // Вестник Астраханского государственного университета. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – № 3. – С. 96–102.
8. Современное состояние методов и средств измерения электрического поля судов и кораблей / А.Б. Дороганов, О.А. Белов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Седьмой всероссийской научно-практической конференции. – 2016. – С. 125–127.

9. Коррозионные процессы как фактор снижения безопасности эксплуатации морских судов / *О.А. Белов, С.А. Клементьев, А.Б. Дороганов* // *Инноватика и экспертиза: Научные труды.* – 2017. – № 1(19). – С. 123–126.
10. *Белов О.А.* Современное состояние организации комплексной защиты металлических корпусов кораблей и судов от коррозии // *Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева.* – 2017. – № 3. – С. 115–120.
11. *Белов О.А.* Оценка безопасности эксплуатации судовых энергетических установок // *Вестник Камчатского государственного технического университета.* – 2017. – № 42. – С. 6–10.
12. *Белов О.А.* Задачи исследования электрических полей судов и характеристика методов их решения // *Вестник Камчатского государственного технического университета.* – 2017. – № 40. – С. 6–10.
13. Контроль технического состояния судовых асинхронных двигателей на основе характеристик внешнего электромагнитного поля / *А.И. Пантина, О.А. Белов* // *Электротехнические и информационные комплексы и системы.* – 2017. – Т. 13, № 1. – С. 32–36.
14. *Белов О.А., Швецов В.А., Ястребов Д.П.* Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов // *Эксплуатация морского транспорта.* – 2017. – № 1(82). – С. 55–58.
15. Контроль качества ремонта систем ПЗ и ЛКП на судах типа МРС / *О.А. Белов, Д.П. Ястребов, В.А. Швецов, О.А. Белавина* // *Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой всероссийской научно-практической конференции.* – 2017. – С. 58–59.
16. *Белов О.А., Дороганов А.Б., Перминов В.А.* Общие методы исследования физических полей кораблей и судов в процессе их технической эксплуатации // *Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой всероссийской научно-практической конференции.* – 2017. – С. 55–57.
17. *Белов О.А.* Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях // *Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой всероссийской научно-практической конференции.* – 2017. – С. 51–54.
18. Совершенствования контроля защищенности стальных корпусов морских судов от электрокоррозии / *О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.В. Шунькин, О.А. Белавина* // *Коррозия: материалы, защита.* – 2018. – № 5 – С. 9–16.
19. Динамика совершенствования систем электрохимической защиты от коррозии стальных корпусов морских судов и методов их контроля / *В.А. Швецов, О.А. Белов, Д.В. Шунькин, О.А. Белавина, А.Б. Дороганов* // *Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Седьмой всероссийской научно-практической конференции.* – 2016. – С. 194–195.
20. Оценка эффективности методик измерения потенциала стальных корпусов рыбопромысловых судов / *В.А. Швецов, О.А. Белов, Д.В. Шунькин, О.А. Белавина, А.Ю. Бессонов* // *Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Седьмой всероссийской научно-практической конференции.* – 2016. – С. 191–193.
21. Обоснование необходимости подготовки операторов для измерения потенциала стальных корпусов судов и кораблей / *В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозёр, О.А. Белавина, В.В. Кирносенко* // *Вестник Камчатского государственного технического университета.* – Петропавловск-Камчатский, 2016. – Вып. 37. – С. 19–24.
22. *Белов О.А., Толстова Л.А.* Моделирование процесса обучения курсантов для формирования навыков технической эксплуатации // *Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова.* – 2016. – № 3 (16). – С. 78–81.
23. *Белов О.А.* Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора // *Вестник Камчатского государственного технического университета.* – 2014. – № 30. – С. 11–16.
24. *Белов О.А.* Анализ современных диагностических средств в системах электроснабжения // *Вестник Камчатского государственного технического университета.* – 2013. – № 26. – С. 5–8.
25. *Белов О.А., Дороганов А.Б.* Проблемы методологии контроля электрохимической защиты стальных корпусов кораблей и судов // *Вестник Камчатского государственного технического университета.* – 2016. – № 37. – С. 10–13.

26. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов камчатского флота / *О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов, О.А. Белавина, Д.В. Шунькин* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский, 2017. – Вып. 39. – С. 6–11.

27. Обоснование возможности исключения внешнего осмотра систем протекторной защиты стальных корпусов судов / *В.А. Швецов, О.А. Белов, О.А. Белавина, Д.П. Ястребов* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология – 2017. – № 1. – С. 29–38.

УДК 639.2.06:656.61

С.В. Ермаков

*Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
Калининградского государственного технического университета,
Калининград, 236035
e-mail: esv.klgd@mail.ru*

РЫБОЛОВНЫЙ ФЛОТ В СТАТИСТИКЕ ЕВРОПЕЙСКОГО АГЕНТСТВА МОРСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В статье представлены актуальные статистические данные по аварийности судов, полученные Европейским агентством морской безопасности по результатам анализа большого массива отчетов о расследовании морских аварий и инцидентов и иных источников, а также анализ этих данных с акцентом на место в аварийности рыболовного флота. Представленный материал является частью эмпирической базы для сравнительного анализа и оценки аварийности отечественных рыбопромысловых судов.

Ключевые слова: аварийность, статистика, Европейское агентство морской безопасности.

S.V. Ermakov

*Baltic Fishing Fleet State Academy
of Kaliningrad State Technical University,
Kaliningrad, 236035
e-mail: esv.klgd@mail.ru*

FISHING FLEET IN THE EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY STATISTICS

The actual statistical data on the accident rate of ships obtained by the European Maritime safety Agency based on the analysis of a large array of reports on the investigation of marine accidents and incidents and other sources, as well as the analysis of these data with an emphasis on the the accident rate of the fishing fleet is presented in the article. The given material is a part of the empirical base for the comparative analysis and assessment of the accident rate of domestic fishing vessels.

Key words: accident rate, statistics, European Maritime Safety Agency.

Одним из способов оценки эффективности внедрения и функционирования на судах и в компаниях систем управления безопасностью является анализ аварийности судов с использованием официальных источников, представляющих статистические данные. Одним из таких источников является Европейское агентство морской безопасности (EMSA – European Maritime Safety Agency).

Ежегодные отчеты, публикуемые EMSA (последний из них – Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2017 [1]), представляют собой подробные, хорошо структурированные документы, содержащие статистическую информацию о морских авариях и инцидентах, случившихся с европейскими судами, в территориальных и внутренних водах европейских стран, а также затрагивающие интересы европейских стран и их резидентов. Несмотря на то, что статистика EMSA не является всеобъемлющей статистикой всего мирового флота, однако она представляют собой выборку из мировой статистики, объема и качества которой вполне достаточно для анализа и формирования выводов.

В своих ежегодных отчетах EMSA опирается на следующую классификацию судов:

- грузовые суда – коммерческие суда, спроектированные для перевозки различного вида грузов, товаров и продуктов и пассажиров, число которых не превышает 12 человек;
- рыболовные суда – суда, оборудованные или используемые в коммерческих целях для ловли рыбы или других живых ресурсов в море;
- пассажирские суда – суда, предназначенные для перевозки более 12 пассажиров;
- вспомогательные суда – суда, спроектированные для выполнения специальных функций (например, буксир или дреджер);
- другие суда – к этому типу относятся суда, эксплуатирующиеся на внутренних водных путях, рекреационные и военные суда, а также суда, тип которых по каким-либо причинам определить не удалось.

Такая классификация позволяет рассматривать и анализировать статистику как отдельно по рыболовным судам, так и оценивать ее на общем статистическом фоне.

Общее количество морских аварий и инцидентов за период 2011–2016 гг. составило 16 539, стабилизировавшись с 2014 г. примерно на уровне 3200. Однако сравнительная оценка с другими источниками, проведенная EMSA, позволила этой организации прийти к более достоверному числу происшествий – 4 000 аварий и инцидентов в год.

Общее количество судов, оказавшихся вовлеченными в морские аварии и инциденты в 2011–2016 гг., составило 18 655 единиц. Распределение судов – участников аварий по типам и годам представлено на рис. 1. За период 2011–2016 гг. чаще всего в аварии и инциденты попадали грузовые суда (42%), следующие за ними пассажирские суда (23%). К 2016 г. количество попадавших в происшествия грузовых судов снизилось, но одновременно увеличилось количество рыболовных и пассажирских судов, а также судов других типов, становившихся участниками аварий и инцидентов.

Самыми молодыми судами, попадавшими в аварии и инциденты (по среднему возрасту), были грузовые суда, а рыболовные суда оказались самыми старыми (рис. 2).

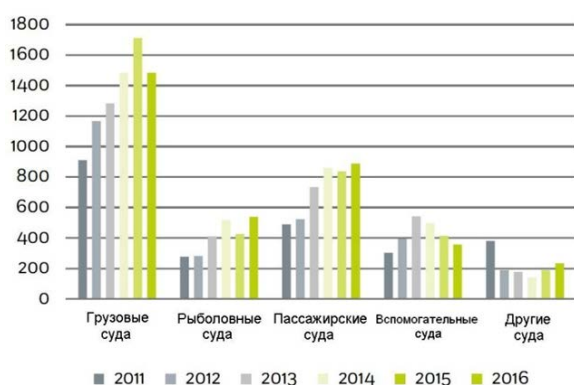


Рис. 1. Распределение судов, участвовавших в авариях и инцидентах, по типам и годам

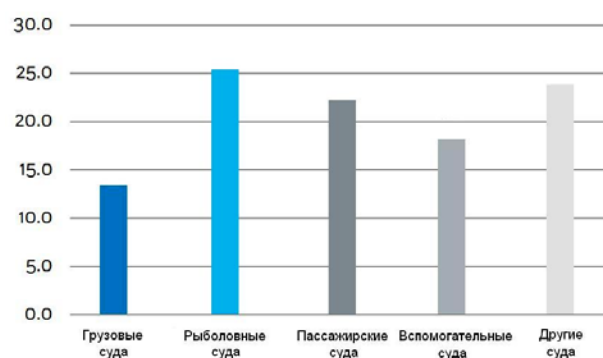


Рис. 2. Распределение судов, участвовавших в авариях и инцидентах, по типам и возрасту

Морские аварии и инциденты по своему характеру подразделяются на аварийные случаи с судами (Casualty with a ship) и производственные происшествия (Occupational accident). Всего за рассматриваемый период зафиксировано 11 116 аварийных случаев с судами и 5 423 производственных происшествий.

Почти половина аварийных случаев (47%) происходили с грузовыми судами. Пассажирские суда становились участниками каждого пятого аварийного случая, а рыболовные суда были следующими по частоте (рис. 3). Всего участниками таких случаев стало 13 191 судно.

Производственные происшествия более всего распространены на грузовых судах, к которым относится 32,5% перечня всех происшествий, и на судах пассажирских (31,2%) (рис. 4). Производственные происшествия произошли на 5 364 судах. За последние два года анализируемого периода количество производственных происшествий снижалось, за исключением рыболовных судов.

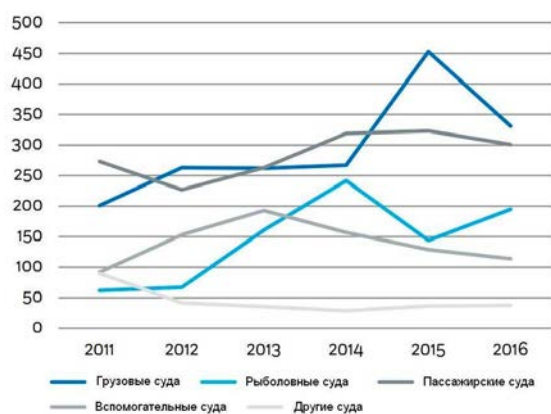


Рис. 3. Распределение аварийных случаев с судами по видам

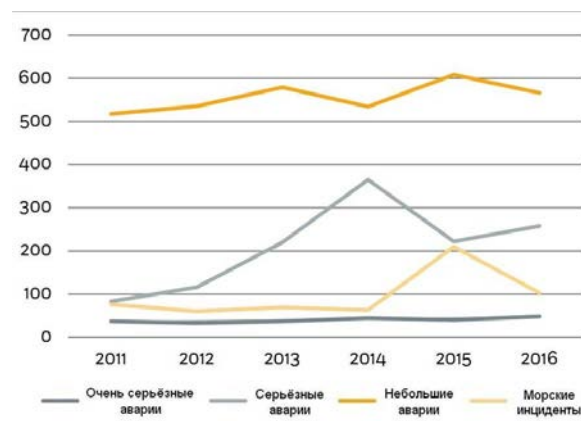


Рис. 4. Распределение производственных происшествий по видам

Большинство (26%) морских аварий и инцидентов произошло, когда суда находились на фазе перехода (рис. 5), при этом наиболее безопасной фазой рейса является выход из порта (7% от всех морских аварий и происшествий).

Самый опасный район для плавания – портовые воды, где произошло 42% всех морских аварий и инцидентов, следующий по опасности (28%) – прибрежные (территориальные) воды (рис. 6).

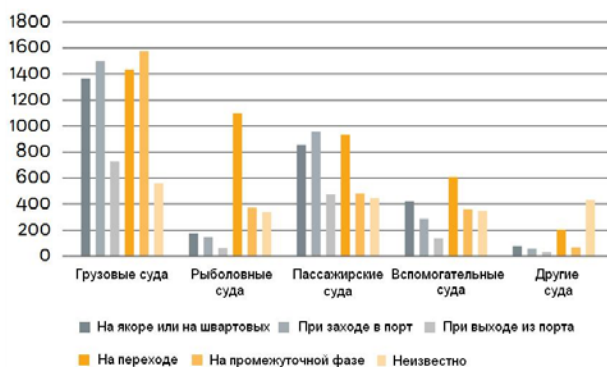


Рис. 5. Распределение морских аварий и инцидентов по фазам рейса и годам



Рис. 6. Локализация морских аварий и инцидентов

Всего за период с 2011 по 2016 гг. погибло 253 судна, из которых 172 утонуло (некоторые были подняты). В 72 случаях начальным событием было столкновение, в 62 – поступление воды. Больше всего (120) флот потерял именно рыболовных судов (рис. 7).

5 441 судно получило повреждения, 47% из этих судов грузовые (рис. 8). За рассматриваемый период количество судов с повреждениями выросло для всех типов судов, за исключением вспомогательных.

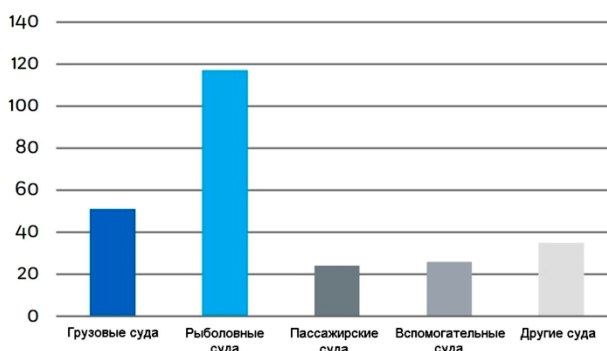


Рис. 7. Распределение погибших судов по типам

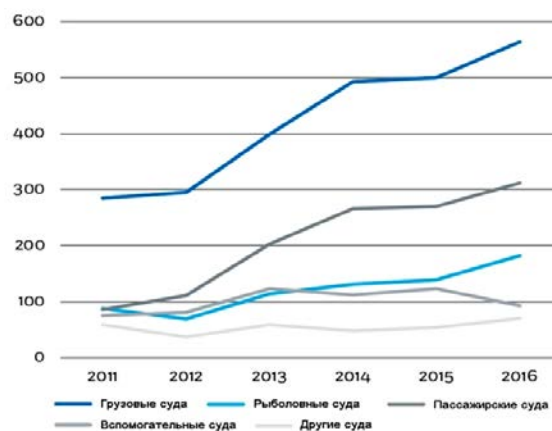


Рис. 8. Распределение по типам и годам судов, получивших повреждения

1 747 судов в результате аварии или инцидента потеряли способность двигаться (рис. 9). В то время как для грузовых судов с 2014 г. этот показатель значительно снизился, для рыболовных судов на всем протяжении периода 2011–2016 гг. он повышался.

Количество судов, которым понадобилась буксировка и помощь на берегу, за анализируемый период (2011–2016 гг.) составило 2 655 единиц (рис. 10), число таких случаев для рыболовных судов значительно увеличилось в 2016 г.

Всего за шесть лет было оставлено 105 судов, среди которых 61 судно являлось рыболовным (рис. 11). Среднее количество оставленных судов значительно снизилось за последние три года (с 22 до 9).

За 2011–2016 гг. в морских авариях и инцидентах погибли 600 человек (рис. 12), из которых 479 человек – на грузовых судах. Какая-либо зависимость количества погибших от календарного года отсутствует. Если для вспомогательных и других судов это количество не менялось, то худшим годом для грузовых судов оказался 2012-й, для пассажирских – 2016-й, для рыболовных – 2015-й (рис. 13).

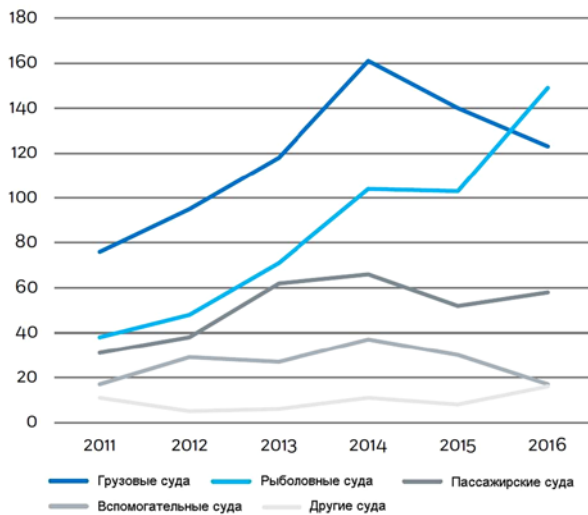


Рис. 9. Распределение количества судов, потерявших способность продолжить движение

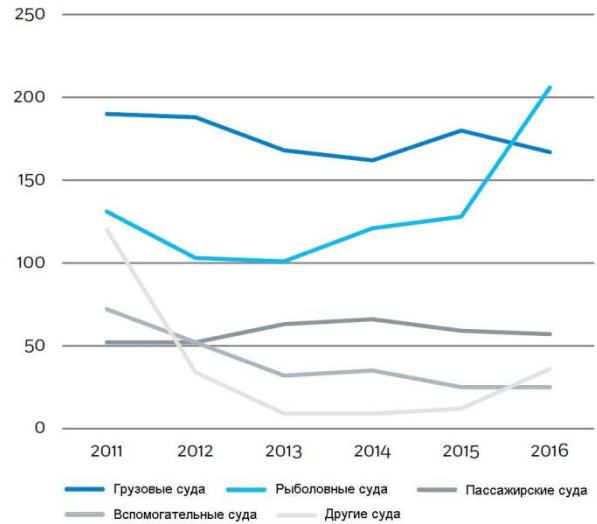


Рис. 10. Распределение количества судов, которым требовалась буксировка или помощь на берегу

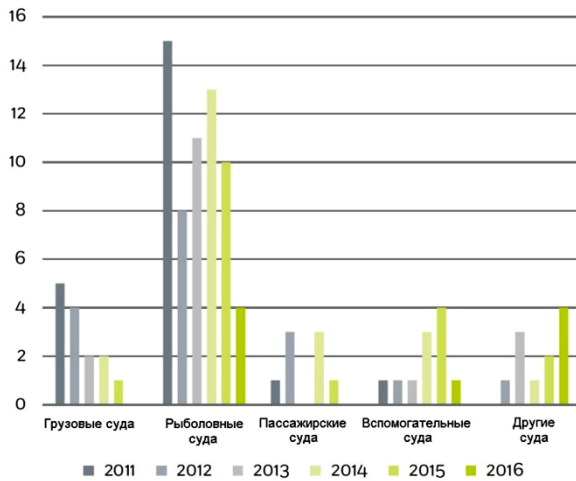


Рис. 11. Распределение по годам и типам количества оставленных судов

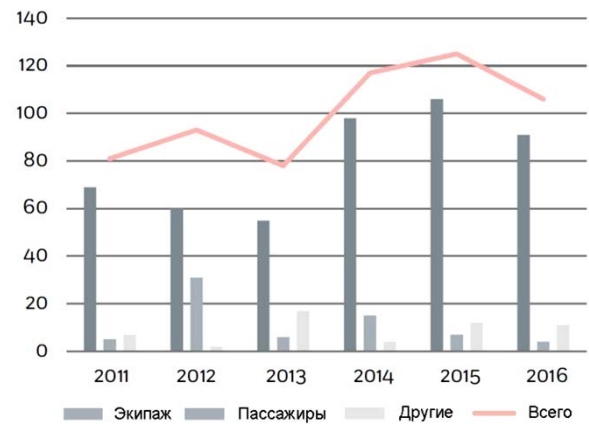


Рис. 12. Распределение по годам и категориям погибших во время морских аварий и инцидентов

Наибольшее количество пострадавших было зафиксировано на пассажирских судах – 2 110 (рис. 14) и во время навигационных аварий и инцидентов (48%). На рыболовных судах пострадавших примерно в два раза меньше.

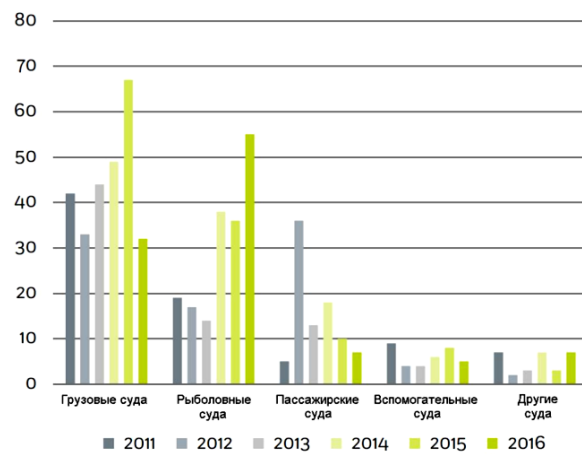


Рис. 13. Распределение по годам и типам судов количества погибших

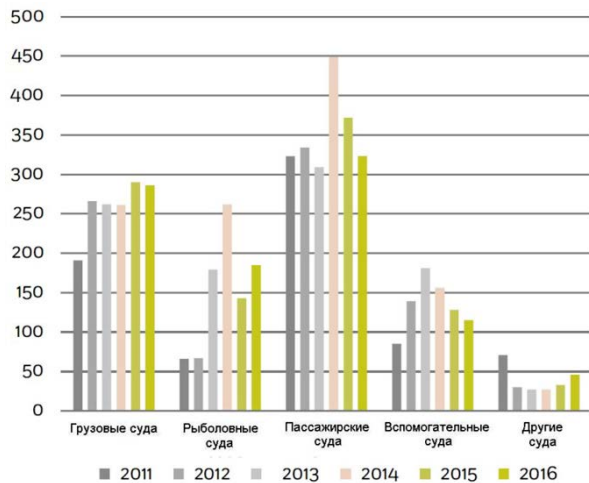


Рис. 14. Распределение количества пострадавших по типам судов

Представленные многогранные статистические данные имеют достаточно большой исследовательский потенциал и могут дополнить эмпирическую основу для оценки и анализа аварийности отечественного рыбопромыслового флота и эффективности функционирования в российских рыбопромышленных компаниях систем управления безопасностью. В частности, сравнительный анализ статистических данных по российским рыбопромысловым судам и судам, попадающим в сферу интересов EMSA (в первую очередь, анализ изменения различных показателей по времени) позволит выявить сходство тенденций, и, следовательно, определить степень общности проблем и путей их решения.

Литература

1. Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2017 / European Maritime Safety Agency (EMSA). – URL: <http://www.emsa.europa.eu/emsa-documents/latest/download/4989/3156/23.html>

УДК 527:656.61.052

А.И. Жгулев, Е.В. Чабанова

*Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта,
Пермь, 614060
e-mail: jentosina@yandex.ru*

ПЕРСПЕКТИВЫ Е-НАВИГАЦИИ В СУДОВОЖДЕНИИ

Е-Навигация является сегодня одним из наиболее перспективных направлений применения новых, инновационных технологий в области морского и речного транспорта. С одной стороны, можно говорить, что это – часть общей тенденции к автоматизации управления транспортом, созданию интеллектуальных транспортных систем, которая наблюдается и в других видах транспорта: автомобильном, авиационном, железнодорожном. С другой стороны – происходит своеобразная революция, качественный скачок, связанный с проникновением самых передовых информационных технологий, таких как BigData и InternetofThings в морскую отрасль, которая традиционно отставала от остальных отраслей в применении ИТ.

Ключевые слова: е-Навигация, судовождение, безопасность, транспортная система, план внедрения.

A.I. Zhgulev, E.V. Chabanova

*Perm branch of Volga State University of Water Transport,
Perm, 614060
e-mail: jentosina@yandex.ru*

PROSPECTS OF E-NAVIGATION IN SAILING

Today E-navigation is one of the most promising areas of applying new, innovative technologies in the field of sea and river transport. On the one hand, we can say that it is a part of general trend towards the automation of transport management, the creation of intelligent transport systems, which are used in other modes of transport: automobile, aviation and railway. On the other hand, there is some kind of revolution, a qualitative leap, connected with the penetration of the most advanced information technologies, such as Big Data and Internet of Things into the maritime industry, which has traditionally lagged behind other industries in the application of IT.

Key words: e-Navigation, navigation, safety, transport system, implementation plan.

Одно из важных направлений транспортной политики в области развития транспортной инфраструктуры есть содействие созданию информационно объединенного пространства транспортного комплекса, который обеспечивает сокращение издержек взаимодействия различных видов транспорта, грузополучателей, грузоотправителей, государственных контрольных, таможенных и других органов, участвующих в осуществлении процессов перевозок», – повествуется в документе «Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г.» [1].

Сегодня тема е-Навигации довольно популярна среди всех производителей навигационно-связной аппаратуры, потребителей и лиц, причастных к процедурам судовождения и управления этим процессом. Такое положение дел возникает по понятным причинам: технологическое развитие общества не стоит на месте, уже никто не удивляется наличию датчиков координатно-временного обеспечения на личных телефонах и передаче достаточно больших объемов информации по некоммутируемым каналам связи.

Такая идея возникла в первоначальном профессиональном использовании в предметной области компьютеров в распоряжении судоводителей [4]. Развивалась она при создании наиболее востребованных систем: средств автоматической радиолокационной прокладки, электронных картографических навигационных информационных систем (ЭКНИС), систем управления движением судов (СУДС), глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ), автоматических идентификационных систем (АИС), интегрированных навигационных систем (ИНС), интегрированных мостиковых систем (ИМС) и т. п.

Различные названия приборов, систем и технологий, используемых для «электронной» навигации, были указаны исследователями в своих работах. В российских изданиях термин «е-Навигация» («e-Navigation») впервые был использован для обозначения навигации, опираю-

щейся на решение задач повышения безопасности плавания с использованием интернет-технологий [5]. Далее термин e-Navigation закрепили в международном сообществе и однозначная трактовка термина стала звучать как улучшение, расширение возможностей навигации от английского «toenhance».

В документах Международной морской организации (ММО) дается следующее определение: «e-Навигация является упорядоченными мероприятиями по интеграции, сбору, обмену, представлению и анализу морских данных на судах и на берегу с помощью электронных средств для совершенствования мореплавания и поднятия эффективности связанных с ним служб обеспечения безопасности, охраны на море и защиты морской окружающей среды». В этом же документе ММО определено назначение e-Навигации как «удовлетворение актуальных и будущих потребностей пользователей посредством согласования морских навигационных систем и береговых служб обеспечения», определены ее стратегическая концепция и основные цели. Там же представлены основные требования к реализации и использованию e-Навигации.

Далее определены и описаны ключевые элементы e-Навигации, включающие архитектуру, человеческий фактор, конвенции и стандарты, местоположение судна, коммуникационную технологию и информационные системы, электронные навигационные карты (ЭНК), стандартизацию оборудования и его масштабируемость.

В рамках программы по реализации стратегии e-Навигации уточнены основные требования по плану внедрения, обособлены требования к архитектуре e-Навигации: «Архитектура должна включать аппаратное обеспечение, данные, информацию, коммуникационную технологию и программное обеспечение, необходимые для удовлетворения потребностей пользователей. Системная архитектура должна основываться на модульной и расширяемой концепции. Аппаратное и программное обеспечение системы должны основываться на открытых архитектурах с возможностью расширения в соответствии с потребностями разных пользователей и адаптации к продолжающейся разработке и усовершенствованию».

Анализируя пробелы в реализации стратегии e-Навигации, выявлены главные составляющие учета человеческого фактора в ходе всего процесса: технические, правовые, эксплуатационные аспекты и факторы обучения. При реализации e-Навигации важнейшей частью является определение рентабельности и рисков, при которых рассматриваются экономические и финансовые стороны, а также оцениваются влияние на защиту окружающей среды и безопасность судоходства.

Первые принятые решения в ММО на уровне регионов позволили полноценно приступить к их выполнению. Благодаря работе специалистов из ММО, Международной ассоциации маячных служб (МАМС), Международной гидрографической организации (МГО) были достигнуты намеченные результаты:

- принятие Стратегического плана внедрения (СПВ) e-Навигации;
- системный и плановый характер исследований с отчетом о них на ежегодных конференциях;
- систематическое и последовательное достижение поставленных целей.

План стратегического внедрения e-Навигации выявил как цель пять приоритетных решений:

- S1: усовершенствованная, гармонизированная и удобная для использования конструкция ходового мостика;
- S2: средства стандартизированного и автоматизированного создания отчетов;
- S3: улучшенная надежность, способность к восстановлению функций и целостность оборудования ходового мостика и навигационной информации;
- S4: интеграция и представление информации, полученной при помощи коммуникационного оборудования на графических дисплеях;
- S9: усовершенствованные коммуникации Портфеля услуг СУДС (не ограниченные для СУДС).

В пунктах S2, S4 и S9 точка фокусировки направлена на эффективную передачу морской информации и данных соответствующим пользователям (судно – судно, судно – берег, берег – судно и берег – берег). S1 и S3 способствуют эффективному на практике применению данных и информации на судах. Также каждое решение разбито на подрешения.

В виду улучшенного предоставления услуг судам на основе e-Навигации в плане стратегического внедрения составлен так называемый портфель морских сервисов (ПМС) СУДС в связи более удобным способом предоставления информации: МПС 1-16. Для внедрения услуг МПС в СПВ

выделены 6 районов: 1) акватория порта и подходы к нему; 2) полярные районы; 3) открытое море и открытые районы; 4) прибрежные воды и районы с ограниченным доступом; 5) районы с разработками морских месторождений и/или разработки инфраструктур; 6) другие удаленные районы.

Также в Стратегическом плане внедрения е-Навигации находятся: представляемая документация, список задач и график выполнения плана на 2014–2020 гг.

К взаимодействию между судовыми и береговыми пользователями по СПВ предполагается комплексный подход пяти решений е-Навигации (S1–S9), поддерживаемых формализованной оценкой безопасности (ФОБ), и трех руководств для систем е-Навигации:

- Директива по проверке на простоту использования, анализу и оценке;
- Руководство по антропоцентрической конструкции;
- Руководство по обеспечению качества программного обеспечения.

В Стратегическом плане внедрения оговаривается дополнение стратегии е-Навигации как «непрерывный процесс отслеживания потребностей пользователей и внедрения новых технологий для получения дополнительных функциональных возможностей существующих и возможных будущих систем». Также внимание сфокусировано на коммуникациях как ключевом элементе е-Навигации. Существующие средства связи, используемые для сигналов бедствия, и коммуникации, связанные с безопасностью (ГМССБ, АИС), приобретаемые (арендуемые) каналы – спутниковые решения (ИНМАРСАТ, Iridium и системы наземной спутниковой связи VSAT), наземная телефонная связь и сети передачи данных GSM 3G и 4G. Будущие коммуникационные системы должны стать разработанными решениями для е-Навигации и включать ОБЧ данные (VDES) и NAVDAT, базирующиеся на таких интернет-технологиях как морские облачные услуги.

В России тематика е-Навигации получила развитие в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «Развитие гражданской морской техники» [6–8], в 2009–2010 гг. была выполнена научно-исследовательская работа «Подход-Т» и в ее развитие в 2012–2014 гг. опытно-конструкторская работа «ПодходНАВ-Т». В этих работах, выполненных при активном участии Группы «Кронштадт» в лице АО «Кронштадт» (до переименования в 2015 г. – ЗАО «Транзас»), осуществлена разработка компонентов обеспечения е-Навигации в виде дополнений интегрированных систем для морских судов.

Получая большой опыт при исследовании на тему е-Навигации в рамках НИР «ПодходТ», специалисты Группы «Кронштадт» смогли стать одними из инициаторов внедрения данного направления в устанавливающую тогда программу ФЦП «ГЛОНАСС» на 2012–2020 гг. В результате данной работы в программе ФЦП «ГЛОНАСС» на 2016–2020 гг. по линии Министерства транспорта Российской Федерации возникла реализация ОКР «е-Море».

Совместно с ОКР «е-Море», еще одним драйвером развития е-Навигации в России стала рабочая группа MariNet в составе комплексной государственной программы «Национальная технологическая инициатива» (НТИ), созданной в 2015 г. Именно благодаря сотрудничеству компаний, входящих в MariNet и Группы «Кронштадт», возникло единство разработчиков и исследователей в целях комплексного и взаимодополняющего развития двух вышеуказанных государственных программ.

Выполненный первый этап ОКР «е-Море» в 2016 г. группой «Кронштадт», содержанием которого стало «Создание тестовой акватории, обеспечивающей всестороннюю проверку и отработку разрабатываемых навигационных, связанных, информационных систем и комплексов судовой и береговой иерархической инфраструктуры в рамках глобальной концепции е-Навигации» [9].

В виду работ первого этапа ОКР в 2016 г. в России впервые начато формирование уникальной тестовой акватории (ТА) е-Навигации в северо-западном регионе, включающей в себя морскую часть – восточную часть Финского залива от о. Гогланд до Большого порта Санкт-Петербург с зоной ответственности региональной СУДС «Раскат» (г. Петродворец) и речную часть – реки Нева, Свирь и южная часть Ладожского озера с зоной ответственности службы движения судов (СДС) ФБУ «Администрация «Волго-Балт». Инновационность ТА е-Навигации на Северо-Западе России – в сращивании морских и речных технологий судовождения, в том числе с учетом наработок в рамках общеевропейской концепции Речных информационных служб (РИС). СУДС «Раскат» и СДС в Шлиссельбурге укомплектованы автоматизированными рабочими местами е-Навигации, интегрированными с уже имеющимися источниками данных.

Также было осуществлено комплектование пяти судов ФБУ «Администрация «Волго-Балт» и семи судов ФГУП «Росморпорт», работающих в тестовой акватории восточной части Финского залива, опытными образцами ЭКНИС, адаптированными для задач е-Навигации. Установлены 10 переносных лоцманских комплектов, по пять для каждого сегмента ТА: морского и речного соответственно, для обеспечения лоцманов информацией о навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановке, местоположении судов, состоянии фарватеров и др.

Одним из важнейших элементов оборудования тестовой акватории представляется возможность в использовании традиционных ОВЧ-радиосвязи на речном и морском сегментах в сумме с новейшими телекоммуникационными технологиями: беспроводные сети стандартов 3G и 4G, WiFi и WiMax, спутниковые каналы связи Iridium SBD и SAT-AIS.

Можно выделить несколько результатов выполненных исследований в рамках ОКР «е-Море» 2016 г.:

- разработка предложений для включения в Техническое задание на проведение в 2017–2019 гг. ОКР «е-Море»;
- разработка проекта Плана внедрения (дорожной карты) е-Навигации в РФ и технического проекта на создание тестовой акватории;
- проведение анализа стандартов и отраслевой документации, регламентирующих безопасность плавания судов и организацию связи;
- проведение впервые в России всестороннего детального анализа существующих и перспективных технологий, применяемых на морском и внутреннем водном транспорте по реализации стратегии е-Навигации как в мире, так и в России;
- подготовка и сдача заказчику – Министерству транспорта РФ Отчета по ОКР «е-Море» 2016 г., в котором более 2 000 страниц систематизированного и структурированного анализа тематической информации, значительное количество иллюстраций, схем, таблиц, диаграмм и другие научные материалы;
- проведение обследования объектов тестовой акватории, разработка предложений по совершенствованию их организационной структуры;
- определение и систематизация параметров требуемых программно-технических средств, разработка спецификации сервисов е-Навигации для тестовой акватории, проработка архитектуры интегрированного портала е-Навигации.

Группа «Кронштадт» продолжает активную работу по тематике е-Навигации, в том числе в составе международных организаций, например: доклад на ежегодной конференции «e-Navigation Underway International Conference 2017» и работа в подкомитете eNav МАМС.

Рынок транспортных услуг стал увеличиваться и усложняться, интегрируются все сегменты транспортного процесса и логистики, как свидетельствуют мировые тенденции в развитии транспорта. Вследствие этого стала развиваться транспортная инфраструктура нового типа – транспортно-логистические и товаротранспортные комплексы, образовавшие объединенную систему взаимодействия. Научно-техническая политика транспортной отрасли допускает развитие науки, инновационных технологий и системы подготовки кадров по всем направлениям, в том числе побуждение разработки и внедрения инновационных интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих эффективное управление транспортными потоками и транспортными средствами, откуда напрашивается главная цель – повышение качества транспортных услуг.

В связи с постоянным технологическим развитием отрасли представляется возможным дальнейшее развитие стратегии е-Навигации как предельно точной и системной в вопросах обеспечения безопасности плавания, предотвращении опасных инцидентов, обеспечения охраны окружающей среды и экономически эффективной системы.

Литература

1. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года. Утв. Распоряжением Правительства РФ от 22.11.2008. – № 1734-р.
2. е-Навигация [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.e-navigation.ru> (дата обращения: 03.09.2018).
3. Навигация, гидрография, гидрометеорология, научно-исследовательские работы [Электронный ресурс] / АО «ГНИНГИ». – URL: <http://www.gningi.ru> (дата обращения: 06.09.2018).
4. *Безбородов Г.И.* Облегчит труд судоводителей // Морской флот. – 1991. – № 11.

5. *Елагин А.В.* e-Navigation: научно-практический прогноз // Навигация и гидрография. – 2002. – № 15.
6. *Головко В.И.* Виртуальная среда, объединяющая мир. Реализация концепции e-Navigation – новый уровень обеспечения безопасности мореплавания // Морская биржа. – 2009. – № 2.
7. *Губернаторов С.С.* Навигация будущего – стратегическая программа e-Navigation // Морской и речной транспорт. – 2014. – № 8.
8. *Ривкин Б.С.* e-Навигации – десять лет // Гироскопия и навигация. – 2015. – № 4.
9. Создание тестовой акватории, обеспечивающей всестороннюю проверку и отработку разрабатываемых навигационных, связанных, информационных систем и комплексов судовой и береговой иерархической инфраструктуры в рамках глобальной концепции e-Навигации: Отчет об опытно-конструкторской работе. Шифр: ОКР «e-Море» – СПб.: АО «Кронштадт», 2016.

УДК 639.2.052.5

Н.И. Репринцева, Ю.Д. Рыгин

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: nezzkam@gmail.com*

ГЛУБОКОВОДНАЯ, МЕЛКОВОДНАЯ И ПРИБРЕЖНАЯ РЫБНАЯ ЛОВЛЯ

Настоящая статья посвящена особенностям глубоководной, мелководной и прибрежной рыбной ловли, а также освещает функции рыбаков, находящихся в опасных условиях в открытом море.

Ключевые слова: моряк, рыба, рыбалка, вода, берег, глубоководный, прибрежный.

N.I. Reprintseva, Y.D. Rygin

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: nezzkam@gmail.com*

DEEP-SEA, MIDDLE-WATER AND INSHORE FISHING

The present article is devoted to the peculiarities of deep-sea, middle-water and inshore fishing and describes the function of fishermen during dangerous conditions in open sea.

Key words: seaman, fish, fishing, water, shore, deep-sea, inshore.

More than half the total catch of white fish landed in Great Britain is caught by deep-sea trawlers operating from Hull, Grimsby and, to a lesser extent, from Fleetwood in Lancashire.

Once fishing begins, every member of the crew is working most hours of the dyad night. In the old days there is a regulation that a man must spend six hours below after an eighteen-hour spell on deck [1]. It usually works out that of the twelve men handling the trawl and getting the fish mine are working (for twelve hours) and thee are sleeping (for four hours).

It is doubtful whether the skipper has even this much relief; the catch is his responsibility and he is on the bridge practically the whole time he is in the fishing grounds.

When the rope fastening the cod-end is untied by the bos'n, the gleaming catch spills on to the deck and the deckhands gut the fish which are washed a special machine. It is the bos'n's duty to see that all fish are clear of blood and slime before they are stacked in the fishroom, which occupies all the space between the fo'c's'le and the bridge and is designed to hold 4,000 ten-stone kits. (The ten-stone kit or box is a standard measure with the deep-sea fishermen.) Really is the maximum storage needed. Anything above 2,000 kits represents a fair haul and one of 3,000 kits would be something of a record.

After the fish are gutted, the livers are collected and processed for oil.

The deep-sea fishermen experience many disadvantages. They are away from home for three weeks at a time and usually put to sea again after only 48 hours ashore, so that they cannot have much home life. Their hours and conditions of work are arduous [4]. Winter in the northern water is very rigorous. The fishermen endure bitter cold and face danger stormy seas and drifting ice flows. With numbed hands, they gut the icy fish upon the heeling deck. Light floods down upon them from an overhead searchlight while all around are the freezing waters and seeming endlessness of the Arctic night. But this is their life and their livelihood. They go to bring the harvests of the Northern seas to help to feed their countrymen.

Deep-sea trawling has been called the toughest job in the world and nobody who has studied the hardships of the task will quarrel with the description.

The inshore fishermen, as one would expect, operate close to shore. They work with net, line or lobster pot and, at scattered points around our coasts, are salmon fishermen, the crabbers, the shrimpers and lobster catchers; cockles, whelks, and mussels are caught in Morecambe Bay and the Wash; sports and whitebait are netted off the coasts of Essex, Suffolk and Dorset.

A variety of vessels fish the near and middle-waters, from the small motor-powered cable with a crew of three to the 130-foot trawler with the crew of twelve. Fishing through the night only a few miles from shore, the smaller boats return to catch the early market [5]. The large craft are usually away from the port three or four days, fishing the more distant grounds.

Living conditions on the smaller craft are inevitably more cramped than on the deep-sea trawlers and there is little rest for the men once at sea, for they are fully occupied in preparing nets, fishing and stowing the catch.

Before the vessel has tied-up at the quay, two of the crew hurry ashore with the sample of the catch, this is carefully examined by the buyers in the large shed-like building which is the local fish market. Then the salesman opens the bidding and disposes of the catch in a matter of minutes. Some goes to the merchants for re-sale as fresh fish, some to the kipperers, canners, curers, and quick-freezers.

The unsold balance goes to the fish-meal factory where it is made into animal feeding stuff and its oil is used in the edible oil industry [6].

Bibliography

1. *Пенина И.П., Емельянова И.С.* Английский язык для морских училищ. – М.: Высш. шк., 2001. – 238 с.
2. *Харитонов В.С.* Англо-русский учебный разговорник для специалистов флотов рыбной промышленности. – М.: Русский язык, 1988. – 236 с.
3. *Бодрягина Л.И.* Англо-русский морской словарь. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2008. – 104 с.
4. *Шевелева С.А., Скворцова М.В.* Деловая переписка на английском языке. 1000 фраз. – М.: Филоматис, 2007. – 165 с.
5. *Деловая переписка на английском и русском языках.* – Budapest: ПАННОАРТ, 1996. – 389 с.
6. *Переписка с иностранными партнерами: Учеб. пособие.* – М., 1992. – 74 с.

УДК 629.7

В.А. Ямщиков, А.М. Саранча,

*Камчатский государственный технический университет
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: vasya.yamshikov@gmail.com;
e-mail: ArkadiyMS@yandex.ru*

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

В статье рассматривается возможность замены наблюдателя во время тревоги «Человек за бортом» на БПЛА. Предполагается снабдить судно дроном вертолетного типа, который может взлетать с площадки размером не более 5×5 метров и имеет целевую нагрузку в виде тепловизора и видеокамеры.

Ключевые слова: дрон, БПЛА, человек, тревога, наблюдение.

V.A.Yamschikov, A.M. Sarancha

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: vasya.yamshikov@gmail.com,
e-mail: ArkadiyMS@yandex.ru*

UNMANNED AERIAL VEHICLES

The possibility of replacing the observer during an alarm «Man overboard» on a UAV is observed in the article. It is proposed to supply the vessel with a helicopter-type drone, which can take off from a site of no more than 5×5 meters and has a target load in the form of a thermal imager and video camera.

Key words: drone, UAV, person, alarm, watch.

В настоящее время существует мнение, что за беспилотными летательными аппаратами большое и счастливое будущее. Идея БПЛА очень заманчива – исключить прямое участие человека, в том случае, если выполнение какой-либо задачи затруднено или вовсе опасно.

Предлагается снабдить суда рыбопромыслового флота дронами вертолетного типа, которые заменят наблюдателя во время тревоги «Человек за бортом» и помогут избежать человеческого фактора, что в свою очередь повысит шансы на выживание человека.

В данной статье предлагается использовать на рыбопромысловом флоте комплекс воздушного наблюдения на базе беспилотного летательного аппарата «Гранад ВА-1000». Данный комплекс представляет собой летательные аппараты вертикального взлета и посадки. Целевая нагрузка – тепловизор и видеокамера.

Аппарат может летать с помощью дистанционного управления или автономно на основе двух встроенных в него навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Радиус ручного управления комплексом «Гранад ВА-1000» может достигать расстояния в 1 км, в это же время радиус полета комплекса по заранее заданным координатам достигает 40 км. Комплекс должен быть оснащен системой опорной, высотной и курсовой ориентации, для того чтобы даже неопытные пилоты смогли научиться управлять БПЛА за короткий промежуток времени.

В данный момент, во время тревоги «Человек за бортом», вахтенный помощник капитана отдает команду рулевому перейти на ручное управление и начинает маневр, сбрасывает спасательный круг со светодымящимся буйком (тем самым фиксируя начало маневра, что облегчает поиск), объявляет тревогу, организует наблюдение.

В качестве наблюдателя может быть любой матрос, находящийся вблизи навигационного мостика. Если таковых нет, наблюдение осуществляет сам вахтенный помощник капитана, пока не придет помощь, чтобы не потерять из вида человека на воде.

Самый главный недостаток такого способа наблюдения – нет непрерывного наблюдения. При небольшой скорости и возможности быстрого реверса и в других случаях, когда при конкретных условиях погоды обеспечивается постоянное наблюдение за человеком в воде, возмож-

но использование маневра Вильямсона (рис. 1). Положить руль на борт, в сторону упавшего человека. После отклонения от первоначального курса на 60° переложить руль на борт в противоположную сторону. Не доходя 20° до противоположного курса, поставить руль прямо и привести судно на противоположный курс. Здесь надо учитывать, что обычный состав экипажа не обеспечит непрерывное наблюдение во время процесса маневра.

Возможности дронов во время тревоги. При объявлении тревоги «Человек за бортом», дрон может подняться в воздух за считанные секунды и обеспечить непрерывное наблюдение за человеком в воде. Оснащение дрона тепловизором сделает возможным непрерывное наблюдение за терпящим бедствие человеком в ночное время, так как обычный наблюдатель, даже при слабом волнении моря, легко может потерять тонущего из виду. В свою очередь тепловизор позволяет производить наблюдение за тонущим человеком и не потерять его из виду даже при сильном волнении моря.

Во время объявления тревоги и при начале исполнения маневра Вильямсона дрон будет отправлен к месту падения человека и зависнет над ним до момента спасения (рис. 2). При необходимости дрон может сбросить спасательный круг со светодымящимся буйком, что еще больше облегчит опознавательные возможности дрона.

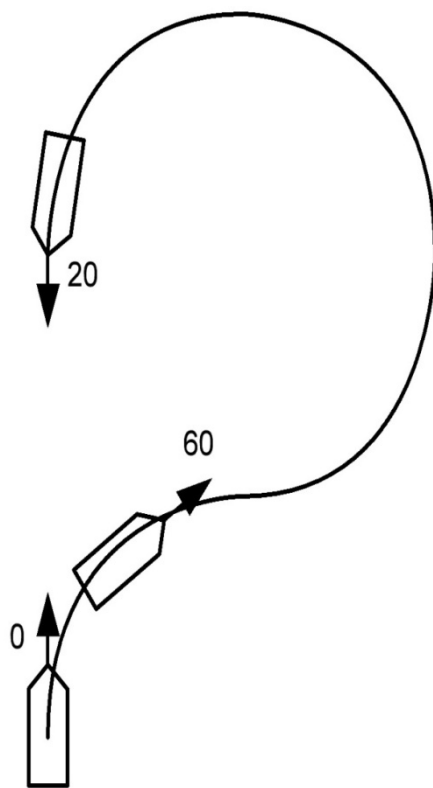


Рис. 1. Обычный маневр Вильямсона

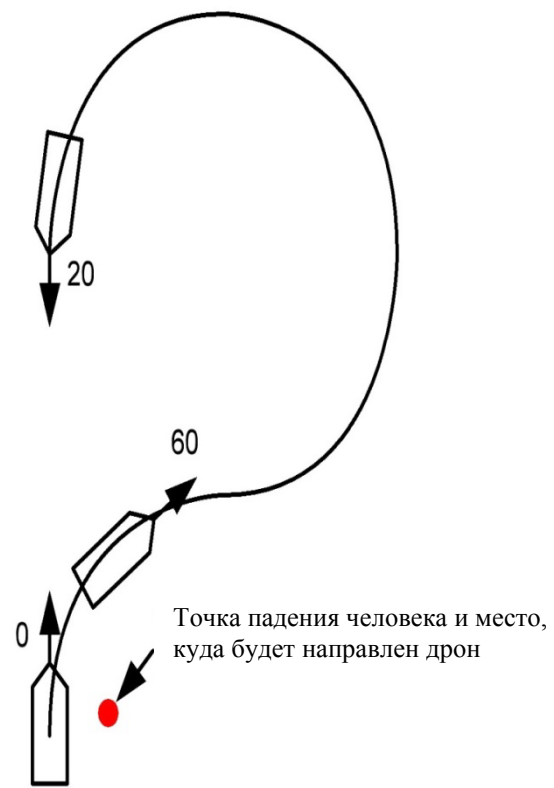


Рис. 2. Маневр Вильямсона с использованием дрона

Из приведенной ниже таблицы видно, что наиболее подходящей из всех перечисленных моделей дронов можно считать «Гранад ВА-1000» (рис. 3). Выбранный дрон обладает наиболее подходящими характеристиками для выполнения поставленной задачи.

Технические характеристики рассмотренной модели в сравнении с другими БПЛА

	Горизонт G-Air S-100	Гранад ВА-1000	КА-137	ТБ-29В Тайбер	AeroDreams Chi-7
Скорость подъема (км/ч)	30	27	30	21,6	28,8
Крейсерская скорость (км/ч)	100	54	145	100	130
Масса аппарата (кг)	100	2,65	200	14	220
Рекомендуемая нагрузка (кг)	50	1	50	5	230

Окончание табл.

	Горизонт G-Air S-100	Гранад BA-1000	КА-137	ТБ-29В Тайбер	AeroDreams Chi-7
Максимальная взлетная масса (кг)	200	8,7	280	19,6	450
Габариты (мм)	3 400	1 030	1 880	1 865	7 150
Максимальная дальность управления (км)	200	40	530	500	600
Максимальное время полета (ч)	6<	6	4	7	10
Источники питания	ДВС: Austro Engine AE50R Wankel, 55 л.с. / 41 кВт	Аккумулятор: 6S 16 А.ч. или 8S 16 А.ч. LiPo	ДВС: 1 ПД Hirht 2706 R05 65 л.с.	ДВС: двухтактный 7,2 л.с.	ДВС: 1 ПД Rotax 912 100 л.с.



Рис. 3. Внешний вид «Гранад BA-1000»

В дополнение к уже представленным характеристикам и возможностям дрона в работе предлагается снабдить БПЛА небольшим прожектором с мощностью, позволяющей подсвечивать терпящего бедствие человека с высоты в 15 м для облегчения спасения тонущего.

Для вычисления требуемой мощности светового потока мы будем использовать формулу, которая имеет вид:

$$\Phi = E \cdot \pi \cdot h^2 \cdot 2(1 - \cos a / 2),$$

где Φ – световой поток; E – освещенность поверхности; h – расстояние от светильника до освещаемой поверхности; a – угол излучения светового потока светильника.

Исходя из формулы, требуемая мощность светового потока в полнолуние при угле освещения в 10° будет равна 2,826 люмена.

Для вычисления освещаемой поверхности будем использовать формулу, имеющую вид:

$$\Phi = E \cdot S,$$

где Φ – световой поток; E – освещенность поверхности; S – площадь освещаемой поверхности.

Исходя из формулы, площадь освещаемой поверхности в полнолуние, при угле освещения в 10° будет равна $14,13 \text{ м}^2$.

Для установки на дрон подойдет светодиодный прожектор мощностью 2 Вт.

Недостатки и достоинства. Самыми главными недостатками использования дронов на уровне современного технического развития являются отсутствие возможности запуска дрона во время сильных штормов и их очевидная дороговизна. Однако достоинства БПЛА могут превысить эти недостатки, особенно, если будут открыты новые материалы производства дронов. К числу преимуществ БПЛА как средства спасения можно отнести следующие:

1. Благодаря наличию на БПЛА тепловизора и камеры с большим разрешением, он способен обеспечить более качественное и непрерывное наблюдение за человеком в воде.
2. Исходя из описанных технических характеристик, видно, что дрон может нести с собой нагрузку в виде спасательного круга, в том случае если человека отнесло от корабля достаточно далеко.
3. Бесспорным преимуществом БПЛА перед наблюдателем является возможностью вести постоянное наблюдение за человеком в ночное время.
4. Благодаря возможности зависнуть над тонущим человеком дрон может обнаружить пострадавшего даже при сильном волнении воды.

Вывод. БПЛА могут повысить шансы на спасение человека за бортом, особенно в том случае, если тревога была объявлена во время сильного волнения моря. Уровень современного технологического развития позволяет использовать дронов на рыбопромысловом флоте, но ввиду очевидной дороговизны БПЛА маловероятно, что ими снабдят суда в ближайшее время.

Литература

1. *Дайнего Ю.Г.* Охрана человеческой жизни на море. – М: Моркнига, 2010. – 88 с.
2. Беспилотные летательные аппараты вертикального взлета [Электронный ресурс]: Гранд ВА-1000. – URL: www.uvsavia.ru/blav-md4-1000 (дата обращения: 10.09.18).
3. *Василин Н.Я.* Беспилотные летательные аппараты. – М: Поппури, 2003. – 272 с.
4. КА-137: характеристики [Электронный ресурс]. – URL: <http://avia.pro/blog/ka-137> (дата обращения: 8.09.2018).

СЕКЦИЯ 2. СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 62-71:629.5

А.Р. Аблаев

*Севастопольский государственный университет,
Севастополь, 299011
e-mail: ARAblaev@sevsu.ru*

ИЗМЕНЕНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО ОХЛАДИТЕЛЯ МАСЛА ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НАГРУЗКАХ ГЛАВНОГО ТУРБОЗУБЧАТОГО АГРЕГАТА В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Приведен анализ изменения рабочих характеристик судового охладителя масла при использовании различных способов регулирования температурных режимов охладителей. При этом учитываются изменения тепловых нагрузок от главной двигательной установки в процессе его эксплуатации.

Ключевые слова: охладитель масла, тепловой режим работы, регулирование температуры.

A.R. Ablaev

*Sevastopol State University,
Sevastopol, 299011
e-mail: ARAblaev@sevsu.ru*

CHANGE OF WORKING PARAMETERS OF SHIP OIL COOLER WITH NON-STATIONARY LOADS OF THE MAIN TURBO GEAR UNIT IN OPERATING CONDITIONS

The analysis of the change in the performance of the ship's oil cooler with using various methods for regulating the temperature regimes of the coolers is presented. Herewith the changes in thermal loads from the main propulsion system during its operation are taken into account.

Key words: oil cooler, thermal operating mode, temperature control.

Введение

Для обеспечения надежной работы судового главного турбозубчатого агрегата (ГТЗА), наряду с другим обслуживающим оборудованием, важным компонентом является охладитель масла с автономной системой автоматического регулирования температурного режима. Выбор этого параметра в качестве регулируемого объясняется необходимостью подачи масла в ГТЗА требуемой вязкости. При этом сам ГТЗА не является объектом регулирования. В качестве объекта регулирования в системе смазки ГТЗА применяется теплообменник (масло – забортная вода), в котором балансируется подводимая и отводимая теплота относительно масла при сохранении заданного значения его температуры на входе в ГТЗА.

Цель работы заключается в определении рациональных тепловых режимов работы судового охладителя масла при нестационарных нагрузках ГТЗА в условиях эксплуатации.

Основная часть

На судах используются три способа регулирования температуры масла (рис. 1).

По способу регулирования а) – перепуском забортной воды: $G_m = \text{const}$; $t_{m1} = \text{const}$; $G_3 = \text{const}$; $t_{31} = \text{var}$; $t_{m2} = \text{var}$. При этом параметр t_{m2} является функцией мощности ГТЗА, $t_{m2} = f(N_{ГТЗА})$, которая в процессе эксплуатации может меняться от 15 до 110% от номинальной. Таким образом, параметр t_{m2} является определяющим по отношению к параметрам t_{31} и G_n .

Качественная оценка системы регулирования по перепуску забортной воды следующая: при $t_{m2} \rightarrow \text{max}$; $N_{ГТЗА} \rightarrow \text{max}$; $G_n \rightarrow 0$; $t_{31} \rightarrow t_3$; при $t_{m2} \rightarrow \text{min}$; $N_{ГТЗА} \rightarrow \text{min}$; $G_n \rightarrow \text{max}$; $t_{31} \rightarrow t_{32}$.

В этом случае температура внутренней стенки теплообменных труб теплообменника будет расти, что сказывается на увеличении обрастания теплообменных труб и, как следствие, на снижении надежности теплообменника.

По способу регулирования б) – обводом забортной воды: $G_M = \text{const}$; $t_{M1} = \text{const}$; $G_3 = \text{var}$; $t_{31} = t_3$. В этом случае при $t_{M2} \rightarrow \text{max}$; $N_{ГТЗА} \rightarrow \text{max}$; $G_{обв} \rightarrow 0$; $t_{31} = t_3$; $G_3 \rightarrow G_{\text{max}}$; при $t_{M2} \rightarrow \text{min}$; $N_{ГТЗА} \rightarrow \text{min}$; $G_{обв} \rightarrow \text{max}$; $t_{31} = t_3$; $G_3 \rightarrow G_{\text{min}}$.

Скорость в теплообменных трубах минимальная, температура внутри трубок максимальная, что также сказывается на увеличении обрастания теплообменных труб и, как следствие, на снижении надежности теплообменника.

По способу регулирования в) – перепуском масла: $G_M = \text{var}$; $t_{M1} = \text{const}$; $G_3 = \text{const}$; $t_{31} = t_3 = \text{const}$; $t_{M2} = \text{var}$. По этому способу регулирования трубная система теплообменника работает в условиях расчетного режима, а межтрубная – в условиях изменения нагрузки ГТЗА.

Все три способа регулирования обеспечивают постоянство расхода масла через ГТЗА G_M , третий способ изменяет расход G_M через теплообменник. Существенное значение для нормальной работы системы регулирования температуры масла имеют скорость, температура забортной воды, прокачиваемой через теплообменник, и связанные с этими параметрами коэффициенты теплоотдачи, теплопередачи и температурный напор. Последний при равных условиях работы теплообменника зависит существенно от схем движения теплоносителей. Это обстоятельство не учитывается при выборе схемных решений регулирования.

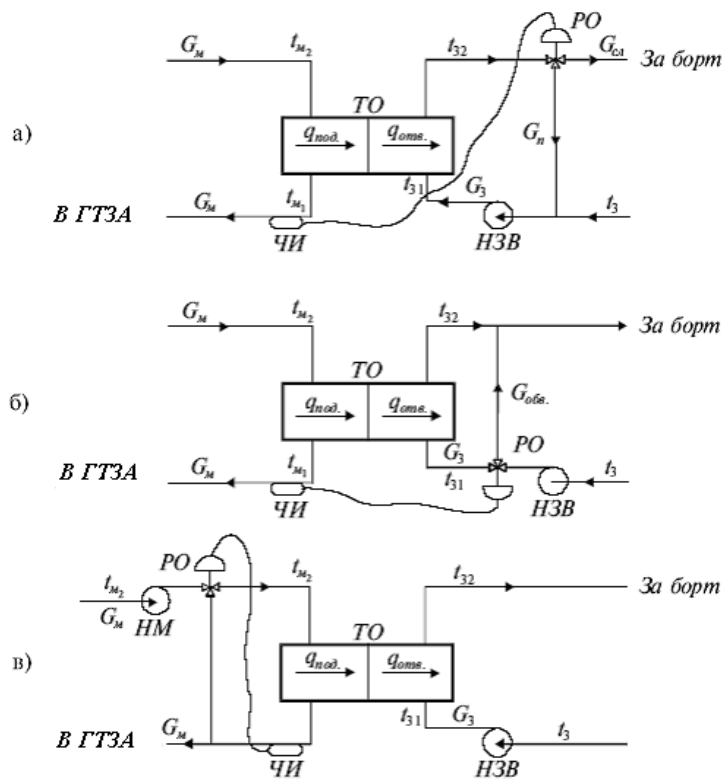


Рис. 1. Способы регулирования температуры масла:
 а – перепуском забортной воды; б – обводом забортной воды; в – перепуском масла;
 ТО – теплообменник; НМ – масляный насос; НЗВ – насос забортной воды;
 ЧИ – измеритель; РО – регулирующий орган

Это вытекает из следующих соотношений [1; 2]:

$$A = \frac{\delta t_2}{\delta t_1}, \quad (1)$$

где для проточной схемы;

$$\delta t_1 = \Delta t' \frac{1 - e^{-\frac{kF}{C_1}(1+A)}}{1 + A}; \quad (2)$$

$$\delta t_2 = \Delta t' \cdot A \cdot \frac{1 - e^{-\frac{kF}{C_1}(1+A)}}{1 + A}; \quad (3)$$

– для противоточной схемы

$$\delta t_1 = \Delta t' \frac{1 - e^{-\frac{kF}{C_1(1-A)}}}{1 - A \cdot e^{-\frac{kF}{C_1(1-A)}}}; \quad (4)$$

$$\delta t_2 = \Delta t' \cdot A \cdot \frac{1 - e^{-\frac{kF}{C_1(1-A)}}}{1 - A \cdot e^{-\frac{kF}{C_1(1-A)}}}. \quad (5)$$

В уравнениях (1)–(5):

$$A = C_1 / C_2; \quad C_1 = G_m \cdot c_{pm}; \quad C_2 = G_3 \cdot c_{p3}; \quad \delta t_1 = t_{m2} - t_{m1}; \quad \delta t_2 = t_{32} - t_{31}; \quad \Delta t' = t_{m2} - t_{31};$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·К; F – поверхность теплообмена, м².

Отношение количества переданного тепла при прямоточной и противоточной схемах, рассчитанных по уравнениям (2)–(5), показано на графике (рис. 2). Из него следует, что прямоточная и противоточная схемы могут быть равноценны только при очень больших и очень малых значениях A или очень малых значениях kF / C_1 . Во всех остальных случаях, при прочих равных условиях, при прямотоке тепла передается меньше, чем при противотоке. При сложных схемах движения теплоносителей, в уравнения (2)–(5), необходимо вносить поправку $\varepsilon_{\Delta t} = \chi(P, R)$,

$$\text{где } P = \frac{t_{32} - t_{31}}{t_{m2} - t_{31}} = \frac{\delta t_2}{\Delta t_{\max}}; \quad R = \frac{\delta t_1}{\delta t_2}.$$

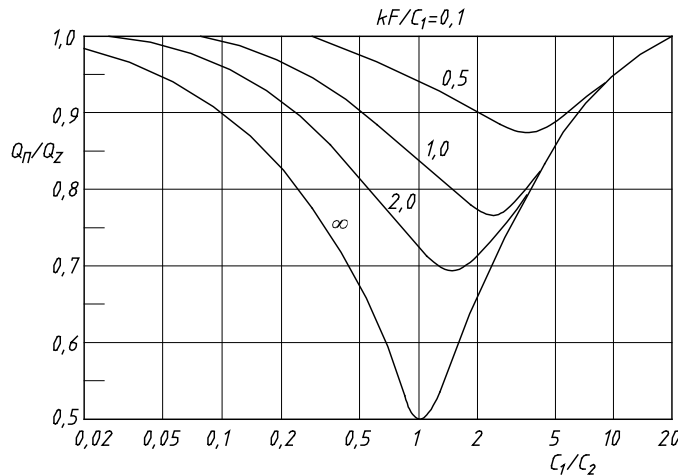


Рис. 2. $\frac{Q_n}{Q_z} = f\left(\frac{C_1}{C_2}, \frac{kF}{C_1}\right)$ (сравнение прямотока и противотока)

Кроме того, во всех режимах (и особенно в режимах малой нагрузки ГТЗА) должна быть обеспечена скорость воде, препятствующая интенсивному отложению солей в трубках теплообменника, а также температура стенок труб, которые влияют на надежность теплообменника [3]. Это также вытекает из следующих соотношений [4; 5]:

$$t_{c1} = \frac{\left(\frac{\alpha_1 F_1}{\alpha_2 F_2} + \frac{\alpha_1 F_1}{2\pi l \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}\right) t_1 + t_2}{1 + \frac{\alpha_1 F_1}{\alpha_2 F_2} + \frac{\alpha_1 F_1}{2\pi l \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}; \quad (6)$$

$$t_{c2} = \frac{\left(\frac{\alpha_2 F_2}{\alpha_1 F_1} + \frac{\alpha_2 F_2}{2\pi l \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}\right) t_2 + t_1}{1 + \frac{\alpha_2 F_2}{\alpha_1 F_1} + \frac{\alpha_2 F_2}{2\pi l \lambda} \ln \frac{d_2}{d_1}}. \quad (7)$$

Здесь F_1 – поверхность теплообмена со стороны масла, m^2 ; F_2 – поверхность теплообмена со стороны воды, m^2 ; λ – коэффициент теплопроводности, $Вт/м \cdot град$; d_2, d_1 – наружный и внутренний диаметр теплообменных труб, m ; l – длина теплообменных труб, m ; α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи, со стороны масла и воды соответственно, $Вт/м^2 \cdot град$; t_1, t_2 – средняя температура масла и заборной воды соответственно, $^{\circ}C$.

Как показывает анализ литературных источников и научно-исследовательских работ, улучшение технических показателей регулирующих устройств судовых систем в основном проводятся по двум направлениям. Первое – характеризуется совершенствованием существующих технических средств и разработкой оригинальных схемных решений, позволяющих улучшить характеристики существующих систем. Второе направление связано с созданием новых, оригинальных регулирующих устройств.

В данной работе представлен фрагмент численного анализа охладителя масла для ГТЗА, имеющего мощность 37 МВт, в котором рассматриваются количественные изменения коэффициента теплоотдачи, теплопередачи, температурных напоров в условиях изменения параметров охлаждающей морской воды.

Рассмотрим теплообменник [6], в котором схема теплоносителя прямоточная и регулирование температуры масла происходит по схеме а) (рис. 1). Исходные параметры: $t_{m1} = const = 47,7^{\circ}C$, $t_{31} = const = 15^{\circ}C$, $F_1 = const = 124 m^2$, $k = const = 206 Вт/м^2 \cdot град$, $C_1 = const = 78,7 \cdot 10^3 Дж/град$. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета конечной температуры при прямотоке

Режим	$N, \%$	$\delta t_2, ^{\circ}C$	$\Delta t', ^{\circ}C$	$t_{m2}, ^{\circ}C$	$t_{32}, ^{\circ}C$	$t_{3П}, ^{\circ}C$	$G_{П}, кг/с$
1	110	5,8	45,19	60,19	20,8	20,8	0
2	100	5,654	44	59	20,654	20,654	0
3	75	5,27	41	56	20,27	23,7	16,6
4	50	4,883	38	53	19,883	32,38	32,9
5	25	4,5	35	50	19,5	41,05	50,3

Здесь $t_{3П}$ – температура заборной воды при перепуске; $G_{П}$ – расход заборной воды при перепуске.

Рассмотрим теплообменник, в котором схема теплоносителя противоточная и регулирование температуры масла происходит по схеме а) (рис. 1). Исходные параметры: $t_{m1} = const = 47,7^{\circ}C$, $t_{31} = const = 15^{\circ}C$, $F_1 = const = 124 m^2$, $k = const = 206 Вт/м^2 \cdot град$, $C_1 = const = 78,7 \cdot 10^3 Дж/град$. Результаты расчета представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета конечной температуры при противотоке

Режим	$N, \%$	$\delta t_2, ^{\circ}C$	$\Delta t', ^{\circ}C$	$t_{m2}, ^{\circ}C$	$t_{32}, ^{\circ}C$	$t_{3П}, ^{\circ}C$	$G_{П}, кг/с$
1	110	5,875	45,19	60,19	20,875	20,875	0
2	100	5,72	44	59	20,72	15,54	0,98
3	75	5,33	41	56	20,33	24,08	16,8
4	50	4,94	38	53	19,94	32,62	33,27
5	25	4,55	35	50	19,55	41,15	50,36

Выводы: рассмотрены режим регулирования температуры масла при схеме регулирования перепуском заборной воды, при прямоточной и противоточной схеме движения теплоносителей. Численно показано, что по выбранной схеме регулирования не все эксплуатационные режимы (режим 1 и 5) могут обеспечиваться в условиях $t_{m1} = const$, $t_{31} = const$ и $G_3 = const$. Работы по численному анализу будут продолжены.

Перспективой дальнейшего исследования является определение оптимальных компоновочных решений систем автоматического регулирования температуры масла.

Литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
2. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

3. *Копачинский П.А., Тараскин В.П.* Судовые охладители и подогреватели жидкостей. – Л.: Судостроение, 1968. – 244 с.
4. Справочник по теплообменникам: в 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. / Под ред. В.С. Петухова, В.К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
5. *Каневец Г.Е.* Обобщенные методы расчета теплообменников. – Киев: Наукова думка, 1979. – 352 с.
6. Охладители масла и воды кожухотрубные с прямыми трубками. Технические условия: ОСТ 5.4254-86. – М., 1987. – 51 с.

УДК 620.19: 629.5.083.5

**О.А. Белов¹, В.А. Швецов¹, Д.П. Ястребов²,
В.А. Ветров¹, А.Д. Щелканов¹, И.И. Бондарчук¹**

¹ Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: boa-1@mail.ru;

² Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Петропавловск-Камчатский, 683002
e-mail: restart1101@mail.ru

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЗАЩИТЕ КОРПУСОВ СУДОВ ОТ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ НА СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Выполнение действующих нормативных требований по защите корпуса судна от электрокоррозии вызывает значительные затруднения при выполнении судоремонтных работ и эксплуатации судна. Авторами предложены дополнительные организационно-технические мероприятия по защите корпусов судов от электрокоррозии. Приведены результаты исследований защищенности судов от электрокоррозии при выполнении судоремонтных работ, из которых следует, что от выполнения действующих жестких нормативных требований можно во многих случаях отказаться. Для этого следует усовершенствовать оперативный контроль значений переменного напряжения и плотности переменного тока в процессе выполнения электросварочных работ.

Ключевые слова: электрокоррозия, контроль защищенности корпусов судов, электросварочные работы, дренажный провод, причальная стенка.

**O.A. Belov¹, V.A. Shvetsov¹, D.P. Yastrebov²,
V.A. Vetrov¹, A.D. Shchelkanov¹, I.I. Bondarchuk¹**

¹ Kamchatsky State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: boa-1@mail.ru;

² Scientific-Research Geotechnological Center of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002
e-mail: restart1101@mail.ru

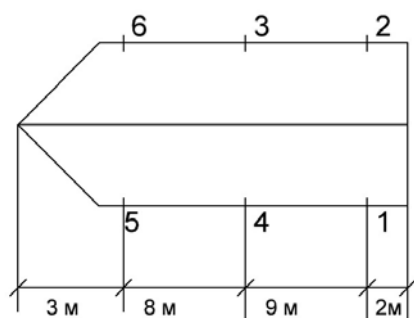
DEVELOPMENT OF MEASURES FOR THE SHIP HULLS PROTECTION FROM ELECTROCORROSION AT SHIPYARDS

The fulfillment of the current regulatory requirements for the protection of the ship hull from electrocorrosion causes considerable difficulties in the performance of ship repair works and the operation of the vessel. The additional organizational and technical measures to protect ship hulls from electrocorrosion are proposed. The results of studies on the protection of ships from electrocorrosion during the performance of ship repair works are provided. It is stated that it is possible in many cases to refuse from the existing regulatory requirements. For this purpose it is necessary to improve the operational control of the AC voltage and the alternating current density during electric welding works.

Key words: electrocorrosion, control of ship hull protection, electric welding works, drainage wire, quay wall.

Защита корпусов судов от электрокоррозии является актуальной задачей [1, 2]. Мероприятия по защите судов от электрокоррозии подробно рассмотрены в работе [1]. Однако на практике эти организационно-технические мероприятия часто не выполняются, что обусловлено отсутствием нужного количества дренажных проводов необходимого сечения, а также отсутствием возможности размещать суда по причальной стенке на необходимом расстоянии друг от друга [1].

Поэтому необходимо разрабатывать дополнительные мероприятия по защите корпусов от электрокоррозии. Авторы считают, что для соблюдения необходимых требований работы [1] к защищенности корпусов судов от электрокоррозии, в первую очередь нужно усовершенствовать контроль защищенности корпусов от электрокоррозии [2]. Это подтверждается результата-



Расположение контрольных точек на судне

ми следующего эксперимента. На судне "МНП-90" проекта "Морской несамоходный плашкоут", выполняли коррозионные натурные исследования по методике [1, 3–5]. Измерения контролируемых параметров ($U \approx$, мВ и $I \approx$, мА), выполняли в шести контрольных точках. Расположение контрольных точек приведено на рисунке.

Контролируемые параметры измерялись сначала при отсутствии сварочных работ на судне, а затем при выполнении электросварочных работ на судне. Результаты измерений приведены в таблице.

Результаты измерений параметров в контрольных точках

Номер контрольной точки	$U \approx$, мВ		$I \approx$, мА	
	Без сварки	При проведении сварочных работ	Без сварки	При проведении сварочных работ
1	2,1; 2,2; 2,2	8,5; 8,7; 9,4	0,08; 0,06; 0,07	0,48; 0,47; 0,47
2	4,1; 4,1; 4,1	15; 14,6; 13,9	0,12; 0,15; 0,13	0,58; 0,61; 0,62
3	1,4; 1,4; 1,4	6; 6,6; 6,3; 6,8	0,05; 0,04; 0,04	0,30; 0,28; 0,30
4	0,5; 0,6; 0,5	1,8; 2; 1,6; 1,9	0,02; 0,03; 0,01	0,09; 0,08; 0,10
5	5,4; 5,5; 5,5	17,2; 16,9; 16,6	0,12; 0,23; 0,19	0,68; 0,70; 0,72
6	3,7; 3,7; 3,7	11; 11,2; 10,9	0,16; 0,16; 0,16	0,56; 0,52; 0,53

Из результатов выполненных исследований, приведенных в таблице, следует что измеряемые параметры, характеризующие защищенность корпуса судна от электрокоррозии, не превышает допустимых значений [1]. Таким образом, от выполнения жестких требований нормативного документа [1] при проведении электросварочных работ на судне можно отказаться, если организовать оперативный контроль значений переменного напряжения и плотности переменного тока в шести контрольных точках в процессе выполнения электросварочных работ.

Литература

1. Руководство по защите корпусов надводных кораблей от коррозии и обрастания. РЗК-НК-01. 2001. – С. 258
2. Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: Монография / В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, Д.В. Шунькин. – КамчатГТУ, 2016. – С. 109.
3. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов камчатского флота / О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов, О.А. Белавина, Д.В. Шунькин // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 39. – С. 6–11.
4. Обоснование возможности исключения внешнего осмотра систем протекторной защиты стальных корпусов судов / В.А. Швецов, О.А. Белов, О.А. Белавина, Д.П. Ястребов // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 1. – С. 29–38.
5. Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов / О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 1(82). – С. 41–48.

УДК 62-71:623.85

Д.О. Владецкий¹, А.О. Харченко, Е.А. Владецкая²

¹ Севастопольский филиал Государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова,
Севастополь, 299009;

² Севастопольский государственный университет,
Севастополь, 299026
e-mail: vladetski@gmail.com

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОТДАЧИ ЗАМКНУТЫХ ОДНОКОНТУРНЫХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Приведены результаты теплотехнических исследований теплоотдачи в погружном пластинчатом теплообменном аппарате при использовании газожидкостных струй для интенсификации теплоотдачи в замкнутых одноконтурных системах охлаждения СЭУ.

Ключевые слова: система охлаждения СЭУ, погружной теплообменный аппарат, интенсификация теплоотдачи.

D.O. Vladetskiy¹, A.O. Kharchenko, E.A. Vladetskaya²

¹ Sevastopol branch of State Maritime University named after Admiral Ushakov F.F.,
Sevastopol, 299009;

² Sevastopol state university,
Sevastopol, 299026
e-mail: vladetski@gmail.com

INCREASING THE HEAT TRANSFER OF CLOSED SINGLE-CIRCUIT COOLING SYSTEMS OF SHIP POWER PLANTS

The results of heat engineering studies of heat transfer in a submersible plate heat exchanger with gas-liquid jets to intensify heat transfer in closed single-circuit cooling systems of ship power plants are presented.

Key words: ship power plant cooling system, submersible plate heat exchanger, heat transfer intensification.

Система охлаждения является одним из основных элементов судовой энергетической установки. Широко используемые на судах разомкнутые 2-контурные системы охлаждения предусматривают прием коррозионно-активной и часто загрязненной забортной воды, что в целом ряде случаев (работа в загрязненной акватории, рейферные работы, плавание в мелководье, ледовой шуге и т. д.) не обеспечивает требуемой надежности эксплуатации и экологической безопасности. При этом происходит интенсивное засорение элементов контура системы охлаждения забортной воды (фильтров, теплообменников, насосов, кингстонных ящиков и др.), что зачастую приводит к внезапной остановке СЭУ из-за прекращения подачи охлаждающей воды.

Для того чтобы повысить эффективность эксплуатации энергетической установки и предотвратить ее внезапную остановку из-за прекращения подачи охлаждающей воды, необходимо использовать замкнутые системы охлаждения (ЗСО), исключаящие прием забортной охлаждающей воды. Помимо достигаемого при внедрении таких систем повышения надежности эксплуатации и снижения эксплуатационных затрат, также обеспечивается достижение экологического эффекта, связанного с сохранением рыбных запасов морей России.

В рамках замкнутых систем охлаждения отвод теплоты от энергоустановки в забортную воду осуществляется посредством погружных теплообменных аппаратов, которые конструктивно могут быть выполнены различно. Такие аппараты могут располагаться во внешних выгородках корпуса судна (рис. 1), а также могут монтироваться в объеме кингстонного ящика судна, как теплообменник типа box-cooler (рис. 2).

В таких случаях теплообменный аппарат располагается ниже ватерлинии за пределами прочного корпуса судна в специальной внешней выгородке или кингстонном ящике судна. При данной компоновке он защищен от повреждений и хорошо омывается забортной водой.

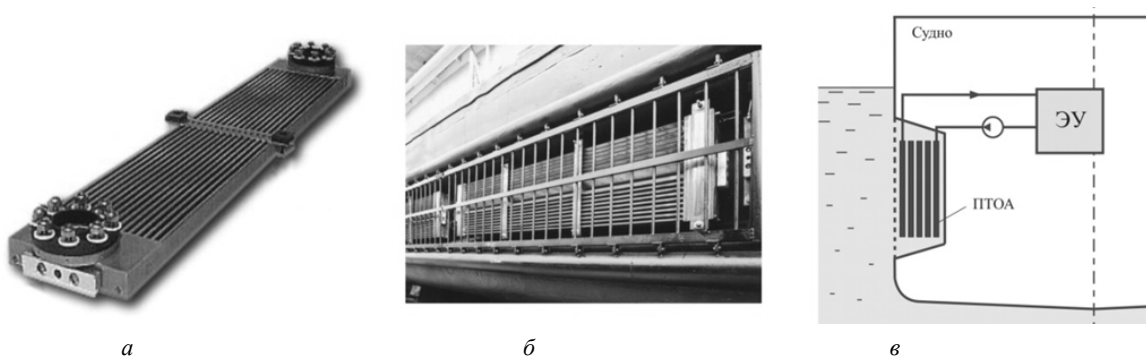


Рис. 1. Погружной теплообменный аппарат замкнутой системы охлаждения СЭУ, предназначенный для монтажа во внешней выгородке корпуса судна:
а – общий вид секции; б, в – расположение теплообменного аппарата во внешней выгородке

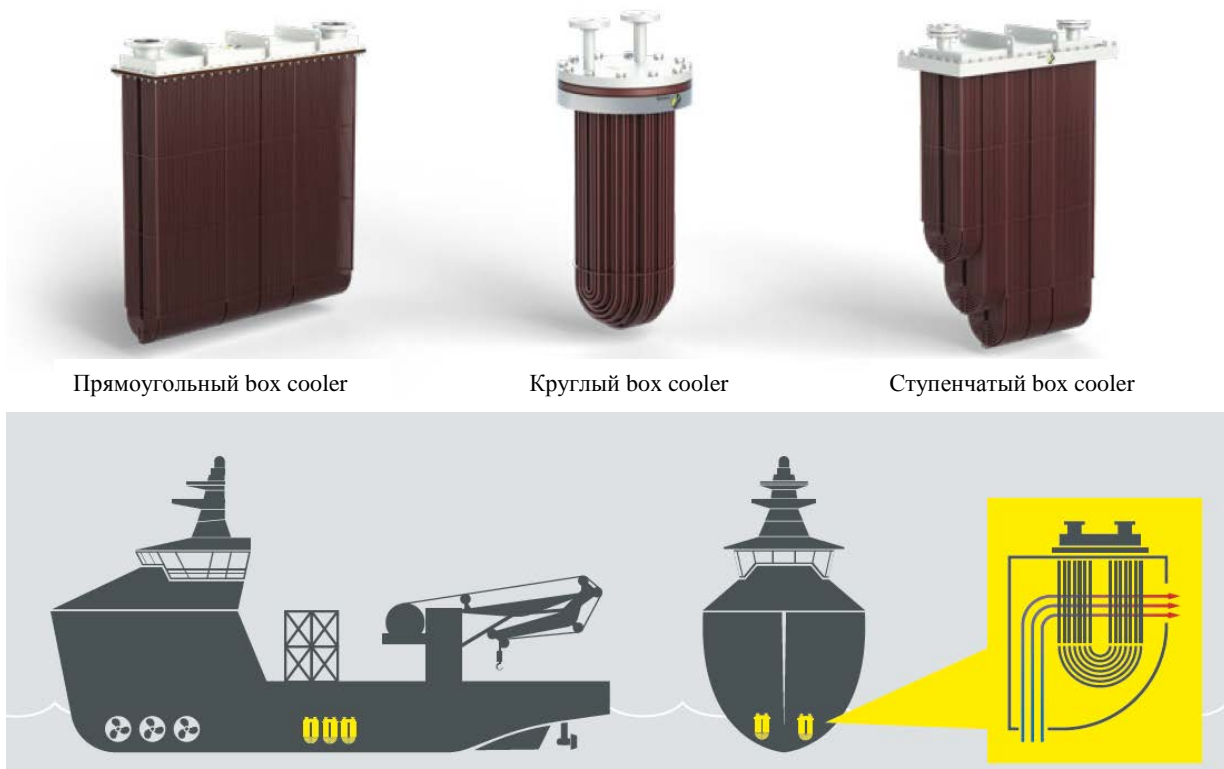


Рис. 2. Погружной теплообменный аппарат (box-cooler) замкнутой системы охлаждения СЭУ, предназначенный для монтажа в кингстонном ящике судна

Однако широкое внедрение в практику замкнутых систем охлаждения энергетических установок сдерживается сравнительно большими массогабаритными характеристиками устройств теплоотвода в забортную воду. Для используемых в таких системах погружных теплообменных аппаратов отсутствуют разработанные способы интенсификации теплоотдачи и соответствующие расчетные методики для наиболее неблагоприятного режима их работы, когда теплоотдача осуществляется в неподвижную относительно судна морскую воду посредством свободной конвекции.

Поэтому для снижения массогабаритных характеристик погружных теплообменных аппаратов и создания тем самым возможностей более широкого внедрения ЗСО в практику необходимо разработать способ интенсификации теплоотдачи забортной воде для случая свободной конвекции.

Для интенсификации теплоотдачи от наружной поверхности box-cooler забортной воде предложен способ, базирующийся на использовании газожидкостных струй [1]. В нижней части теплообменника установлен газовый коллектор, через который осуществляется подвод воздуха в зазоры между теплоотдающими поверхностями (рис. 3).

Горячая пресная вода от энергетической установки, проходя через впускной коллектор 2, подается внутрь каждой теплообменной пластины 1. Двигаясь внутри ее по лабиринтному каналу, пресная вода отдает теплоту забортной воде и поступает в выпускной коллектор 3. Для формирования затопленной газожидкостной струи 5 в нижней части теплообменных пластин устанавливается газовый коллектор 4 с выполненными по длине отверстиями, через которые осуществляется подвод воздуха.

Экспериментально определено, что формирование газожидкостной струи приводит к подосу жидкости из окружающего пространства и ее проталкиванию вдоль поверхностей теплообмена. За счет всплывающих пузырьков газа в зазоре имеет место существенная турбулизация потока, что, как известно, положительно сказывается на коэффициенте теплоотдачи.

Для определения обобщающего уравнения подобия, описывающего процесс интенсификации теплоотдачи газожидкостными струями, были проведены теплотехнические исследования на экспериментальной модели пластинчатого box-cooler. Она представляла собой две вертикальные параллельные пластины с шириной теплоотдающей поверхности 0,5 м и высотой 0,8 м каждая, расположенные с зазором и помещенные в емкость с водой объемом около 17 м³. Установка обеспечивала моделирование условий теплообмена, максимально приближенных к реальным, и позволяла варьировать в широком диапазоне параметры рабочих сред.

Теплотехнические исследования однозначно подтвердили эффективность выбранного метода интенсификации теплоотдачи неподвижной забортной воде. Коэффициент теплоотдачи с использованием газожидкостных струй сопоставлялся с результатами теплоотдачи аналогичного теплообменного аппарата в условиях свободной конвекции. Эффективность метода по сравнению с теплоотдачей при свободной конвекции резко возрастает по мере уменьшения температурного напора между теплоотдающей поверхностью и забортной водой, и при температурных напорах $\bar{t}_c - \bar{t}_3 = 2...3^\circ\text{C}$ увеличение теплоотдачи достигает 15...25 раз.

Однако данный способ интенсификации теплоотдачи имеет свои ограничения. Известно, что теплоотдача воздуху во много раз хуже, чем теплоотдача воде. Закономерно предположить, что увеличение расхода воздуха сначала улучшит теплоотдачу, а впоследствии это может привести к ее уменьшению – кризису теплоотдачи. Очевидно, что существует предельное значение концентрации газа k_r в зазоре между теплоотдающими поверхностями, при котором наступает кризис теплоотдачи. Это происходит вследствие того, что при повышении расхода пузырьки воздуха замещают забортную воду в зазоре между теплоотдающими поверхностями, тем самым, ухудшая теплоотдачу.

Теплотехнические исследования позволили определить, что критическим значением концентрации газа в зазоре между теплообменными поверхностями является $k_r = 6,7\%$ (рис. 4).

Увеличение концентрации газа в зазоре между теплоотдающими поверхностями выше критической нецелесообразно и ведет к резкому уменьшению коэффициента теплоотдачи вследствие вытеснения воздухом жидкости в зазоре. Получена зависимость (1), описывающая явление кризиса и позволяющая рассчитать коэффициент теплоотдачи $\bar{\alpha}_r$ в зависимости от концентрации газовых пузырей в зазоре ПТОА:

$$\bar{\alpha}_r = 1,25 \cdot 10^5 k_r - 0,93 \cdot 10^6 k_r^2. \quad (1)$$

Газожидкостная составляющая коэффициента теплоотдачи, рассчитанная по зависимости (1), достигает максимума при концентрации пузырьков воздуха в зазоре $k_r = 6,7\%$ и равняется $\bar{\alpha}_r \approx 4200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

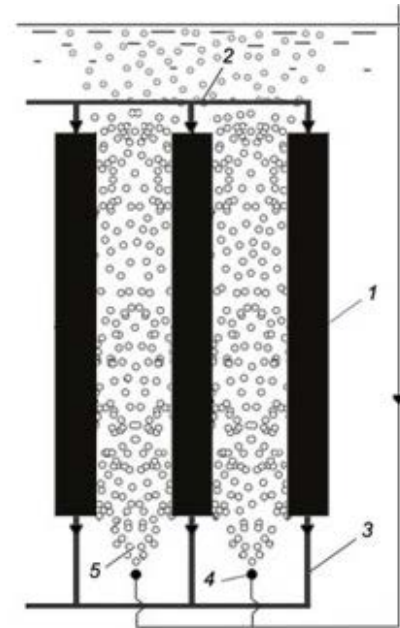


Рис. 3. Box-cooler с газожидкостной интенсификацией теплоотдачи

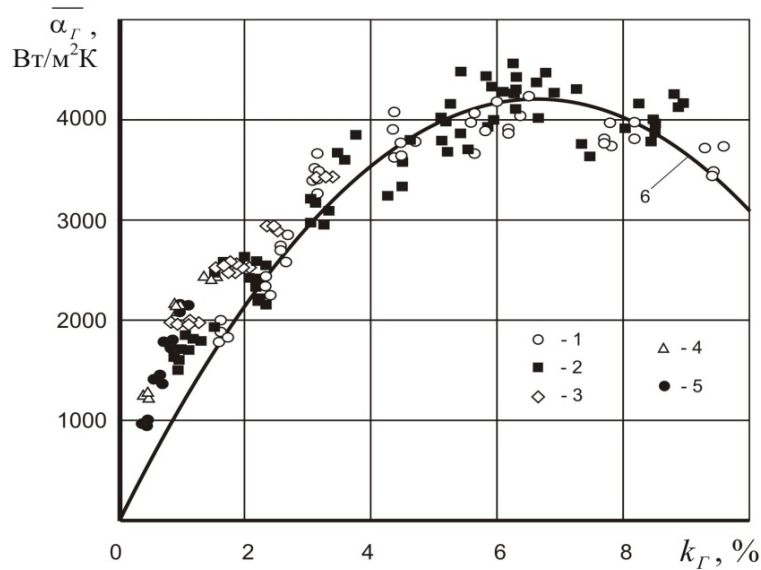


Рис. 4. Зависимость $\bar{\alpha}_r$ от концентрации воздуха k_r в зазоре ПТОА:
 1 – $\delta = 0,02$ м; 2 – $0,03$ м; 3 – $0,04$ м; 4 – $0,1$ м; 5 – $0,16$ м; 6 – зависимость (1)

Коэффициент теплопередачи k неокрашенного и не обросшего пластинчатого box-cooler, в зависимости от удельного расхода воздуха $W_{гЛ}$ и расстояния между теплоотдающими пластинами δ , показан на рис. 5.

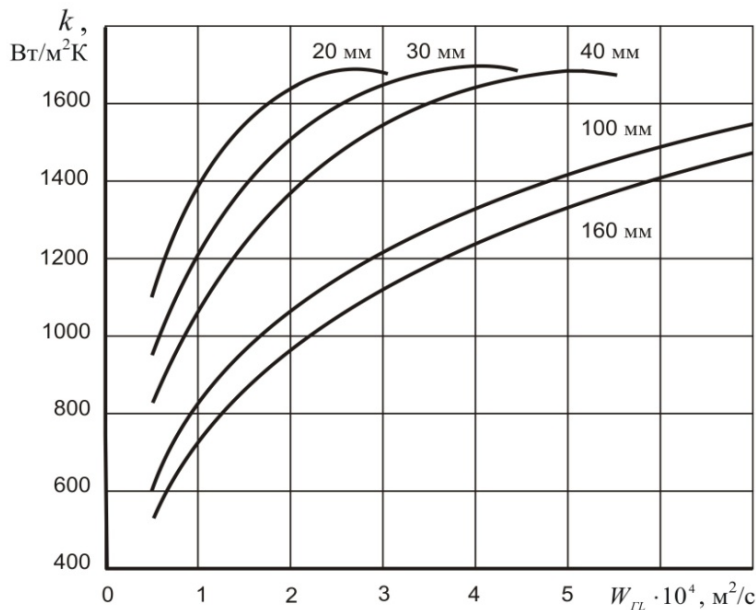


Рис. 5. Зависимость коэффициента теплопередачи k пластинчатого ПТОА от удельного расхода воздуха $W_{гЛ}$ при различных расстояниях между теплоотдающими поверхностями

На эффективность работы погружного теплообменника существенное влияние также оказывает выбор материала для изготовления теплоотдающих поверхностей: углеродистая сталь, алюминиевая бронза, медно-никелевый сплав. Углеродистая сталь дешевле, чем алюминиевая бронза и медно-никелевый сплав, но она обладает низким коэффициентом теплопроводности, что определяет большие площади теплообменника.

Кроме того, в реальных конструкциях, для защиты от обрастания и коррозии теплоотдающие поверхности из углеродистой стали и алюминиевой бронзы необходимо покрывать 2...3 слоями защитной антикоррозионной и противообрастающей краски, в состав которых входят вещества, токсичные для морских организмов (окись меди, окись ртути и др.).

В результате обработки экспериментальных данных по теплоотдаче было получено уравнение подобия, описывающее процесс интенсификации теплоотдачи газожидкостными струями. Искомое уравнение подобия, соответствующее данной обработке, имеет вид:

$$\overline{Nu}_T = 2,2 \cdot Re^{*0,46} \cdot Pr^{0,33} \cdot (\delta/d_n)^{0,69} \cdot (\mu_{ж}/\mu_c)^{0,14}, \quad (2)$$

где Re^* – модифицированное число Рейнольдса. Уравнение (2) справедливо для: $Re^* = 36,8 \dots 629,7$; $Pr = 3 \dots 10$; $\mu_{ж}/\mu_c = 0,62 \dots 2,52$; $\delta/\overline{d}_n = 4 \dots 32$.

Полученное уравнение подобия позволяет рассчитать теплоотдачу поверхности газожидкостной струе в широком диапазоне изменения параметров и на этой основе разработать методику теплотехнического расчета пластинчатого box-cooler. Разработанная методика позволяет определить для конкретной энергетической установки необходимую площадь box-cooler, учитывая обрастание и покраску теплоотдающих поверхностей.

Расчеты показали, что для энергетической установки мощностью $N_e = 500$ кВт площадь такого box-cooler (с учетом покраски и обрастания теплоотдающих поверхностей) будет равна $F = 14$ м². При расстоянии между теплоотдающими пластинами 0,03 м габариты такого аппарата не превысят $1,5 \times 0,8 \times 0,21$ м, расход воздуха через газовый коллектор 3,6 м³/ч.

Выполненный с использованием разработанной методики теплотехнического расчета пластинчатого box-cooler анализ позволил уточнить, что использование газожидкостных струй позволяет существенно (4...6 раз) снизить массогабаритные характеристики устройств теплоотвода ЗСО СЭУ при изготовлении аппарата из материалов, не требующих покраски и не подверженных обрастанию. В противном случае массогабаритные характеристики аппарата уменьшаются в 2,5...3,5 раза.

Для рассматриваемой конструкции box-cooler впервые получено обобщающее уравнение подобия, описывающее процесс интенсификации теплоотдачи посредством газожидкостных струй. Уравнение справедливо в широком диапазоне изменения параметров и обеспечивает возможность разработки достоверной методики теплотехнического расчета таких теплообменных аппаратов.

Таким образом, создание вдоль поверхности теплообмена газожидкостного потока не только существенно увеличивает теплоотдачу при свободной конвекции, но также позволяет уменьшить энергетические затраты на интенсификацию теплообмена и более эффективно использовать теплоотдающие поверхности погружного теплообменного аппарата по сравнению со случаем вынужденного течения потока однородной жидкости. При обеспечении в погружном теплообменнике оптимального расхода воздуха использование данного способа интенсификации теплоотдачи является достаточно перспективным с точки зрения улучшения массогабаритных и энергетических характеристик теплообменного оборудования, что способствует практическому внедрению замкнутых систем охлаждения судовых энергетических установок.

Переход на замкнутые системы охлаждения с box-cooler возможен и целесообразен для различных типов судов и морских технических средств. Приведенные здесь примеры убедительно это подтверждают.

Литература

1. *Владецкий Д.О.* Тепловая эффективность процесса газожидкостной интенсификации теплоотдачи в погружном теплообменнике // Вестник СевГТУ. Механика, энергетика, экология. – Севастополь, 2009. – Вып. 97 – С. 94–97.
2. *Аэрационные системы эконополимер.* – М.: Группа компаний эконополимер, 2006 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ecopolymer.com/product/>
3. *Владецкий Д.О., Владецкий Д.О.* Визуальные исследования процесса интенсификации теплоотдачи путем формирования вдоль теплообменной поверхности газожидкостной струи // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: Научно-технический журнал. – Орел, 2017. – № 4-1(324). – С. 91–96.

УДК 621.431.74:629.5

М.С. Дрозд

*Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
Владивосток, 690003*

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ВЫСОКОФОРСИРОВАННЫХ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В определении составляющих теплового баланса судовых ДВС существенное место занимают энергетические превращения, определяемые первым и вторым законами термодинамики. Однако традиционные методы определения энергетических балансов имеют существенные недостатки: они не учитывают качественных различий энергоресурсов и особенностей процессов функционирования, обусловленных их необратимостью, а также не учитывают внешние потери. Преодолеть эти недостатки можно путем применения эксергетического подхода к анализу термодинамических процессов.

Ключевые слова: эксергетический баланс, термодинамический анализ, среднеоборотный двигатель, вторичные энергоресурсы, тепловые потери.

M.S. Drozd

*Marine State University named after G.I. Nevelskoy,
Vladivostok, 690003*

EXCERGE BALANCE OF MARINE HIGH POWERED MEDIUM SPEED ENGINES

The energy transformations determined by the first and the second laws of thermodynamics play an important role in determining the components of the marine ICE thermal balance. However, the traditional methods for determining energy balances have significant disadvantages: they do not take into account the qualitative differences in energy resources and the functioning processes features caused by their irreversibility, and they also do not take into account external losses. These shortcomings can be overcome by applying an exergic approach to the thermodynamic processes analysis.

Key words: exergic balance, thermodynamic analysis, medium speed engine, secondary energy resources, heat losses.

Энергетическая эффективность тепловых двигателей характеризуется соотношением получаемой работы и затраченной на ее получение тепловой энергии. В существующей на сегодняшний день практике по оценке эффективности двигателей внутреннего сгорания в основном применяется энергетический метод, заключающийся в определении тепловых потерь, сопровождающих работу двигателя, и энергетического КПД.

При этом для определения составляющих теплового баланса используется экспериментальное исследование при помощи современных измерительных приборов (теплорасходомера, анемометра, пирометра и др.), способных работать в условиях повышенных вибраций и температур теплоносителей.

Основной целью такого рода исследований является поиск путей повышения энергетической эффективности и снижения затрат энергии на единицу перевозимой продукции, переданной теплоты и полученной полезной работы и т. д., а также в соответствии с требованиями Федерального закона № 261-ФЗ от 23.11.2009 г.

Вместе с тем проведение таких исследований зачастую невозможно по причине их сложности и дороговизны.

Однако ценность энергии, в частности тепловой, определяется не только количеством, но и тем, в какой мере она может быть преобразована в работу.

В процессе развития теории тепловых машин и методов их исследования произошло разделение понятия «энергия», в качестве целого, единого, на «свободную энергию», преобразуемую в работу, и «связанную энергию», которая ни при каких идеальных условиях не превращается в работу. В связи с чем на рубеже XIX–XX веков словацким ученым А. Стодолом было введено понятие «техническая работоспособность», или «максимальная техническая работа», которое впоследствии получило название «эксергия».

Таким образом, под *эксергией* следует понимать ту часть энергии, которую максимально можно преобразовать в работу при достижении равновесия с окружающей средой (техническая работоспособность). Остальной части энергии, не способной к преобразованию в работу, было дано название «анергия» [1].

Из второго начала термодинамики следует, что во всех необратимых процессах эксергия уменьшается, превращаясь в анергию, а в обратимых процессах она остается неизменной. В этой связи эксергия, характеризующая запас работоспособности системы, по мере необратимости реальных процессов всегда будет расходоваться, что качественно ее отличает от энергии, которая согласно первому началу термодинамики переходит из одной формы в другую (сохраняется).

Такое качественное различие в подходах к оценке и анализу энергетического потенциала вторичных энергоресурсов дает возможность наиболее объективно отразить действительную эффективность рабочих процессов и найти новые, совершенные способы глубокой утилизации вторичных энергоресурсов с точки зрения их эффективности.

Поскольку из тепловых двигателей выходят потоки энергии разного качества, то их корректное сравнение и оптимизация возможны при сведении всех потоков к одному масштабу, что достаточно строго выполняется при составлении эксергетического баланса и введении такого понятия, как *эксергетический КПД* установки.

При этом следует учитывать, что эксергетический баланс позволяет учесть потери лишь при необратимости процессов, которые не всегда являются основными. Так, при сравнении циклов реальных тепловых машин с циклом Карно, эксергетический КПД всех их будет равен 100%, что бессмысленно при использовании теплоты для технологических нужд.

Как было отмечено ранее, энергетический тепловой баланс не учитывает энергетическую неравноценность теплоты и работы, и вследствие этого не позволяет обнаружить основные очаги необратимости. Эксергетический баланс лишен этих недостатков.

Фактически эксергетический баланс дополняет энергетический и указывает место наибольшей необратимости процесса, разделяя при этом потери теплоты, которые следует рассматривать как вторичные энергоресурсы (ВЭР) по их качественной характеристике – способности преобразования в работу.

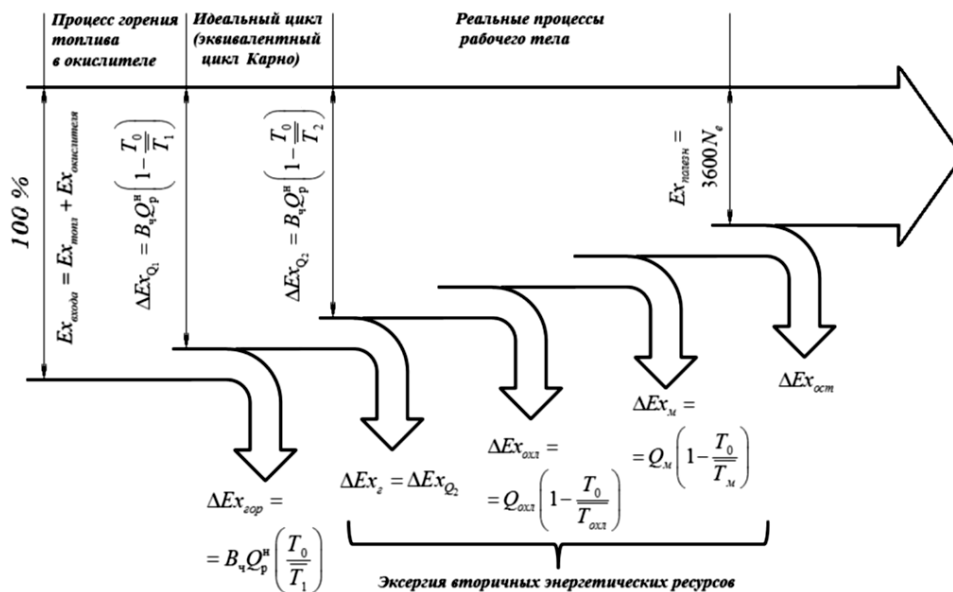


Рис. 1. Эксергетический баланс теплового двигателя

Функционирование СЭУ в той или иной степени обусловлено обменом энергией с окружающей средой. При передаче от одного тела к другому и к среде энергии в форме теплового потока вместе с ним сообщается и определенное количество эксергии. Если приемником теплоты служит окружающая среда с абсолютной температурой $T_0 = 300$ К, удельная эксергия теплового потока, имеющего температуру T_1 , составляет:

$$Ex = B_4 Q_p^n \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right). \quad (1)$$

Величина $\left(1 - \frac{T_o}{T_1}\right)$ называется эксергетической температурой. При $T_1 < T_o$ направления потоков противоположны: тепловой движется от окружающей среды (отрицательный), эксергетический – всегда к среде (положительный).

Теоретические основы эксергетического анализа изложены в работе [2], а их применение к дизельным двигателям и установкам в работе [3]. С учетом рекомендаций основных положений, формул и рекомендаций названных работ эксергетический баланс СОД можно записать в следующем виде:

$$Ex_{вх} = Ex_{полезн} + \Delta Ex_{гор} + \Delta Ex_{газ} + \Delta Ex_{охл} + \Delta Ex_{мас} + \Delta Ex_{над. возд} + \Delta Ex_{ост}, \quad (2)$$

где $Ex_{вх} = \Delta Ex_{топл} + \Delta Ex_{окисл}$ – входная (начальная) эксергия, определяемая как сумма эксергий топлива и окислителя; $\Delta Ex_{гор}$, $\Delta Ex_{газ}$, $\Delta Ex_{охл}$, $\Delta Ex_{мас}$, $\Delta Ex_{над. возд}$, $\Delta Ex_{ост}$ – соответственно потери эксергии в процессе горения, с отработавшими газами, в системах охлаждения, смазках и наддувочного воздуха, остаточные потери; $\Delta Ex_{пол}$ – полезная эксергия.

При приближенных (инженерных) расчетах эксергию окислителя можно принимать равной нулю ($\Delta Ex_{окисл} = 0$), а эксергию топлива – равной его низшей теплоте сгорания ($\Delta Ex_{топл} = Q_p^h$) [4].

При работе за 1 ч эксергетический баланс $B_q Q_p^h$, Дж/ч, будет иметь следующий вид:

$$B_q Q_p^h = 3600 N_e + \Delta Ex_{газ} + \Delta Ex_{охл} + \Delta Ex_{мас} + \Delta Ex_{над. возд} + \Delta Ex_{ост}. \quad (3)$$

Потери эксергии при необратимости процесса можно вычислить по формуле

$$\Delta Ex_{гор} = \left[B_q Q_p^h - B_q Q_p^h \left(1 - \frac{T_o}{T_1}\right) \right] = B_q Q_p^h \frac{T_o}{T_1}, \quad (4)$$

где B_q – часовой расход топлива, кг/ч; \bar{T}_1 – средняя термодинамическая температура подвода теплоты, К.

Потеря теплоты с отработавшими газами определяется как

$$Ex_{газ} = B_q Q_p^h q_{газ} \left(1 - \frac{T_o}{T_{газ ср}}\right) = G_{газ} c_{p газ} (T_{газ ср} - T_o) \left(1 - \frac{T_o}{T_{газ ср}}\right), \quad (5)$$

$$Ex_{над. возд} = B_q Q_p^h q_{над. возд} \left(1 - \frac{T_o}{T_{над. возд ср}}\right), \quad (6)$$

$$Ex_{охл} = B_q Q_p^h q_{охл} \left(1 - \frac{T_o}{T_{охл ср}}\right), \quad (7)$$

$$Ex_{мас} = B_q Q_p^h q_{мас} \left(1 - \frac{T_o}{T_{мас ср}}\right), \quad (8)$$

где $q_{газ}$, $q_{над. возд}$, $q_{охл}$, $q_{мас}$ – доли теплоты энергетического баланса, теряемые с отработавшими газами, системах наддувочного воздуха, охлаждения и смазки;

$T_{газ ср}$, $T_{над. возд ср}$, $T_{охл ср}$, $T_{мас ср}$ – абсолютные средние температуры отработавших газов, теплоносителей в системах наддувочного воздуха, охлаждения и смазки, К.

Эксергетический баланс в подобных соотношениях выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} B_q Q_p^h = & 3600 N_e + B_q Q_p^h \left(1 - \frac{T_o}{T_1}\right) + B_q Q_p^h q_{газ} \left(1 - \frac{T_o}{T_{газ ср}}\right) + B_q Q_p^h q_{над. возд} \left(1 - \frac{T_o}{T_{над. возд ср}}\right) + \\ & + B_q Q_p^h q_{охл} \left(1 - \frac{T_o}{T_{охл ср}}\right) + B_q Q_p^h q_{мас} \left(1 - \frac{T_o}{T_{мас ср}}\right) + \Delta Ex_{ост}. \end{aligned} \quad (9)$$

В относительных величинах эксергетический баланс имеет следующий вид:

$$1 = \eta_e + \delta_{ex. гор} + \delta_{ex. газ} + \delta_{ex. охл} + \delta_{ex. над. возд} + \delta_{ex. мас} + \delta_{ex. ост}, \quad (10)$$

где $\eta_{ex} = \frac{3600N_e}{B_n Q_p} = \eta_e$ – эксергетический КПД двигателя;

$\delta_{ex. гор} = \frac{T_o}{T_1}$ – относительная доля потерь эксергии от необратимости процесса горения топли-

ва; $\delta_{ex. газ}$, $\delta_{ex. над. вод}$, $\delta_{ex. охл}$, $\delta_{ex. мас}$ – относительные величины (доли) потерь эксергии от необратимости протекания процессов с рабочим телом, следствием чего являются потери теплоты с выпускными газами, наддувочным воздухом в системах охлаждения и смазки, которые могут быть использованы как ВЭР.

Анализ эксергетических потерь высокофорсированных СОД показывает, что энергия отработавших газов, несмотря на снижение температурного потенциала, осталась наиболее пригодной для получения дополнительных видов энергии (электрической и тепловой), которую можно использовать для судовых и технологических нужд.

В таких условиях известные (традиционные) принципы и системы утилизации теплоты стали малоэффективными.

Расчетные данные эксергетических балансов высокофорсированных СОД

Обозначение двигателей		Составляющие эксергетического баланса, %					
Фирма-изготовитель	Фирменное название	$Ex_{пол}$	$Ex_{газ}$	$Ex_{онв}$	$Ex_{охл}$	$Ex_{мас}$	$Ex_{внутр. двиг}$
Wärtsilä (Финляндия)	VASA 64	51,5÷52	5,91÷6,12	2,98÷3,08	0,86÷0,91	0,2÷0,22	37,67÷38,55
	VASA 46	47,4÷51	6,65÷6,86	2,74÷2,91	0,7÷0,92	0,19÷0,21	38,1÷42,32
	VASA 32	47÷49,4	6,54÷6,92	2,84÷2,92	1÷1,05	0,19÷0,22	39,49÷42,43
	VASA 22	49	6,50	2,93	0,9	0,19	40,48
	VASA SW38	47,5÷50	7,10÷7,44	2,65÷2,73	0,69÷0,76	0,19÷0,21	38,86÷41,87
	VASA SW28	48,3	6,46	3,03	0,93	0,23	41,05
MAN-B&W Diesel AG (Германия)	W26X	48	6,16	3,23	1,04	0,22	41,35
	L58/64	49,6	6,38	3,40	0,51	0,21	39,9
	L51/60	48,7	6,49	3,59	0,69	0,14	40,39
	L/V 48/60	49÷50	5,81÷6	3,04÷3,1	0,95÷1,27	0,2÷0,21	39,42÷41
	L/V (L)	47÷50	5,98÷6,16	2,31÷2,43	1,43÷1,7	0,17÷0,2	39,51÷43,11
	L/V 52/55	48÷51	5,65÷6,2	2,71÷2,94	1,06÷1,15	0,18÷0,21	38,5÷42,4
	L32/44	50	5,12	3,96	0,83	0,17	39,92
	L/V 32/40	48÷49	6,54÷7,05	2,25÷2,85	1,12÷1,15	0,2÷0,22	39,73÷41,89
	L/V 28/32	49,5÷50	7,13÷7,47	1,52÷1,92	1,37÷1,4	0,16÷0,18	39,03÷40,32
	V28/33	50	6,84	3,12	0,74	0,09	39,21
	L/V 40/45	50÷52,7	5,80÷6,28	2,38÷2,55	1,16÷1,37	0,18÷0,19	36,91÷40,48
L/V 32/36	47÷48	6,44÷6,63	2,30÷2,9	1,31÷1,54	0,2÷0,21	40,72÷42,75	
SEMT-Pielstick (Франция)	L 27/38	47	6,89	2,78	1,17	0,21	41,95
	L/V 25/30	48	7,02	2,59	1,18	0,16	41,05
	PC4	46÷51	6,59÷7,16	3,48÷3,78	1,17÷1,53	0,19÷0,22	36,31÷42,57
	PC3	44	6,68	3,04	1,37	0,17	44,74
	PC2	41÷50	5,76÷6,99	2,77÷2,96	1,27÷1,84	0,14÷0,21	38÷49,06
	PC40L	53	5,94	2,04	1,1	0,21	37,71
	PC30L	52	6,35	2,18	1,1	0,19	38,18
	PC20L	49	6,52	2,20	1,41	0,19	40,68
MaK- Caterpillar Motoren (Германия)	PA6	44÷48	7,02÷7,45	2,44÷2,52	1,23÷1,55	0,18÷0,19	40,29÷45,13
	PA5	46	7,18	2,52	1,4	0,16	42,74
	M32	48÷51	4,77÷4,85	3,94÷4,01	1,18÷1,3	0,21÷0,22	38,62÷41,9
	M35	47	6,54	2,79	1,34	0,18	42,15
	M43	46	5,46	3,74	1,19	0,21	43,4
	M61	50	6,03	2,29	1,33	0,19	40,16
	M453C	47	6,52	2,63	1,43	0,18	42,24
	M552	44÷47	6,30÷6,62	2,82÷3,15	1,36÷1,59	0,19÷0,2	41,44÷45,33
3600	M601C	44	6,78	2,32	1,57	0,21	45,12
	3600	48÷50	5,63÷7,18	3,09÷3,08	1,17÷1,2	0,21	38,32÷42,12

Объективность получаемых при таком анализе данных обусловлена, прежде всего, тем, что они основаны на расчете минимально необходимых материальных и энергетических затрат на реализацию исследуемых систем утилизации вторичных энергоресурсов.

Поскольку применение сернистых топлив значительно сократило возможности традиционных систем утилизации вторичных энергоресурсов, а на выходе из двигателя образовались потоки энергии разного качества, то корректное сравнение и оптимизация данных возможны при совместном энергетическом и теплофикационном использовании в комплексных системах утилизации.

Дальнейшая научная задача заключается в определении и выборе наилучшего варианта энергосберегающей системы на основе их оценки эффективности по термодинамическим критериям (эффективный КПД, коэффициент использования теплоты, КПД гребной установки и эксергетический КПД), а также массовым и технико-экономическим показателям.

Кроме всего, в статье представлен эксергетический метод термодинамического анализа оценивания технического состояния современных СОД, основанный на определении степени их термодинамического совершенства, посредством нахождения эксергетического КПД установки. Он отличается тем, что позволяет учесть качественные различия энергоресурсов и особенности процессов функционирования, обусловленных их необратимостью, а также внешние потери. Также особенностью метода является учет нестационарной составляющей протекающих в двигателях процессов, что повышает точность определения тепловых потерь по сравнению с другими известными методами (термодинамических методов) на 15–20%. Преимуществом метода является возможность его реализации на месте эксплуатации за счет использования данных измерений штатных систем контроля, протекающих в двигателе процессов.

Литература

1. 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.
2. Бродянский В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа. – М.: Энергия, 1973. – 388 с.
3. Захаров Ю.В., Шостак В.П., Горовенко Н.Д. Эксергетический анализ и баланс судовых энергетических установок с ДВС // Труды НКИ. –1970. – Вып. 37. – С. 3–12.
4. Алексеев Г.Н. Энергоэнтропика. – М.: Знание, 1983. – 192 с.

УДК 621.791:629.5.083.5

В.Ф. Игушев, В.И. Веревкин, И.В. Безсмолова, Е.М. Зеброва

*Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота,
Калининград, 236035
e-mail: igushev_tmm@bga.gazinter.net*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФЛЮСОВ ПРИ СВАРКЕ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ

Рассмотрены технологические аспекты использования различных флюсов при автоматической сварке судостроительных сталей. Показано, что при сварке под смесью флюсов окислительного АН-348А и слабоокислительного АН-67Б уменьшается содержание кислорода в сварных швах и соответственно снижается загрязненность сварных швов неметаллическими включениями. При этом увеличиваются механические свойства и повышается коррозионная стойкость сварных соединений.

Ключевые слова: автоматическая дуговая сварка, сварочный флюс, неметаллические включения, механические свойства, коррозионная стойкость.

V.F. Igushev, V.I. Verevkin, I.V. Bezsmolova, E.M. Zybrowa

*Baltic State Academy of Fisheries Fleet,
Kaliningrad, 236035
e-mail: igushev_tmm@bga.gazinter.net*

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF VARIOUS FLUXES USE AT SHIPBUILDING STEEL WELDING

Technological aspects of various fluxes use in automatic welding of shipbuilding steels are considered. It is shown that the content of oxygen in welds decreases when flux mixture of oxidizing AN-348A and weakly oxidizing AN-67B is used in welding. Accordingly, the contamination of welds with nonmetallic inclusions decreases. Here-with the mechanical properties and the corrosion resistance of welds increase.

Key words: automatic arc welding, welding flux, non-metallic inclusions, mechanical properties, corrosion resistance.

Морские суда работают в тяжелых условиях. Для строительства судов применяются в основном низколегированные стали, к которым предъявляются повышенные требования по пределу текучести и механической прочности. Сварные соединения на судах должны быть равнопрочными с основным металлом и стойкими к электрохимической коррозии.

В табл. 1 приведены составы некоторых судостроительных сталей, составы которых были взяты из сертификатов качества судостроительного завода «Янтарь».

Таблица 1

Химический состав судостроительных сталей

№ п/п	Марка стали	Химический состав стали, %									
		Si	Cr	Ni	Cu	Mn	C	Mo	Ti	Al	V
1	D40S	0,95	0,89	0,52	0,43	0,79	0,14	-	0,07	0,03	0,04
3	E36	0,21	0,04	0,03	0,06	0,98	0,09	0,02	0,03	0,34	0,22
4	E32	0,20	0,03	0,03	0,02	1,21	0,15	<0,01	<0,05	0,33	<0,05
5	A36	0,24	0,04	0,02	0,04	0,91	0,09	0,02	0,03	0,29	0,26

Анализ составов судостроительных сталей показывает, что в судостроении применяются в основном кремнемарганцовистые низколегированные стали. Эти стали обладают удовлетворительной свариваемостью, достаточно большим пределом текучести, малой склонностью к хрупкому разрушению, что обеспечивает надежную работу сварных конструкций в течение длительного времени. Указанные преимущества, а также высокая стойкость к переменным циклическим

нагрузкам способствуют тому, что стали этого класса находят все большее применение для изготовления сварных конструкций в судостроении.

Для выполнения требования равнопрочности сварного шва с основным металлом необходимо подобрать соответствующие сварочные материалы и разработать технологию сварки. Следует обратить внимание, что в судостроении стали выбираются по пределу текучести в отличие от машиностроения, где основной характеристикой является предел прочности металла на разрыв.

Остановимся более подробно на стали D40S, которая имеет наиболее высокие механические свойства, в частности предел текучести $\sigma_T \geq 390$ МПа и применяется для изготовления борта судна.

Сталь D40S в условиях поставки имеет ферритно-перлитную структуру, хорошо сваривается и в процессе автоматической дуговой сварки под флюсом, как правило, не закаливается и имеет ферритно-перлитную структуру в зоне термического влияния. Марганец в низкоуглеродистых низколегированных сталях перлитного класса в пределах 0,8–1,2% при пониженном содержании углерода дает повышение содержания предела текучести до 390 МПа [1], что очень важно для судостроительных сталей. Содержание кремния в этих сталях ограничивается 0,9%, причиной этого является низкая ударная вязкость кремнийсодержащих сталей и низкая коррозионная стойкость с повышением содержания кремния [2, 3]. Никель в стали D40S положительно влияет на пластичность и повышает коррозионную стойкость судостроительной стали.

При автоматической дуговой сварке под флюсом низколегированных кремнемарганцовистых сталей часто используется низколегированная проволока Св-08ГА, с пониженным содержанием углерода и повышенным содержанием марганца, что положительно сказывается на пластичности металла сварного шва.

Механические свойства и коррозионная стойкость металла шва зависят не только от состава металла, но и от содержания газов и неметаллических включений в шве. При автоматической дуговой сварке под флюсом основным поставщиком кислорода и неметаллических включений в сварной шов является флюс [4, 5].

Рассмотрим более подробно выбор флюса и влияние его на свойства металла шва. В судостроении в основном применяются плавленые флюсы, которые состоят из окислов различных металлов. Эти флюсы за счет окислительно-восстановительных процессов способствуют легированию металла, раскислению, рафинированию металла шва и удалению водорода из металла. За счет вышеперечисленных процессов происходит увеличение кислорода и неметаллических включений в швах. Это связано с краткосрочностью процесса сварки, и неметаллические включения не успевают удаляться из металла шва в процессе кристаллизации.

Флюсы, предназначенные для сварки низколегированных сталей, должны обеспечивать легкую отделимость шлаковой корки, высокое качество формирования шва и высокие механические свойства. Для выполнения этих требований во флюсе обычно снижают содержание окислов кремния. Поэтому при сварке низколегированных сталей желательно применять низкокремнистые флюсы.

Флюсы с пониженным содержанием окислов кремния и марганца широко применяются для сварки средне- и высоколегированных сталей, содержат окислы алюминия и фтористые соединения для удаления водорода из металла. Эти флюсы образуют шлаковую корку, плохо удаляемую с поверхности металла.

Если в зоне сварки созданы окислительные условия, в ней происходят другие процессы, а именно: снижаются концентрации растворенных в жидком металле водорода и углерода, что повышает стойкость швов против образования пор и трещин, обеспечивается более благоприятное распределение серы и фосфора между металлом и сварочным шлаком. Флюсы с повышенным содержанием окислов кремния и марганца в процессе сварки дополнительно легируют сварной шов кремнием и марганцем, образуют шлаковую корку, легко отделяемую от поверхности металла.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод: большинство сварочных флюсов, предназначенных для сварки низколегированных сталей, должны иметь окислительный характер. Но иногда для сварки низколегированных сталей применяют низкокремнистые слабоокислительные флюсы, к которым относятся такие, как АН-47 и АН-65, АН-67Б [4, 5]. В этих флюсах окислы кремния заменены на окислы алюминия. Однако в отношении качества формирования швов их стойкости против образования пор и некоторых других характеристик низкокремнистые слабоокислительные флюсы уступают высококремнистым. В связи с этим в последнее время по-

лучили существенное развитие исследования, направленные на снижение вредного влияния большого содержания окислов кремния во флюсе на свойства металла шва.

Для решения задачи сочетания хороших сварочных-технологических свойств флюса с высокими механическими свойствами сварного соединения и повышенной коррозионной стойкостью сварного соединения в работе была предпринята попытка уменьшить содержание неметаллических включений в сварных швах.

Кислород в металл шва при автоматической сварке под флюсом попадает за счет кремний-восстановительного процесса при сварке под окислительными флюсами. Снизить интенсивность протекания кремнийвосстановительного процесса при сварке стали под флюсом с достаточно высоким содержанием SiO_2 можно несколькими путями [4, 5]: снижением термодинамической активности SiO_2 путем введения в состав флюса большого количества CaO , введением во флюс окислов железа, тормозящих протекание кремнийвосстановительного процесса, применением сварочной проволоки с большим содержанием кремния. При этом снижается содержание неметаллических включений в швах. Анализ полученных данных говорит о возможном создании плавных флюсов с относительно высоким содержанием кремнезема, обладающих высокими сварочными-технологическими свойствами и дающих возможность получить сварные швы с низким содержанием неметаллических включений.

Исследования показывают, что оптимальное содержание кислорода в металле шва составляет 0,02–0,035%, что в переводе на неметаллические включения будет составлять примерно 0,045–0,065%. Учитывая вышеизложенное, в работе были проведены исследования и оценена возможность использования известных флюсов и их смесей со сварочной проволокой Св-08ГА, которая широко используется для сварки судостроительных сталей. Сварочная проволока содержит: $\text{C} \leq 0,1\%$, $\text{Si} \leq 0,06\%$, $\text{Mn} - 0,8-1,1\%$, $\text{Ni} \leq 0,25\%$, $\text{Cr} \leq 0,1\%$.

Для сварки низколегированных сталей широко применяются окислительные флюсы марок АН-348А, АН-67Б, АН-60 и АН-47 (ГОСТ 9087-81, ГОСТ Р 52222-2004) [4, 5]. Химический состав флюсов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав флюсов

Марка флюса	Содержание основных компонентов, %									
	SiO_2	MnO	MgO	CaO	CaF_2	$\text{TiO}_2 + \text{ZrO}_2$	Al_2O_3	Fe_2O_3	S	P
АН-348А	41–44	34–38	5–7,5	$\leq 6,5$	4–5,5	–	$\leq 4,5$	≤ 2	$\leq 0,15$	$\leq 0,12$
АН-67Б	15,5	15,7	–	7,0	14,0	5,5	38,5	0,5	$\leq 0,09$	$\leq 0,1$
АН-60	42,5–46,5	37–41	0,5–3	3–11	5–8	–	≤ 5	$\leq 0,9$	$\leq 0,09$	$\leq 0,1$
АН-47	28–32	14–18	6,5–10,5	13–17	9–13	6–8	9–13	≤ 2	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$

При разработке технологии сварки были изучены возможность использования вышеперечисленных флюсов для сварки образцов судостроительной стали D40S, их влияние на свойства металла шва и содержание неметаллических включений.

В первой серии опытов определяли влияние флюса на формирование шва, форму шва и содержание неметаллических включений в сварных швах.

Образцы из стали D40S собирали без зазора и без разделки кромок, сваривали автоматическим способом проволокой Св-08ГА под флюсами АН-348А, АН-67Б, АН-60, АН-47. Исследование данных образцов показало, формирование швов при сварке под флюсами АН-348А, АН-60 хорошее, с плавным переходом к основному металлу. Образец, сваренный под флюсами АН-67Б и АН-47, имел неудовлетворительное формирование, что связано с пониженным содержанием окислов кремния во флюсе. Швы, полученные при сварке под пемзовидным флюсом АН-67Б, имели несколько меньшее проплавление по сравнению со швом, полученным при сварке под стекловидным флюсом АН-348А. Наибольшее количество неметаллических включений было в швах, сваренных под флюсами АН-348А и АН-60.

Для дальнейших исследований были выбраны флюсы марок АН-348А и АН-67Б. В качестве основного был выбран стекловидный флюс АН-348А. Он широко применяется для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. При сварке под этим флюсом формирование шва хорошее, склонность металла шва к образованию пор и трещин низкая [4, 5]. Данный флюс имеет следующие недостатки: в связи с повышенным содержанием окислов кремния и марганца при сварке под этим флюсом интенсивно протекают кремне- и марганцевосстановительные процессы, что приводит к повышенному содержанию кислорода в швах до 0,06% (для однопроходных).

Наличие в металле шва повышенного количества кислорода приводит к образованию неметаллических включений и снижению коррозионной стойкости, механических свойств.

Для снижения кремне- и марганцевосстановительных процессов при сварке под флюсом в настоящей работе сварка образцов из низколегированной стали D40S проводилась проволокой Св-08ГА под смесью флюсов. В качестве второго компонента для флюса АН-348А использовался флюс АН-67Б.

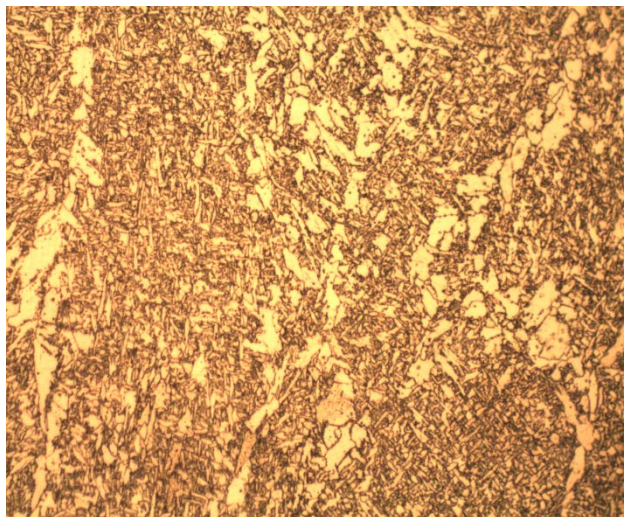
Флюс АН-67Б пемзовидный имеет пониженное содержание окислов кремния и марганца. При сварке под этим флюсом шов получается широким с небольшим проплавлением. Кремне- и марганцевосстановительные процессы протекают слабо, в шве малое содержание кислорода и неметаллических включений. Этот флюс рекомендуется применять в тех случаях, когда требуется высокая ударная вязкость металла шва при низких температурах. Применение его ограничено из-за неудовлетворительного формирования шва.

Образцы из стали D40S, толщиной 16 мм собирали без зазора и без разделки кромок, сваривали автоматическим способом проволокой Св-08ГА под флюсом АН-348А и смесью флюсов АН-348А и АН-67Б.

Микроструктуру изучали на поперечном шлифе, после травления металла в 4%-ном спиртовом растворе азотной кислоты. Исследование проводилось с помощью металлографического микроскопа при различных увеличениях.

Структура основного металла состоит из мелких зерен феррита и пластинчатого перлита (балл зерна по ГОСТ 5639-82 не менее 10). Загрязненность неметаллическими включениями не более 1 балла по шкале (ГОСТ 1778-70).

Эксперименты показали, что оптимальной композицией сварочных материалов при сварке стыковых швов является проволока Св-08ГА под смесью флюсов АН-348А и АН-67Б при соотношении 1 : 1. При сварке данной проволокой металл шва имеет высокие механические свойства без структур закалки. Добавка флюса АН-67Б снижает скорость протекания окислительно-восстановительных процессов, способствует уменьшению кислорода в шве и позволяет повысить ударную вязкость металла шва. Структура металла шва ферритно-перлитная представлена на рисунке.



Микроструктура сварного шва, выполненного проволокой Св-08ГА, $\times 500$

Концентрация общего кислорода в металле шва составила 0,053% в образцах, полученных при сварке под флюсом АН-348А, при этом 0,043% кислорода было связано в силикатах и 0,010% кислорода в алюминатах.

Для сравнения были взяты образцы металла шва, полученного при сварке под смесью флюсов АН-348А + АН-67Б в соотношении 1 : 1. При таком соотношении флюсов в смеси получалось лучшее формирование сварных швов. Содержание общего кислорода составило 0,035%, из которого 0,021% связано в силикатах, и 0,014% связано в алюминаты. Наряду с уменьшением общего содержания кислорода в металле произошло его перераспределение. Количество кислорода в силикатных включениях уменьшилось при одновременном небольшом увеличении кислорода в алюминатах. Оксиды алюминия, по-видимому, перешли из флюса АН-67Б в металл,

они имеют меньший размер по сравнению с силикатами, равномерно распределены по металлу и оказывают меньшее влияние на механические свойства металла шва.

При рассмотренной схеме сварки стыковых швов образцов получаемый шов состоит в основном из металла, полученного переплавлением основного металла D40S и электродного металла Св-08ГА. Механические свойства сварных соединений и швов определяли при температуре 20°C. Для проведения механических испытаний изготавливали стандартные образцы (ГОСТ 6996-66). Механические свойства сварного шва превышали требуемые (табл. 3).

Таблица 3

Механические свойства металла шва, выполненного под разными флюсами

Объект	Механические свойства	
	Временное сопротивление разрыву, МПа	Предел текучести, МПа
Сварной шов; сварка под флюсом	535	396
	530 – 543	390 – 410
АН-348А	545	413
	536 – 552	405 – 420
АН-348А+АН-67Б в соотношении 1 : 1		

Примечание. В числителе приведены средние значения механических свойств, полученные по результатам шести испытаний, в знаменателе – минимальные и максимальные.

В работе определили склонность металла шва к коррозии косвенным методом, предложенным в работе [3]. Как показали более ранние исследования, электрический потенциал стали в большей степени зависит от состава металла. Содержание кремния в сталях оказывает наибольшее влияние на электрический потенциал стали [2, 3]. В данной работе сварные швы, полученные при сварке под флюсом разного состава, имели примерно одинаковый химический состав, имелась разница только по содержанию неметаллических включений. Основным металлом D40Sc содержанием кремния 0,90–0,95% при разности температур $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ между внутренней и внешней обшивкой судна имел разность потенциалов 20–22 мкВ. Сварные швы, полученные сваркой проволокой Св-08ГА под флюсами АН-348А и смесью флюсов АН-348А+АН-67Б, имели содержание кремния 0,70–0,75%. Разница потенциалов между сварным швом и основным металлом составляла 15 мкВ при сварке под флюсом АН-348А и 12 мкВ соответственно при сварке под смесью флюсов АН-348А+АН-67Б. Разница электрических потенциалов основного металла и сварного шва меньшая в случае шва с меньшим содержанием неметаллических включений, что должно способствовать повышению коррозионной стойкости.

Вывод. Установлено, что использование смеси окислительного и слабоокислительного флюсов АН-348А+АН-67Б в соотношении 1 : 1 способствовало уменьшению содержания неметаллических включений в шве. При сварке под смесью флюсов можно получать сварные швы с повышенными значениями механических свойств и повышенной коррозионной стойкости.

Литература

1. *Грабин В.Ф.* Металловедение сварки плавлением. – Киев: Наукова думка, 1982. – 416 с.
2. *Веревкин В.И., Игушев В.Ф., Терюшева С.А.* Влияние содержания кремния и деформации сварных узлов из судостроительных сталей на их склонность к электрохимической коррозии // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – Т. 1, № 3(37). – С. 56–61.
3. *Веревкин В.И., Игушев В.Ф., Терюшева С.А.* Повышение стойкости к коррозии судовых металлоконструкций // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – Т. 2, № 4 (38). – С. 69–75.
4. *Подгаецкий В.В., Люборец И.И.* Сварочные флюсы. – Киев: Техника, 1984. – 167 с.
5. *Потанов Н.Н.* Основы выбора сварочных флюсов при сварке сталей. – М.: Машиностроение, 1989. – 168 с.

УДК 621.039.633:623.85

В.С. Котов¹, Р.К. Резникова²

¹ *Военный институт (военно-морской политехнический)
Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота
«Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»,
Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196604
e-mail: legkieshagi@yandex.ru;*

² *Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота
«Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»
Санкт-Петербург, 197045
e-mail: legkieshagi@yandex.ru*

ПРОБЛЕМА ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ТОПЛИВА НА ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

В данной статье рассмотрена проблема модернизации кораблей Военно-Морского Флота на примере влияния качества топлива на эксплуатационные, экологические и экономические характеристики энергетических установок кораблей ВМФ. Выделены определения «экономичность» и «экологическая безопасность», возможно применимые для энергетических установок кораблей. Подробно проанализированы данные исследований таких физико-химических свойств основного корабельного топлива мазута марки Ф-5, как плотность, вязкость, температура кипения, наличие и содержание воды, примесей. Внимательно изучен состав примесей. Отдельно прописаны возможности улучшения распыла топлива. Выявлены различные причины химического и физического недожега топлива, выделены предполагаемые пути решения. Проанализирован состав выбросов, таких как окислы серы, окись углерода и окислы азота. Дано процентное соотношение выигрыша в КПД энергетической установки при изменении физико-химического состава топлива.

Ключевые слова: Военно-Морской Флот, экономичность, экологическая безопасность, топливо, котельная установка.

V.S. Kotov¹, R.K. Reznikova²

¹ *Military Institute (Naval Polytechnic) Military Training and Scientific Center of the Navy
"Naval Academy named after Admiral of the Soviet Union Fleet N.G. Kuznetsov",
St. Petersburg, Pushkin, 196604
e-mail: legkieshagi@yandex.ru;*

² *Military Training and Scientific Center of the Navy
"Naval Academy named after the Admiral of the Soviet Union Fleet N.G. Kuznetsov",
St. Petersburg, 197045
e-mail: legkieshagi@yandex.ru*

THE PROBLEM OF FUEL QUALITY IMPACT ON ECONOMY AND ENVIRONMENTAL SAFETY

The problem of modernization of the Navy ships on the example of the fuel quality impact on the operational, environmental and economic characteristics of power plants of the Navy is observed. The definitions of "efficiency" and "environmental safety" which can be applicable for power plants of ships are determined. The researches data of physical and chemical properties of the main ship fuel – fuel oil grade F-5 – such as density, viscosity, boiling point, presence and content of water and impurities are analyzed in detail. The composition of impurities is studied thoroughly. The possibilities of fuel atomization improvement are enumerated. Various causes of chemical and physical fuel underburning are identified, the proposed solutions are presented. The composition of emissions such as sulfur oxides, carbon monoxide and nitrogen oxides is analyzed. The percentage of the benefit in the power plant efficiency by changing physical and chemical composition of the fuel is given.

Ключевые слова: the Navy, economy, environmental safety, fuel, boiler plant.

Одной из стратегических задач Военно-Морского Флота является защита интересов России на морских и океанских направлениях в ближайшей и среднесрочной перспективе.

Морские территории государства занимают около 10 млн кв. км, морская граница разделяет со 127 странами. Обеспечение безопасности морской экономической деятельности России, рыболовства, торгового судоходства, нефте- и газодобычи невозможно без развития кораблестроения.

Руководство военного ведомства и командование Военно-Морского Флота поддерживают как строительство новых боевых кораблей, так и подчеркивают необходимость модернизации и ремонта уже существующих.

Вопросы модернизации кораблей Военно-Морского Флота касаются различных областей, в том числе экономической и экологической, о возможных путях их решения мы поговорим в этой статье [1].

Подробнее остановимся на влиянии качества топлива на эксплуатационные, экологические и экономические характеристики энергетических установок кораблей ВМФ. Принимаемая в этом направлении модернизация должна быть основана на анализе исследований влияния физико-химических свойств топлив и присадок к топливам на эксплуатационные и экологические характеристики.

Важность проблемы экологической безопасности кораблей требует решения проблемы по обеспечению улучшения качества топлив.

Экономичность – одна из главных характеристик эффективности эксплуатации энергетической установки. Под экономичностью эксплуатации КТЭУ в широком смысле понимается свойство, характеризующее способность энергетической установки сохранять оптимальный уровень затрат материальных средств на эксплуатацию.

Под экономичностью эксплуатации в узком смысле понимается характеристика эффективности, определяемая показателями: $k_{эк}$ – коэффициентом экономичности, $b_{миля}$ – удельным расходом топлива на одну милю хода корабля, где:

$$k_{эк} = \frac{b_{миля i} - b_{миля}^{min}}{b_{миля}^{max} - b_{миля}^{min}}.$$

Из опыта известно, что при эксплуатации котельных установок максимальные затраты составляют расходы на топливо. Так, для стационарных котельных установок затраты на топливо по оценке специалистов лежат в пределах 60÷80% суммарных затрат на эксплуатацию установки [2]. В последующих обоснованиях будет использоваться узкое понятие экономичности эксплуатации энергетической установки.

Исследование влияния качества топлива на экономичность эксплуатации КТЭУ большей частью связано с вопросом организации сжигания топлива и утилизации выделившейся при этом энергии.

В корабельных котлах реализован гетерогенный вид горения топлива, при котором горючее вещество (мазут) и окислитель (кислород воздуха) находятся в разных агрегатных состояниях. Процесс характеризуется одновременным развитием процессов образования горючей смеси и ее горения. Чем тоньше раздроблено топливо, тем интенсивнее протекает процесс горения. Основным топливом для корабельных паровых котлов в настоящее время является флотский мазут марки Ф-5.

В нашей статье мы рассмотрим физико-химические характеристики флотского мазута и влияние различных примесей и включений на его эксплуатационные свойства. Выявлены причины снижения экономичности.

Мазут Ф-5 – горючая жидкость с температурой вспышки выше 45°C. В состав мазута входит только 10% веществ с температурой кипения ниже 225°C. Основная часть мазута имеет температуру кипения значительно выше температуры вспышки. Это определяет особенности горения мазута, которое возможно лишь в паровой фазе его компонентов.

В создании горючей смеси компонентов мазута с кислородом воздуха определяющей является необходимая для образования активных промежуточных продуктов реакции энергия активации. Она необходима для перестройки внутримолекулярных связей и равна высоте энергетического барьера реакции. Ею определяется доля энергии, выделяемой в топочном объеме, которая идет на поддержание непрерывного процесса горения.

Температура вспышки топлива определяется наличием в топливе некоторого количества низкипящих фракций углеводородов. В связи со значительным содержанием в мазуте высококипящих фракций, определяющих основные особенности сжигания мазута в топке котла, роль температуры вспышки мазута в оценке экономичности незначительна.

Плотность является косвенным показателем химического состава топлива. Чем меньше плотность топлива, тем большая доля легких углеводородов в составе топлива. Следовательно,

тем меньше теплота испарения, необходимая для перевода топлива в паровую фазу для создания горючей смеси. С увеличением доли легких углеводородов в топливе снижается энергия активации топливовоздушной смеси. Изменяются концентрации горючего и кислорода воздуха, меньшая доля энергосвыделения в топочном объеме идет на поддержание процесса горения; требуется меньше топлива и воздуха для обеспечения работы КТЭУ. Снижаются удельный расход топлива и коэффициент избытка воздуха, что ведет к росту экономичности за счет снижения потерь от химического и механического недожога и с уходящими газами.

Количество испарившегося топлива прямо пропорционально площади испарения, которая определяется размерами капли топлива. Кроме того, уменьшение размеров капли ведет к увеличению коэффициента испарения.

Увеличение давление паров топлива на поверхности капли также ведет к увеличению количества испарившегося топлива. Наличие в топливе большего количества низкокипящих веществ, имеющих высокое значение парциального давления, ведет к существенному росту давления насыщения мазута. Испаряемость мазута, имеющего меньшее значение плотности, значительно лучше.

Размер капли топлива во многом определяется способом распыливания струн топлива. В распаде непрерывной пленки топлива при впрыске через центробежную форсунку наравне с центробежными силами действуют силы поверхностного натяжения топлива. Взаимодействие этих сил определяет условия и размеры формируемых капель топлива.

По мере распыления формируются капли топлива размером $40\div 400$ мкм [3]. При этом количественная и массовая доли капель распределяются неравномерно. Так, для струи распыла, имеющей распределение капель по размерам: 50 мк до 95% и 300 мк до 5%, весовые доли составят соответственно 10 и 90%.

Плотность и вязкость топлива косвенно указывают на характер сил поверхностного натяжения. С уменьшением плотности и вязкости топлива силы поверхностного натяжения уменьшаются. Происходит более однородный и тонкий распыл топлива. Обеспечивается равномерное горение факела, снижаются потери от химического и физического недожога топлива.

Наличие воды в топливе является прямой потерей замещенной части горючего вещества в топливе, независимо от агрегатного состояния, в котором вода находится в топливе. С увеличением содержания воды на каждый 1,0% низшая теплота сгорания топлива снижается на 418 Кдж [4].

С другой стороны, влияние содержания воды в топливе на экономичность работы КТЭУ во многом определяется ее агрегатным состоянием.

Влияние растворенной воды на процессы горения топлива в полной мере не изучено. Однако отмечено, что вода в молекулярном состоянии при энергетическом воздействии распадается на активные радикалы H^+ и OH^- , участвующие в цепной реакции окисления углеводородов. Замечено [5], что сухая смесь водорода и хлора не реагирует на свет. Увлажнение до 0,01% приводит к возникновению ценной реакции с образованием HCl .

Вода, находящаяся в топливе в свободном агрегатном состоянии, существенно влияет на экономичность КТЭУ. Это связано, в первую очередь, с нарушением процесса горения топлива. Помимо снижения теплоты сгорания топлива, ведущей к увеличению расхода топлива, неравномерное распределение воды в массе топлива ведет к пульсации факела, а в отдельных случаях и срыву горения. Из-за резкого снижения температуры факела снижается скорость реакции горения, что увеличивает потери от химического и физического недожога и перераспределяет тепловую нагрузку котлов, дополнительно снижая их КПД.

Вода, содержащаяся в топливе в виде устойчивой мелкодисперсной эмульсии, не приводит к снижению экономичности вплоть до обводненности $10\div 12\%$, а при обводненности около 5% наблюдается улучшение экономичности. Этот эффект объясняется теорией микровзрыва [6] капли топлива за счет значительной разницы температур кипения воды и основной части органических соединений мазута. Вскипание водяного пузырька внутри чаши топлива за счет работы сил поверхностного натяжения ведет к дроблению капли. Вода практически мгновенно переходит из жидкой в паровую фазу. При этом поверхность испарения топлива многократно увеличивается, что ведет к активизации процесса трения. Существенно снижаются потери от химического недожога топлива. Установлено, что при получении из топлив высокодисперсной эмульсии с обводненностью $5\div 6\%$ выигрыш в КПД энергетической установки достигает $2,5\div 3,0\%$, а в отдельных случаях до $4,0\div 4,5\%$ [6].

Содержание серы в топливе также влияет на экономичность работы КТЭУ. Это объясняется, прежде всего, потерей части теплоты сгорания топлива за счет замещения серой, имеющей теплоту сгорания в чистом виде 2 220 ккал/кг, более энергоемких составляющих элементарного состава топлива [3]. Для углерода в составе жидкого топлива тепловыделение составляет 7 830 ккал/кг, для водорода – 24 600 ккал/кг.

Второй причиной, снижающей экономичность из-за присутствия в составе топлива серы, является особенность сжигания серосодержащих смолистых веществ: асфальтенов, карбенов и карбоидов. Температура разложения этих веществ значительно ниже их температуры плавления. Они разлагаются с выделением газов и кокса, что ведет к увеличению потерь от химического и физического недожога. Этот процесс усугубляется склонностью сложных сероорганических соединений объединяться в крупные ассоциаты из-за полярности их молекул.

В настоящий момент в руководящих документах по эксплуатации энергетических установок не закреплено четко сформулированного понятия «экологическая безопасность». Пока термин «экологическая безопасность» рассматривается как понятие, допустимый уровень негативного воздействия природных и антропогенных факторов экологической опасности на окружающую среду и человека [7]. Из данного определения следует, что единицами измерения экологической безопасности будут либо безразмерная вероятностная величина, отражающая вероятность обеспечения экологической безопасности тем или иным экологическим воздействием, либо количественная характеристика, отражающая в абсолютных или относительных цифрах экологическое воздействие в виде наносимого природе ущерба.

В существующих руководящих документах [8, 9, 11] вопросы экологической безопасности в основном сведены к токсикологической безопасности и исключению вредного техногенного воздействия на живую природу.

Влияние качества топлива на экологическую безопасность тесно взаимосвязано с экономичностью энергетической установки [10]. Величина ущерба определяется предельной концентрацией загрязняющего вещества, являющейся сложной интегральной функцией различных случайных величин. В общем виде эта зависимость описана линейно через предельно допустимые концентрации [9] и через предельно допустимый выброс загрязняющего вещества, выброс в пределах установленного лимита и сверхлимитный выброс загрязняющих веществ [11].

Вредное вещество – любое вещество, которое при попадании в воду, атмосферу, на землю способно создать опасность для здоровья людей, причинить ущерб живым ресурсам, флоре и фауне, ухудшить условия отдыха или помешать другим видам правомерного использования природных ресурсов [9].

При сжигании топлива основную долю вредных веществ в уходящих газах представляют твердые частицы летучей золы и недогоревшее топливо, окислы серы, окись углерода и окислы азота.

Сжигание в топках корабельных котлов сернистых мазутов со средним серосодержанием 1,76÷0,12 % ведет к значительному превышению предельно допустимой концентрации сернистого ангидрида в продуктах сгорания. При содержании серы в топливе более 0,5% снижение расхода топлива за счет увеличения экономичности энергетической установки до 5,0% не ведет к существенному снижению выбросов сернистого ангидрида.

С другой стороны, высокое содержание серы в топливе указывает на наличие в топливе значительного количества сероорганических соединений, которые образуют крупные коллоидные частицы. При сжигании, в силу того, что температура разложения многих сероорганических соединений (асфальтенов, карбоидов и карбенов) значительно ниже, чем температура испарения, при малых коэффициентах избытка воздуха наличие таких ассоциатов ведет к усилению коксообразования в продуктах сгорания вследствие выделения в результате разложения сероорганических соединений углерода в чистом виде [3]. Растет доля выбросов твердых частиц летучей золы и несгоревшего топлива, зависящая прямо пропорционально от расхода топлива.

Выброс с уходящими газами окислов азота существенно зависит от расхода топлива и коэффициента избытка воздуха, при котором сжигалось топливо. В свою очередь, коэффициент избытка воздуха во многом зависит от качества распыла топлива. Это напрямую связано с плотностью и вязкостью топлива.

Качество топлива существенно влияет на экологическую безопасность и экономичность работы энергетической установки. Это в первую очередь связано с организацией процесса сжигания топлива.

Топливо, имеющее меньшие значения плотности и вязкости, сжигается более эффективно за счет снижения доли энергии, выделяющейся при горении в топочном объеме, на испарение и активацию сложных органических соединений мазута. Улучшается качество распыла топлива, что увеличивает поверхность испарения и скорость протекания реакции горения. Существенно снижается коэффициент избытка воздуха. Значительно уменьшаются потери от химического и физического недожога. С одновременным ростом экономичности заметно снижаются выбросы твердых частиц летучей золы и несгоревшего топлива, а также сокращается выброс окислов азота.

Влияние содержания воды в топливе на экономичность КТЭУ неоднозначно и во многом зависит от агрегатного состояния воды. Присутствие молекулярной воды в топливе физически необходимо для активизации процесса окисления топлива при горении за счет образования активных радикалов H^+ и OH^- , участвующих в цепной реакции окисления. Вода, присутствующая в топливе, в свободном агрегатном состоянии однозначно снижает экономичность работы КТЭУ. Во-первых, за счет потери горючей части топлива и дополнительного расхода энергии, выделяющейся в топочном объеме, на испарение и нагрев воды; во-вторых, за счет нарушения горения факела, ведущее к росту физического и химического недожога топлива, и увеличению связанных с этим потерь.

Вода, находящаяся в топливе в мелкодисперсном эмульгированном состоянии, до 10–12% от массы топлива не ведет к снижению экономичности, а при процентном содержании около 5% наблюдается рост экономичности за счет интенсификации процесса горения. Интенсификация процесса горения обуславливается более лучшим распылом и увеличением поверхности испарения топлива вследствие возникновения явления микровзрыва капли топлива, содержащей воду в мелкодисперсном состоянии. В отдельных случаях наблюдается рост экономичности энергетической установки до 4,0%.

Наличие в топливе воды в диссоциированном и мелкодисперсном состоянии до 10–12% оказывает существенное влияние на снижение выбросов окислов азота за счет снижения тепловыделения в топочном объеме и снижения коэффициента избытка воздуха вследствие более лучшего распыла топлива при возникновении явления микровзрыва.

В процессе эксплуатации энергетических установок важно обеспечить поддержание на исходном уровне всех выходных параметров качественного флотского мазута.

Экологичность энергетической установки в общем виде можно представить данными ущерба, оцениваемого по превышению допустимого выброса загрязняющего вещества. Экологичность зависит не только от количества сожженного топлива, но и от качества сжигания топлива.

На наш взгляд, для решения экономических и экологических проблем необходимо:

- уделять большое внимание вопросам модернизации в целях решения экологических проблем;
- усилить внимание к вопросам улучшения качества флотского мазута и обеспечения рационального использования получаемого топливного ресурса;
- установить систематический контроль за использованием мазута Ф-5 в энергетических установках.

В настоящее время актуальным остается оптимизация физико-химических свойств флотского топлива с целью обеспечения оптимальной работы энергетических установок, повышения их эксплуатационных и экологических характеристик.

Литература

1. Янча С.П. Второе рождение // Армейский сборник. – 2018. – № 7. – С. 40–45.
2. Киселев Н.А. Котельные установки – М.: Книга по Требованию, 2013. – 270 с.
3. Индейкин И.А. Корабельные паровые котлы. – Л.: ЛВВМИУ, 1963. – 219 с.
4. Селиверстов В.М., Иванов И.А., Водопьянов И.А. Очистка топлива на речном флоте. – М.: Транспорт, 1986. – 223 с.
5. Зельдович Я.Б., Семенов Н.Н. Теория детонации. – М.: Книга по Требованию, 2012. – 136 с.
6. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 362 с.
7. Экологическая безопасность [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – URL: <https://ru.wikipedia.org>

8. Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/ч. Введ. 1985-08-05. – М.: Госкомгидромет, 1985. – 24 с.

9. Правила охраны природной среды в Военно-Морском Флоте. ПОПС-90. Введ. 1990-12-12. – М.: Военное изд-во, 1993. – 127 с.

10. *Мейсон Т., Линдли Д., Дэвидсон Р.* Химия и ультразвук. – М.: Мир, 1993. – 192 с.

11. Методические указания по оценке и возмещению вреда, нанесенного окружающей природной среде в результате экологических правонарушений. Утв. Госкомэкологии РФ 6 сентября 1999 г.

УДК 629.5.017

М.А. Москаленко, В.М. Москаленко

*Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
Владивосток, 690003
e-mail: office@msun.ru*

ФОРМАЛИЗОВАННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПОТЕРИ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ МОРСКИХ СУДОВ

Внедрение в практику судоходства системы формализованной оценки безопасности является одной из приоритетных задач Международной морской организации (ИМО). Конструктивная безопасность относится к так называемой скрытой составляющей безопасности, достоверно определить которую можно только по результатам оценки технического состояния корпуса судна в доке. Как правило, для большинства типов конвенционных судов такую оценку проводят к середине срока службы (на который, по статистике, приходится наибольшая частота повреждений и отказов корпусных конструкций). Но подобный подход оказывается неприемлемым для современных судов больших размеров, с оптимальным по минимальному весу корпуса предельным моментом сопротивления поперечного сечения. Риски потери конструктивной безопасности по типу «слабого звена» для этих судов возрастают многократно, с самых первых дней эксплуатации, что подтверждают аварии последних лет, связанные с переломом корпуса.

Авторами с практических позиций проводится анализ указанной проблемы. Предложена адекватная математическая модель оценки рисков потери конструктивной безопасности для морского судна.

Ключевые слова: конструктивная безопасность, риск, корпус судна, момент сопротивления.

M.A. Moskalenko, V.M. Moskalenko

*Maritime State University named after adm. G.I. Nevelskoy,
Vladivostok, 690003
e-mail: office@msun.ru*

FORMALIZED MODEL FOR ASSESSING LOSS RISKS OF SHIPS STRUCTURAL SAFETY

The introduction of a formalized safety assessment system in navigation is one of the priorities for the International Maritime organization (IMO). Structural safety refers to the so-called hidden component of safety, which can be reliably determined only by the results of the assessment of the ship's hull technical condition in the dock. As a rule, for most types of conventional vessels, such an assessment is carried out by the middle of the service life (which statistically accounts for the highest frequency of damage and failures of hull structures). However, such an approach is unacceptable for modern vessels of large dimensions, with the optimal for the minimum weight of the body limiting moment of cross section resistance. The loss risks of structural safety (as "weak link") increase iteratively for these vessels from the very first days of operation, which is confirmed by the accidents of recent years associated with the hull fracture.

This problem is analysed from a practical point of view. An adequate mathematical model for assessing the loss risks of structural safety for a ship is proposed.

Key words: structural safety, risk, the ship's hull, the moment of resistance.

Серьезные аварии, связанные с переломом корпусов судов, в последнее время не являются редкостью, что характерно как для относительно новых судов, так и для находящихся в эксплуатации значительный период (суда старше 30 лет). На заре цельносварного судостроения такие аварии происходили в основном из-за ошибок проектирования, как, например, было типично для серийных судов типа п/х «Либерти».

Аварии происходили во время балластных переходов, на волнении и в холодное время года. Последующий научный анализ позволил сделать выводы о конструктивных недостатках проекта, недооценки уровня концентрации напряжений в конструкциях. За десять лет (1943–1953 гг.) на судах длиной более 100 м наблюдалось 1 450 случаев разрывов корпуса или переломов. Из них 231 аварию можно классифицировать как серьезную и связанную с опасностью перелома [1]. Тем не менее с развитием уровня судостроительной науки подобные аварии не прекратились. Сюда можно отнести и нашумевшие экологические катастрофы, связанные с переломом

корпуса танкеров м/т «Эрика» (1999 г.) и м/т «Престиж» (2002 г.). Тогда, перед специалистами была поставлена задача – обеспечить «конструктивную безопасность» судов как систем с «неэкономической ответственностью». Это требование вызвало соответствующую политическую реакцию со стороны ИМО и ЕС, связанную с выводом из эксплуатации однокорпусных танкеров. Если говорить о судах, находящихся значительное время в эксплуатации, это, прежде всего, суда класса река – море типа «Сормовский», «Волго-Балт», «Волгонефть». Как правило, переломы судов таких типов происходили в грузу в результате перегиба на волне с высотой, превышающей расчетную. Перелому предшествовало образование поперечных протяженных трещин в растянутых пластинах палубы и ширстрека, в районах прерывистых связей. Однако в подобном состоянии могут находиться и новые суда (не достигшие середины нормативного срока службы), что характерно для современных, относительно гибких, корпусов судов больших размеров, спроектированных с учетом однокритериальной оптимизации предельного момента сопротивления поперечного сечения по минимуму веса корпуса. Подобные методы проектирования требуют применения высокопрочных сталей с меньшими пределами относительного удлинения, конструктивно закладывая в облегченный корпус судна огромное количество прерывистых связей и жестких точек (за счет использования комбинированной системы с упрощенными узлами соединения набора). В совокупности корпус судна (как система) уже на стадии проектирования переходит в состояние «неустойчивого равновесия», повышая многократно риски потери «конструктивной безопасности» по типу «слабого звена». Показательными примерами в этом плане могут служить переломы корпуса в 2007 г. т/х «MSC NAPOLI» (4,734 TEU), в 2017 г. т/х «MOL COMFORT» (8,000 TEU) и т/х «SMART» (147,650 мт угля). Этот список можно продолжить, но сегодня метод «экономии издержек на эффекте масштаба» прочно вошел в практику судоходства как инструмент конкурентной борьбы. Уже не удивляют суда с наибольшей длиной более 200 м, как, например, м/т «PRELUDE FLING» – 288 м, контейнеровозы типа «MOL TRIUMPH» – 400 м, балкеры типа «MALACCMAH» – 470 м.

По результатам расследования аварий, связанных с переломами судов, в середине декабря 2013 г. Совет Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) принял новые правила по конструкции нефтеналивных танкеров, балкеров и судов класса «Post-Panamax». 11 декабря 2014 г. МАКО приняты общие правила структурной безопасности для сухогрузных судов и нефтеналивных танкеров, которые вступили в силу с 1 июня 2015 г. С 1 июля 2016 г. вступили в силу требования к прочности корпусов контейнеровозов.

На практике следует учитывать и то обстоятельство, что любое судно рассматривается как «инструмент для получения прибыли», следовательно, ни один судовладелец не откажется от прибыли в пользу уменьшения дедвейта и перевозок мертвого балласта (излишнего веса корпуса) за счет необоснованно увеличенных запасов прочности. Со своей стороны, классификационные общества вынуждены снижать коэффициент запаса прочности, по мере развития судостроительной науки привлекая под свой надзор больше потенциальных клиентов. Современные «мега-суда», построенные с целью экономии издержек на масштабе размеров остаются (и будут оставаться) относительно «гибкими», с риском утратить несущую способность корпуса даже у причала при неправильном порядке выполнения грузовых работ. Контроль «конструктивной безопасности» со стороны государства порта согласно резолюции ИМО А.787(19), по нашему мнению, не оправдывает себя, так как «конструктивная безопасность» относится к пассивной (или скрытой) составляющей безопасности и может быть достаточно эффективно проконтролирована только во время освидетельствования подводной части корпуса судна в доке. Многие участники судоходного рынка (без учета фактического техсостояния корпуса) требуют полного запрета на эксплуатацию судов старше 30 лет. Возраст судна как фактор повышенного риска эксплуатации учитывается и региональными меморандумами при контроле судов. Российский морской регистр судоходства для целей страховых компаний и фрахтователей танкеров начал в 2017 г. применять комплексную оценку фактического технического состояния судна (САР) [2]. Используются 4-балльные рейтинговые оценки, что, по нашему мнению, только усложняет ситуацию на фрахтовом рынке, предлагая безальтернативный рейтинг вместо управления рисками для принятия гибких эксплуатационных решений.

На заседаниях комитета по безопасности ИМО неоднократно отмечалось, что предсказать возможность катастроф на море может только научный анализ рисков и управление рисками. Все это позволит лучше понять природу катастроф на море и создать условия для их предотвращения [3]. Риски, прежде всего, связаны с понятием неопределенности, просчитать, предупредить

дить и ликвидировать последствия рисков на море в условиях заведомо неполной информации просто невозможно. Суть управления рисками сводится к снижению этой неопределенности.

Согласно циркуляру ИМО MSC/Circ/102 формализованная оценка риска – это структурированная и систематизированная методология, направленная на улучшение безопасности на море, включая защиту жизни, здоровья, окружающей среды и собственности, путем оценки риска и соответствующих затрат и преимуществ. С 1 июля 2010 г. это требование отражается в системах управления безопасностью (СУБ) судоходных компаний. В циркуляре ИМО MSC/Circ. 1023/MEPC/Circ. 392 риск определяется как комбинация частоты и серьезности последствий (еще в 1999 г. классификационное общество «DNV» определяло риск по двухкомпонентной модели как сочетание вероятности и последствий возникновения опасности). Исходя из данной методологии, конструктивную безопасность следует определять как способность корпуса судна и его конструкций работать в условиях приемлемого риска.

Сама по себе обсуждаемая проблема не нова. Наиболее актуальным является разрешение двух аспектов этой проблемы, касающихся определения степени риска и разработки научных принципов и обоснований мероприятий, направленных на уменьшение рисков, связанных с обеспечением «конструктивной безопасности» морских судов. Между тем, несмотря на то, что узаконенного определения риска в международном морском праве пока не существует, в теории статистических решений [4] вводится «мера риска». Считается, что риск равен разности между ожидаемым результатом действий при наличии точных данных обстановки и результатом, который может быть достигнут, если данные точно не известны. Математическая запись этого определения будет более понятна, если обозначить риск $R(t_i)$, вероятность предсказанного события $P(N_i)$. Если рассматривать конструкцию корпуса судна как стационарную систему с определенной несущей способностью $N = f(\sigma, \lambda, \beta, \gamma)$, зависящей от характеристики σ механических свойств материала конструкции и ее геометрических параметров λ, β, γ , то для определения уровня способности N противостоять внешним воздействиям достаточно знать, в какой точке фазового пространства параметров $\sigma, \lambda, \beta, \gamma$ в данный момент времени находится рассматриваемая конструкция с точки зрения риска отказа:

$$R(t_i) = 1 - p(N_i). \quad (1)$$

На первый взгляд кажется, что по этой формуле можно определить риск без особых затруднений. Между тем без специальных исследований предметной области рассматриваемого события рассчитать величину риска практически невозможно. В первую очередь это касается определения (или задания) закона распределения $F(N)$ вероятности появления предсказанного события. Кроме того, что очень важно при принятии решений, связанных с техническим риском, установить величину допускаемого риска, при котором, например, конструкция способна безопасно работать (сохранять или выполнять полезные функции с остаточным ресурсом без разрушений).

В этой связи, касаясь направленности исследований, связанных с обеспечением «конструктивной безопасности» судов, важно отметить, что любая конструкция, в том числе и корпуса судна, должна выполнять определенную полезную функцию, которую в общем виде можно определить как способность выдерживать определенный уровень внешнего воздействия. После потери конструкцией этой способности она перестает существовать в своем полезном качестве. Отсюда можно сделать принципиальный вывод, что любой конструкции соответствует некоторая функция, отражающая вышеописанную способность. Расширяя указанное понятие, мы можем видеть, что при подобном определении конструкции (используя в расчетах современные методы предельного равновесия) отпадает так называемая проблема внешних сил, поскольку независимо от типа, вида и рода внешнего воздействия способность его выдерживать определена исключительно свойствами материала и геометрией конструкции.

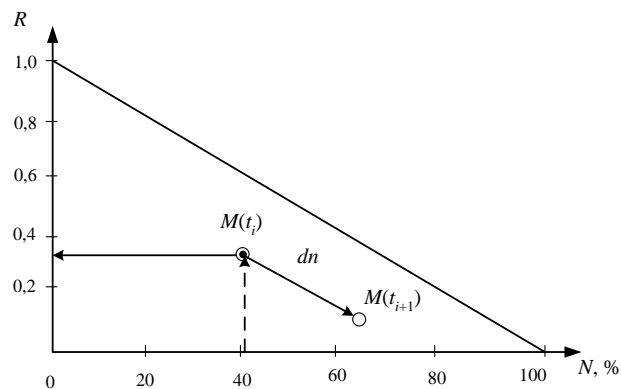
Используя (1) для оценки каждой i конструкции, с позиции рисков, по нашему мнению, следует определить: $p(N_i)$ – вероятность отказа i -й конструкции, т. е. фактически остаточный процент ее полезной несущей способности в момент времени t_i , например, на момент оценки «конструктивной безопасности» (дефектовки судна в доке).

«Конструктивная безопасность» корпуса судна должна оцениваться в виде:

$$\sum_i^n R_i = \sum_i^n (1 - (N_i)). \quad (2)$$

Используя предложенную методологию по определению уровня «конструктивной безопасности», при детальном визуальном осмотре и дефектовке корпуса судна необходимо назначать вероятности отказа элементов отдельных конструкций, являющихся критическими, как для системы с «неэкономической ответственностью».

При решении практических задач важно знать состояние конструкции в любой момент времени. Используя графическое изображение аналитической зависимости (2) (см. рисунок), несложно управлять рисками, определив расчетную точку $M(t_i)$, характеризующую с заданной степенью риска остаточную потенциальную способность конструкции выдерживать расчетные нагрузки. Одновременно можно выбрать направление dn для вывода конструкции из опасного состояния (с точки зрения рисков). К этому сводится выбор и назначение управленческих решений (например, для уменьшения рисков эксплуатации можно ввести ограничение по дедвейту или району плавания, снять ледовый класс для исключения дорогостоящего ремонта, изменить методы и объемы ремонта корпуса судна в условиях СРЗ и т. п.). В принципе по мере развития науки могут измениться только технологии перевода конструкции из одного состояния в другое, но цель остается неизменной – составить управляющую функцию, снижающую риски и повышающую конструктивную безопасность для конкретных целей эксплуатации в определенный промежуток времени на норме функции жизненного цикла корпуса судна.



Гипотетическая зависимость, в координатах «риск – остаточный ресурс»

Выводы

1. Остаточную потенциальную способность корпусной конструкции несложно описать с заданной степенью риска по предложенной формализованной математической модели, составляя алгоритмы «риск-моделей» для конкретных объектов.

2. Применяя подобный методологический подход, для целей судоходных и страховых компаний можно достаточно быстро определять остаточный уровень «конструктивной безопасности» по конкретному судну, а также управлять им для целей эксплуатации и ремонт, меняя вектор по dn (см. рисунок). Безусловно, полезно будет внести в СУБ судоходной компании соответствующий риск-менеджмент по «конструктивной безопасности».

3. Для оценок «конструктивной безопасности» по типу «слабого звена» следует определить «критические поперечные сечения» корпуса (например, в средней части и в районах прерывистых связей). Используя алгоритмы «риск-моделей» возможно даже в эксплуатации управлять изгибающим моментом, возникающим при операциях погрузки-выгрузки и балластирования морского судна.

Литература

1. Булович О. Суда типа «Либерти» в истории флота // Порты Украины. – 2011. – № 10 (112). – С. 1–4.
2. Рекомендации по комплексной оценке фактического технического состояния судна (САР) / Российский морской регистр судоходства. – СПб.: 2017. – 17 с.
3. BIMCO News. – 2003. – Mar., 15. – P. 1–3.
4. Туркин В.А. Оценка риска возникновения аварийных ситуаций в случае нечетко определенных исходных данных // Труды Международной научной школы на БРК – 2001 (Санкт-Петербург, 18–22 июня, 2001 г.) «Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах». – СПб.: ООО «НПО Омега», 2001. – С. 290–294.

УДК 629.424.3:621.436

С. Нойманн, Р.А. Варбанец, О.И. Кирилаш

*IMES GmbH,
Кауфбойрен, Германия, 87600
e-mail: roman.varbanets@gmail.com*

МОНИТОРИНГ РАБОЧИХ ЦИКЛОВ МОРСКОГО ДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ IMES GmbH

В статье представлены алгоритмы мониторинга рабочих процессов судовых дизелей, разработанные путем анализа данных, полученных с помощью датчиков давления IMES. Представлены основные функции и свойства датчиков IMES и системы мониторинга EPM-XP, используемых для 2- и 4-тактных современных судовых дизельных двигателей. Диаграммы давления-времени были взяты за основу для создания алгоритмов мониторинга рабочих процессов судовых дизелей. Задача предварительного расчета положения верхней мертвой точки цилиндра была выполнена с использованием уравнения политропного сжатия. Определен алгоритм вычисления среднего индикаторного давления и мощности индикатора цилиндра. Методы CFD показывают, что канал индикаторного клапана влияет на результаты мониторинга рабочих процессов судовых дизелей. Используя пример кривых сжатия в цилиндре, можно показать амплитудные и фазовые искажения, вводимые в измерения давления по каналу индикаторного клапана.

Ключевые слова: морской дизель, датчик давления, давление в цилиндре, частотные характеристики, диаграммы.

S. Neumann, R.A. Varbanets, O.I. Kyrylash

*IMES GmbH,
Kaufbeuren, Germany, 87600
e-mail: roman.varbanets@gmail.com*

MARINE DIESELS WORKING CYCLE MONITORING ON THE BASE OF IMES GmbH PRESSURE SENSORS DATA

The algorithms for marine diesel engines' working process monitoring designed by analyzing data obtained with IMES pressure sensors are presented. Main features and properties of IMES sensors and EPM-XP monitoring system, used for 2- and 4-stroke modern marine diesel engines, are presented. The pressure-time diagrams were taken as a basis for creating algorithms for marine diesel engines' working process monitoring. The task of preliminary calculation of top dead center position (TDC) of a cylinder was fulfilled using polytropic compression equation. The algorithm for calculating the average indicator pressure and the indicator power of the cylinder is determined. The CFD methods show that indicator valve channel influences the results of marine diesel engines' working process monitoring. Using the example of compression curves in a cylinder, the amplitude and phase distortions introduced into pressure measurements by the indicator valve channel can be demonstrated.

Key words: marine diesel, pressure sensor, cylinder pressure, frequency characteristics, diagrams.

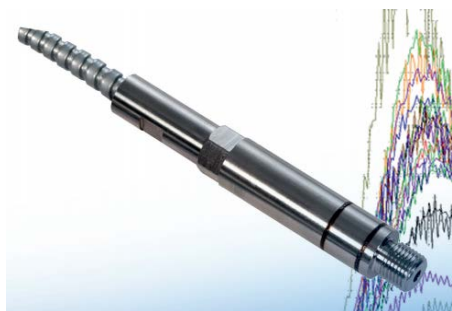


Fig. 1. IMES GmbH pressure sensor [1])

Marine diesel engines working process monitoring is carried out by analyzing diagrams of gas pressure in the working cylinders. For this needs IMES GmbH provides wide range of pressure sensors (fig. 1) for 2-stroke low speed diesel engines and 4-stroke medium and high speed diesel engines [1]. The said sensors have reliable linear characteristics and got high stability for prolonged service and lifetime. Maximum relative error in measurements by IMES pressure sensors is less than 1% of full scale (tabl. 1) [2]. In this regard, they are widely used not only for conventional camshaft engines of MAN MC and Wartsila RTA types, but also in modern electronically controlled diesel engines of Wartsila RT-flex and MAN ME types.

IMES pressure sensors characteristics (IMES GmbH 2018b)

Output signal range	4...20 mA, option 0,5...4,5 V
Frequency range	2 or 10 kHz, (others on request)
Accuracy	< 1 % Full scale
Max. temperature measuring cell	300°C (short time 1 min. 350°C)
Thermal shock, 1500RPM _{pmi} =10 bar	< +/- 0.5 bar

These types of diesels need constant controlling of cylinder gas pressure and main cycle parameters for the fuel combustion quality analyzing in the real time mode [4]. The strategy of fuel injection and exhaust valves controlling is based upon the analysis of gas pressure diagrams. The aim of such strategy is to maintain specified combustion characteristics, to reduce NO_x emission or to reduce consumption, as well as to equalize mechanical and thermal loads between the cylinders.

Thus, it turns out to be critical for use of modern electronically controlled diesel engines to obtain high precision and stability of characteristics, that is provided by IMES pressure sensors in stationary performance analysis systems.

Besides pressure sensors, IMES GmbH produces a series of working process monitoring systems, including EPM-XP portable handheld system [3, 5] that are used for periodic performance analysis (fig. 2). In this case, it becomes necessary to solve the problem of data synchronization, i.e. transforming them from the time functions into crankshaft angle function:

$$P(t, \text{ms}) \rightarrow P(^{\circ}\text{CA}).$$

In most systems for monitoring the working process of diesel engines, the pressure data are initially presented as pressure-time diagrams recorded with a time constant step. In practice, it is assumed, that the minimum recording capacity should contain not less than 720 points per crankshaft revolution. The main first task here is to determine TDC position of piston [6].

For stationary performance analysis systems this task is solved by instrumental method with the help of pick-up sensors, installed on the flywheels of the engines [6]. In the case of portable systems, it is convenient to use the analytical procedure for TDC determination [6, 7].

Despite of simplicity and obviousness of the instrumental solution of the synchronization problem, it has a number of drawbacks:

- during the diesel engine working process unsteady phase error arises due to crankshaft twisting, rotation oscillations and microgaps of the crank mechanism;
- if the pressure sensor is installed at the end of the indicator valve channel, there will be phase and amplitude errors caused by the remote location of the sensor (as it will be shown further in the paper);
- in order to install pick-up sensors upon the engine flywheel, someone needs time and, moreover, it is necessary to stop the engine, that leads to certain costs and expenses.

The analytical method of TDC determination presented in this paper is free from these disadvantages. The method is based on the properties of polytropic compression in the working cylinder before the combustion. The proposed algorithm is based on the fact that when the piston passes TDC point, the rate of pressure growth is zero at a certain moment.

The importance of precise TDC determination for calculating mean indicated pressure (IMEP) and indicated cylinder power was described by different authors. In general, dependence of error while calculating indicated power upon the TDC calculating error is shown in the work [8] in case of 1 °CA error of TDC calculating, the error for IMEP is up to 9 %. In doctoral thesis [9], based on data analysis of the Sea Trials of MAN MC low speed diesel engines and mathematical modeling, is obtained the error in IMEP calculation equal 6–8 % per 1 °CA error in TDC determination. In any case the influence of the error in TDC determination upon IMEP calculation is great. That is why in order to calculate IMEP and indicated power with engineering accuracy it is necessary to provide TDC determination with maximum error less than 0.25 °CA. It means that IMEP and then indicated power should be calculated by the curve P (°CA) by means of method of incrementing volumes, as will be shown later.



Fig. 2. IMES GmbH EPM-XP system with HTT cylinder pressure sensor including adaptor [5]

Thermodynamic methods of TDC calculation are proposed in [8, 10]. They are also based, on the calculation of entropy for known pressure in the cylinder. Speaking about them, it can be noted that the presence of digital and analog noises while measuring cylinder pressure can significantly reduce the accuracy of TDC determination. The numerical determination of the first, and especially the second, derivative of the pressure curve is meaningless without a correctly constructed digital filter.



Fig. 3. EPM-XP application on MAN B&W two-stroke diesel engine built under license by Kawasaki Heavy Industries (IMES GmbH 2018d)

Designed for periodic monitoring of cylinder pressure on diesel engines, the Electronic Indicator EPM-XP can record cylinder pressure values on a maximum of 20 cylinders (option: 160 cylinders) on two-stroke diesel engines (fig. 3) operating at speeds of 40 to 300 rpm and on four-stroke medium and high speed diesels with rated speeds from 200 to 1500 rpm.

After acquisition, recorded data can be downloaded immediately to a PC or notebook via a USB connection. Recorded data can be simply processed by IMES visualisation software. Transmitting the data by Internet makes them available for expert analysis and condition monitoring at a remote location. An optional software upgrade allows power calculation to assist cylinder balancing. The EPM-XP cylinder pressure indicator is characterised by its high accuracy, reliability and ease of use. Central to the performance of EPM-XP is the

proven accuracy, reliability, longevity and cost effectiveness of IMES advanced type HTT pressure sensor employing TION thin film technology. They are affordable and their robustness and performance has been proven in many applications. As a result, standard effective life is more than 16,000 operating hours on both diesel and gas engines.

IMES visualisation and data processing software is used to process acquired values and to display the derived information. The resulting files can be transmitted by Internet to the engine builder and ship-owner for separate, independent evaluation.

With the EPM-XP hardware dongle further evaluations can be activated. This enables to calculate IPOWER and IMEP by using a mathematical algorithm.

The advanced trending function is a useful tool to compare measurement data at the same engine output to find deviations in combustion process for preventive maintenance on engine. The analysis can be made by comparing the results to other measurements, mean values and configured limit lines (optimal range). Measurements made in long term indicate clearly the trends of the engine parameters, which will help to predict emerging failures. The new IMES TPE software loads cylinder pressure data from EPM-XP directly. It is designed to facilitate the collection, evaluation, management and comparison of engine performance data for marine diesel engines. You only need to fill in the required information so the program can do ISO corrections and compare against new-engine performance benchmarks.

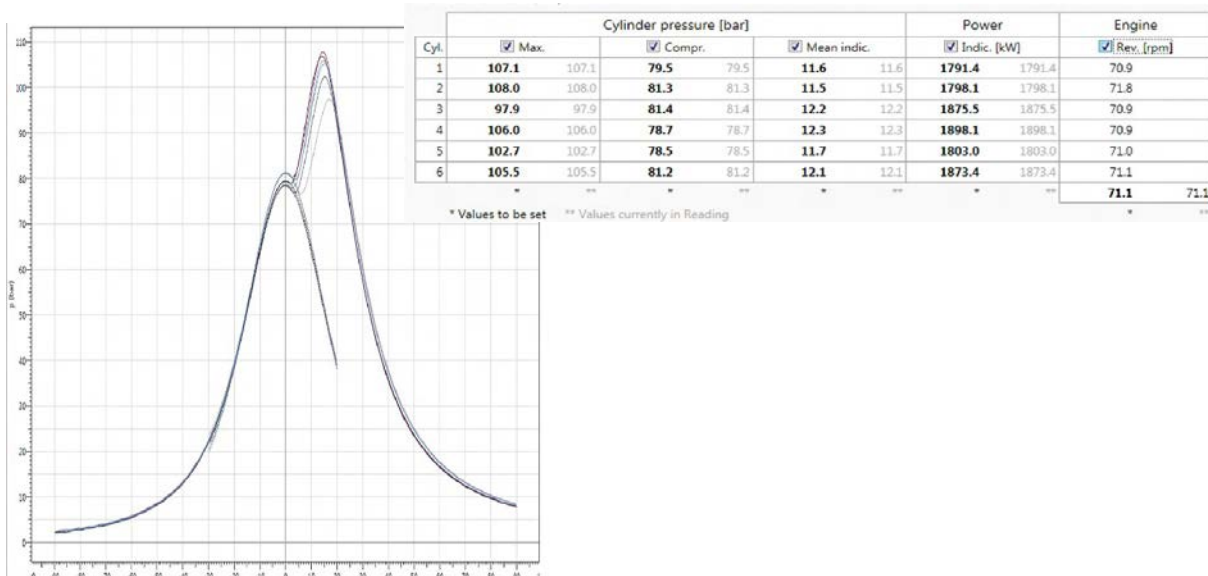


Fig. 4. Diesel engine performance analyses with the help of EPM-XP [5]

Performance graphs and reports (fig. 4) give a quick status of an engine and suggest actions take for optimising engine condition. This enables extensive savings by reducing fuel and oil consumption as well as engine repairs. Using EPM-XP electronic indicator is necessary to solve the TDC determination task without hardware pick-up sensors.

The method is based on the fact that in case of combustion absence in the cylinder, the pressure change speed in TDC piston position equals to zero, minus TDC thermal loss angle that is connected with heat transfer to the cylinder walls:

$$P_{\phi-\delta\phi_T} = P'_{\Theta} = 0. \quad (1)$$

Taking into account TDC thermal loss angle in the top piston position, we get:

$$\Theta = -\delta\phi_T. \quad (2)$$

Then we can present pressure change speed at the compression section as follows:

$$\frac{dP_{\text{comp}}}{d\Theta} = -P_a V_a^n n_1 \frac{1}{V_{\Theta}^{n_1+1}} \cdot \frac{dV_{\Theta}}{d\Theta}, \quad (3)$$

where P_a – pressure in the initial point of compression;

$V_{\Theta} = V_{\phi-\delta\phi_T}$ – cylinder volume, where:

$$V_{\phi} = V_c + 0.5V_s \left[1 + \frac{1}{\lambda_{III}} - \cos\phi - \frac{1}{\lambda_{III}} \sqrt{1 - (\lambda_{III} \sin\phi)^2} \right], \quad (4)$$

where V_c – compression chamber volume;

$V_s = V_c (\varepsilon - 1)$ – the volume described by the piston;

ε – compression ratio in cylinder;

$\lambda_{III} = R_{KP} / L_{III} = S / 2L_{III}$ – the ratio of the crank radius to the length of the connecting rod.

By solving the (1) and (2) equations system we obtain the TDC coordinate (fig. 5).

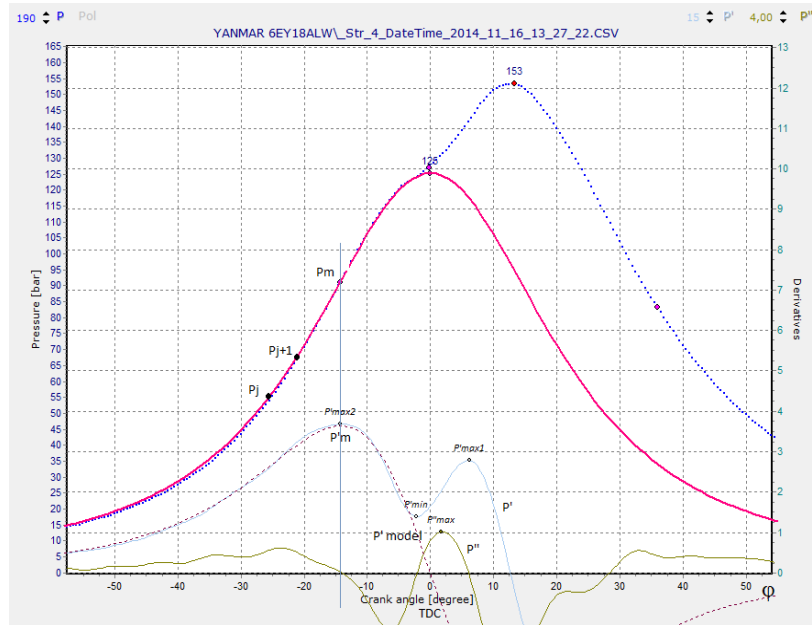


Fig. 5. Solving $P' = 0$ equation and TDC determination for YANMAR 6EY18ALW diesel engine

Despite high quality of IMES pressure sensors, their low relative error ($\sigma < 1\%$) and low noise level, further numeric differentiation of the received indicator diagrams leads to practical impossibility of numeric analysis of curves $dP/d\phi$. In this case determination of maximum $dP/d\phi$ coordinates before the combustion, also will be carried out with rather big error (fig. 6). It becomes obvious that it is necessary to apply the correct procedure for filtering the original data.

We prefer to use the Butterworth digital low-pass filter [4] because of its frequency characteristics are close to those of the ideal integrator, and are monotonic in the passband.

Frequency characteristics of j -th order Butterworth digital low-pass filter are:

$$G(f) = \frac{G_0}{\sqrt{1 + (f/f_c)^{2j}}}, \quad (5)$$

where G_0 – zero-frequency gain coefficient;

f_c – the cutoff frequency (at which the amplitude is 3dB [11]);

j – the filter number (order).

The filter parameters can be selected/chosen using the recommendations [12]. Figure 6 shows the $P(\varphi)$ and $P'(\varphi)$ diagrams before the Butterworth low-pass filter was applied. Due to analog and digital noise' influence while recording $P(\varphi)$, determination of maximum $P'(\varphi)$ coordinate will be made with a big error. The second $P''(\varphi)$ derivative analysis is just not possible in this case.

Application of the Butterworth low-pass filter makes it possible to analyze numerically the first $P'(\varphi)$ and the second $P''(\varphi)$ derivatives (fig. 7), as well as to determine the coordinate of the maximum compression stroke speed in the working cylinder (point $P'm$).

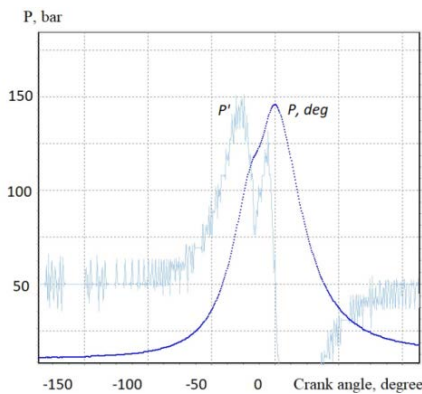


Fig. 6. Cylinder pressure $P(\varphi)$ and its derivative $P'(\varphi)$ before filtration

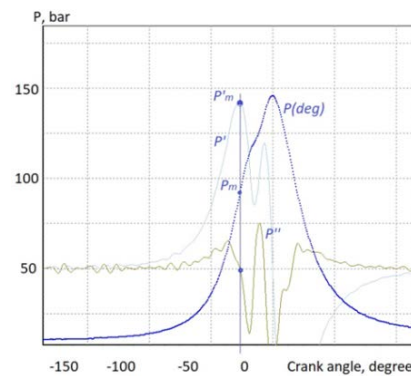


Fig. 7. Cylinder pressure $P(\varphi)$ and its derivatives $P'(\varphi)$ and $P''(\varphi)$ after applying the Butterworth low pass filter

While recording indicator diagrams with the help of IMES pressure sensors (with relative error less than 1% and sampling step $\Delta \leq 0.5$ °CA), the filter order $j = 5.5 \div 7$ provided enough quality of high-frequency noise suppression on $P'(\varphi)$ and $P''(\varphi)$ curves. Besides that made it possible to perform their further analysis for local extremum, which were later used to provide indicator diagrams synchronization, i. e. to transfer them from the functions of time into the crank angle degrees functions.

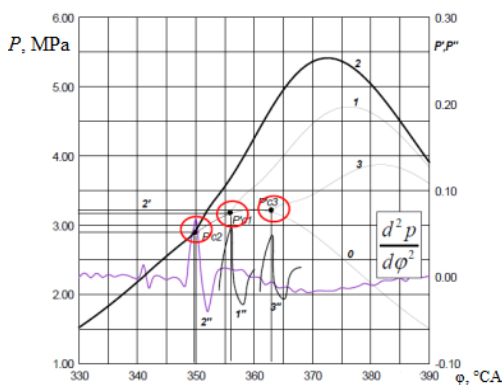


Fig. 8. Determination start of combustion at the different injection advance angles

Determination of the pressure, at which the combustion in the cylinder begins, is conducted by analyzing of the second-order cylinder gas pressure curve derivative. The beginning of combustion can be considered an inflection point on the pressure diagram, in which the value of the second derivative is maximal ($P'' = \max$, fig. 8).

IMEP in the working cylinder is determined by the method of incrementing the volumes along the $P(\varphi)$ curve. IMEP is the specific work cycle, i.e. the cycle work per unit swept volume

$$\text{IMEP} = \frac{L}{V_c}. \quad (6)$$

The difference in the work done on the extension stroke and spent on the compression stroke will be a useful work of the diesel cycle. Let's divide the indicator diagram $P(\varphi)$ into a number of elementary sections Δl . In this case, the work cycle will be equal to the amount of work at each site $L = \Sigma \Delta l$, and the IMEP will be equal to:

$$\text{IMEP} = \frac{\Sigma \Delta l}{V_s}. \quad (7)$$

The working volume of the cylinder is calculated by the formula: $V_s = \pi D^2 / 4 S$, where D – bore and S – stroke of the piston [m]. The work done on each elementary section is (see fig. 5):

$$\Delta l_i = P_k \cdot V_{sk}, \quad (8)$$

where $P_k = (P_i - P_{i+1}) / 2$; $V_{sk} = V_{i+1} - V_i$.

Thus, we can write an expression for the IMEP cycle in the form of:

$$\text{IMEP} = \frac{1}{V_s} \sum_{j=1}^m \frac{P_i - P_{i+1}}{2} (V_{i+1} - V_i), \quad (9)$$

where m – the number of sections of the partition indicator diagram $P(\varphi)$.

For each angle of rotation of the crankshaft, the current volume of the cylinder V_j is written as the expression (4).

Indicator power of the diesel is calculated by the formula

$$\text{IPower} = c_1 D^2 S \cdot \text{rpm} \cdot i \cdot \text{IMEP}, \quad (10)$$

where rpm – revolution per minute;

i – number of cylinders;

c_1 – the coefficient of the diesel engine stroke, taking into account the dimensions of the input values to bring the result to the SI system ($c_1 = 6.55$ for 4-stroke diesel engines, $c_1 = 13.1$ for 2-stroke diesel engines) [9].

When monitoring serial low- and medium-speed marine diesel engines with portable monitoring systems, pressure sensors are installed on the indicator valve. The channel of the valve can be of considerable length. Gas-dynamic processes occurring in a long non-isothermal channel create methodological errors in determining the indicator parameters of the diesel engine. Therefore, the actual task is to reconstruct the undistorted gas pressure signal in the cylinder. To do this, the mathematical description of hydrodynamic and thermal processes occurring in the indicator valve channel and overpiston space is required. The authors [13] investigated the processes in the channel of the indicator valve using one-dimensional mathematical models of the ideal gas flow, and [14] – the viscous gas flow in a three-dimensional formulation using CFD (Computational Fluid Dynamics) methods. In both works the channel was considered separately from the overpiston space. The solution of the problem in such formulation requires the determination of the boundary conditions at the inlet of the channel and does not allow to take into account the complex relationship of processes in these elements. Combining elements into a single system "overpiston space – the indicator valve channel" will make possible to model interaction of the processes in this system by the CFD methods with a high level of detail.

The authors investigated the effect of the indicator channel on the results of the indication of the marine diesel engine 6VDS48/42AL2 with the fuel feed switched off. The unsteady compressible laminar flow of air and heat transfer were modeled by the system of equations of continuity, and conservation of momentum in the Navier-Stokes form and conservation of energy.

The computational domain (fig. 9) included the air filled overpiston space and the indicator channel with the cavity at the sensor membrane. The periodic solution of the problem was sought by the finite volume method.

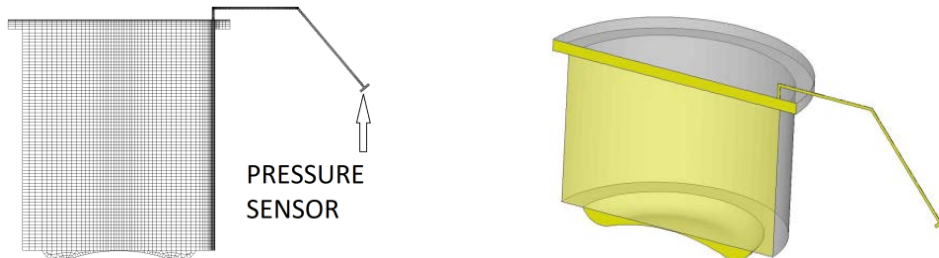


Fig. 9. Computational domain and grid at the position of the piston at the bottom dead center

The mathematical model was verified by the results of experimental studies of longitudinal air oscillations excited in a closed pipe by the motion of the piston, at a resonant frequency and far from it.

To obtain a periodic solution to the problem of air flow in the system "overpiston space – the indicator valve channel" (see fig. 9), the calculation was made for eight revolutions of the crankshaft.

The results of the calculation showed a nonuniform distribution of the instantaneous pressure over the volume of the computational domain (fig. 10, fig. 11).

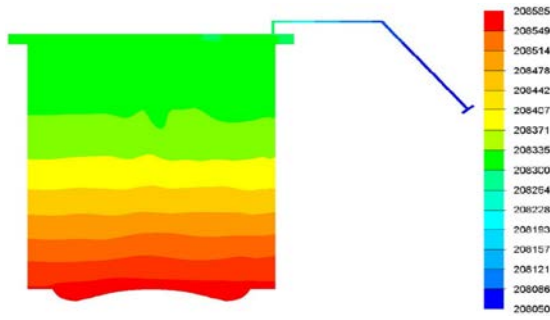


Fig. 10. Pressure in the cylinder and indicator valve channel in BDC, Pa

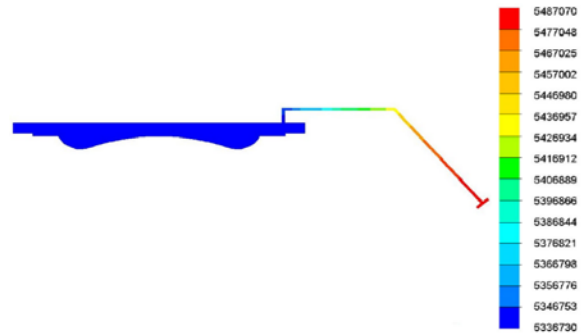


Fig. 11. Pressure in the cylinder and indicator valve channel in TDC, Pa

The instantaneous average air pressure in the cylinder and the instantaneous air pressure at the sensor mounting site were determined.

The calculation showed that at the end of the channel there was a phase delay of the signal by 0.5° of the crankshaft rotation (fig. 12, tabl. 2). This is due to the spreading of the pressure pulse with the speed of the sound. The maximum pressure in the cylinder (P_{max}) was offset from the TDC of the piston and corresponded to the 178° angle of rotation of the crankshaft due to the heat transfer to the cylinder walls. It is also evident that at the end of the channel the maximum pressure ($P_{max, IVC}$) was 2.5% higher than in the cylinder (fig. 12, tabl. 2).

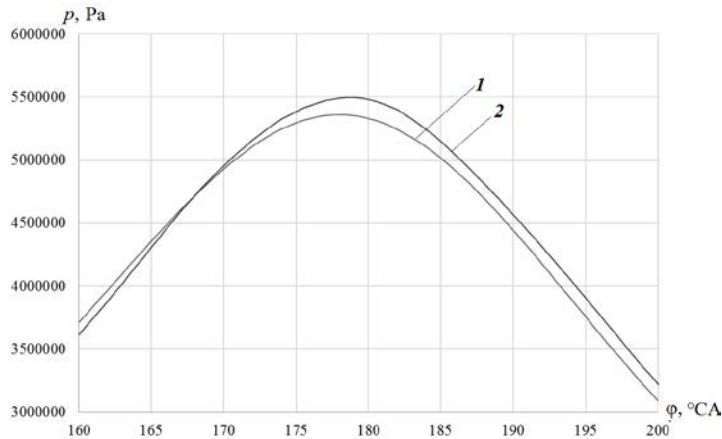


Fig. 12. Dependences of the average pressure in the cylinder (curve 1) and pressure at the end of the indicator valve channel (curve 2) from the angle of rotation of the crankshaft

Table 2

The calculation results

P_{max} , Pa	5361448
$P_{max, IVC}$, Pa	5497204
$\delta = \frac{P_{max, IVC} - P_{max}}{P_{max}} \cdot 100 \%$	2,5
φ_{max} , °CA	178
$\varphi_{max, IVC}$, °CA	178,5

This can be explained by the fact that when the piston is in the region of the TDC, the cause of the gas flow in the channel disappears, and the kinetic energy of the gas becomes potential, which causes an additional increase in pressure at the end of the channel.

Thus, the results of the calculation of the system "overpiston space – the indicator valve channel" shown the presence of a phase delay of the signal and an increase in the maximum air pressure at the end of the channel.

The observed distortion of the measured signal is due to the complex interaction of air flow processes with variable speed caused by the displacement of the piston, the propagation of pressure

wave with the speed of sound and the propagation of disturbances from the previous cycle, and also heat transfer.

The TDC calculation using the equation $P' = 0$ and Butterworth low-pass filter solves the following problems:

- the errors in the determination of the TDC in connection with the torsional vibrations and the micro-backlash samples in the crank mechanism, and also with the crankshaft twisting under the load, which is relevant for cylinders far from the flywheel are taken into account;
- monitoring of the working process becomes operational and available for any diesel under load, without prior preparation;
- the calculation method for determining the TDC provides the practical accuracy required for determining IMEP and IPower.

When monitoring marine diesels with portable systems, phase and amplitude measurement errors arise due to the installation of the sensor at the end of the indicator valve channel. CFD calculation allows to take into account this effect.

References

1. IMES GmbH. 2018a. German Sensor Technology Made by IMES. – URL: <http://imes.de/products.html>.
2. IMES GmbH. 2018b. Cylinder Pressure Sensors Specification and Application. – URL: <http://imes.de/htt-04.html>.
3. IMES GmbH. 2018c. CCM – Combustion Monitoring System. – URL: <http://imes.de/cms.html>.
4. *Krasa W.* Automatic optimization of diesel engine performance by loop control of cylinder pressure process // ICST Congress Hamburg, Sept. 10, 2009. – 2009.
5. IMES GmbH. EPM-XP. 2018d. Electronic Indicator for Diesel Engines: – URL: <http://imes.de/download/brochure-epm-xp.pdf>.
6. Improvement of Diagnosing Methods of the Diesel Engine Functioning under Operating Conditions: SAE Technical Paper 2017-01-2218 / *R. Varbanets, S. Karianskiy, S. Rudenko, I. Gritsuk et al.* – 2017.
7. *Varbanets R., Karianskiy A.* Analyse of marine diesel engine performance // Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. – 2012. – № 7(1). – P. 269–275.
8. *Tazerout M., Le Corre O., Rousseau S.* TDC Determination in IC Engines Based on the Thermodynamic Analysis of the Temperature-Entropy Diagram: SAE Technical Paper 1999-01-1489. – 1999. – URL: <https://doi.org/10.4271/1999-01-1489>.
9. *Varbanets R.* Diagnostic control of the working process of marine diesel engines in operation: Dissertation of the Doctor of Technical Sciences. – Odessa, 2010.
10. *Stas M.* An Universally Applicable Thermodynamic Method for T.D.C. Determination: SAE Technical Paper 2000-01-0561. – 2000. – URL: <https://doi.org/10.4271/2000-01-0561>.
11. *Smith S.W.* The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. – San-Diego: California Technical Publishing, 1999.
12. *Otnes R.K. & Enochson L.* Applied Time Series Analysis. – New York: Wiley, 1978.
13. Malfunction diagnosis at marine diesel engines based on indicator cock pressure data / *E. Oezatay, Ph. Voegelin, P. Obrecht, Ch. Onder, P. Fuchs, W. Fuchs* // CIMAC Congress 166. – 2010.
14. *Turunen R., Kaario O., Liljenfeldt G.* Cylinder pressure measurement via indicating cock // CIMAC Congress 79. – 2007.

УДК 629.5.083

Т.Ю. Пашеева, А.М. Гуккин

Мурманский государственный технический университет,

Мурманск, 183010

e-mail: tatjana-pasheeva@rambler.ru

ВЕЛИЧИНА ИЗНОСА – КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДНА

Судно – сложное инженерное сооружение. Ремонт судна – это комплекс организационных и технических мероприятий, которыми обеспечивается восстановление утраченных эксплуатационных свойств судна и предупреждается преждевременный износ его материальной части. Для оценки технического состояния судна в целом и его элементов необходимо в процессе эксплуатации вести точный и постоянный учет характера и степени их износа. Износ деталей машин, систем и конструкций корпуса судна неизбежен, но величина его в значительной степени зависит от качества технической эксплуатации. Правильная оценка степени физического износа имеет важное значение при решении проблемы экономической эффективности ремонта судов.

Ключевые слова: судно, качество, эксплуатационные свойства, физический износ, ремонт.

T.U. Pasheeva, A.M. Gukkin

Murmansk State Technical University,

Murmansk, 183010

e-mail: tatjana-pasheeva@rambler.ru

MAGNITUDE OF WEAR IS THE QUALITY CRITERION OF TECHNICAL SHIP OPERATION

Ship is a complicated engineering structure. Ship repair is a complex of organizational and technical measures that provide the ship lost operational properties restoration and prevent the premature wear of its equipment. To assess the ship technical condition as a whole and its elements it is necessary to keep accurate and constant records of the nature and degree of wear during operation. Wear of machine parts, systems and structures of the ship's hull is inevitable, but its magnitude largely depends on the quality of technical operation. The correct evaluation of physical deterioration degree is important in solving the problem of economic efficiency of ship repair.

Key words: ship, quality, performance, physical wear, repair.

Для поддержания судна, сложного инженерного сооружения, насыщенного разнообразным комплектующим оборудованием, в работоспособном состоянии требуются определенные затраты на техническое обслуживание и ремонты. Ремонт судна следует называть комплекс организационных и технических мероприятий, которыми обеспечивается восстановление утраченных эксплуатационных свойств судна и предупреждается преждевременный износ его материальной части. Один из критериев качества технической эксплуатации – это оценка величины износа как корпуса и устройств судна, так и его механизмов. Если величины износа находятся в пределах нормы, то техническое состояние судна удовлетворительное; если износы превышают допустимые размеры, то техническое состояние судна неудовлетворительное, что свидетельствует о ненормальной эксплуатации судна. Для оценки технического состояния судна в целом и его элементов необходимо в процессе эксплуатации вести точный и постоянный учет характера и степени их износа. Знание степени и характера износов позволяет принимать своевременные меры для снижения скорости износа, сохранения надежности и эксплуатационных качеств судна, а также для обеспечения нормального технического состояния механизмов и других элементов судна. Следовательно, правильная техническая эксплуатация заключается в обеспечении рационального обслуживания механизмов в процессе их работы и своевременное проведение профилактических мероприятий.

Изнашивание – деградационный процесс изменения размеров, форм, массы объекта или состояния его поверхности вследствие остаточной деформации от постоянно действующих нагрузок либо из-за разрушения поверхностного слоя при трении [1].

Износ – результат изнашивания, который измеряется в единицах массы, объема, длины. Скорость изнашивания – износ в единицу времени. Износостойкость – сопротивляемость изнашиванию, величина обратная скорости изнашивания. Износ уменьшает рабочее сечение, что приводит к возрастанию напряжений и поломкам; способен вызывать концентрацию напряжений. Процесс изнашивания часто сопровождается образованием на поверхности рисок, питтингов, т. е. микроконцентраторов напряжений, а также неблагоприятных растягивающих напряжений [2].

Износ деталей машин, систем и конструкций корпуса судна неизбежен, но величина его в значительной степени зависит от качества технической эксплуатации. Износ ведет к нарушению технических допусков и разрушению детали. Достигнув допустимого предела, износ машин, агрегатов и устройств может привести к их аварии. Все современные теории ремонта основываются на том, что в процессе эксплуатации судна происходит изменение геометрических размеров деталей его механизмов, устройств и корпуса из-за естественного физического износа. В результате износа увеличиваются зазоры между сопрягающимися или работающими в паре деталями, изменяется их форма, утрачиваются прочностные характеристики, ухудшаются рабочие параметры механизмов и в целом судов.

Общую закономерность изнашивания можно выразить уравнением:

$$H = \lg T^n + m, \quad (1)$$

где H – линейный износ;

T – время работы детали;

n и m – эмпирические коэффициенты, характеризующие интенсивность изнашивания.

Степень физического износа детали под влиянием трения может быть определена по формуле:

$$\alpha_i = \frac{\delta_i}{\delta_{дi}}, \quad (2)$$

где α_i – степень физического износа i -й детали, мм;

δ_i – износ i -й детали, мм;

$\delta_{дi}$ – максимально допустимый износ i -й детали, мм.

Степень физического износа детали под влиянием усталости может быть определена по формуле:

$$\alpha_i = \frac{T_{ni}}{T_{ci}}, \quad (3)$$

где T_{ni} – количество часов, которое проработала деталь;

T_{ci} – количество часов работы детали до ее усталостного разрушения.

Межремонтный срок службы сопряжений t_{\max} при установленном режиме работы может быть определен по следующей формуле:

$$t_{\max} = \frac{S_{\max} - S_{\text{нач}}}{\text{tg } \alpha}, \quad (4)$$

где S_{\max} – предельно допустимый зазор;

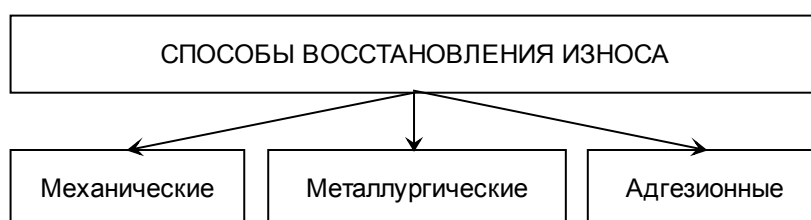
$S_{\text{нач}}$ – начальный зазор приработанного соединения;

$\text{tg } \alpha$ – величина, характеризующая интенсивность износа [3].

Процесс физического износа продолжается в течение всего срока службы судна и протекает неравномерно. На характер и скорость (интенсивность) износа влияют следующие обстоятельства:

- условия, в котором эксплуатируется судно;
- тщательность ухода за судном со стороны экипажа, обуславливаемая квалификацией обслуживающего персонала и отношением его к своим обязанностям;
- качество судостроительных работ, технология, конструктивное оформление узлов, а также качество материалов, из которых судно было построено;
- своевременность производства ремонтов, качество и обслуживание этих ремонтов.

При любой, самой совершенной конструкции и тщательном уходе физический износ механизмов, систем и устройств судна неизбежен, а следовательно, неизбежен и износ судна в целом. Износ повреждает лишь незначительную часть поверхности деталей, при этом на ее восполнение требуется меньше материалов, чем на изготовление новой детали, соответственно сокращается трудоемкость работ, объем загрязняющих выбросов, размер экологических платежей. Однако, несмотря на экономическую привлекательность, восстановление длительное время рассматривали лишь как выход из затруднительного положения при нехватке новых запасных частей. Восстановлению подлежат практически все отработанные детали и части машин. Для того чтобы восстановление было удобным и дешевым, его надлежит предусматривать уже при проектировании. В 2002 г. индустриальный кодекс рециклинга был закреплен в виде международного стандарта ISO-22628, а в 2003 г. Морская организация (ИМО) при ООН приняла резолюцию А.962(23) о рециклинге судов. В апреле 2005 г. Европарламент, следуя кодексу рециклинга, принял запрет на переплавку в «третьих» странах списанных танкеров. Их теперь разбирают в Европе для восстановления и повторного употребления составляющих частей, агрегатов, деталей. Таким образом, кодекс рециклинга стал частью экономической политики развитых государств. Способы восстановления, составляющие основу кодекса рециклинга, представлены на рис. [4].



Способы восстановления износа [4]

Наука и техника располагают многочисленными средствами для повышения долговечности судов и надежности установленных на них механизмов, смонтированных систем и устройств, приборов и средств управления судном, но многие из этих средств, в том числе хорошо известные, не всегда используются. При восстановлении одновременно рассматривают возможность (за счет восстанавливающего материала) придания рабочим поверхностям повышенной износостойкости. В этих случаях восстановленные детали работают лучше новых.

Правильная оценка степени физического износа имеет большое значение при решении проблемы экономической эффективности ремонта судов. Создание условий, при которых техническая эксплуатация протекала бы на наиболее высоком уровне, а износ судна и аварийность были бы сведены к минимуму, являются важнейшей задачей.

Литература

1. *Ефремов Л.В.* Практика вероятностного анализа надежности техники с применением компьютерных технологий. – СПб.: Наука, 2008. – 216 с.: ил.
2. Износостойкость машин: Учебное пособие. – Изд. второе, перераб. – Нижний Тагил: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ НТИ, 2007. – 38 с.
3. Экономика и организация ремонта судов рыбопромыслового флота / *П.М. Заглубоцкий, В.К. Дураков, В.В. Розанов, Ю.П. Турчинский, А.И. Френкель.* – М.: Пищевая пром-ть, 1976. – 359 с.
4. *Коротков В.А.* Проактивные ремонты в горно-металлургической отрасли: Учеб.-метод. пособие / М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2013. – 41 с.

УДК 621.6.03:621.431

Л.А. Семенюк, М.И. Тарасов

*Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
Владивосток, 690059
e-mail: nadezkin@msun.ru*

**ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ
НОВОЙ СИСТЕМЫ ТОНКОЙ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА
НА ПРИМЕРЕ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ 6ЧН25/34**

Приводится описание перспективной системы тонкой очистки моторного масла, наиболее полно реализующей достоинства полнопоточного фильтрования и центрифугирования в двухконтурных системах смазки тронковых ДВС. На примере эксплуатации судового дизеля 6ЧН25/34 сравнивается эффективность различных очистительных комплексов, установленных в смазочной системе, по их влиянию на старение масла и состояние двигателя.

Ключевые слова: срок службы масла, износ двигателя, ресурсосберегающее маслоиспользование, моторное масло.

L.A. Semenyuk, M.I. Tarasov

*Maritime State University named after G.I. Nevelskoy
Vladivostok, 690059
e-mail: nadezkin@msun.ru*

**MAIN ADVANTAGES OF NEW ENGINE OIL FINE PURIFICATION SYSTEM APPLICATION
ON THE EXAMPLE OF SHIP DIESEL 6CHN25/34**

A promising engine oil fine purification system, which most fully realizes the advantages of full-flow filtration and centrifugation in double-circuit lubrication systems of trunk internal combustion engines, is described. The efficiency of various purifying complexes installed in the lubrication system according to their influence on the oil deterioration and engine condition is compared on the example of diesel 6CHN25/34.

Key words: oil life, engine wear, resource-saving oil use, engine oil.

В некоторых типах тронковых дизелей используется двухконтурная система смазки (СС). Один из контуров предназначен для откачки моторного масла (ММ) из картера дизеля в напорный бак. Из него масло попадает в основной контур, проходит через фильтр, охладитель и поступает во внутреннюю распределительную магистраль и далее к его потребителям [1]. Напорный бак располагается обычно выше масляного насоса, что исключает срыв подачи масла. В баке масло отстаивается. Из него удаляются воздух и газы.

Откачивающая магистраль функционирует при низком противодавлении и, кроме насоса, никаких агрегатов не включает. Производительность вспомогательного насоса, по сравнению с основным, обычно завышена, что необходимо для поддержания картера сухим и избежания утечек ММ из него. В условиях качки судна вспомогательный насос может «захватывать» воздух, так что в напорный бак довольно часто поступает масляно-воздушная смесь.

Целью проводимых исследований была проверка эффективности комбинированной системы очистки ММ в дизелях с двухконтурной СС. При этом предлагается установить в откачивающей магистрали центрифугу с реактивным гидроприводом и напорным сливом, с тем чтобы снизить грязевые нагрузки и облегчить работу основного полнопоточного фильтра тонкой очистки масла (ФТОМП), который в большинстве случаев включается в основную магистраль.

Общеизвестно, что полнопоточный центробежный очиститель в 12–20 раз эффективнее ФТОМП по интенсивности очистки масла от нерастворимых, особенно зольных, продуктов [1]. Он может значительно снижать грязевую нагрузку на фильтр, особенно при последовательной схеме подключения к нему и работе в полнопоточном режиме очистки [2]. Центрифуга, с позиций эффективности очистки, менее чувствительна к газовым включениям в масле. Работа ФТОМП при фильтрации воздушно-масляной эмульсии нарушается, так как

поры нетканого фильтровального материала (ФМ) блокируются отложениями. При этом сопротивление фильтрующих элементов (ФЭ) растет и фильтр функционирует с открытым перепускным клапаном.

В предлагаемой комбинированной системе воплощены главные преимущества очистки ММ фильтрованием и центрифугированием, способствующие продолжительной изоляции пар трения двигателя от контактов с крупными (наиболее опасные частицы механических примесей) и удерживающие на низком уровне загрязнение масла мелкодисперсными нерастворимыми продуктами, которые ускоряют старение масла [2, 3]. Таким образом, рассмотренная система в одно время обеспечивает минимальный расход ФЭ, большой срок использования ММ со стабилизацией его угара на низком (начальном) уровне и достаточно надежную защиту двигателя от изнашивания абразивными частицами. Как уже отмечалось ранее [1, 2], этого можно достичь посредством глубокой очистки моторного масла от тонкодисперсных зольных продуктов старения посредством центрифугирования и постоянной в широком диапазоне температурных режимов работы СС и различных скоростей дизеля, а также полнопоточным тонким фильтрованием масла, подаваемого к трибосопряжениям.

В форсированных дизелях с двухконтурной СС отличительной особенностью комбинированной системы тонкой очистки масла (КТОМ) (рис. 1) является установка в главный трубопровод, по которому насос (с обратной связью) 5 подает масло поступающее в свою очередь из напорного бака 8, а затем идущие в трибосопряжение 10 с установленным полнопоточным фильтром (со сменными ФЭ) 2. Важнейшей особенностью является подключения фильтра для тонкой очистки масла до масляного охладителя 1 и установка дроссельным распределителя 4 для насоса 5. Наличие изодрома важно для удержания постоянного, не зависящего от перепада давления на фильтре, в распределительном трубопроводе двигателя.

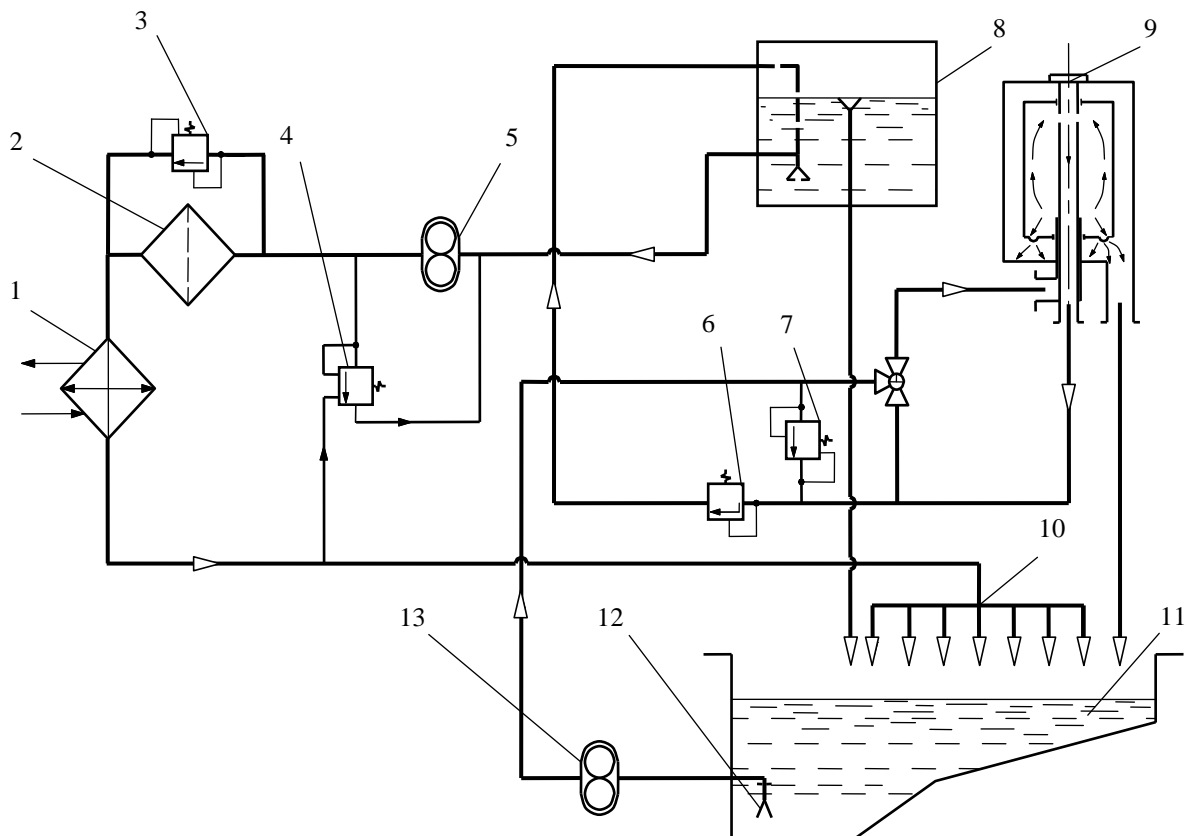


Рис. 1. Перспективная СТОМ судовых форсированных дизелей:
 1 – холодильник; 2 – ФТОМП; 3 – предохранительный клапан; 4 – дроссельный распределитель;
 5 – нагнетательный насос; 6 – напорный клапан; 7 – переливной клапан; 8 – бак;
 9 – центрифуга с напорным сливом; 10 – распределительная магистраль;
 11 – картер; 12 – заборник; 13 – откачивающий насос

Установка дросселя 4 (управляемый переливной клапан) на насосе очень сильно помогает нормальному функционированию фильтра при подготовительных операциях к запуску (прогреве), а также самому пуску двигателя, когда клапан 3 закрыт, так как позволяет подавать заметно меньший объем охлажденной рабочей жидкости (моторное масло). Не зависимость от винтовой характеристики дизеля и удерживание постоянного напора масла в главной магистрали 10, достигается за счет установки подающего насоса 5 с достаточным запасом ММ.

Предусмотрена возможная качка судна, при которой не произойдет оголения приемного патрубка, и забор ММ из напорной цистерны 8 будет подаваться равномерно в дизель, без скачков давления в магистрали. Отбирающий ММ трубопровод можно напрямую замкнуть с приемным патрубком нагнетающего насоса, при осуществлении подачи сразу после центрифугирования на фильтр, в некоторых ситуациях.

На откачивающем трубопроводе наиболее рационально установить центрифугу 9. Ввиду своей малочувствительности к попаданию воздуха в СС данный маслоочиститель (МО) будет способствовать более стабильной работе откачивающего насоса 13. Напорный клапан 6, которым снабжена откачивающая система центрифуги, поддерживает давление масла перед ротором масляной центрифуги с наружным гидрореактивным приводом и напорным сливом (МЦН-НС) не менее 0,7 Мпа. При этом он не зависит от режима работы дизеля и помогает центробежному очистителю (ЦО) развить более высокую частоту вращения не менее 80 с^{-1} . Исключением является расход потока масла на привод, подаваемого насосом 13. Трехходовой кран на откачивающем трубопроводе установлен для возможности отключения ЦО с целью чистки его ротора, при этом двигатель будет продолжать работать. Достижение максимальной скорости удаления из масла нерастворимых загрязнений из центрифуги возможно при установке в нее оптимальной подачи масла, посредством переливного клапана 7. Оригинальность включения данного МО в СС примечательна тем, что поступающее к фильтру масло подвергается как бы предварительной очистке посредством центрифугирования [4]. Одновременно массо-дисперсный состав нерастворимых загрязнений фугата подвержен влиянию величины подачи масла в МЦН-НС.

Количественные и качественные характеристики загрязнения существенным образом влияют на блокировку пор ФМ частицами дисперсной фазы и накопление их в виде отложений на поверхности материала. Масло, прошедшее предварительное центрифугирование, увеличивает срок службы ФЭ [5].

Эффективность штатной и предлагаемой системы очистки (ШСО) масла рассмотрим на примере судового дизеля 6ЧН25/34. Полнопоточный фильтр ФМП-4 с ФЭ из ФМ ДРКБ-4 с тонкостью отсева 45 мкм был установлен в СС исследуемого двигателя в качестве штатного.

Фильтр ФМП-4 с ФЭ этого же типа, изготовленный из материала БМ-120 с аналогичной тонкостью отсева, был размещен в опытной системе очистки. Центробежный очиститель МЦН-5НС (все устанавливаемые центрифуги крепились на напорном баке) с пропускной способностью $80 \text{ дм}^3/\text{мин}$, был расположен на откачивающем трубопроводе судового двигателя 6ЧН25/34. При проведении эксперимента моторным маслом служило М-10-Г₂(цс). Прокачка масла через дизель придерживалась около $75 \text{ дм}^3/\text{мин}$. Давление масла перед ЦО поддерживалось на уровне 0,7 МПа. Рабочая температура масла соответствовала 70°C .

При проведении сравнительного анализа показателей старения ММ М-10-Г₂(цс) в двигателе 6ЧН25/34 (табл. и рис. 2) по интенсивности очистки наблюдаются явные преимущества КСТОМ над штатной системой очистки.

Моторная эффективность средств очистки ММ в дизеле 6ЧН25/34

Показатель	ФМП-4	ФМП-4+ МЦН-5НС
Максимальная концентрация НРП, %: общих зольных	$1,7 \pm 0,4$ $0,44 \pm 0,05$	$0,9 \pm 0,2$ $0,18 \pm 0,03$
Интенсивность очистки масла от НРП, г/ч: общих зольных	80 ± 20 110 ± 30	320 ± 40 580 ± 50
Срок службы ФЭ, тыс.ч	$0,8 \pm 0,2$	$1,4 \pm 0,3$
Надежность защиты частиц $d > 30 \text{ мкм}$, %	72	100

Окончание табл.

Показатель	ФМП-4	ФМП-4+ МЦН-5НС
Скорость изнашивания деталей ДВС: комплект поршневых колец, г/1000 ч	$4,2 \pm 0,5$	$1,8 \pm 0,2$
цилиндрическая втулка, мкм/1000 ч	$22,3 \pm 1,7$	$9,4 \pm 0,8$
вкладыши мотылевых подшипников, мг/1000 ч	–	–
мотылевые шейки КВ, мкм/1000 ч	$16,5 \pm 1,8$	$14,3 \pm 1,6$
Нагаро- и лакообразование на поршнях, балл	$5,1 \pm 0,8$	$2,7 \pm 0,3$
Отложения в картере, балл	$2,6 \pm 0,3$	0

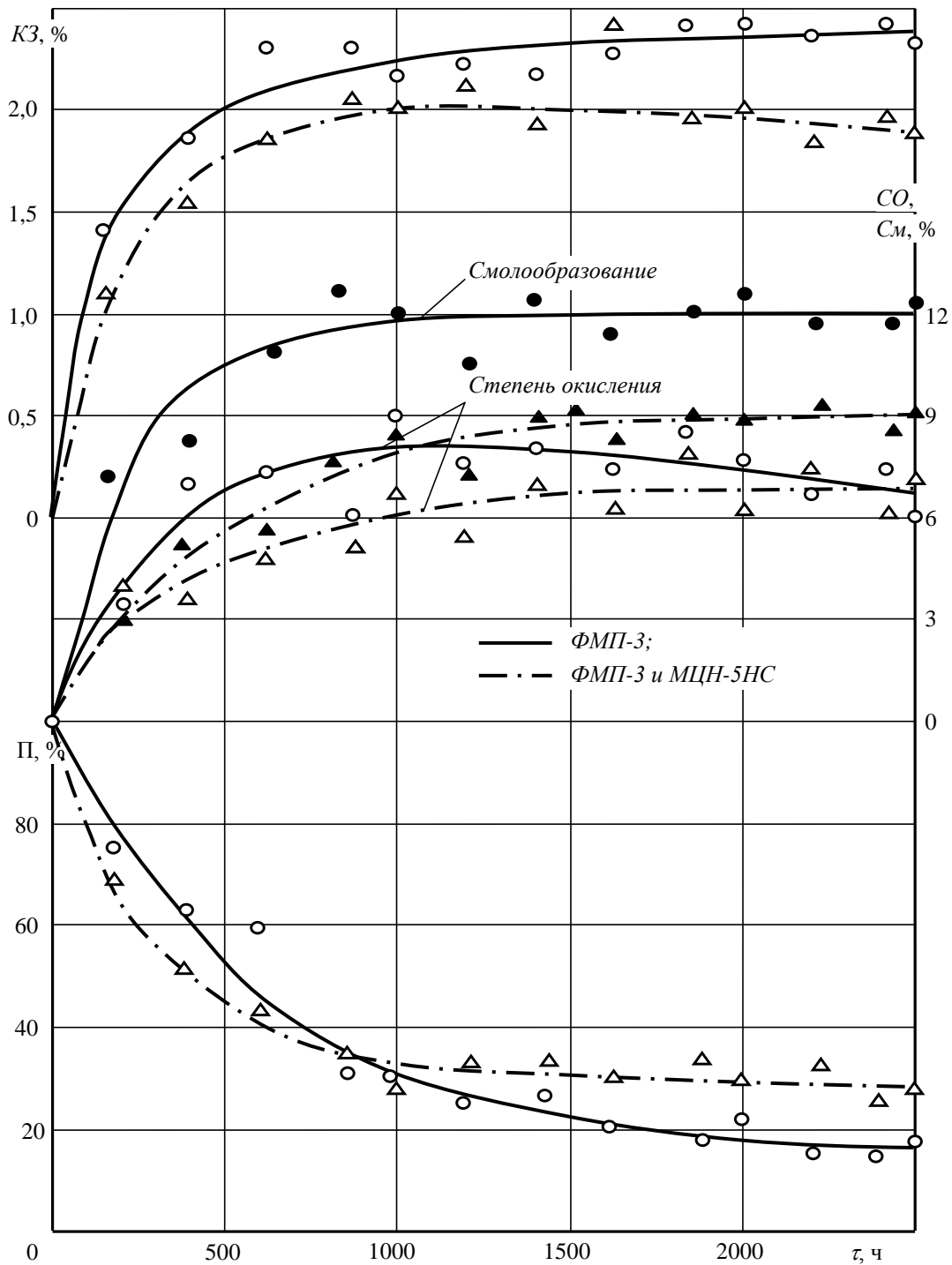


Рис. 2. Старение масла М-10-Г₂(ц) в дизеле 6ЧН25/34 с разными средствами очистки

При комбинированной очистке масла в дизеле 6ЧН25/34 максимальная концентрация общих и зольных нерастворимых продуктов (НРП) (ГОСТ 20684-75) составляла 1,1 и 0,2%. Во время эксплуатации двигателя, снабженного штатными МО, уровень накопления примесей этого же вида достигал соответственно до 1,9 и 0,37%, т. е. был в 1,7–1,8 раза выше.

Применение КСТОМ, по сравнению с фильтром грубой очистки (ФГО), повышает эффективность защиты подшипников от опасных частиц загрязнений, способных вызвать задиры, почти в 3 раза [4, 6]. При очистке ММ по штатной схеме степень окисления CO и смолообразование Sm приближаются (см. рис. 2) к критическому уровню, когда интенсифицируется нагаро- и лакообразование в дизеле [7].

Ввиду обладания маслом М-10Г₂(цс) высоких моюще-диспергирующих свойств закоксовывания поршневых колец при проведении эксперимента не наблюдалось. В отличие от использования комбинированного маслоочистительного комплекса (КМОК) при применении ШСО в 1,6 раза интенсивнее срабатывалась щелочность ММ.

При сопоставлении моторных свойств масла М10-Г₂(цс), проходящего через разные системы очистки [8], очевиден высокий уровень функциональных свойств КСТОМ.

Также при работе комбинации ФМП-4 и МЦН-5НС скорость изнашивания деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) зафиксирована в 1,3–1,9 раза ниже, нежели при использовании штатных агрегатов для очистки масла.

На мотылевых шейках коленчатого вала (КВ) проявился наибольший эффект от комбинированной очистки масла – их изнашивание снизилось в 1,9 раза. Увы, менее всего повышение эффективности очистки отразилось в процессе снижения изнашивания цилиндрических втулок.

Существенное влияние МО как на загрязнение юбки поршней смолами, так и на общее их состояние выявлено при проведении сопоставления систем очистки по влиянию на нагаро- и лакообразование в дизеле.

При очистке ММ посредством КСТОМ заметно существенное снижение загрязнения картера низкотемпературными отложениями, также показатели нагаро- и лакообразования в двигателе были ниже в 1,7 раза (см. табл.).

По показателям состояния дизеля и по критериям старения масла М-10Г₂(цс) выявлено явное преимущество применения КСТОМ. Моторным топливом при эксплуатации двигателя 6ЧН25/34 служило ДТ (ГОСТ 1667-68).

При проведении сравнительно анализа эффективности двух задействованных систем отмечается рост интенсивности комбинированной очистки масла в 4–12 по общим и в 5–14 раз – зольным НРП, относительно варианта с ФТОМП [2, 5, 6]. На концентрацию нерастворимых продуктов в масле это оказало максимальное воздействие. Уровень загрязнения ММ снизился в 1,9–2,4 раза благодаря применению КСТОМ.

Как следствие дополнительного центрифугирования масла – период службы ФЭ увеличился приблизительно в 1,75 раза.

Существенных изменений в скорости изнашивания шеек КВ не наблюдалось при сопоставлении эффективности защиты деталей кривошипно-шатунного механизма (КШМ) от крупных частиц как при использовании ФМП-4, так и при комбинированной очистке масла, несмотря на более высокую загрязненность масла при его очистке только фильтром. Увеличение скорости изнашивания деталей ЦПГ в 2,4 раза, по сравнению с вариантом, где использовался КМОК, является следствием содержания высокого уровня зольных НРП в масле, подвергнутом очистке только штатным фильтром.

Показатели загрязнения и старения масла, а как следствие нагарообразование на поршнях и отложения в картере оказалось значительно выше у ФМП-4, чем у КМОК [7].

По результатам моторных испытаний видно, что комбинированная центрифугированием и фильтрованием очистка ММ способствует стабилизации моюще-диспергирующих свойств масла на более высоком уровне, увеличивает скорость перехода промежуточных продуктов окисления в карбоиды и карбены, далее легко удаляемые центрифугированием. В отношении зольных масел с высокими моюще-диспергирующими свойствами и топлив с содержанием серы, превышающем 1%, наиболее эффективно применение очистки масла центрифугированием и фильтрованием. От частиц загрязнения, вызывающих интенсивное изнашивание и задиры, надежную защиту парам трения ДВС обеспечивает полнопоточное тонкое фильтрование масла. При этом проворачивание вкладышей подшипников полностью прекращается [7]. Глубокая очи-

стка масла от продуктов достигается проведением дополнительного центрифугирования, катализирующего срабатывание его присадок, старение и окисление, что положительно сказывается на увеличении срока его службы.

Выводы

1. Установка в форсированных тронковых дизелях с двухконтурной СС центрифуг с напорным сливом МЦН-НС и полнопоточных масляных фильтров типа ФМП, по сравнению с распространенными МО, стабилизирует угар на уровне 1,2–2,5 г/(кВт·ч) в течение длительного времени, в 1,2–2,3 раза замедляет старение ММ, увеличивает срок его службы в 2–6 раз.
2. Снижение в 1,3–1,9 раза изнашивания основных КШМ и ЦПГ взаимосвязано с улучшением смазки указанных трибосопряжений и уменьшением нагаро- и лакообразования в среднем на 45%. Как следствие эффективной очистки ММ – наработка на отказ деталей двигателей увеличивается в 1,2–2,5 раза.

Литература

1. *Кича Г.П.* Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания // Химия и технология топлив и масел. – 1985. – № 2. – С. 28–30.
2. *Кича Г.П.* Эффективная очистки моторного масла – основа экономичной ресурсосберегающей эксплуатации судовых ДВС // Двигателестроение. – 1985. – № 7. – С. 6–10.
3. *Кича Г.П.* Комбинированный маслоочистительный комплекс для судовых форсированных дизелей // Судостроение. – 1985. – № 4. – С. 25–28.
4. Моделирование изнашивания судовых тронковых дизелей при использовании унифицированных моторных масел / *Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин, С.А. Завадский* // Трение и износ. – 2004. – Т. 25, № 6. – С. 635–641.
5. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: Монография / *Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин.* – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. – 372 с.
6. Оптимизация режимов комбинированной очистки моторного масла в судовых дизелях методами вариационного исчисления / *А.В. Надежкин, Г.П. Кича, Л.А. Семенюк* // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 3. – С. 93–101.
7. Триботехнические характеристики нерастворимых продуктов загрязнения моторных масел и их влияние на износ дизеля / *Г.П. Кича, Г.М. Липин, С.П. Полоротов* // Трение и износ. – 1986. – Т. 7, № 6. – С. 1068–1078.

УДК 621.43:629.5

Д.А. Степанов, А.В. Костенко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: andr13kost@list.ru*

ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Приведены часто встречающиеся дефекты и повреждения наиболее ответственных деталей судовых дизелей. Показаны примеры некоторых повреждений.

Ключевые слова: судовой дизель, деталь, дефект, повреждение, износ, задир.

D.A. Stepanov, A.V. Kostenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: andr13kost@list.ru*

MARINE DIESEL DETAILS DAMAGE

The commonly encountered defects and damages of the most crucial parts of marine diesels are given. Examples of some damage are shown.

Key words: marine diesel, part, defect, damage, wear, tear.

Детали судовых дизелей работают в разнообразных условиях. От надежности работы судового дизеля во многом зависит надежность всего судна. Изучение условий работы деталей дизелей, их дефектов и повреждений, полученных во время эксплуатации, дают информацию не только для проведения более качественного ремонта и технического обслуживания, но и для судового машиностроения, что позволяет создавать прогрессивные технологии изготовления деталей, наиболее полно отвечающие условиям эксплуатации и требованиям.

Повышенный износ и задир деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) являются одними из наиболее типичных дефектов судовых дизелей. Кроме того, из всех неисправностей деталей ЦПГ отказы поршней являются наиболее опасными, поскольку часто приводят к тяжелым авариям двигателя [1, 2].

К характерным дефектам поршня относятся выгорание и растрескивание металла днища; повреждение или износ компрессионных колец и их канавок, а также бронзовых поясков; отложение нагара и кокса в поршневых канавках и на поверхности поршня, износы, задиры. Прогар головок поршней из-за плохой работы форсунок, качества топлива, перегрузов двигателя. Выгорания происходят вплоть до появления маслотечных трещин и обрыва головок.

На рис. 1, а показан результат выгорания днища поршня из-за неправильного распыла форсунок.



Рис. 1. Выгорание днища поршня из-за неправильного распыла форсунок

В большинстве случаев выгорание и потеря металла на поверхности поршня происходит по круговой канавке в сферической части, в зоне максимальной плотности теплового потока и высоких температур, но иногда следы выгорания имеют более или менее четкую форму контура факела распыляемого топлива. В первом случае процесс разрушения головки происходит главным образом при перегрузке цилиндра и может протекать достаточно длительно, не вызывая внезапных отказов. Во втором случае процесс выгорания может быть очень быстрым.

На интенсивные износы и поломки поршневых колец приходится большое число неисправностей ЦПГ судовых дизелей. Залегание поршневых колец в ручьях, износ, поломка колец из-за нарушения условий смазки при работе двигателя, качества топлива, отсутствия надлежащего контроля со стороны обслуживающего персонала. Поршневые канавки изнашиваются в результате перемещений компрессионных колец относительно поршня. Кольцо прижимается к канавке с силой, зависящей от перепада давления на его верхней и нижней поверхностях. Поэтому первая и вторая канавки изнашиваются значительно быстрее, чем остальные, тем более что условия смазки этих колец хуже из-за высоких температур. При свободном перемещении кольца в канавке из-за различных искажений формы поверхности втулки и самого кольца между ними возникают небольшие местные зазоры, через которые начинают просачиваться горячие газы, сдувая масляную пленку и создавая предпосылки к микрозадиру [2, 3].

На рис. 2 приведены примеры износа канавок компрессионных и маслосъемных колец.



Рис. 2. Износ канавок компрессионных и маслосъемных колец

Износ внутренней поверхности цилиндрических втулок происходит из-за нарушения условий смазки, плохого качества топлива, неравномерного прогрева при работе, перегрузок при работе. Кроме того, при поломке поршневых колец возникают задиры на поверхности втулок; растрескивание втулок в районе впускных и выпускных окон у крейцкопфных дизелей.



Рис. 3. Последствия пожара в подпоршневом пространстве

На рис. 3 показан результат пожара в подпоршневом пространстве из-за загрязнения камеры охлаждения, в связи с чем возник перегрев дизеля и воспламенение шлака.

Подшипники в судовых дизелях относятся к наиболее ответственному узлам. Их неисправность часто приводит к внезапному отказу всего двигателя. Наибольшее число повреждений приходится на головные подшипники. К характерным дефектам головных подшипников относятся: растрескивание слоя заливки, отставание слоя от поверхности стального вкладыша, натирыв, натяг металла и налипание его на шейки крейцкопфа, подплавление и полное выплавление подшипника [2, 3].

В судовых дизелях мотылевые и рамовые подшипники характеризуются более высокой надежностью, чем головные. Основные повреждения этих подшипников – это растрескивание, наволакивание и отслаивание баббита на баббитовых подшипниках, натяги, задиры на гальванических, причиной является нарушение смазки.

Наиболее дорогим и ответственным элементом судового дизеля является коленчатый вал. Его неисправность или поломка, как правило, связаны с потерей хода и продолжительным выво-

дом судна из эксплуатации. На выходном фланце коленчатого вала сосредотачивается вся развиваемая двигателем мощность, а само преобразование возвратно-поступательного движения поршней во вращательное движения кривошипов связано с пульсацией действующих на них сил и моментов. В результате этого элементы коленчатого вала постоянно испытывают переменные по величине и знаку напряжения изгиба и кручения. К основным неисправностям коленчатых валов относятся: усталостные трещины, проворачивание шеек в местах их запрессовки в щеки и повреждение поверхностей шеек в виде царапин, натиров или задиров [2, 3].

Таким образом, такие детали судовых дизелей, как коленчатый вал, поршень с кольцами, подшипники являются ответственными деталями, выход из строя которых приводит к аварийным ситуациям, простоям судов и большими затратами на ремонт. Изготовление деталей с учетом условий и режимов эксплуатации является важнейшей задачей судового машиностроения, а одной из важнейших задач морского технического образования является подготовка высококвалифицированных специалистов в области судоремонта и обслуживания судовых энергетических установок.

Литература

1. *Крылов Е.И.* Ремонт дизелей морских судов: Справочник. – М.: Транспорт, 1987. – 302 с.
2. *Возницкий И.В.* Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин. – 2-е изд. перераб. – СПб.: Моркнига, 2006. – 116 с.
3. К вопросу об особенностях проектирования функционально-ориентированных технологий производства деталей судовых дизелей / *А.Н. Михайлов, А.В. Костенко, А.В. Лукичев, Е.А. Степанова* // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2017. – № (57). – С. 29–37.

УДК 621.6.03:621.431

М.И. Тарасов, Л.А. Семенюк, Г.П. Кича

*Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
Владивосток, 690003*

ВЛИЯНИЕ УГАРА МАСЛА НА ЕГО СТАРЕНИЕ И СОСТОЯНИЕ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Рассматривается влияние удельного угара моторного масла на его загрязнение нерастворимыми продуктами, окисление и срабатывание присадок. Исследуется изнашивание и нагарообразование дизеля в функции от этого показателя.

Ключевые слова: угар моторного масла, старение масла, изнашивание дизеля, загрязнение нерастворимыми продуктами, окисление масла.

M.I. Tarasov, L.A. Semenyuk, G.P. Kicha

*Marine State University named after G.I. Nevelskoy,
Vladivostok, 690003*

THE IMPACT OF OIL SMOKE ON ITS DETERIORATION AND MARINE DIESEL ENGINE CONDITION

The influence of specific engine oil smoke on its contamination by insoluble products, ageing and additive depletion is considered. The wear and carbon formation of a diesel as a function of this index is studied.

Key words: engine oil smoke, oil deterioration, diesel wear, contamination by insoluble products, oil ageing.

Важнейшим показателем технического уровня и конкурентоспособности современного двигателя внутреннего сгорания (ДВС) служит экономичность по расходу моторного масла (ММ), которая складывается в основном из двух составляющих: замены при сливе и его угара. Техническое состояние двигателя, его конструкция и формировка значительно влияют на показатели расхода смазочного масла. Надежность, ресурс и эксплуатационные расходы судового дизеля зависят от качества применяемых горюче-смазочных материалов. Проблему повышения экономичности ДВС по расходу ММ нужно решать, учитывая данную совокупность факторов, влияющих на его работу [1–3].

Перспективным направлением в решении общей задачи экономии топливно-энергетических ресурсов на флоте, является снижение расходов при эксплуатации ММ в двигателях. Лучшие мировые образцы ДВС опережают отечественные по общему расходу смазочного масла, увеличение общего срока службы и возможность дальнейшего уменьшения угара в них существенны.

На угар ММ в судовых двигателях, в ходе проведенного анализа было выяснено, что факторы оказывающие основное влияния – конструктивные, технические и эксплуатационные, примером которых являются параметры рабочего процесса и системы смазки, величины износов на парах трения, устройство клапанного механизма, немаловажную роль имеет конструкция поршня и его колец, величины зазоров в сопрягаемых деталях цилиндро-поршневой группы (ЦПГ), уплотнений турбокомпрессора и многие другие [1, 4].

При проведении эксперимента был выбран дизель 2Ч110,5/13, который работал с параметрами $P_{ен} = 15$ кВт, $G_o = 8$ кг, $n = 25$ с⁻¹, на топливе Л-0,2-62 (ГОСТ 305-2013), моторном масле М-10-В₂С (ГОСТ 12337-84), продолжительностью одного этапа испытаний был выбран промежуток 200 ч. Изменение конструкции маслосъемных колец, участвующих в эксперименте и варьирование их удельного давления на зеркало цилиндра, угар ММ изменялся в диапазоне 0,3–5 г/(кВт · ч). Целью начальных исследований было определить, какое влияние оказывает уменьшение угара на техническое состояние (износ, нагаро- и лакообразование) дизеля, а также на старение масла.

Было выявлено, что снижение угара с 5 до 1 г/(кВт · ч) ощутимо влияет на скорость изнашивания деталей ЦПГ (в 2–5 раз) и в целом на изнашивание И дизеля. Самые лучшие показали,

в диапазоне варьирования g_y , уменьшения износа были зафиксированы на маслосъемных кольцах, а самые минимальные – на рабочих поверхностях цилиндрических втулок дизеля (рис. 1). Концентрация нерастворимых продуктов (НРП) c_x в конечных пробах масла в диапазоне угара 2–5 г/(кВт · ч) и I показали хорошую корреляцию (рис. 2).

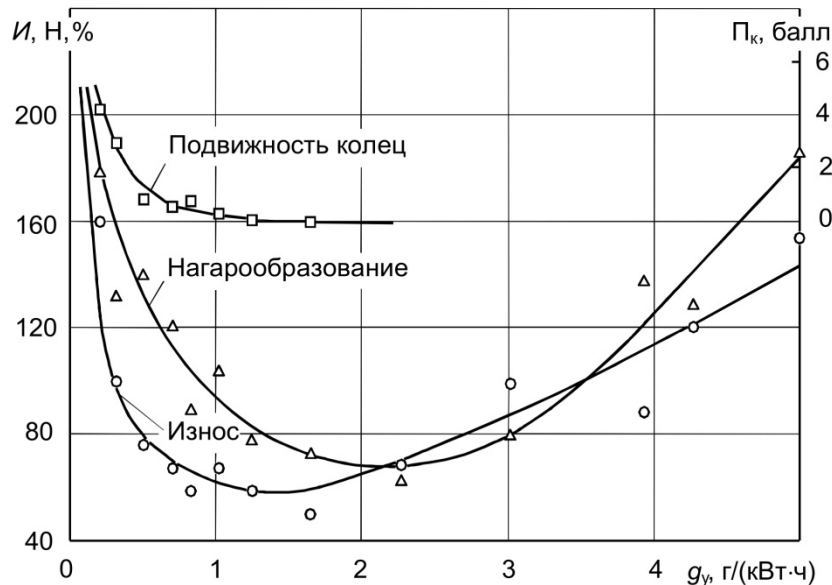


Рис. 1. Состояние дизеля 2Ч10,5/13 от влияния угара масла

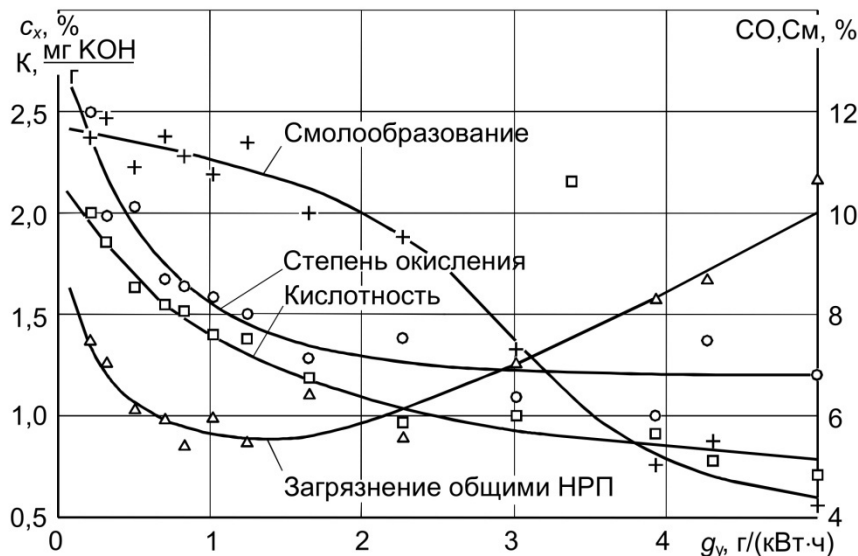


Рис. 2. Старение масла в зависимости от его угара в дизеле 2Ч10,5/13

Снижение угара g_y от 1 до 0,3 г/(кВт · ч) привело к резкому возрастанию скорости изнашивания практически всех деталей дизеля 2Ч10,5/13 в 3–8 раз. Более всего фактор g_y повлиял на верхнее компрессионное кольцо, установленное в поршне, а менее всего влияние было оказано на рабочую поверхность цилиндрической втулки. При осмотре деталей трения при угаре 0,3; 0,6 и 1 г/(кВт · ч) были выявлены множественные натирсы, а также, что немаловажно, зафиксирована высокая вероятность наволакивания металла, что может привести к задирам. При угаре менее 1 г/(кВт · ч) помимо увеличения изнашивания деталей дизеля значительно интенсифицируется нагаро- и лакообразование, особенно это хорошо заметно в потере подвижности I_k поршневых колец (см. рис. 1).

Очень незначительное поступление смазки в трибосопряжение и при этом низкий угар делают для пар трения тяжелые условия работы. Выгорание масляной пленки в зоне верхней мертвой точки (ВМТ) обусловлено в первую очередь менее интенсивным маслообменом. При увели-

чении g_y с 0,3 до 1 г/(кВт · ч) угар растет быстрее, чем скорость загрязнения масла НРП, поэтому c_x падает. На участке g_y с 1 до 5 г/(кВт · ч) скорость роста загрязнений опережает скорость роста угара, поэтому концентрация НРП возрастает [2].

Глубина старения масла зависит от g_y , это вытекает из того, что на всем промежутке возрастания угара степень окисления (СО) ММ растет. Зависимость кислотности К от угара показывает схожую тенденцию (см. рис. 2). По ГОСТ 11362-96 находили кислотно-основные свойства.

По показателю смолообразования S_m процесс старения протекает иначе, зависимость $S_m(g_y)$ в данном случае экспоненциальная. При нижнем уровне угара концентрация смол наивысшая. В процессе увеличения g_y показатель S_m начинает снижаться и стабилизирует содержание смол примерно на уровне 4–5% при угаре выше 4 г/(кВт · ч). В нижней части поршня отмечается резкое возрастание нагаро- и лакообразования, при малых угарах. На участке $g_y = 0,3–0,8$ г/(кВт · ч) фиксируется закупоривание спускных (дренажных) отверстий маслосъемных колец отложениями и резкое возрастание лакообразования на юбке поршня дизеля (см. рис. 1).

Угар масла имеет существенное влияние на нагары различных деталей ЦПГ и их износ, что следует из результатов испытаний [5]. Зафиксировано, что зависимость $c_x(g_y)$ имеет непрямую конфигурацию. Самый благоприятный маслообмен в ЦПГ достигается в диапазоне угара g_y от 0,5 до 2 г/(кВт · ч), загрязнение масла НРП находится на минимальном уровне.

С целью достижения высокого срока службы масла в приведенном диапазоне угара физико-химические, а также моторные свойства находятся на самом благоприятном уровне [6, 7]. При угаре выше 3 г/(кВт · ч) резко интенсифицируется старение ММ.

Термоокислительная способность масла М-10-В₂С в диапазоне угара от 0,3–0,8 г/(кВт · ч) недостаточна для нормального функционирования судового дизеля 2Ч10,5/13 на протяжении продолжительного времени. Для такого низкого угара можно только порекомендовать использовать другое масло, а именно М-10-Г₂(цс) (ГОСТ 12337-84). Угар ММ ниже 0,5 г/(кВт · ч) при работе дизеля нецелесообразен, так как обусловлен крайне не высокой надежностью его функционирования и очень сильно завышенным расходом топлива из-за крайне высоких потерь в трибосопряжениях [8].

В будущих исследованиях следует рассмотреть, как влияют различные факторы на угар и стабилизацию расхода ММ, перспективные нефтепродукты, также определить, какие сроки служб масел самые оптимальные, при работе дизеля на низкосортном и дизельном топливе. В основном будут задействованы унифицированные влагостойкие масла, главными компонентами которых являются различные многофункциональные присадки.

Выводы

1. Выявлено, что за пределами $g_y = 1–3$ г/(кВт · ч) значительно ухудшается состояние ММ, так как при увеличении g_y более 2 г/(кВт · ч) рост угара отстает по интенсивности от старения масла.
2. Зафиксирован угар масла, при котором работа ДВС сопутствует наилучшему состоянию дизеля и ММ. При угаре масла ниже 0,5 г/(кВт · ч) начинается масляное голодание трибосопряжения кольца с втулкой, что негативно сказывается на продолжительной работе и приводит к задирам. Когда угар превышает 3 г/(кВт · ч), значительно увеличивается общий расход масла.

Литература

1. Тарасов М.И., Кича Г.П. Исследование влияния угара масла на его старение и состояние малоразмерного дизеля // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3–4. – С. 143–147.
2. Кича Г.П., Перминов Б.Н., Надежкин А.В. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: Монография. – Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-та, 2011. – 372 с.
3. Кича Г.П., Надежкин А.В., Глушков С.В. Комплексное системное решение проблемы ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых дизелях // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – Т. 1, № 3(33). – С. 118–126.
4. Кича Г.П. Влияние очистки масел на их расход в дизельных ДВС // Химия и технология топлив и масел. – 1986. – № 8. – С. 22–24.
5. Кича Г.П., Надежкин А.В., Перминов Б.Н. Имитационное моделирование смазки трибосопряжений и изнашивания основных деталей ДВС // Транспортное дело России. – 2004. – СП № 2. – С. 51–53.

6. *Кича Г.П., Кича П.П., Семенюк Л.А.* Возможность увеличения срока службы моторного масла в судовых дизелях типа ЧН18/22 // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 1–2. – С. 112–116.

7. *Кича Г.П., Гаук Г.А., Тарасов В.В.* Увеличение срока службы моторного масла в судовых тронковых дизелях // Исследования по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта: Сб. науч. тр. – Владивосток: ДВГТУ, 2009. – Вып. 47. – С. 89–97.

8. *Кича Г.П.* Экономичная эксплуатация дизелей // Морской флот. – 1984. – № 11. – С. 47–49.

СЕКЦИЯ 3. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.52

И.С. Билан¹, С.Ю. Труднев²

¹ *Научно-исследовательский геотехнологический центр
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
Петропавловск-Камчатский, 683002
e-mail: www.phone@mail.ru;*

² *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003*

ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕРКИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ

Материал посвящен разработке устройства проверки цепей УЗО, представлена схема сборки и дано подробное описание. Обоснованы основные преимущества предлагаемого устройства.

Ключевые слова: электрика, устройства защиты, автоматы, УЗО.

I.S. Bilan¹, S.U. Trudnev²

¹ *Research Geotechnological Centre Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002
e-mail: www.phone@mail.ru;*

² *Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003*

INSTRUMENT FOR CIRCUIT BREAKERS AND RESIDUAL CURRENT DEVICES TESTING

The article is devoted to the development of a device for testing the RCD circuits, the assembly diagram is presented and a detailed description is given. The main advantages of the proposed device are substantiated.

Key words: electricians, protectors, automatic devices, RCD.

В современном мире большое внимание уделяется вопросам безопасности. И при эксплуатации любого электрооборудования как в системах бытового обслуживания, так и в судовых электроэнергетических системах сохранность жизни человека является первостепенной задачей. Поэтому во всех видах электроустановок создаются устройства защиты от поражения электрическим током и от повреждения самого устройства. Пример УЗО представлен на рисунке.

Устройство защитного отключения предназначено для того, чтобы моментально отключить электроэнергию в квартире либо доме, либо на производстве при возникновении тока утечки. Если установка УЗО обычно не доставляет проблем (сродни замене автоматического выключателя), то выполнить проверку устройства без технической подготовки и специальных приборов – задача неординарная.

Именно здесь и пригодится данный проект с помощью устройства проверки УЗО, данную операцию сможет выполнить любой человек, умеющий работать с телефоном и знающий основы электрики. В проекте представлено новое устройство, в основе которого лежит ионистор (конденсатор высокой удельной мощности).

Все защиты электрических систем выполнены на устройствах электроаппаратов контактной группы. Эти устройства являются самыми широко применяемыми в различных электрических системах и выпускаются в большом количестве в пределах российского рынка. К таким устройствам предъявляются строгие требования эксплуатационной надежности. Это объясняется высокой значимостью элементов в автоматизированной системе. Наиболее высокие требования предъявляются к автономным судовым системам, так как выход из строя одного из элементов приводит к остановке технологического процесса, нарушению работоспособности

оборудования, что ведет к большим финансовым убыткам, а также может подвергнуть опасности человеческую жизнь.

Так как Петропавловск-Камчатский портовый город, очевидно, что для него данный проект имеет первостепенное значение.

Проект находится на стадии финальной сборки и оформлении частной (научной) собственности. Уже было собрано пробное устройство, прошли лабораторные испытания, прибор прошел проверку на фабрике Рыболовецкого колхоза им. В.И. Ленина.

Устройство состоит из пяти основных блоков: регулируемый стабилизатор напряжения, который служит для стабилизации напряжения заряда аккумуляторной батареи и для установки тока проверки коммутационной аппаратуры; зарядное устройство, необходимое для заряда батареи; источник высокой удельной мощности; конденсатор высокой емкости как источник высокой удельной мощности; блок измерительной аппаратуры [1, 2].

Схема работает следующим образом: ток на выходе ионистора соответствует напряжению его заряда, поэтому ток короткого замыкания будет зависеть от выходного напряжения на стабилизаторе, отслеживаемого при помощи измерительных приборов, изображенных на рисунке. Входное напряжение на стабилизаторе задается вручную.

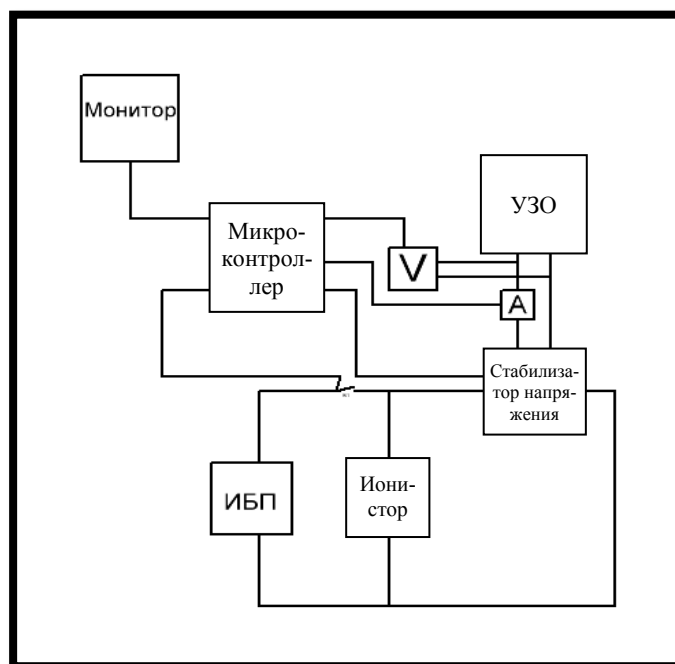


Схема устройства

Данное устройство сможет собрать любой квалифицированный электрик, составная часть (детали) находится в свободном доступе на просторах Интернета.

Согласно предложенной схеме была собрана модель в «MATHLAB». В ходе ее испытания были выявлены следующие преимущества перед зарубежным аналогом:

- Прежде всего, ее автономность, работа как от сети, так и от собственного питания.
- Небольшие массогабаритные показатели.
- Легкость в эксплуатации.
- Широкий спектр применения.
- Благодаря высоким выходным токам устройство позволит производить проверку как маломощных, так и мощных защитно-коммутационных аппаратов.
- Возможность проверки цепей устройств защиты.
- Преимуществом схемы является ее открытое исполнение, что обеспечивает хорошую ремонтпригодность.

Авторы в течение четырех лет ведут разработку данного устройства, все пробные модели были собраны ими. Проверку на фабрике также была осуществлена авторами. Был произведен мониторинг рынка сбыта и рынка электродеталей. Был заключен договор (устный) на возможное сотрудничество с несколькими фирмами.

Устройство применимо как на берегу, так и на судах. А благодаря своей простоте в обслуживании найдет широкое применение как у профессионалов, не желающих закупать дорогостоящее и тяжелое в освоении иностранное оборудование, так и среди простых граждан, желающих обезопасить себя и свое жилище от несчастных случаев.

Эффективность заключается в сокращении несчастных случаев и уменьшении количества поломок электрооборудования.

Идет финальная стадия проекта. На данный момент нужны небольшие финансовые вложения в рабочую модель и патентирование.

Литература

1. *Билан И.С., Труднев С.Ю.* Разработка устройства диагностики защитной аппаратуры // Образование, наука и молодежь – 2017: Материалы научно-практических конференций / Керченский государственный морской технологический университет. – Керчь, 2017. – С. 134–140.

2. *Билан И.С., Труднев С.Ю.* Устройство проверки цепей электроаппаратов контактной группы промышленного и бытового назначения на наличие дефекта // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Седьмой всероссийской научно-практической конференции / Отв. за вып. О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – С. 121–122.

УДК 621.314.26

О.В. Бозинян, А.А. Марченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: someday666@yandex.ru*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СУДОВЫХ СИСТЕМАХ

В данной статье представлены результаты моделирования электронных и электромеханических преобразователей. В основе первого типа устройств электронные ключи. Вторая система основана на применении электромеханического преобразователя, выполненного на электрических машинах. Для выявления преимуществ и недостатков таких систем в условиях судовых электроприводов были построены компьютерные модели и проведены соответствующие эксперименты.

Ключевые слова: электропривод, преобразователь частоты, постоянный ток, напряжение.

O.V. Bozinyan, A.A. Marchenko

*Kamchatka State Technical University
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: someday666@yandex.ru*

SIMULATION OF ELECTRONIC AND ELECTROMECHANICAL TRANSFORMERS IN SHIP SYSTEMS

The results of electronic and electromechanical transformers simulation are presented in the article. Electronic keys are on the basis of the first type devices. The second system is based on the use of the electromechanical transformer made with electrical machines. To detect advantages and disadvantages of such systems in ship electric drives conditions computer models were constructed and the appropriate experiments are made.

Key words: electric drive, frequency converter, direct current, voltage.

На сегодняшний день одним из наиболее важных характеристик судовых электроприводов является плавность регулирования. Это не является проблемой в электроприводах постоянного тока, так как там применяется метод изменения напряжения на якоре двигателя. Самым широко применяемым является способ изменения сопротивления в цепи якоря путем введения дополнительных резисторов. Данный способ широко применяется как в силовых электроприводах, так и в системах электродвижения судов. Сегодня судовые электронные преобразователи постепенно вытесняют релейно-контакторные схемы. Изменение напряжения на якоре стало возможно при помощи электронных преобразователей напряжения на основе силовых ключей.

В электроприводах переменного тока все обстоит немного иначе. Лучшим на сегодняшний день является метод изменения частоты тока электродвигателя при помощи электронных преобразователей частоты. Единственным ограничивающим фактором их распространения в судовых электроприводах является стоимость таких систем. Метод изменения числа полюсов электродвигателей переменного тока не удовлетворяет требованиям плавного регулирования. Все вышперечисленные доводы позволяют говорить о возможности применения систем с преобразователями частоты на основе электрических машин. Очевидно, что системы на основе электрических машин будут иметь большие габариты, но это может быть оправдано в судовых системах, где необходим переход от постоянного тока к переменному.

Для более детального рассмотрения в представленной статье недостатков и преимуществ предлагаемой системы были построены компьютерные модели в Matlab. Модель системы управления скоростью асинхронного электродвигателя на основе электронного преобразователя частоты представлена на рис. 1. Для упрощения в данной модели роль преобразователя имеет инвертор тока.

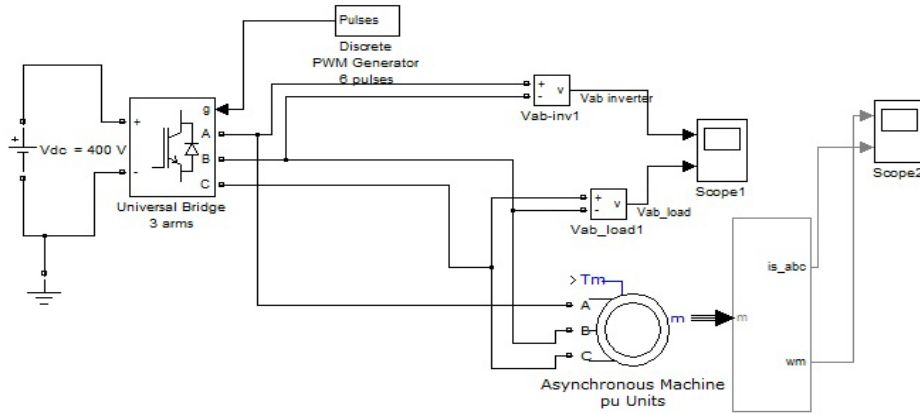


Рис. 1. Модель работы асинхронного двигателя через преобразователь частоты

В качестве первого исследования преобразователь прошел проверку в номинальном режиме. Представленные на рис. 2 и рис. 3 характеристики свидетельствуют о том, что двигатель работает при номинальном напряжении и частоте.

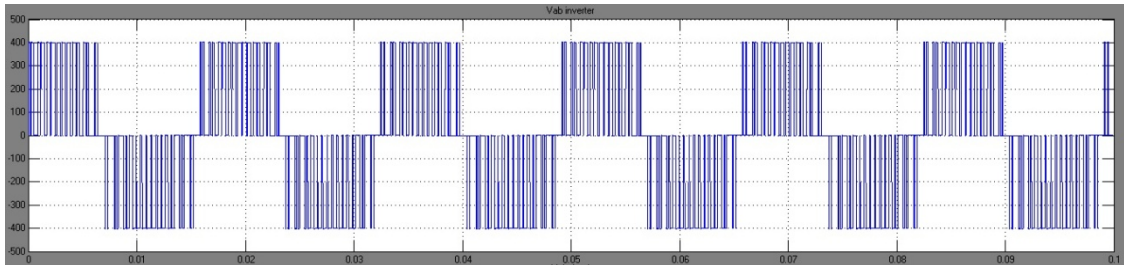


Рис. 2. Напряжение на инверторе

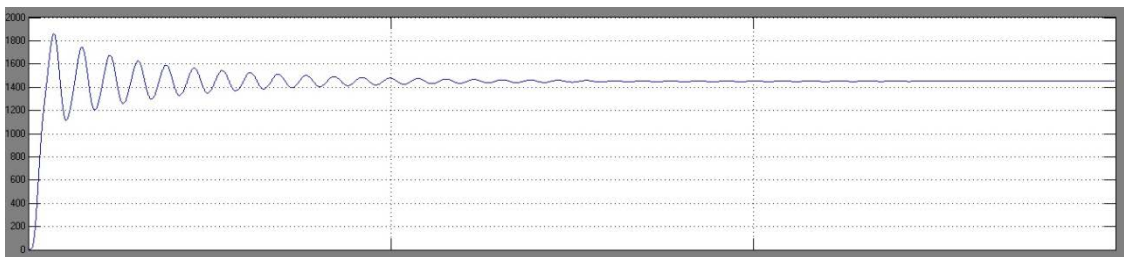


Рис. 3. Скорость электродвигателя

Для проверки корректной работы преобразователя в электроприводе проводилось изменение частоты тока и отслеживалось изменение частоты вращения электродвигателя переменного тока.

Первоначально проводилось уменьшение частоты тока преобразователя на 20%. На рис. 5 видно, что происходит плавное изменение частоты вращения асинхронного двигателя. На рис. 4 показано напряжение на инверторе. Напряжение на двигателе имеет гармоники, как показано на рис. 6. Это объясняется работой полупроводниковых ключей в составе инвертора тока. Как видно из результатов эксперимента, данная погрешность не оказывает особого влияния на работу электропривода при частотном управлении. Также из результатов эксперимента четко видно, что изменение скорости электродвигателя пропорционально снижению частоты тока. Это указывает на корректную работу преобразователя и всей модели в целом.

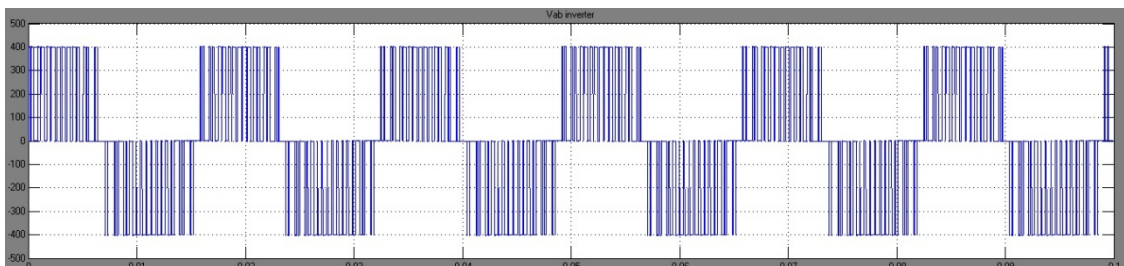


Рис. 4. Напряжение на инверторе при частоте 40 Гц

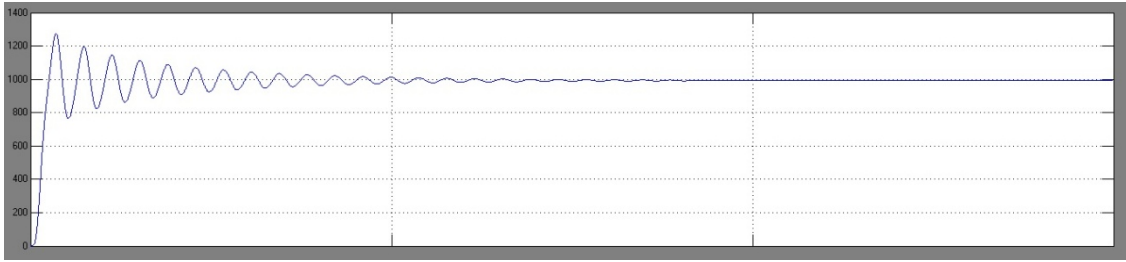


Рис. 5. Скорость электродвигателя при пониженной частоте напряжения преобразователя

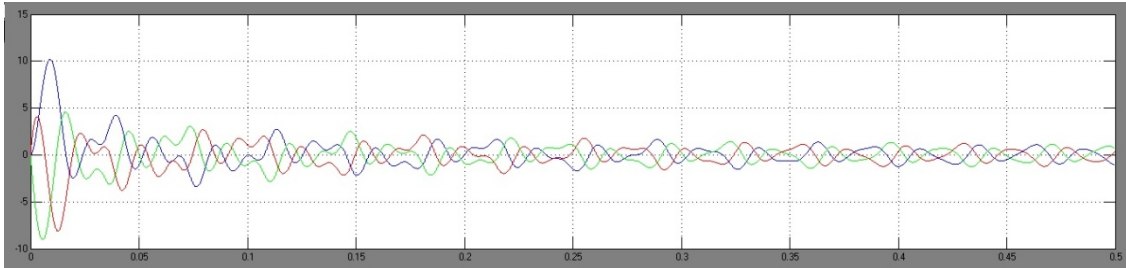


Рис. 6. Напряжение преобразователя

На рис. 7 представлена модель преобразователя частоты на основе электрических машин. В данном случае роль преобразователя частоты берет на себя синхронный генератор, частота тока которого регулируется при помощи приводного двигателя. В представленной модели функции приводного двигателя выполняет двигатель постоянного тока. Для моделирования представленный вариант является наиболее оптимальным, так как в среде Matlab удобным в своей реализации является метод изменения частоты вращения двигателя путем изменения на якоре. В качестве технической реализации данного проекта это может быть преобразователь постоянного напряжения, который нашел широкое применение в силовых электроприводах. Электродвигатель постоянного тока является эквивалентом звена постоянного тока преобразователя частоты.

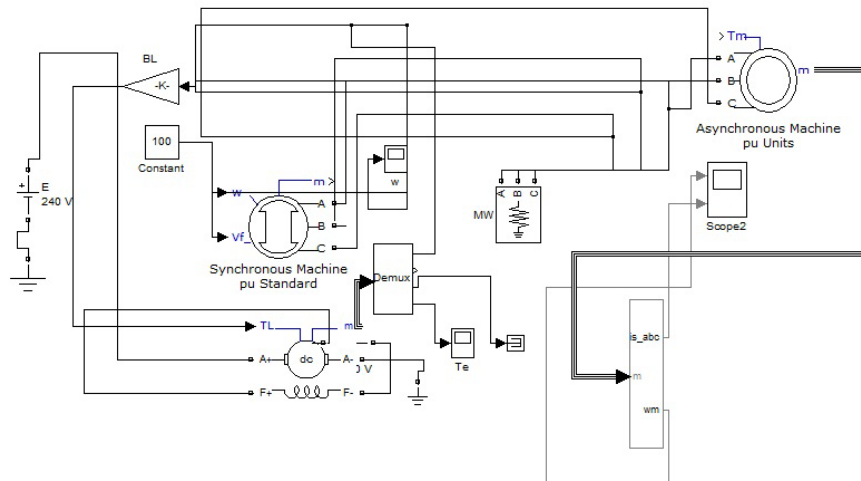


Рис. 7. Модель преобразователя на основе электрических машин

Первой задачей моделирования является проверка модели в номинальном режиме. Работа двигателя в номинальном режиме характеризуется рис. 8. Видно, что модель работает корректно для номинального режима. Провести проверку в динамическом режиме не представляется возможным, так как необходимо знать параметры схем замещения электродвигателя, которые известны только заводам-изготовителям. Уменьшение частоты вращения двигателя переменного тока производилось при помощи уменьшения напряжения на якоре приводного двигателя постоянного тока. При уменьшении частоты вращения двигателя постоянного тока соответственно уменьшалась скорость вращения механически соединенного с ним синхронного генератора. На рис. 9 показано, что пропорциональное снижение частоты тока генератора ведет к пропорциональному снижению частоты вращения асинхронного электродвигателя. На первоначальном этапе можно говорить о корректной работе модели.

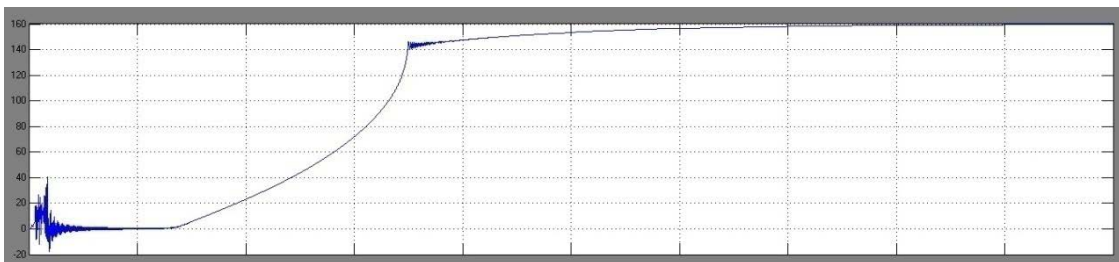


Рис. 8. Скорость асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении двигателя постоянного тока

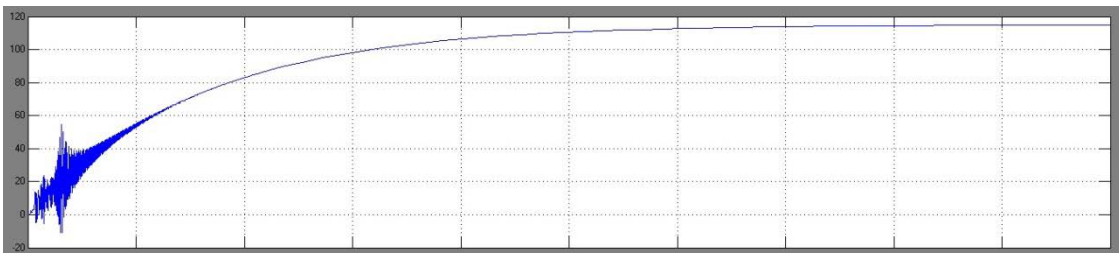


Рис. 9. Скорость асинхронного электродвигателя при пониженном напряжении двигателя постоянного тока

В основе преобразователя частоты синхронный генератор. Звено постоянного тока представляет собой двигатель постоянного тока. Скорость вращения двигателя и синхронного генератора, соединенных механической передачей, можно поменять изменением напряжения на электродвигателе. Измерение частоты напряжения синхронного генератора напрямую зависит от его частоты вращения. Измерения производились на статоре генератора. При работе якоря двигателя постоянного тока на напряжении 220 В синхронный генератор работает в номинальном режиме. Напряжение такого преобразователя 380 В с частотой 50 Гц. При снижении напряжения якоря электродвигателя снижается частота напряжения генератора, соответственно и скорость вращения асинхронного двигателя снижается. При сравнении рис. 5 и рис. 9 видно, что при понижении частоты тока скорости вращения асинхронного двигателя значительно различаются. Причиной является форма кривой напряжения. Для получения оптимальной частоты вращения необходимо также изменение амплитуды, в то время как амплитуда напряжения на электродвигателе с электронным преобразователем значительно отличается от напряжения на двигателе с преобразователем на электрических машинах.

После проведения компьютерных экспериментов можно сделать некоторые выводы. Во-первых: оба представленных метода регулирования частоты работают в широком диапазоне и выполняют функцию плавного регулирования скорости. Во-вторых: зависимость частоты тока и частоты вращения электродвигателя переменного тока соответственно от сигнала управления имеет линейный вид, то есть изменение происходит пропорционально.

Данные системы наряду с положительными качествами также имеют свои недостатки. Система на основе электронного преобразователя создает дополнительные гармоники. Что влияет на качество электрической энергии и работу электропривода в целом. Система на основе электрических машин лишена этого недостатка и выходное напряжение имеет строго синусоидальный вид. Основным недостатком являются габариты системы, особенно это актуально при работе в составе электропривода большой мощности.

Литература

1. Марченко А.А., Портнягин Н.Н. Энергоэффективное нагружение асинхронных электродвигателей в процессе послеремонтных испытаний // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О.Макарова. – СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2014. – Вып.6. – С. 76–84.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
3. Марченко А.А. Испытания асинхронного электродвигателя под номинальным током в режиме противовключения и понижения частоты напряжения // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – Уфа, 2014. – Т. 10, № 4. – С. 25–32.

УДК 621.396.946:629.5

Ю.В. Еремеева, Т.О. Чусова

*Пермский филиал
Волжского государственного университета водного транспорта,
Пермь, 614060
e-mail: eremeeva.iulia15@gmail.com*

РАЗВИТИЕ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ НА СУДАХ

Спутниковая связь – один из видов радиосвязи, основанный на применении искусственного происхождения спутников Земли в качестве ретрансляторов. Сеть спутниковой связи предполагает наличие двух ее сегментов или частей – это космический сегмент, представляемый космическим аппаратом (искусственный спутник Земли) и земной сегмент – наземные станции (станция спутниковой связи). В данной статье отражено развитие спутниковой связи и ее применение на судах.

Ключевые слова: спутниковая связь, судно, связь, спутник, космос, космический объект, искусственный спутник, Земля, аппарат, развитие.

Yu.V. Eremeeva, T.O. Chusova

*Perm branch of Volga State University of Water Transport,
Perm, 614060
e-mail: eremeeva.iulia15@gmail.com*

SATELLITE COMMUNICATION DEVELOPMENT ON SHIPS

Satellite communication is one type of radio communication based on the use of artificial earth satellites as repeaters. Satellite communication network assumes the presence of its two segments – a space segment represented by the spacecraft (artificial earth satellite) and the earth segment – ground stations (satellite communication station). The satellite communication development and its application on ships are observed in the article.

Key words: satellite communication, ship, communication, satellite, space, space object, artificial satellite, Earth, apparatus, development.

Впервые идею спутниковой связи (далее – СС) представил в 1945 г. английский ученый Артур Кларк. В радиотехническом журнале была опубликована его статья о перспективах ракет, подобных «Фау-2», для запуска спутников Земли в научных и практических целях. Важен последний абзац этой статьи: «Искусственный спутник на определенном расстоянии от Земли будет совершать один оборот за 24 ч. Он будет оставаться неподвижным над определенным местом и в пределах оптической видимости почти с половины земной поверхности. Три ретранслятора, размещенные на правильно выбранной орбите с угловым разнесением на 120°, смогут покрыть телевидением и УКВ радиовещанием всю планету; я боюсь, что те, кто планирует послевоенные работы, не сочтут это дело простым, но я считаю именно этот путь окончательным решением проблемы» [9].

Запуск первого в мире искусственного спутника Земли, сигналы которого принимались на Земле, был осуществлен 4 октября 1957 г. в СССР. Он и послужил началом космической эры, сигналы, которые излучал спутник, использовались для передачи информации о процессах на данном космическом объекте. Путем изменения длительности посылок, излучаемых передатчиками, передавалась информация на Землю и обратно.

12 апреля 1961 г. в Советском Союзе впервые в истории человечества осуществлен полет человека в космическое пространство. Космический корабль «Восток» с космонавтом Ю. Гагариным на борту был выведен на орбиту Земли. Для пеленгации корабля и передачи телеметрических данных использовалась радиосистема «Сигнал», с частотой 19,955 МГц. Радиотелефонная система обеспечивала двустороннюю связь космонавта с Землей, которая работала в диапазонах коротких (19,019 и 20,006 МГц) и ультракоротких (143,625 МГц) волн, а телевизионная осуществляла передачу на Землю изображения космонавта, что позволяло визуально контролировать его состояние [7].

Первый синхронный спутник системы «Синком» был запущен 14 февраля 1963 г., он обладал высотой орбиты апогея 37 022 км, перигея 34 185, период обращения 1426,6 минут. Рабочая частота на линии Земля – спутник равна 7 360 МГц, на линии спутник – Земля 1 820 МГц. 3 840 штук солнечных элементов общей мощностью 28 Вт при напряжении 27,5 вольт использовались в качестве первичного источника питания на спутнике. Связь со спутником поддерживалась только 20 077 секунд, после наблюдения велись астрономическим методом [2].

23 апреля 1965 г. в СССР был запущен первый спутник связи «Молния-1». С запуском второго спутника связи «Молния-2» 14 октября 1965 г. началась регулярная эксплуатация линии дальней связи с помощью искусственного спутника Земли. Позднее была создана система дальней космической связи «Орбита», состоящая из комплекса наземных станций и искусственных спутников Земли «Молния», «Радуга», «Горизонт».

Для получения постоянной и хорошей связи на море сегодня применяют известную на берегу технологию VSAT (Very Small Aperture Terminal). Появление, которое связано с экспериментом внедрения сети наземных станций в количестве 25 штук и спутника АТС-1, обеспечивающих телефонную связь на Аляске в конце 60-х. Эксперимент оказался успешным и был продолжен. Самая «маленькая» спутниковая станция на тот момент имела антенну диаметром 9 м [5].

Морские VSAT выполняют функцию организации полноценной высокоскоростной связи на морских и речных судах через спутниковый канал. Использование оборудования широкополосной СС, основанной на технологии VSAT, в настоящий момент соответствует всем требованиям, предъявляемым к современной, высокоскоростной, постоянной связи с судами и плавучими сооружениями. Оснащение судов морского и речного флота VSAT станциями помогает объединять суда компании в единую частную корпоративную сеть с возможностью оперативного обмена информацией между головным офисом, диспетчерскими пультами и судами. Реализовать оперативное управление всем флотом, и каждым судном отдельно: к примеру, постоянный мониторинг, оказание консультаций в режиме реального времени, передача метеорологической, коммерческой, административной информации и т. д.

Для работы морской VSAT используются геостационарные спутники, передающие данные от небольших спутниковых станций или морских терминалов в центральную наземную станцию, обеспечивающую управление работой всей сети.

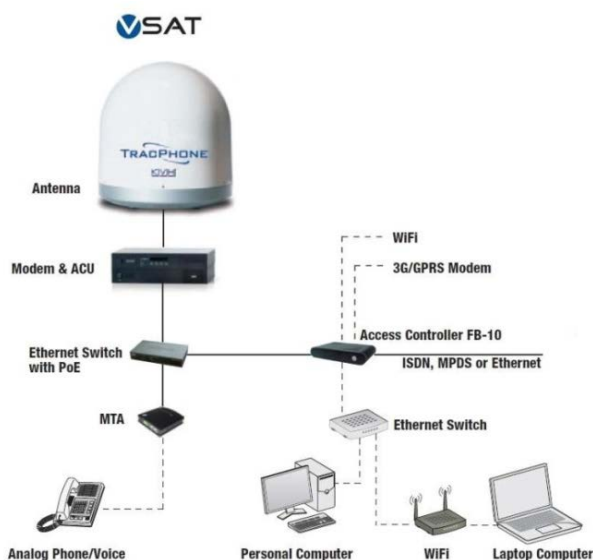


Рис. 1. Оборудование оператора спутниковой связи VSAT

Судовой VSAT терминал представляет собой набор оборудования, включая внешний модем – он же приемо-передатчик, антенно-фидерное устройство и блок, обеспечивающий сопряжение спутникового широкополосного канала с оборудованием пользователя: компьютер, телефон, факс и прочее (рис. 1).

Главным плюсом в сравнении с другими операторами СС INMARSAT, IRIDIUM и THURAYA, VSAT обеспечивает максимальную пропускную способность при минимальной стоимости потребляемого трафика. Морской VSAT обеспечивает передачу данных со скоростью 4 Мбит/с.

В 1979 г. 16 июля была создана международная организация морской СС INMARSAT (International Maritime Satellite Organization Inmarsat) по инициативе Международной Морской Организации (ИМО) и изначально имела статус межгосударственной организации [4].

Главная цель создания INMARSAT заключалась в обеспечении морских судов надежной связью, в первую очередь для повышения безопасности мореплавания, в том числе передачи сигналов о бедствии, оперативного взаимодействия с другими судами и береговыми службами, связи членов экипажа и пассажиров судна с берегом. При создании спутникового оператора стояла задача обеспечить функционирование в соответствии с требованиями глобальной морской системы связи при бедствиях.

Пять спутников-ретрансляторов, находящихся на геостационарных орбитах над экватором на высоте 35 000 км, составили космический сегмент, обладая точными географическими координатами относительно Земли. Охватывающие всю земную поверхность радиопередатчики обладают мощностью в 2 800 Вт. У данного оператора на орбите Земли 11 спутников, но только 5 из них работает на «морской» частоте 1.5–1.6 ГГц, остальные обслуживают авиацию и переносные телефоны.

Больше ста шестидесяти государств используют на своих судах данный вид СС, за счет своей большей надежности и оперативности по сравнению с традиционными коротковолновыми средствами связи. Современное штатное средство СС, устанавливаемое на судах в морских районах плавания А3/А4ГМССБ, состоит из терминала INMARSAT-C или INMARSAT mini-C, внешний вид которого приведен на рис. 2 [3].

Терминалы INMARSAT-C и INMARSAT mini-C имеют режимы ТЕЛЕКС, ДАННЫЕ, ФАКС со скоростью передачи и приема данных 600 бит/с. Дополнительным оборудованием после развертывания четвертого поколения спутников INMARSAT-4 на судах устанавливаются широкополосные терминалы FB-500 выпуска 2009 г. [5]. Терминалы FB-500 обеспечивают связь в режимах ТЕЛЕФОНИЯ, ФАКС, ДАННЫЕ, а также работу в сети Интернет, при максимальной скорости передачи и приема данных 356/432 кбит/с. На рис. 3 приведен внешний вид терминала FB-500 диаметром выносной антенны, направляемой по азимуту и углу места 72 см.

Земные станции имеют двух или трехзначный цифровой идентификатор и принадлежат государству, на территории которого работают. В океанском районе расположены станции сетевой координации, обеспечивающие выделение свободных каналов судовым и береговым наземным станциям и слежение за использованием выделенных каналов. Центр контроля эксплуатации системы INMARSAT осуществляет основные координационные функции системы.

Подвижные и неподвижные станции работают в диапазоне 1.5–1.6 ГГц. К подвижным станциям относятся судовые станции (SES – Ship Earth Stations) различных классов и стандартов INMARSAT. Каждая SES имеет свой идентификационный номер, состоящий из 7 или 9 цифр, где первая – опознаватель стандарта, следующие 3 цифры – код страны, которой принадлежит SES (Maritime Identification Digits – MID), остальные три (пять) цифры – номер, присвоенный данной SES.

В 1987 г. «Международный союз электросвязи», компания Motorola задумала проект Iridium глобальной связи, доступной круглосуточно в любой точке мира. Первоначально предполагалось вывести на низкие орбиты 77 космических аппаратов, но после перерасчетов число спутников сократилось до 66 [7].

Для продвижения проекта в 1993 г. был создан международный консорциум Iridium Inc в Вашингтоне, летом 1997 г. был совершен первый звонок через спутниковый телефон. В 1997–1998 гг. была запущена основная группировка спутников, а началом коммерческой эксплуатации считается 23 сентября 1998 г. На сегодняшний день «Iridium» успешный проект с абонентской базой, превышающей полмиллиона клиентов.

Iridium Communications производит большую часть оборудования для высокоскоростной передачи информации и голосовой связи. Самыми популярными являются модели Iridium 9505A (рис. 4), 9555 и Extreme (9575). Доступность Интернета обеспечивают модемы 9522A, 9522B и 9602, а автоматический обмен данных класса M2M – устройства Iridium 9601 и 9602 [1].



Рис. 2. INMARSAT mini-C



Рис. 3. Внешний вид спутникового терминала FB-500 с выносной антенной



Рис. 4. Iridium 9505A

Монохромные дисплеи телефонов позволяют экономить энергию, они обладают высокой степенью защиты от ударов, влаги, пыли, температурных перепадов. Самая последняя модель – спутниковый телефон Iridium Extreme (9575). Телефон работает в любой точке на Земле и обеспечивает высокую передачу голоса, данных и определение местоположения GPS.

Система Iridium предоставляет абонентам следующие виды услуг:

1. Речевая связь со скоростью передачи речи – 2,4 кбит/с.
2. Передача данных таких, как местоположение и статус абонента.
3. Прием факсимильных сообщений и их хранение на терминале.
4. Персональный вызов.
5. Определение местоположения.



Рис. 5. Thuraya DSL

В отличие от глобальной сети «Iridium», «Thuraya» является региональным проектом, действующим на территории Европы, обладающим тремя космическими объектами, подвешенными на геостационарных орбитах. Подключенный к системе Thuraya спутниковый телефон может принимать и отправлять звонки в Австралии, Африке, Средней Азии. Для осуществления связи с Интернетом создан отдельное оборудование – Thuraya DSL (рис. 5).

Телефон обладает необходимой степенью защиты и оборудован GSM-модулем, может работать как обычный сотовый, так и при отсутст-

вии GSM-связи он автоматически подключается к спутникам. Пользовательский функционал аппаратов состоит из удобного пользовательского меню, включает приложения, передачу данных, USB-интерфейс.

В заключение можно отметить, что на сегодняшний день разнообразное количество операторов спутниковой связи. Ее часто критикуют за чрезмерную дороговизну сервисов, но при этом надо отдавать себе отчет в том, что это специфический тип связи, который был разработан, исходя вовсе не из соображений экономии средств. Здесь изначально ставились совсем другие задачи – обеспечение связью труднодоступных мест. Спутниковые операторы стремительно развиваются, с их помощью можно не только узнать местоположение судна, но и передавать информацию, совершать звонки и даже визуально просматривать состояние процессов на судне.

Литература

1. Аппаратура радиосвязи, радиовещания и телевидения. – М.: Экос, 2009. – 194 с.
2. Богосов Б.А. История развития средств связи: Учеб. пособие / Ростовский государственный университет путей сообщения. – Ростов н/Д, 2011. – 199 с.
3. Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами. – 2005. – 440 с.
4. Печаткин А.В. Системы мобильной связи – 2008. – 122 с.
5. Современное судовое оборудование средств электронной навигации, ГМССБ и береговая единая система контроля и управления судоходством: Монография / А.Н. Маринич, А.В. Припотнюк, Ю.М. Устинов и др.; под ред. Ю.М. Устинова. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2007. – 261 с
6. Сомов А.М., Корнев С.Ф. Спутниковые системы связи: Учебное издание. – 2014. – 244 с.
7. Камнев В.Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи. – М.: Альпина Паблшер, 2004. – 205 с.
8. Фролов О.П., Вальд В.П. Зеркальные антенны для земных станций спутниковой связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 136 с.
9. Головин О. Предыстория космической радиосвязи [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.computer-museum.ru/connect/clarke.htm> (дата обращения: 09.09.2018).
10. ФГУП «Морсвязь спутник». – URL: <http://www.marsat.ru/> (дата обращения: 11.09.2018).

УДК 621.313:621.314.26

В.Л. Мырза, А.А. Марченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: someday666@yandex.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В РОЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

В данной статье автор проводит анализ существующих систем регулирования частоты мощных судовых электроприводов. После выявления недостатков существующих систем автор предлагает применять преобразователи частоты на основе электрических машин. Для подтверждения теории приводятся результаты компьютерных экспериментов. Модель предлагаемой системы прошла испытания как в статическом, так и в динамическом режиме, а полученные характеристики позволили говорить о целесообразности внедрения таких систем.

Ключевые слова: электропривод, преобразователь частоты, постоянный ток, генератор.

V.L. Myrza, A.A. Marchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: someday666@yandex.ru*

ELECTRICAL MACHINES APPLICATION AS FREQUENCY CONVERTERS IN SHIP ELECTRIC DRIVES

The analysis of the existing systems of powerful ship electric drives frequency regulation is carried out in the article. After detection of existing systems shortcomings the frequency converters on the basis of electrical machines should be applied. The computer experiments results are given to confirm the theory. The model of the offered system was tested both in static and in the dynamic modes, and the received characteristics proved the feasibility of such systems implementation.

Key words: electric drive, frequency converter, direct current, generator.

Машины постоянного тока нашли широкое применение на судах рыбопромыслового флота в мощных судовых электроприводах траловых лебедок и гребных электрических установок. Это объясняется простотой регулирования скорости таких двигателей в отличие от двигателей переменного тока. Частота вращения двигателей постоянного тока изменяется относительно плавно и пропорционально изменению напряжения на якоре электрической машины. Данный способ лежит в основе гребных электрических установок на постоянном токе, а также гребных установок двойного рода тока. В таких системах схема главного тока основана на использовании генераторов постоянного тока, напряжение которых формирует сигнал управления гребных электродвигателей. Данное схемное решение обладает высокой степенью надежности из-за использования электрических машин, соединенных между собой электрическими и механическими соединениями.

Изменение напряжения на якоре электродвигателей постоянного тока на сегодняшний день является основным способом регулирования их частоты вращения [1]. В системах электродвижения судов с этой целью применяются генераторы постоянного тока, изменение напряжения которых достигается изменением тока обмотки возбуждения. Электромеханические преобразователи напряжения отличаются своей надежностью, но в то же время имеют большие габаритные размеры, а также небольшой коэффициент полезного действия из-за механического и электрического соединения нескольких электрических машин в системе.

На сегодняшний день все чаще получают распространения электронные преобразователи напряжения. Такие устройства лежат в основе гребных электрических установок двойного рода тока и постепенно вытесняют установки постоянного тока. Эти системы наряду с большим количеством положительных качеств, таких как плавность и диапазон регулирования, имеют значительные недостатки.

Трудности в осуществлении ремонта на промысле – это серьезный недостаток таких систем. Высокая чувствительность полупроводниковых элементов в условиях больших токов судовых гребных установок может стать причиной аварий. Неисправности в системе электродвижения судов в условиях ледового плавания могут иметь самые серьезные последствия, поэтому надежность таких систем при проектировании выходит на первое место. Подобный подход частично применяется и в траловых электроприводах, но выход из строя таких систем повлечет за собой остановку промысла, что недопустимо.

Более рационально применять для таких электроприводов двигатели переменного тока, имеющие лучшие габаритные характеристики, а также коэффициент полезного действия. На сегодняшний день единственным методом регулирования частоты вращения двигателей переменного тока, удовлетворяющим степень плавности регулирования, а также диапазона регулирования, является частотный метод. На сегодняшний день в береговых электроприводах получили распространение электронные преобразователи частоты. Если применение электронных преобразователей в системах электроприводов большой мощности может оказаться дорогостоящим, то применение систем на основе электрических машин является оправданным.

В качестве инвертора напряжения в таком преобразователе используется синхронный генератор. Двигатель постоянного тока, механически соединенный с генератором, представляет собой некий эквивалент звена постоянного тока, как в электронных преобразователях. Изменение частоты напряжения генератора напрямую зависит от его частоты вращения, регулирование которой осуществляется регулированием частоты вращения двигателя постоянного тока. В данной системе оптимально использовать электронный преобразователь напряжения, который широко применяется для регулирования координат электроприводов постоянного тока (рис. 1).

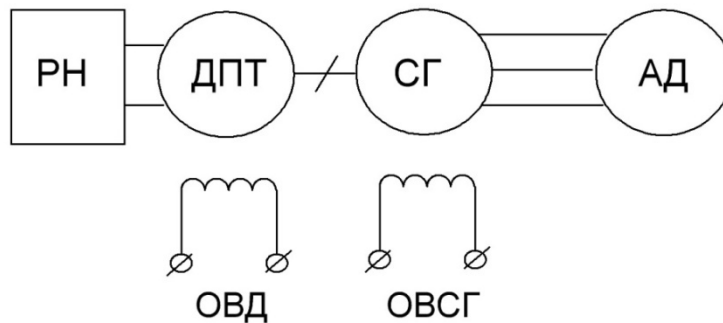


Рис. 1. Схема преобразователя частоты на основе электрических машин

Исследования электромеханического преобразователя проводились при помощи компьютерной модели в системе Matlab [2], показанной на рис. 2.

На рис. 3 и 4 представлены результаты эксперимента, а именно скорость и напряжение электродвигателя переменного тока соответственно.

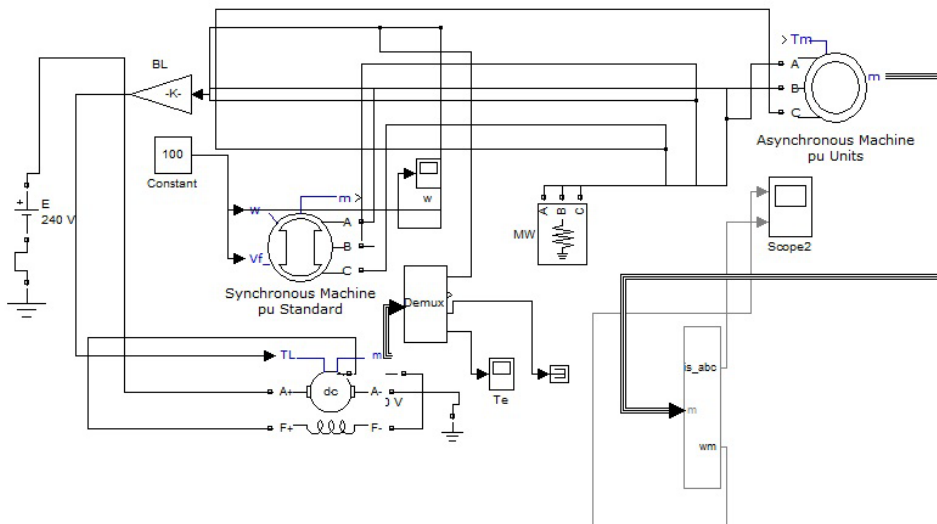


Рис. 2. Модель преобразователя частоты

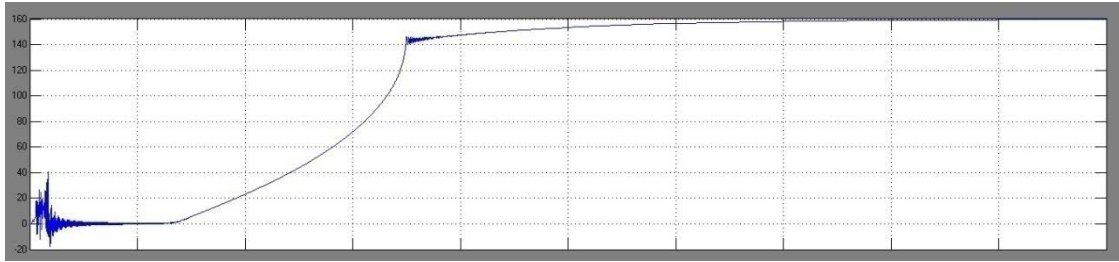


Рис. 3. Скорость электродвигателя

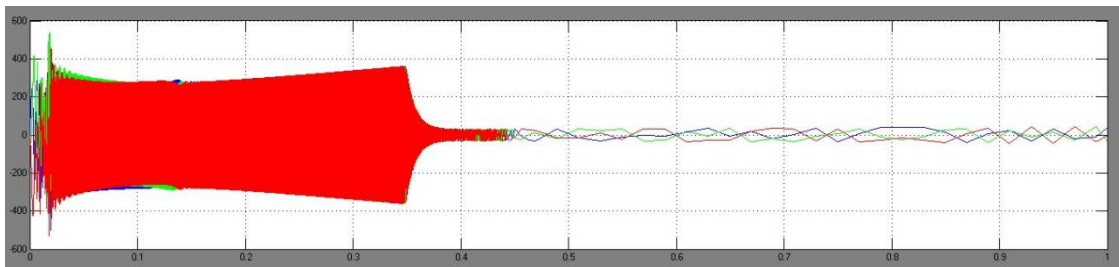


Рис. 4. Напряжение на электродвигателе

Измерение частоты напряжения синхронного генератора напрямую зависит от его частоты вращения. Измерения производились на статоре генератора. При работе якоря двигателя постоянного тока на напряжении 220 В синхронный генератор работает в номинальном режиме. Напряжение такого преобразователя также номинальное 380 В, и частота его составляет 50 Гц. При изменении напряжения якоря электродвигателя (в данном случае производилось уменьшение напряжения) изменяется частота напряжения генератора (рис. 4), соответственно снижается и скорость вращения асинхронного двигателя (рис. 5).

Результаты эксперимента представлены на рис. 5 и рис. 6. Скорость асинхронного двигателя снижается пропорционально току возбуждения генератора постоянного тока. Причиной является форма кривой напряжения. Для получения оптимальной частоты вращения необходимо также изменение амплитуды, в то время как амплитуда напряжения на электродвигателе с электронным преобразователем значительно отличается от напряжения на двигателе с преобразователем на электрических машинах [3].

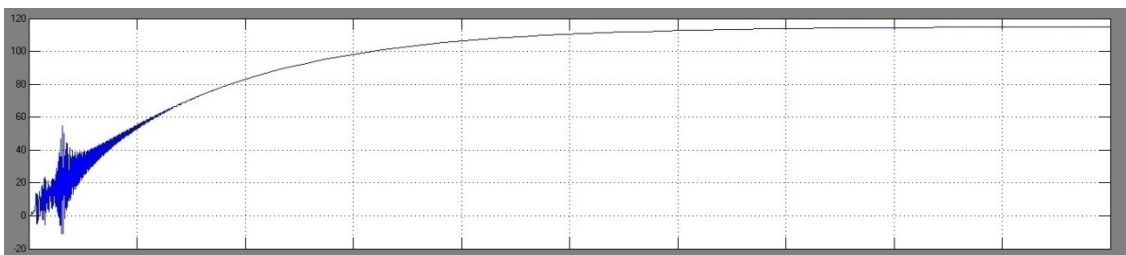


Рис. 5. Скорость электродвигателя при снижении частоты тока

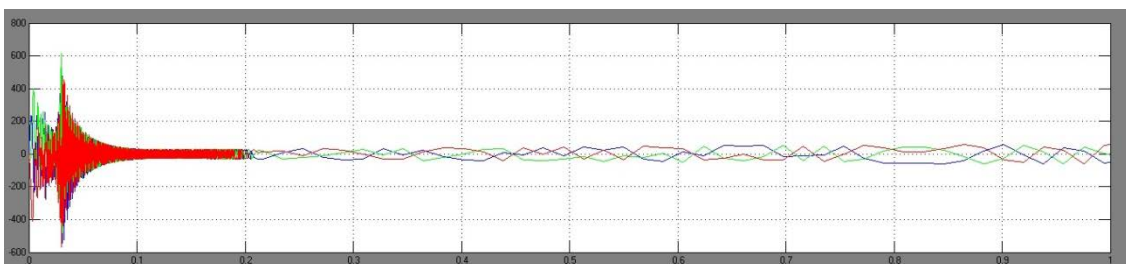


Рис. 6. Напряжение электродвигателя при снижении частоты тока

После проведения исследований преобразователя в статическом и динамическом режиме можно сделать некоторые выводы. Во-первых: представленная система имеет схожие характеристики и является аналогичной системам с использованием преобразователей со звеном постоянного тока, а также позволяет получить плавное регулирование скорости электропривода в широ-

ких пределах. Во-вторых: наряду с положительными качествами представленная система имеет недостатки. Главный из которых – это соединение нескольких электрических машин в составе одной системы. Открытым остается вопрос о регулировании частоты вращения двигателя постоянного тока. Самым оптимальным решением является применение тиристорных преобразователей напряжения, но такое решение не позволяет создать схему без применения сложных электронных элементов.

Литература

1. *Кочетков В.П., Багаутинов Г.А.* Теория автоматизированного электропривода: Учебное пособие / Под ред. В.А. Трояна. – Е.: Изд-во Уральского ун-та, 1992. – 328 с.
2. *Черных И.В.* Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
3. *Марченко А.А.* Испытания асинхронного электродвигателя под номинальным током в режиме противовключения и понижения частоты напряжения // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – Уфа, 2014. – Т. 10, № 4. – С. 25–32.

УДК 621.431.74

А.Н. Рак, А.В. Корощенко, Г.А. Капанадзе

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283000
e-mail: metod@donntu.org*

К ВОПРОСУ НАСТРОЙКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Установлено, что предлагаемая в известной литературе для большинства типов дизелей аппроксимация характеристики удельных затрат топлива (УЗТ) является неточной. Для наиболее распространенных фирм – изготовителей судовых дизелей предложены аппроксимирующие формулы характеристики УЗТ. Дано описание основных принципов настройки и эксплуатации дизелей с электронным управлением.

Ключевые слова: малооборотный дизель, пропульсивный комплекс, морское судно, электронное управление, главный двигатель, удельные затраты топлива, настройка топливной аппаратуры, моторесурс, уровень эмиссии дыма.

A.N. Rak, A.V. Koroshchenko, G.A. Kapanadze

*Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283000
e-mail: metod@donntu.org*

ELECTRONICALLY-CONTROLLED DIESEL SETTING AND OPERATION

It is established that the offered approximation of the fuel unit cost characteristic is inexact for the majority of diesel types. The approximative formulas of the fuel unit cost characteristic are proposed to the most common manufacturers of marine diesel engines. The description of the basic principles of electronically-controlled diesel setting and operation is given.

Key words: slow-running diesel, propulsion system, sea-going craft, electronic control, propulsion engine, fuel unit cost, fuel gear setting, engine resource, smoke emission level.

Высокая надежность, большой моторесурс, простота конструкции и высокая экономичность являются отличительными чертами малооборотных дизелей. Этим, а также возможностью обеспечить высокие агрегатные мощности определяется их преимущественное использование в пропульсивных комплексах (ПК) морских судов. В настоящее время малооборотные двигатели (с частотой вращения до 300 об/мин) производят три фирмы: MAN B&W (МАН и Бурмейстер и Вайн), WÄRTSILÄ-SULZER (Вяртсиля – Зульцер) и МНІ (Митсубиши) [1]. Ужесточение требований международной конвенции MARPOL 73/78 по сокращению выбросов NO_x с отработавшими газами с одной стороны, а с другой стороны подорожание моторных топлив и стремление к сокращению их удельного расхода привело к появлению систем с электронным управлением (СЭУ) главными двигателями (ГД). Применение СЭУ позволило повысить гибкость в управлении углом опережения впрыска топлива, изменять законы его подачи и выполнять их оптимизацию во всем диапазоне рабочих режимов. За работу ГД и систем, его обеспечивающих, как правило, отвечают судовые механики. Но на судах, где установлены двигатели с СЭУ и дистанционным автоматическим управлением (ДАУ), очень большой объем работ по настройке, профилактике и ремонту этих систем лежит все же на судовом электромеханике, хотя у него в соответствии с уставом есть свой круг обязанностей.

Цель – ознакомление судовых механиков и электромехаников с основными принципами настройки и эксплуатации дизелей с СЭУ.

Известно, что управление любыми устройствами и механизмами с помощью СЭУ осуществляется в соответствии с разработанными алгоритмами, занесенными в память управляющих систем. СЭУ ГД обеспечивают непрерывный контроль за средним эффективным давлением, давлением свежего воздуха, давлением воздуха турбокомпрессора, температурой клапанов и отработавших газов, удельными затратами топлива (УЗТ). Из этого следует, что контроль за УЗТ является очень важным с точки зрения эксплуатации.

Проанализируем характеристики УЗТ ГД. В [2] указывается, что для большинства типов дизелей, используемых в качестве ГД, УЗТ можно аппроксимировать полиномом второй степени и представить выражением:

$$UZT_{ГД} = 0,01 \cdot L^2 - 1,513 \cdot L + 226,33, \quad (1)$$

где L – нагрузка ГД, %.

Данная зависимость приведена на рис. 1. Анализ источников [3–5] и аппроксимация кривых УЗТ для ГД указанных выше фирм-производителей, выполненные нами и представленные выражениями (2)–(4) и на рис. 1, показывают, что они отличаются от выражения (1):

$$UZT_{Wartsila} = 0,011L^2 - 1,704L + 234,479, \quad (2)$$

$$UZT_{MAN} = 0,0078L^2 - 1,164L + 207,3, \quad (3)$$

$$UZT_{Mitsubishi} = 0,00633L^2 - 0,956L + 206,083. \quad (4)$$

Наиболее близкой к данному выражению является кривая УЗТ для ГД WÄRTSILÄ-SULZER. Форма кривой УЗТ для ГД MAN B&W идентична форме кривой 1, но проходит ниже, что может привести к большим погрешностям в расчетах, в частности к завышенным прогнозным показателям экономии топлива. УЗТ ГД МНН занимает промежуточное положение. Все это указывает на необходимость индивидуального подхода к настройке топливной аппаратуры.

Как видно из рис. 1, снижение нагрузки на ГД также приводит к снижению УЗТ, а также при этом повышается КПД гребного винта [1]. Для судовых ГД обычно требуется обеспечить устойчивые режимы «малых ходов» (при $n_{экс} \approx 33 \div 25\%$ от $n_{ном}$). У ряда МОД (например, фирмы MAN B&W) $n_{экс\ min}$ удается снижать при маневрировании до 20% (и ниже) от $n_{ном}$. Однако при таком режиме резко снижаются параметры дизеля (p_e до 1,6, p_z до 20 и p_ϕ до 200 кгс/м²), ухудшается процесс смесеобразования и сгорания, а также усиливается нагарообразование в цилиндрах и выпускном тракте, могут возникнуть опасные вибрации.

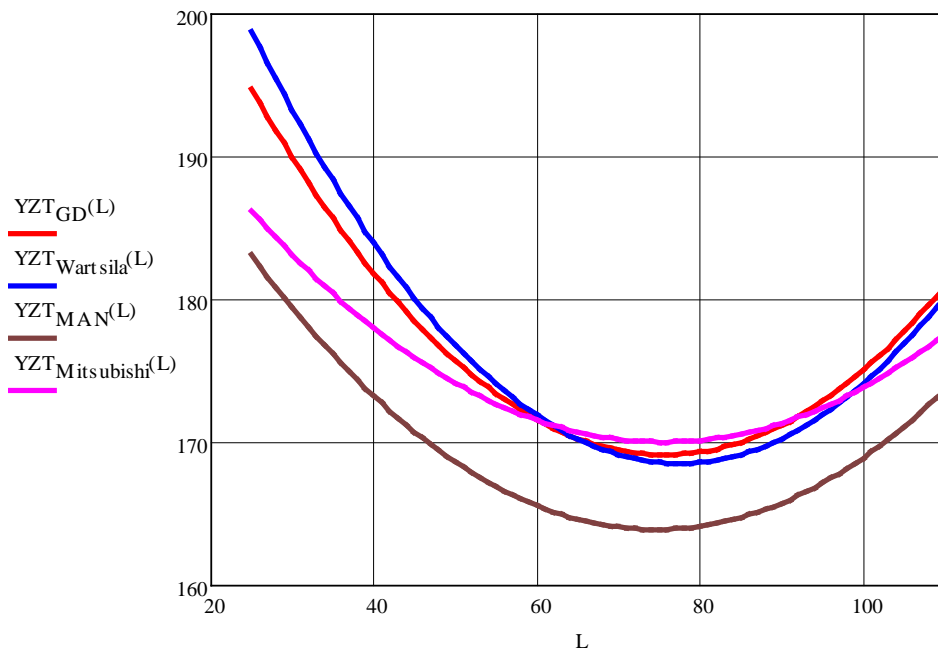


Рис. 1. Аппроксимация кривых удельных затрат топлива

Переход к пониженным оборотам позволяет перейти к т. н. *экономической скорости* $v_{экс}$, под которой понимается такая сниженная $v_{экс} < v_n$ скорость, которая при наличии резерва ходового времени позволяет судну своевременно прибыть в порт назначения, обеспечивая максимальную экономию топлива прежде всего ГД. Но при этом должно соблюдаться условие, что длительная работа на этом режиме не приведет к снижению его надежности. Здесь имеются в виду факторы, перечисленные выше. В связи с этим продолжительность работы дизеля на минимальных n обычно ограничивается временем от 30 до 60 мин [1, 6].

Соответственно, в этом случае в качестве длительной эксплуатационной мощности задается мощность, обеспечивающая режим экономичного хода.

Режим экономичного хода собственно дизеля ECR (Economy Continuous Rating), оптимизированный по $b_e = b_{e\min}$, будет отличен от MCR и от CSR, однако с целью обеспечения всех остальных критериев, возможно, потребуется и перерегулировка дизеля, а именно фаз топливоподдачи и газораспределения, т. к. дизель перейдет на частичную характеристику. Также может быть нарушен оптимальный режим работы гребного винта.

В режиме ECR как и в основном режиме (MCR или CSR) появится свой минимум b_e (рис. 2, кривая 2), поэтому переход от MCR к ECR для многих дизелей является вопросом судовладельца по способу интерпретации понятий этих мощностей.

Выбор режима экономической работы ECR может быть осуществлен по специальным диаграммам (рис. 3), в построение которых положен приведенный выше принцип фирмы «MAN B&W».

Линии I, II и III – взяты по уже обоснованной для современных форсированных судовых дизелей схеме построения ограничительных характеристик (для линии I здесь принято ограничение $n = 100\%$, т. е. $n = n_n$) в логарифмических координатах.

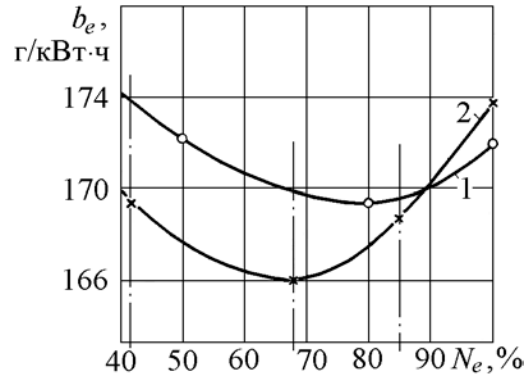


Рис. 2. Форма кривых $b_e = b_e(N_e)$ для исходного режима MCR (кривая 1) и ECR (кривая 2) для двухтактного дизеля

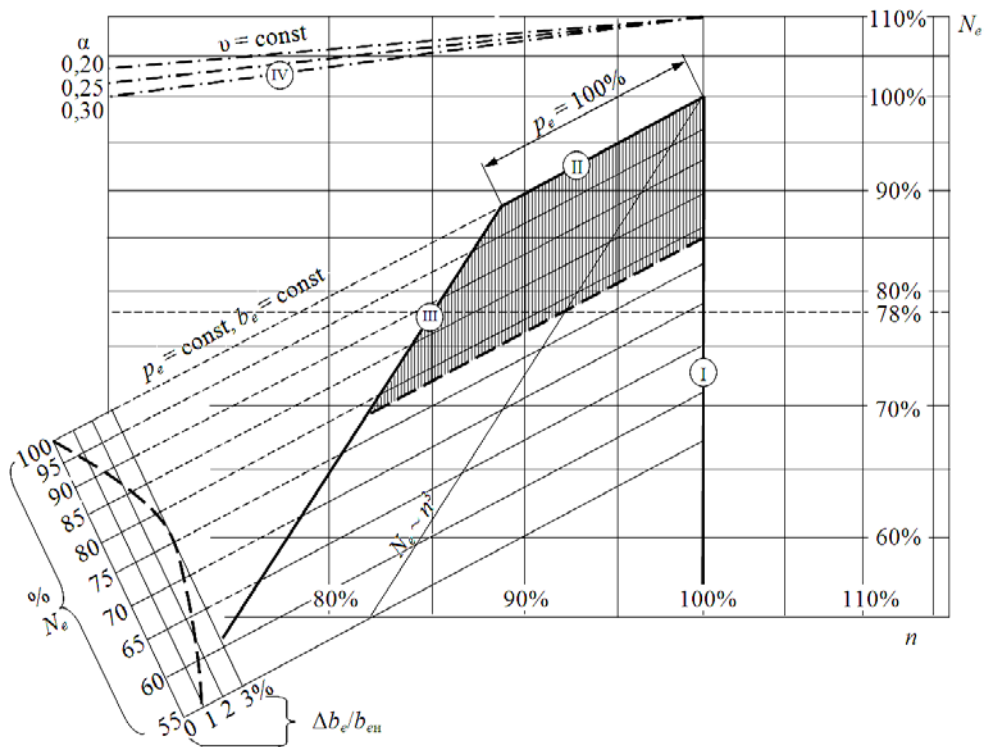


Рис. 3. Схема выбора экономического режима

Линии IV – линии постоянной скорости судна, характеризующие мощность дизеля для различных значений $n = n_p$; при этом предполагается, что для каждого значения частоты вращения гребной винт имеет максимальный КПД.

Если принять, что при $v = \text{const}$ для любого соотношения мощностей в логарифмических координатах N_{e1}/N_{e2} соблюдается $N_{e1} \approx N_{e2} (n_1/n_2)^\alpha$, то угол наклона линий $v = \text{const}$ будет зависеть от показателя степени α . Для судов с полными обводами (танкеры, балкеры) $\alpha \approx 0,3$; для специальных (контейнеровозы, рефрижераторы) $\alpha \approx 0,2$.

Поскольку удельный эффективный расход топлива соответствует значению p_e , а $p_e \sim n^2$, то линии b_e и p_e в логарифмических координатах совпадают. Нанеся на диаграмму величину Δb_e

в % от $b_{eN}(N_e)$, получим в данном случае, что режим экономической скорости, а значит и режим ECR, имеет место при 78% N_e для номинальной винтовой характеристики.

На диаграмме рис. 4, построенной также в логарифмических координатах, прямая 1 представляет спецификационную винтовую характеристику. Параллельная ей линия представляет собой характеристику легкого винта 6, а ломаная 4–5 – ограничительные характеристики. Зона между линиями 4–5 и ломаной 7 относится к зоне перегрузок.

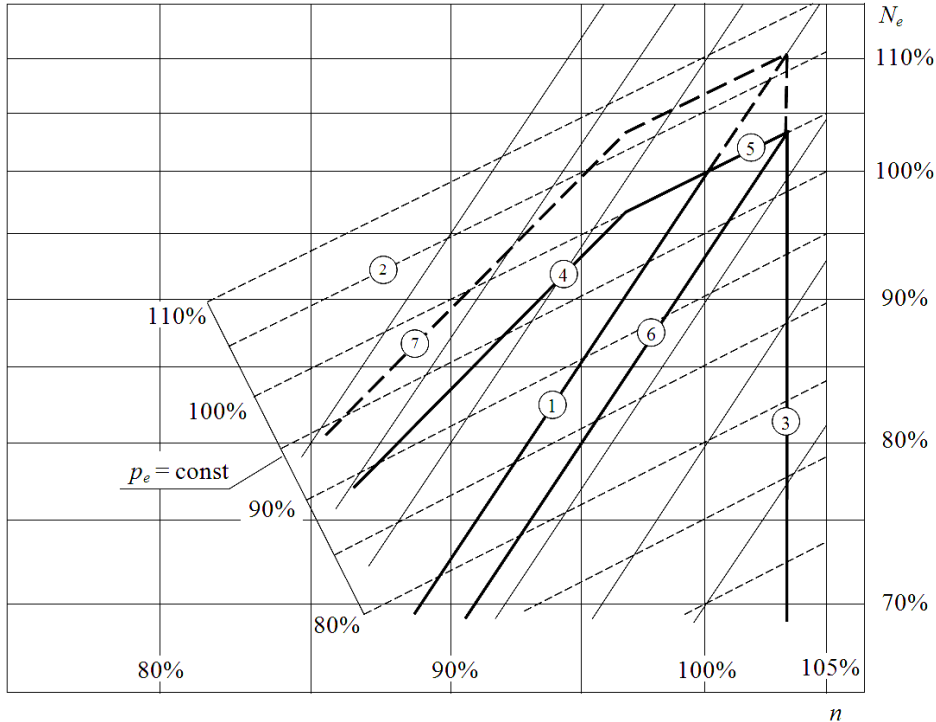


Рис. 4. Диаграмма нагрузок дизеля и режимов перегрузки

С целью обеспечения всех режимов работы необходима более точная настройка топливной аппаратуры.

Для примера рассмотрим порядок настройки ГД с ЭУ WÄRTSILÄ-SULZER RT-flex на снижение содержания NO_x или удельного расхода топлива, который приведен в [3] и на рис. 5 и рис. 6 соответственно. Для этого выбирается область близкая к номинальному режиму, которая должна находиться в пределах 85–90% от номинальной мощности (рис. 5). Область близкая к номинальному режиму определяется следующими точками: R_1 – точка максимальной допустимой продолжительной мощности/частоты вращения; R_2 – 100% скорость и 70% мощность от R_1 ; R_3 – 85% частоты вращения и 90% мощности от R_1 ; R_4 – 85% частоты вращения и 70% мощности от R_1 и линиями, их соединяющими. Для других типов ГД выбор области близкой к номинальному несколько отличается и по внешнему виду, и от значений, представленных выше [4, 5].



Рис. 5. Область близкая к номинальному режиму работы и настроечный треугольник

Работа в этой области целесообразна с точки зрения увеличения моторесурса ГД [7]. В ней выделяется т. н. настроечный треугольник (рис. 5). Далее путем определения полноты сгорания топлива, следовательно, и содержания NO_x в отработавших газах, выполняем оптимальную настройку топливной системы (рис. 6).

Возможность изменения закона подачи топлива и, тем самым, снижения температуры цикла,

позволила существенно снизить содержание окислов азота в выхлопных газах, до норм, установленных Приложением VI (MARPOL 73/78), которые приведены на рис. 7, и уровня эмиссии дыма до норм, приведенных на рис. 8 [4, 8].

Из рис. 7 следует, что нормы выбросов NO_x в соответствии с нормами ИМО, начиная с 2016 г. для малооборотных дизелей должны сократиться практически в 4 раза по сравнению с нормами 2000 г., но они остаются практически постоянными для частот вращения до 100 об/мин и должны снизиться в 6 раз для двигателей с частотами вращения до 300 об/мин.

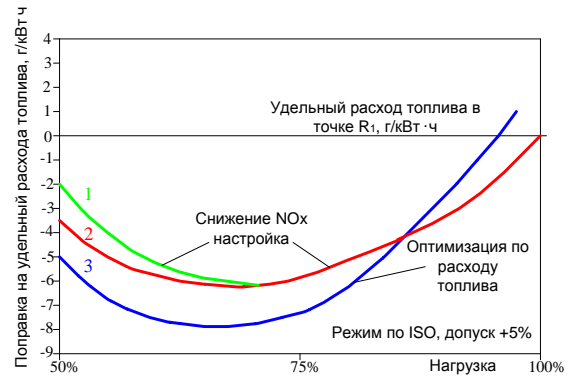


Рис. 6. Настройка двигателя на снижение содержания NO_x

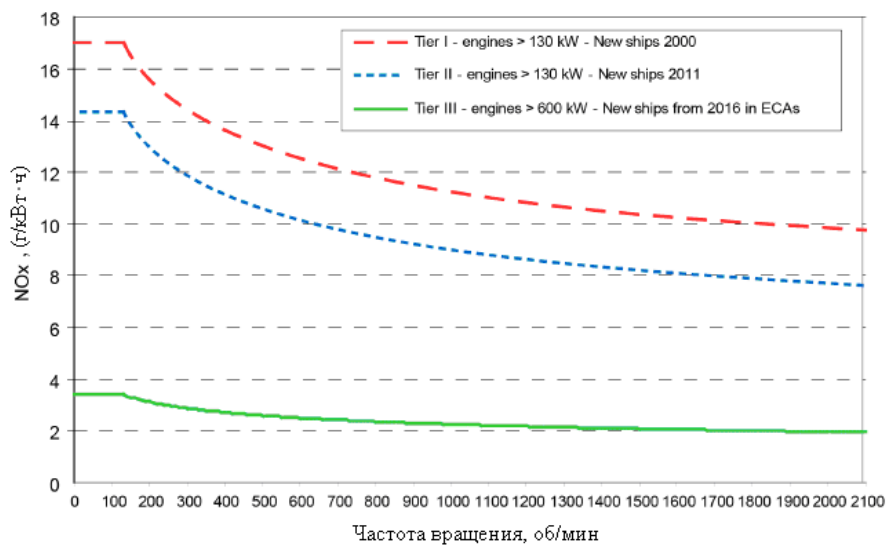


Рис. 7. Нормы выбросов NO_x в соответствии с ИМО

Из рис. 8 следует, что эмиссия дыма в двигателях с электронным управлением находится значительно ниже рекомендованных норм.

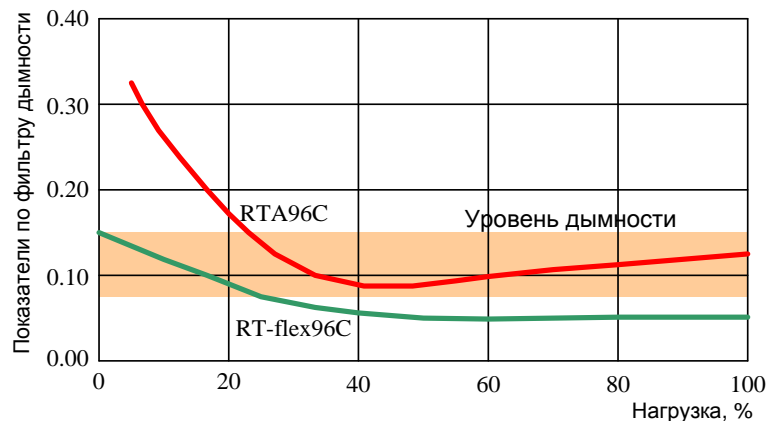


Рис. 8. Кривые эмиссии дыма для двигателей RT-flex96C и RTA96C

Подводя итоги вышесказанному, можно сделать следующие выводы:

1. Применение СЭУ ГД позволяет повысить гибкость в управлении ГД и тем самым сократить не только УЗГ, но и путем оптимизации режимов работы обеспечить соблюдение требований международной конвенции MARPOL 73/78 по сокращению выбросов NO_x с отработавшими газами.

2. Настройка параметров СЭУ и пересчет параметров мощности в режимах отличных от номинального выполняется в области близкой к номинальному режиму.

3. Обеспечение устойчивых пониженных оборотов ГД позволяет перейти к экономической скорости, позволяющей обеспечить максимальную экономию топлива ГД.

Литература

1. *Возницкий И.В.* Двигатели MAN B&W модельного ряда MC 50-98. Конструкция, эксплуатация, техническое обслуживание. – М.: Моркнига, 2008. – 264 с.

2. Exploitation of shaft generators for green efficient ship operation – Electric machine selection and operation on ship's electrical power system / *E. Chatzinikolaou, C. Patsios, A. Sarigiannidis, A. Kladas* // 5th and 6th MarineLive Workshops "Ship Electric Grids" & "Power Management Systems".

3. SULZER RTA96C Marine Installation Manual: Issue. – SULZER RTA96C Marine Installation Manual: Issue. – May 2004. – URL: <https://ru.scribd.com/doc/11498707/RTFLEX96C>.

4. Pounder's Marine Diesel Engines and gas Turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheller Road, Burlington, VF 01803.

5. *Возницкий И.В.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. – М.: Моркнига, 2008. – Т. 1. – 282 с.

6. Дизели. Справочник. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Под общ. ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 480 с.

7. Техничко-экономические характеристики судов морского флота РД 31.03.01-90.

8. *Возницкий И.В., Пунда А.С.* Судовые двигатели внутреннего сгорания. – М.: Моркнига, 2008. – Т. 2. – 470 с.

УДК 621.311.23:629.5

А.Н. Рак, Г.А. Капанадзе

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283000
e-mail: metod@donntu.org*

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕНЕРИРУЮЩИХ МОЩНОСТЕЙ В ТЕРМОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЕ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В статье рассмотрены вопросы определения мощности и состава судовой электроэнергетической системы дизельно-электрической пропульсивной установки с малооборотным главным двигателем. Введение электронного управления рабочими процессами двигателей, в частности систему газообмена, обусловило существенное увеличение энергии отработанных газов, что дало возможность использовать ее не только в турбоагрегатах, но и в дополнительных системах для выработки электрической энергии, таких как турбогенераторы. Установка валогенератора позволяет получить как дополнительный источник электрической энергии, так и устройство стабилизации момента главного двигателя, а в случае выхода из строя главного двигателя – альтернативный аварийный источник движения. Введенное понятие обобщенной СЭЭС позволяет упростить анализ любой СЭЭС, содержащей отдельные ее компоненты или их комбинации.

Ключевые слова: главный двигатель, валогенератор, электродвигатель, электронное управление, газовая турбина, паровая турбина, главный распределительный щит, утилизационный котел, дизельный генератор, нагрузка.

A.N. Rak, G.A. Kapanadze

*Donetsk National Technical University,
Donetsk, 283000
e-mail: metod@donntu.org*

FEATURES OF THE GENERATING CAPACITIES DETERMINATION IN THE SHIP'S ELECTRIC POWERPLANT THERMOEFFECTIVE SYSTEM

The issues of determining the power and composition of the ship's electric power system of a diesel-electric propulsion unit with a low-speed propulsion engine are discussed. The introduction of electronic control of the engine processes, such as the gas exchange system, caused a significant increase of the exhaust gases energy. It might be used not only in turbochargers, but also in additional systems for generating electric power, such as turbogenerators. The installation of the shaft generator allows to obtain both an additional source of electrical energy, and the device for stabilizing the propulsion engine torque, and in the case of the propulsion engine failure as an alternative/emergency mover. The introduced term of the generic ship electric power system allows to simplify the analysis of any such system containing individual components or their combinations.

Key words: propulsion engine, shaft generator, electric motor, electronic control, gas turbine, steam turbine, main switch board, utilization boiler, diesel generator, load.

Современные морские суда являются сложным энерго- и электромеханическим комплексом с высоким уровнем автоматизации и компьютеризации. Их работоспособность напрямую зависит от компетентности, профессионализма и согласованных действий всего экипажа, что в свою очередь влияет на безопасность мореплавания, финансово-экономические показатели, рейтинг и имидж всей компании. Если ранее судовые механики и электромеханики много лет работали на различных судах конкретных массовых серий отечественной и зарубежной постройки и хорошо их знали, то в настоящее время с учетом современного и динамичного уровня развития техники и технологий, суда даже в пределах одной серии могут иметь существенные различия. Но все суда, независимо от этого, имеют общие черты.

Цель статьи – ознакомление электромехаников с современными тенденциями комплектования судовых электростанций и режимами их работы для самостоятельного, грамотного и быстрого принятия правильных решений.

Рассмотрим основные принципы построения и функционирования судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) на примере контейнеровоза «MatildaMaersk» (Официальный № D.4253 и IMO № 9359052) с вместимостью 16 000 контейнеров.

Прежде чем перейти к особенностям СЭЭС, остановимся на технических характеристиках его главного двигателя (ГД). В качестве ГД на судне установлен малооборотный дизель DOOSAN-WÄRTSILÄ-SULZER RT-flex96C с электронным управлением (ЭУ) номинальной мощностью 93 360 л. с. (68 640 кВт) и частотой вращения 102 об/мин [2]. Тепловой баланс ГД RT-flex представлен на рис. 1.

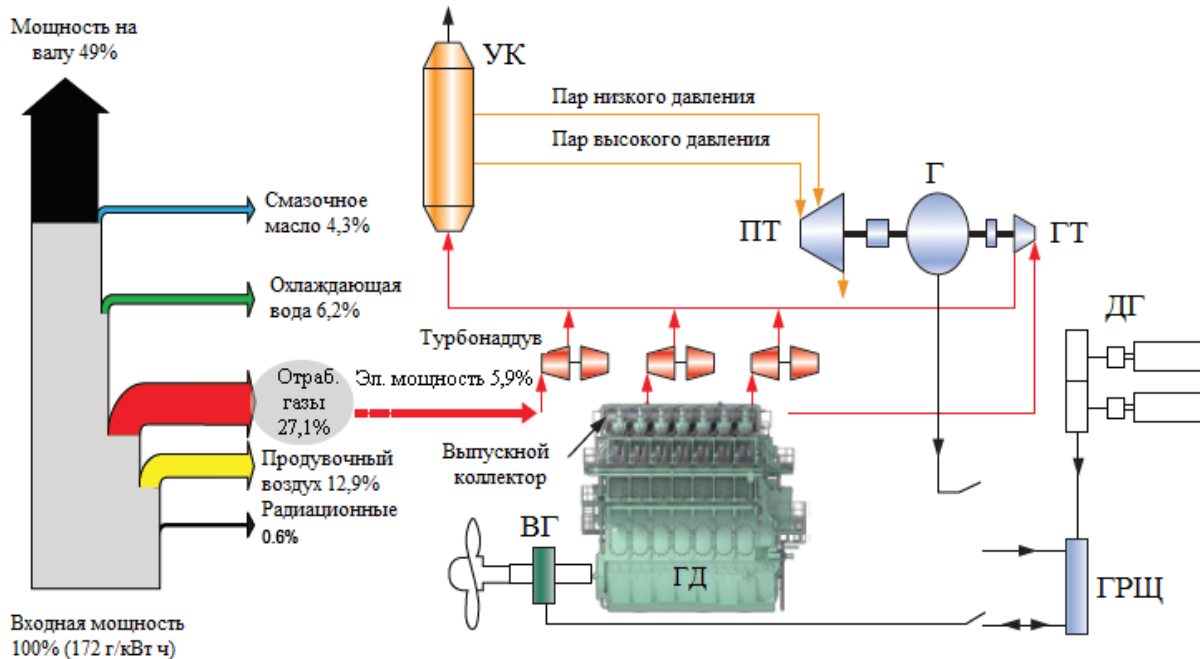


Рис. 1. Структурно-функциональная схема обобщенной СЭЭС:

ГД – главный двигатель; ВГ – валогенератор; УК – утилизационный котел; ПТ – паровая турбина; ГТ – газовая турбина; Г – генератор; ДГ – дизельные генераторы; ГРЩ – главный распределительный щит

Из энергетической диаграммы (рис. 1) следует, что 49% энергии, полученной от сжигания топлива, преобразовывается на полезную работу, обеспечивающую движение судна. Порядка 50% отработанного тепла являются дополнительным ресурсом энергии, который теоретически можно использовать на судне для производства пара и электроэнергии, необходимых для обогрева и работы дополнительного оборудования [4]. Дальнейший анализ показывает, что наиболее емкой для двигателей RT-flex96C остается тепловая энергия, содержащаяся в отработавших газах (25,4%) из которой еще можно дополнительно получить 5,9% электрической мощности.

Если в старых моделях ГД энергии отработавших газов не хватало для привода газотурбокомпрессоров (ГТК), то в новых – введение ряда усовершенствований в организацию рабочего процесса двигателей и систему газообмена позволило не только форсировать двигатели путем наддува, но и обусловило существенное увеличение энергии отработавших газов. Это дало возможность использовать ее не только в ГТК, но и в дополнительно устанавливаемых турбинах [3].

В термозффективной системе (Thermoefficiency System (TES)) силовая газовая турбина стыкуется с паровой турбиной, приводящей в действие турбогенератор переменного тока [1, 3]. Выработка пара для паровой турбины осуществляется утилизационным котлом, включенным в общую систему в соответствии с рис. 1. Также ГД приводит в действие валогенератор (ВГ) /двигатель (Д). Применение такой схемы позволяет в ряде случаев получить, в зависимости от обстоятельств, или усиленный движитель, или аварийный.

Такой подход к построению СЭЭС полностью соответствует требованиям, изложенным в [5, 6], и позволяет, на наш взгляд, ввести такое понятие, как «обобщенная» СЭЭС. Его введение позволит в дальнейшем упрощать анализ любой СЭЭС по той причине, что на всех без исключения судах присутствуют отдельные ее элементы или их комбинации, например ГД-ГТ-ДГ, ГД-ВГ-ДГ, ГД-ДГ или только ДГ.

Теперь перейдем к вопросу определения мощности и состава СЭЭС. Вопросы определения мощности СЭЭС, состоящей только из ДГ, к которым относят вероятностные, статистического моделирования, аналитический и табличный (название метода поясняется тем, что расчет нагрузок СЭЭС во всех режимах работы судна оформляют в виде таблицы), довольно хорошо разработаны и изложены в [7]. В данной работе для определения мощности ДГ использовался табличный метод определения нагрузок. Вопросы же выбора мощности ТГ и ВГ в современной отечественной и зарубежной литературе по морскому делу практически нигде не рассматриваются. Для определения ориентировочной мощности ТГ воспользуемся диаграммой электрической мощности, производимой ГТ и ПТ, приведенной на рис. 2 и в [8]. По диаграмме (рис. 2) для мощности ГД $P_{ГД} = 68\,640$ кВт определяем электрическую мощность ГТ $P_{ГТ} = 2\,000$ кВт и мощность ПТ $P_{ПТ} = 4\,200$ кВт, что дает суммарную мощность ТГ $P_{ТГ} = 6\,200$ кВт и практически соответствует данным [1].

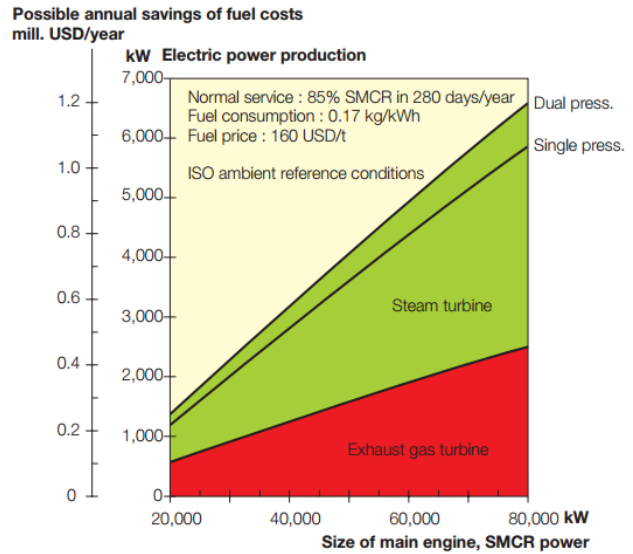


Рис. 2. Диаграмма электрической мощности, производимой газовой (Exhaustgas) и паровой (Steam) турбинами в зависимости от мощности (Sizeofmainengine) ГД

Мощность ВГ также можно оценить ориентировочно, исходя из следующих соображений. Мощность на валу, приведенная на рис. 2, – это мощность только на валу самого ГД, а мощность винтовая будет меньше на величину потерь в подшипниках ($\approx 6\%$) и потери на ВГ ($\approx 4\%$). В системе с передачей энергии на генератор через редуктор потери в редукторе составляют ($\approx 2\%$) и в самом генераторе ($\approx 4\%$) [9].

То есть мощность ВГ $P_{ВГ} = 0,04 \cdot 68\,640 = 2\,745$ кВт, что также соответствует [1]. А далее по каталогам-справочникам выбираются конкретные типы генераторов. В таблице приведены паспортные данные генераторов. Видно, что суммарная мощность ТГ и ВГ практически равна суммарной мощности всех ДГ, поэтому в соответствии с [1] приоритетной считается следующая последовательность введения генерирующих мощностей ТГ \rightarrow ВГ \rightarrow ДГ. При такой постановке задачи возможная годовая экономия (Possible annual savings of fuelcosts mill, USD/year) по статье «Топливо» в соответствии с рис. 2 может составить 1\$,2 млн.

Паспортные данные генераторов

Генератор	Тип	S , кВА	n , мин ⁻¹	U , В	I , А	f , Гц	$\cos \varphi$
ДГ (3)	«Siemens» IDK4531-8BF05-Z	3 600	1 800	6 600	315,3	60	0,7
ТГ (1)	«Siemens» 1FJ4805-4SB62	7 000	1 800	6 600	613,1	60	0,857
ВГ (1)	«Siemens» 65L3710-8LG42-4AW0	3 571	45–82	6 600	328,5	60	0,7
Аварийный	«CATERPILLAR» SR4	1 700	1 800	440	2 456,6	60	0,8

Суммируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Применение в качестве ГД двигателя с электронным управлением позволяет путем выполнения более гибкой настройки топливной аппаратуры обеспечить не только соблюдение требований конвенции MARPOL 73/78 в части сокращения количества выбросов NO_x , а также сократить удельный расход топлива.

2. Применение на судах ГД с электронным управлением путем совершенствования тепло-энергетических процессов позволяет получить два дополнительных источника электрической энергии валогенератор и турбогенератор.

3. Свойство обратимости синхронной машины (валогенератор/двигатель) позволяет получить также не только дополнительный источник электрической энергии, а также дополнитель-

ный источник движения, который можно использовать при аварийном режиме работы, или для усиления работы главного двигателя.

4. Введение понятия «обобщенная» СЭЭС позволит в дальнейшем упрощать анализ работы любой электростанции.

5. Применение дополнительных источников электрической энергии на судне позволит получить годовую экономию по статье «Топливо» примерно \$1,2 млн.

Литература

1. 'M' class container ship. Operating manual lindø newbuilding L. 216. m/s "MATHILDE MAERSK".

2. SULZERRTA96C Marine Installation Manual: Issue. – May 2004. – URL: <https://ru.scribd.com/doc/11498707/RTFLEX96C>.

3. Возницкий И.В. Двигатели MANB&W модельного ряда MC 50-98. Конструкция, эксплуатация, техническое обслуживание. – М.: Моркнига, 2008. – 264 с.

4. Pounder's Marine Diesel Engines and gas Turbines. Eighth edition. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP 200 Wheller Road, Burlington, VF 01803.

5. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Электрооборудование. КНД 31.2.002.07-96.

6. Правила и классификации и постройки морских судов. Том 2. НД - № 2-020101-047. Российский морской регистр судоходства. – СПб.: 2007. – 680 с.

7. Справочник судового электротехника. Т.1. Судовые электроэнергетические системы и устройства / Под ред. Г.И. Китаенко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1980. – 528 с.

8. URL: <http://www.123energy.net/resources/cogeneration.pdf>

9. URL: <http://marine.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/technical-papers/shaft-generators-for-mc-and-me-engines.pdf?sfvrsn=22>.

УДК 621.311.26:620.91:621.472

М.Ф. Руденко, А.М. Руденко, В.А. Власов

Астраханский государственный технический университет,

Астрахань, 414056

e-mail: rudenko@astu.org

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛОСКОГО КОНЦЕНТРАТОРА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ И БЕРЕГОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Уменьшение массогабаритных характеристик энергетических электрических станций является важным качеством применения комбинированных гибридных солнечно-ветровых установок на морских платформах, плавающих баржах, маяках, береговых и других портовых объектах, имеющих ограниченные рабочие площади и отдаленных от линий электропередач.

Целью настоящего исследования является определение эффективности работы фотоэлектрических элементов за счет применения плоских концентраторов, выбора рациональной конструкции и взаимного расположения адаптирующей и отражающей поверхности при оптимальной площади проникновения солнечных лучей. Данная цель достигается решением следующих задач:

- созданием максимального освещения фотоэлемента энергией солнечной радиации, определения максимальной концентрации солнечного излучения;
- определением рационального взаимного расположения фотомодулей в плоских зеркалах, а также оптимальных углов раскрытия зеркал.

Аналитические исследования показывают, что при одинаковой компактности известных устройств и исследуемых энергетическая эффективность последних возрастает на 40%, а номинальная стоимость снижается на 25%.

Ключевые слова: эффективность, компактность, концентраторы, фотомодули, солнечные батареи.

M.F. Rudenko, A.M. Rudenko, V.A. Vlasov

Astrakhan State Technical University,

Astrakhan, 414056

e-mail: rudenko@astu.org

ANALYTICAL RESEARCHES OF SOLAR POWER PLANAR CONCENTRATOR FOR OFFSHORE PLATFORMS AND BEACH INSTALLATIONS

Reduction of the overall characteristics of power plant stations is an important quality of applying combined hybrid solar-wind plants on offshore platforms, floating barges, lighthouses, beach and other port objects, which have limited workspace and remote from transmission lines.

The purpose of this research is to determine the efficiency of photovoltaic cells by applying planar concentrators, regular-style design and relative position of the adaptive and reflecting surfaces with optimal area of sun-rays penetration. This goal is achieved by the following tasks solving:

- maximum photocell illumination by solar radiation, determination of maximum solar beamforming;
- determination of rational relative position of photomodules in flat mirrors and optimal angles of mirrors opening.

The analytical researches shows that with the same compactness of well-known and researched devices power efficiency of the latter is increased by 40% and the nominal value is reduced by 25%.

Key words: efficiency, compactness, concentrators, photomodules, solar batteries.

Настоящее исследование представляет из себя разработку и определение эффективности работы комбинированных фотоэлектрических элементов солнечных батарей для получения электрической и тепловой энергии за счет применения плоских зеркальных концентраторов, выбора рациональной конструкции и взаимного расположения адаптирующей и отражающей поверхности при максимальной освещенности и оптимальной площади проникновения солнечных лучей на адаптирующие поверхности. Высокая компактность солнечных батарей, на основе исследуемых схемных конструктивных решений, позволит значительно снизить массогабаритные характеристики электрических станций. Это особенно важно для применения комбинированных гиб-

ридных солнечно-ветровых электрических станций на морских буровых платформах, маяках, береговых и других объектах, имеющих ограниченные рабочие площади и отдаленных от линий электропередач в регионах с большим количеством солнечных дней и частыми сильными потоками ветровой энергии.

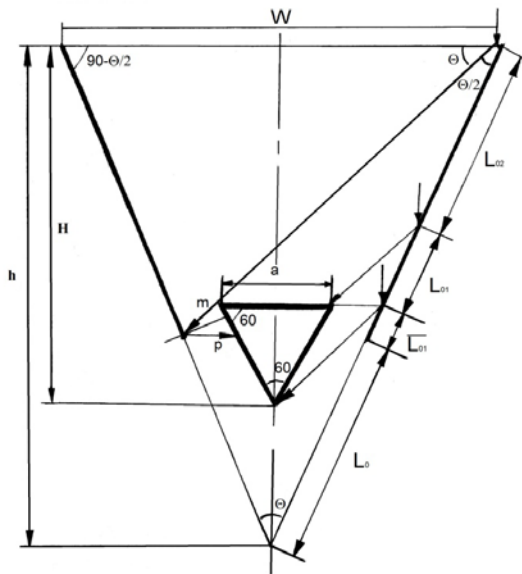


Рис. 1. Модель для определения оптико-экономического коэффициента концентрации на адаптирующее устройство треугольной формы при $W = 3a$ и $\Theta = 60^\circ$

Решение данной проблемы достигается следующим: аналитическим расчетом максимальной степени освещения фотоэлементов энергией солнечной радиации на основе определения коэффициента концентрации солнечного излучения на адаптирующую поверхность; аналитическим расчетом геометрических параметров для рационального взаиморасположения фотомодулей в плоских зеркалах и оптимальных углов раскрытия зеркал; определением потоков тепловой солнечной радиации на конфигурацию фотомодулей.

Рассмотрены конструкции адаптирующего устройства (плоских фотомодулей), имеющего форму правильного треугольника и расположенного в центре нескольких плоских зеркальных поверхностей, установленных под определенными фиктивными углами. Основные параметры устройства связаны аналитически с геометрическими параметрами зеркал через длину и угол их раскрытия (рис. 1). Для простоты исследования площади поверхностей заменялись соответствующими профилями проекций конструкции на единицу длины.

Геометрические размеры фотоэлектрического устройства связаны аналитически через типовой размер ширины фотомодуля a и фиктивный угол раскрытия зеркал Θ следующими зависимостями

$$H = (L_{01} + L_{02} + a) \cdot \cos \frac{\Theta}{2}; \quad (1)$$

$$h = 2a \cdot \cos \frac{\Theta}{2}; \quad (2)$$

$$L_{01} = \frac{2a \cdot \sin(60 - \Theta)}{\sin(90 + \Theta) \cdot \cos \frac{\Theta}{2}}; \quad (3)$$

$$\overline{L_{01}} = \frac{\left[4a \cdot \sin \Theta - (L_{01} + L_{02}) \cdot \sin\left(180 - \frac{3}{2}\Theta\right) \right]}{\cos \frac{\Theta}{2}}; \quad (4)$$

$$L_{02} = \frac{a \cdot \sin \Theta}{\sin \frac{\Theta}{2}}; \quad (5)$$

$$L = L_{01} + L_{02} + \overline{L_{01}}; \quad (6)$$

где L – ширина одного зеркала;
 H – высота концентрирующего устройства;
 h – фиктивная высота.

Исследовалась облучающая способность адаптирующего устройства треугольной формы прямой и отраженной энергией солнечной радиации при изменении входящих в концентратор потоков по параметру W [1, 2].

Проведение аналитического исследования основывалось на следующих гипотезах [5]: принимались равными угол падения и угол отражения солнечных лучей на плоские зеркальные поверхности; падение солнечных лучей было строго параллельным симметрии конструкции модели концентратора; энергия солнечной радиации полностью поглощается адаптирующей поверхностью и отражается от зеркальных поверхностей.

Оптико-экономический коэффициент концентрации определялся по выражению:

$$C_{оэ} = \frac{n \cdot a}{a}, \quad (7)$$

где $n = 3$ – количество адаптирующих элементов, облучаемых энергией солнечной радиации.

Рассматривались различные параметры величины W ($W_1 = 2a$, $W_2 = 3a$, $W_3 = 4a$ при углах Θ соответственно 30° , 45° , 60° , 90°). На рис. 1 изображена расчетная модель при $W = 3a$ и $\Theta = 60^\circ$.

На рис. 2 изображены три зависимости изменения оптико-экономического концентратора исследованного устройства при различных углах раскрытия отражающих зеркал и различных параметрах W (входящей энергии солнечной радиации). Зависимости имеют экстремальные значения в пределах углов раскрытия зеркал равных $40\text{--}50^\circ$, максимальные значения при $W = 4a$, $C_{оэ} = 5,78$ [3].

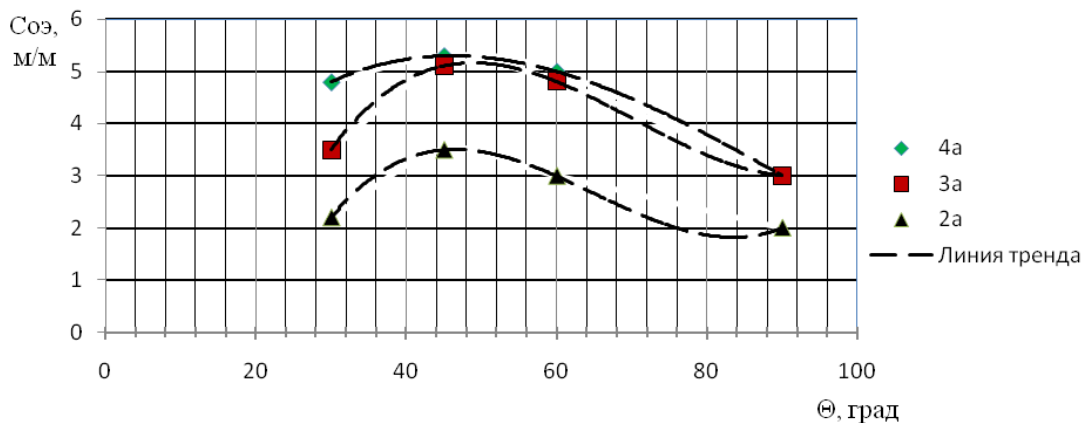


Рис. 2. Аналитические зависимости оптико-экономического коэффициента концентратора солнечной энергии от углов раскрытия зеркал при различных параметрах W

Полученные расчетные точки оптико-экономических коэффициентов можно описать зависимостями через политропные выражения:

для $W = 2a$: $C_{оэ} = 7E - 0,5 \cdot \Theta^3 - 0,013 \cdot \Theta^2 + 0,776 \cdot \Theta - 11,2;$ (8)

для $W = 3a$: $C_{оэ} = 6E - 0,5 \cdot \Theta^3 - 0,011 \cdot \Theta^2 + 0,748 \cdot \Theta - 9,9;$ (9)

для $W = 4a$: $C_{оэ} = 1E - 0,5 \cdot \Theta^3 - 0,003 \cdot \Theta^2 + 0,238 \cdot \Theta + 0,4.$ (10)

Разработаны программы для расчета и анализа оптико-экономических характеристик концентраторов при плавном изменении исходных задаваемых параметров.

Проведенные аналитические исследования оптико-экономических коэффициентов в зависимости от углов раскрытия зеркал и параметра W при различных углах склонения солнца от оси симметрии концентрирующего устройства не дали существенного результата.

На основании проведенного аналитического исследования интерес представляет конструкция адаптирующего устройства треугольной формы с параметрами $W = 4a$, углом раскрытия зеркал $\Theta = (35\div 60^\circ)$ при перпендикулярном освещении конструкции солнцем. При этом при одинаковой компактности известных устройств и исследуемых энергетическая эффективность последних возрастает на 40%, а номинальная стоимость снижается на 25%. Для строгого выдерживания исследуемых параметров таких солнечных систем в конструкциях необходимо предусмотреть следящие за солнечным потоком системы.

Литература

1. *Руденко М.Ф.* Эффективность гелиоприемных устройств с концентраторами для систем тепло- и хладоснабжения. – Саратов: ЛНЭ ОЭП СНЦ РАН, 2001. – 63 с.
2. *Руденко М.Ф., Туркпенбаева Б.Ж., Чивиленко Ю.В.* Теоретические основы проектирования экологически безопасной гелиоэнергетической техники для производства теплоты. – Актау: Изд-во АктГУ им. Ш. Есенова, 2008. – 165 с.
3. *Руденко М.Ф., Давыденко А.И.* Фотоконцентраторы для морских и береговых энергетических комплексов // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 1 (февраль). – С. 89–96.

УДК 52-17:519.6

А.Н. Сучков¹, И.М. Орошук², М.В. Васильев³

¹ Тихоокеанское высшее военно-морское училище им. С.О. Макарова,
Владивосток, 690062;

² Дальневосточный федеральный университет,
Владивосток, 690091;

³ Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКЛИКА ЦИФРОВЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК С ПРОСТРАНСТВЕННО-КОРРЕЛЯЦИОННЫМ МЕТОДОМ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

Предложенный в работе метод, основанный на моделях пространственно-корреляционной зависимости поля радиосигналов и радиопомех, полученных в результате статистической обработки экспериментальных данных исследований пространственно-корреляционных зависимостей полей радиосигналов и радиопомех декаметрового диапазона, позволяет исследовать и проводить поиск оптимальных конфигураций апертур цифровых антенных решеток в проектируемых радиоэлектронных системах декаметрового диапазона, обеспечивающих требуемые направленные характеристики при минимизации числа элементов и общей площади апертуры антенной решетки без существенных затрат на экспериментальные исследования.

Ключевые слова: цифровые антенные решетки, пространственно-корреляционный метод, декаметровые радиотехнические системы, коэффициент взаимной корреляции.

A.N. Suchkov¹, I.M. Oroshchuk², M.V. Vasilyev³

¹ Pacific Higher Naval School named after S.O. Makarov,
Vladivostok, 690062;

² Far Eastern Federal University,
Vladivostok, 690091;

³ Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003

METHOD OF DIGITAL ARRAYS RESPONSE MODELING WITH SPATIAL CORRELATION SIGNAL PROCESSING METHOD

The proposed method is based on the models of the spatial correlation radio signal field and interference dependence which are obtained as a result of statistical processing of the experimental data of the spatial correlation dependences of the radio signal fields and radio interference of the decameter range. This method allows to investigate and search for optimal configurations of digital arrays apertures Grids in the projected decameter radio electronic systems, providing the required direct characteristics in case of minimizing the number of components and the total area of the array aperture without significant costs for experimental research.

Key words: digital arrays, spatial correlation method, decameter radio technical systems, cross-correlation coefficient.

Широкое внедрение в радиоэлектронные системы (РЭС) цифровых антенных решеток (ЦАР) позволяет в полной мере исследовать эффективность различных видов антенных решеток (АР) с обработкой сигналов [1–2].

Среди многих разновидностей РЭС большой интерес представляют цифровые антенные решетки (ЦАР) с нелинейной обработкой радиосигналов, применение которых стало технологически возможным с развитием цифровой процессорной техники. Такие РЭС согласно работам [1–2] могут обладать некоторыми преимуществами по сравнению с АР с классическими методами обработки сигналов. В частности исследования ряда отечественных [3–4] и зарубежных [5–7] ученых показали возможность достижения высоких направленных свойств и снижения боковых лепестков диаграммы направленности при выгодном уменьшении числа элементов в АР.

Для проведения экспериментальных исследований возможностей применения ЦАР с пространственно-корреляционным методом обработки сигналов в декаметровом диапазоне требуются большие затраты на антенно-фидерное, приемное и вычислительное оборудование [8].

В связи с этими ограничениями целесообразнее предварительно проводить численное имитационное моделирование работы ЦАР.

Рассмотрим краткий принцип функционирования ЦАР с пространственно-корреляционным методом обработки сигналов и методику моделирования ее отклика (направленных характеристик).

Данные системы представляют собой дискретную неэквилидистантную АР с трактом обработки выходных сигналов, включающим блок усиления, многоканальный АЦП, блок временных задержек, тракт корреляционной обработки и устройство принятия решения [9–14]. Сканирование пространства и формирование характеристики направленности осуществляется путем введения искусственных временных задержек между собой относительно направления прихода радиосигнала на величину компенсационной временной задержки τ_k , обусловленные разностью времени распространения радиосигнала до элементов АР.

В тракте корреляционной обработки производится оценка функций взаимной корреляции радиосигналов с выходов всех пар элементов АР с последующим их суммированием:

$$U_{\text{выхЦАР}}(\theta) = 2 \sum_{i=1}^{R-1} \sum_{i>j}^{R-1} [\sigma_{s,i} \sigma_{s,j} \rho_{s,ij}(\tau - \tau_k) + \sigma_{n,i} \sigma_{n,j} \rho_{n,ij}(\tau - \tau_k)], \quad (1)$$

где $\sigma_{s,i}$, $\sigma_{s,j}$, $\sigma_{n,i}$, $\sigma_{n,j}$ – среднеквадратические отклонения (СКО) напряжений радиосигналов и радиопомех на выходах i -х и j -х элементов АР;

$\rho_{s,ij}$, $\rho_{n,ij}$ – коэффициенты взаимной корреляции (КВК) напряжений радиосигналов и радиопомех на выходах i -х и j -х элементов АР;

τ_k , τ – компенсационные и естественные временные задержки радиосигналов;

R – количество элементов АР.

Решение о наличии или отсутствии полезного сигнала принимается по результатам сравнения выходного сигнала ЦАР [см. выражение (1)] с пороговым уровнем, величина которого определяется параметрами РЭС, соотношением энергетических уровней радиосигнала σ_s и радиопомехи σ_n , а также значениями корреляционной связи радиосигналов ρ_s и радиопомех ρ_n в зоне приема [9, 11].

Анализ выражения (1) и дополнительные исследования [9–14] показали, что эффективность рассматриваемых РЭС в немалой степени зависит от пространственно-корреляционной связи радиосигналов и радиопомех. Следовательно, для оценки их потенциальных возможностей кроме энергетических параметров необходимы реальные пространственно-корреляционные зависимости полей радиосигналов и радиопомех декаметрового диапазона.

С этой целью были проведены экспериментальные исследования [10, 14], результаты которых показали, что значения ρ_s при пространственном разnose приемных антенн до 1 км остаются высокими и в пределах декаметрового диапазона уменьшаются незначительно до 0,81.

Для математического моделирования на основе статистической обработки полученных экспериментальных данных определено детерминированное выражение, отражающее общий характер изменения пространственно-корреляционной связи радиосигналов в декаметровом диапазоне для заданного разноса между антеннами d с погрешностью не более 3,53% [10, 12, 14]:

$$\rho_s(d, f_0) = \exp[-d(5,28 \cdot 10^{-3} \cdot f_0 + 0,138)], \quad (2)$$

где f_0 – частота сигнала, МГц;

d – расстояние между элементами АР, км.

Величина ρ_n имеет иную тенденцию [10, 14]. Большие значения КВК радиопомех сохраняются только в пределах небольшого интервала корреляции, величина которого составляет несколько метров, а затем при увеличении разноса между антеннами ρ_n резко снижаются и осциллируют по гауссовому закону $N(\rho_n, \sigma_n)$ в небольших пределах.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получена стохастическая имитационная модель [12, 15], позволяющая синтезировать пространственно-корреляционные характеристики поля радиопомех декаметрового диапазона:

$$\rho_n(d) = \begin{cases} \sin(\pi d / d_0) / (\pi d / d_0), & 0 \leq d \leq d_0, \\ N(\rho_n, \sigma_n), \rho_n \in (-1; 1), & d > d_0 \end{cases} \left. \vphantom{\rho_n(d)} \right\} f_0 \in (3; 30 \text{ МГц}), \quad (3)$$

где $N(\rho_n, \sigma_n) = (1 / \sqrt{2\pi}\sigma_n) \exp[-(\rho_n^2 / 2\sigma_n^2)]$.

Дополнительно определена зависимость амплитуды флуктуационной составляющей КВК радиопомех от f_0 и Δf , для которой получено аппроксимирующее эмпирическое выражение [12, 15]:

$$\sigma_n(f_0, \Delta f) = 7,2 \cdot 10^{-3} f_0 + 1,3 \cdot 10^{-4} \Delta f + 0,118, \quad (4)$$

где Δf – полоса пропускания трактов обработки сигналов, кГц.

На основе полученных моделей пространственно-корреляционной зависимости поля радиосигналов [см. выражение (2)] и стохастической имитационной модели пространственно-корреляционных характеристик поля радиопомех декаметрового диапазона [см. выражение (3) и (4)], можно производить численное моделирование значений пространственно-корреляционной связи радиосигналов и радиопомех между всеми парами антенных элементов АР. Далее на основе этих значений с помощью выражения (1) можно оценивать направленные характеристики ЦАР для различных вариантов конфигурации АР, частоты сигнала f_0 и полосы пропускания трактов обработки сигналов Δf .

Сущность данной методики оценки заключается в следующем.

Первоначально для заданной частоты сигнала и полосы пропускания трактов обработки системы синтезируются пространственно-корреляционные зависимости поля радиосигналов и радиопомех декаметрового диапазона.

Далее в зависимости от конфигурации системы определяется матрица взаимных расстояний между ее элементами после их позиционирования (рис. 1) в направлении полезного радиосигнала θ_c :

$$\|d_{ij}(\theta_c)\| = \begin{pmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} & \dots & d_{0R} \\ & d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1R} \\ & & d_{22} & \dots & d_{2R} \\ & & & \dots & \dots \\ & & & & d_{RR} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

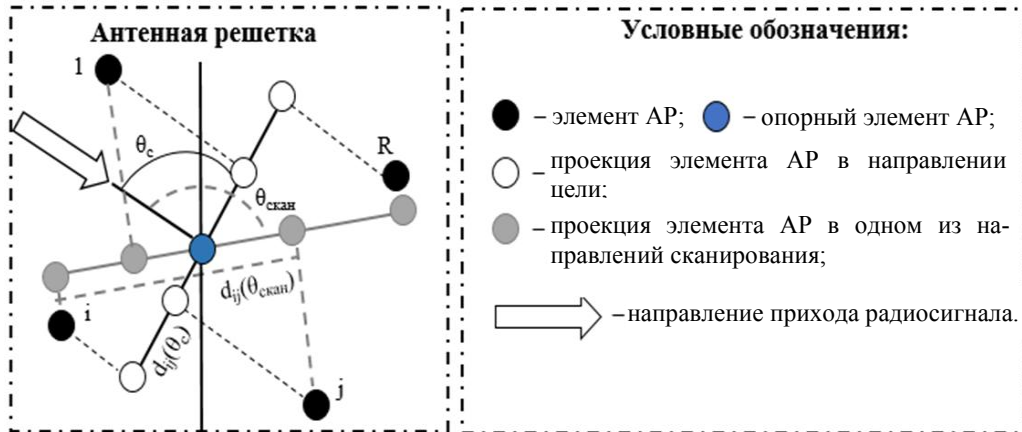


Рис. 1. Позиционирование элементов ЦАР в направлении прихода радиосигнала и для одного из углов сканирования

На основе полученной матрицы $\|d_{ij}(\theta_c)\|$ после наложения расстояний на зависимости КВК радиосигналов и радиопомех определяются матрицы взаимных корреляций радиосигналов $\|\rho_{s,ij}(\theta_c)\|$ и радиопомех $\|\rho_{n,ij}(\theta_c)\|$ (рис. 2):

$$\|\rho_{s,ij}(\theta_c)\| = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{s,01} & \rho_{s,02} & \dots & \rho_{s,0R} \\ & 1 & \rho_{s,12} & \dots & \rho_{s,1R} \\ & & 1 & \dots & \rho_{s,2R} \\ & & & \dots & \dots \\ & & & & 1 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

$$\| \rho_{n,ij}(\theta_c) \| = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{n,01} & \rho_{n,02} & \dots & \rho_{n,0R} \\ & 1 & \rho_{n,12} & \dots & \rho_{n,1R} \\ & & 1 & \dots & \rho_{n,2R} \\ & & & \dots & \dots \\ & & & & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

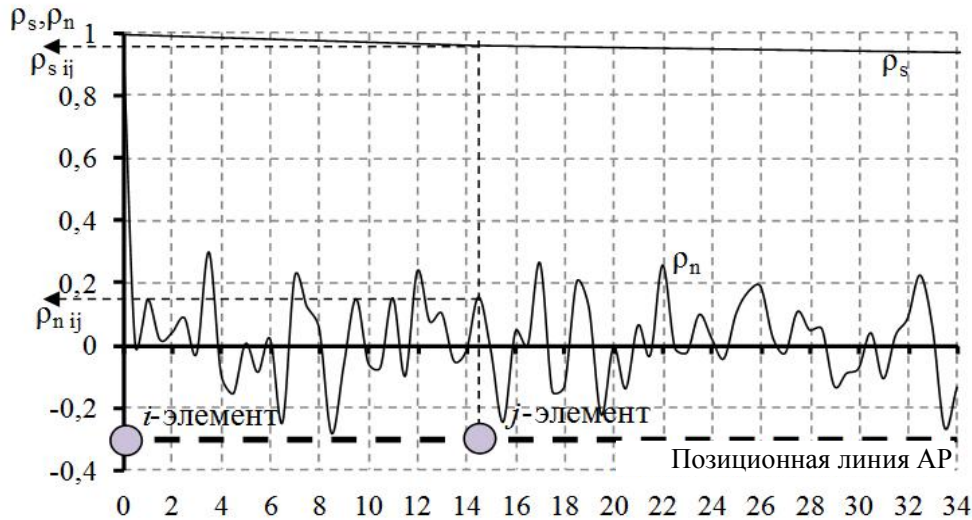


Рис. 2. Пример наложения расстояний между элементами антенной решетки на смоделированные пространственно-корреляционные характеристики

По результатам вычисления суммы полученных матриц (см. формулы (6) и (7)) с помощью выражения (1) производится оценка отклика ЦАР в направлении прихода полезного сигнала θ_c (направление на цель) для заданных значений уровней радиосигнала $\sigma_{s,i}$, $\sigma_{s,j}$ и радиопомехи $\sigma_{n,i}$, $\sigma_{n,j}$ на входах элементов АР.

Численное моделирование значений отклика ЦАР в других направлениях сканирования пространства $\theta_{скан}$ определяется с учетом естественного процесса декорреляции пространственно-корреляционного поля радиосигналов, вызванного фазовым сдвигом радиосигналов, поступивших на вход элементов АР спозиционированных в направлении сканирования, отличного от направления прихода полезного сигнала.

Естественная декорреляция оказывает влияние на результирующие напряжения отклика ЦАР (см. первый член выражения (1)) и оценивается следующим образом.

Аналогичным образом определяется матрица взаимных расстояний между элементами АР после их позиционирования (8) в заданном направлении сканирования $\theta_{скан}$:

$$\| d_{ij}(\theta_{скан}) \| = \begin{pmatrix} d_{00} & d_{01} & d_{02} & L & d_{0R} \\ & d_{11} & d_{12} & L & d_{1R} \\ & & d_{22} & L & d_{2R} \\ & & & L & L \\ & & & & L & d_{RR} \end{pmatrix}. \quad (8)$$

На основе полученных расстояний между всеми элементами АР вычисляется поправочный коэффициент декорреляции, зависящий от частоты полезного радиосигнала f_0 , расстояний между элементами АР, направления прихода полезного сигнала θ_c и текущего угла сканирования $\theta_{скан}$ ЦАР:

$$\rho_{s,ij \text{ фаз}}(f_0, d_{ij}(\theta_{скан})) = \cos \left[2\pi f_0 \left(\frac{d_{ij}(\theta_{скан}) \sin(\theta_{скан} - \theta_c)}{c} \right) \right], \quad (9)$$

где f_0 – частота сигнала, Гц.

Используя рассмотренную ранее модель пространственно-корреляционной зависимости поля радиосигналов (см. выражение (2)) с учетом полученных для каждой пары элементов АР коэффициентов декорреляции $\rho_{s,ij \text{ фаз}}(f_0, d_{ij}(\theta_{\text{скан}}))$, рассчитывается соответствующая матрица КВК радиосигналов:

$$\|\rho_{s,ij}(\theta_{\text{скан}})\| = \begin{vmatrix} 1 & \rho_{s,01} \rho_{s,01 \text{ фаз}} & \rho_{s,02} \rho_{s,02 \text{ фаз}} & \cdots & \rho_{s,0R} \rho_{s,0R \text{ фаз}} \\ & 1 & \rho_{s,12} \rho_{s,12 \text{ фаз}} & \cdots & \rho_{s,1R} \rho_{s,1R \text{ фаз}} \\ & & 1 & \cdots & \rho_{s,2R} \rho_{s,2R \text{ фаз}} \\ & & & \cdots & \cdots \\ & & & & 1 \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Далее, вычисляя сумму матриц КВК радиосигналов (см. формулу (10)), используя сформированное пространственно-корреляционное поле радиопомех (см. формулу (7)), на основе выражения (1) производится вычисление отклика ЦАР в направлении требуемого угла сканирования.

Таким образом, на основе моделей пространственно-корреляционной зависимости поля радиосигналов и радиопомех, полученных в результате статистической обработки экспериментальных данных, синтезируется отклик ЦАР декаметрового диапазона с пространственно-корреляционным методом обработки сигналов.

В качестве примера на рис. 3 представлен отклик 16-элементной ЦАР с общими размерами апертуры до 550 м на радиочастоте 9 МГц в одном из направлений сканирования пространства [15].

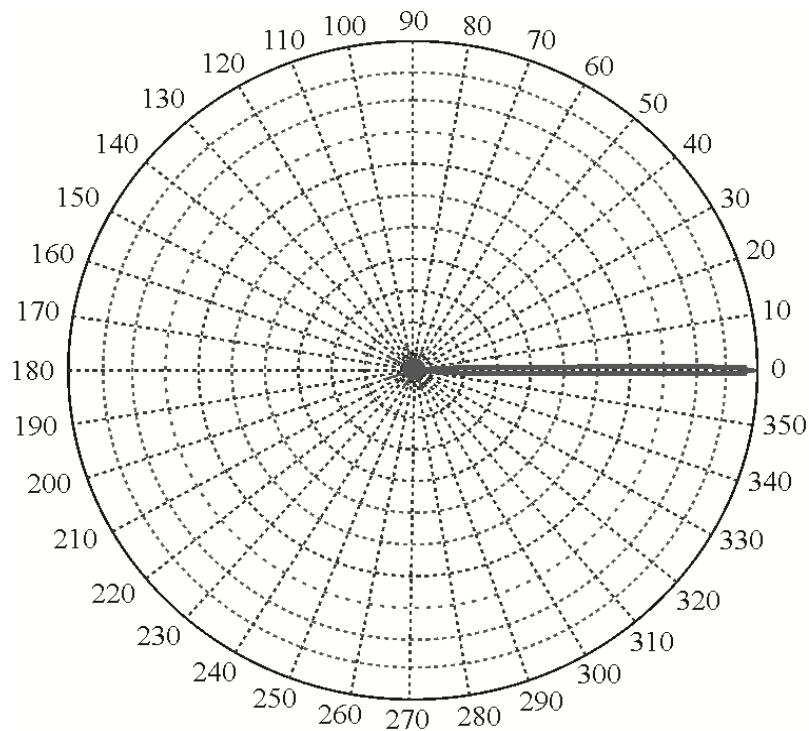


Рис. 3. Пример нормированного отклика 16-элементной ЦАР с пространственно-корреляционной обработкой сигналов

Из рис. 3 видно, что ширина главного лепестка отклика ЦАР составляет не более $1,5^\circ$ при достаточно малых уровнях боковых лепестков. Для достижения подобных диаграмм направленности в действующих декаметровых радиотехнических системах применяются довольно протяженные АР, состоящие из нескольких сотен элементов [3]. Сравнение полученных результатов определяют экономический приоритет применения ЦАР с пространственно-корреляционным методом обработки радиосигналов.

Рассмотренная методика моделирования позволяет исследовать и проводить поиск оптимальных конфигураций апертур ЦАР в проектируемых РЭС декаметрового диапазона, обеспечивающих требуемые направленные характеристики при минимизации числа элементов и общей площади апертуры АР без существенных затрат на экспериментальные исследования.

Приведенные имитационные модели также могут быть использованы для моделирования и разработки различных РЭС декаметрового диапазона, учитывающих при обработке значения КВК радиосигналов и радиопомех.

Литература

1. Григорьев Л.Н. Цифровое формирование диаграммы направленности в фазированных антенных решетках. – М.: Радиотехника, 2010. – 144 с.
2. Воскресенский Д.И. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решеток. – М.: Радиотехника, 2012. – 744 с.
3. Быковский Л.М., Егоров В.И., Оленева Т.С. Системы и средства загоризонтной радиолокации // Реферативный журнал по материалам отечественной и зарубежной печати за 1955–1991 гг. – 1991. – Вып. 19. – 87 с.
4. Хансер Р.К. Сканирующие антенные системы: Монография / Под ред. Г.Т. Маркова и А.Ф. Чаплина. – М.: Советское радио, 1966. – 496 с.
5. Multiresolution composite array based radar with adaptive beamforming / Y. Tang, B. Jiang, T. Zhou, T. Mao // IET International Radar Conference. 14–16 Oct. 2015. – P. 1–4.
6. Multiplicatively processed antenna arrays for DBF radar applications. IEE Proceedings – Microwaves, Antennas and Propagation / L.C. Stange, C. Metz, E. Lissel, A.F. Jacob. – 2002. – V. 149, Iss. 2. – P. 106–112.
7. Weib M. Digital antennas in multistatic surveillance and Reconnaissance: Sensor, Signals and Data Fusion (p. 5–1 – 5–29) // Educational Notes RTO-EN-SET-133, P. 5. – Neuilly-sur-Seine, France: RTO. – Available from: www.rto.nato.int/abstracts.aps (date of access: 26.11.2016).
8. Устройство для оценки пространственно- и частотно-корреляционных свойств ионосферных волн декаметрового диапазона: Патент RU№ 100287 / Орошук И.М., Сучков А.Н., Васильев М.В.; заявл. 02.07.10; опубл. 10.12.10; бюл. № 34.
9. Dolgikh V.N., Oroshchuk I.M., Prishchepa M.N. Probabilistic Characteristics of Signal Detection by a Spatial Correlation Filter. Acoustical Physics. – New York, 2007. – (53), 2. – P. 190–196.
10. Орошук И.М., Сучков А.Н., Василенко А.М. Пространственно-корреляционные свойства радиосигналов декаметровых волн // Электросвязь. – 2015. – № 7. – С. 34–39.
11. Орошук И.М., Долгих В.Н., Сучков А.Н. Вероятностные характеристики пространственно-корреляционного метода обнаружения сигналов в декаметровом диапазоне // Журнал радиоэлектроники: Электронный журнал. – 2013. – № 12. – [Электронный режим]. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec13/5/text.html>
12. Орошук И.М., Сучков А.Н. Возможности применения нелинейных цифровых антенных решеток в декаметровом диапазоне // Вестник Инженерной школы ДВФУ. – 2015. – № 2. – С. 17–26 [Электронный режим]. – URL: <http://vestnikis.dvfu.ru/images/2015-2-3.pdf>.
13. Орошук И.М., Сучков А.Н. Пространственно-корреляционный метод обработки сигналов декаметрового диапазона // 16-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение»: Доклады. – М.: Российское НТОРЭС им. А.С. Попова. 2014. – С. 302–305.
14. Орошук И.М., Сучков А.Н., Василенко А.М. Пространственно-корреляционный метод обработки сигналов в неэквидистантных цифровых антенных решетках // 17-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение»: Доклады. – М.: Российское НТОРЭС им. А.С. Попова. – 2015. – С. 385–389.
15. Васильев М.В. Влияние пространственно-корреляционных характеристик помех на параметры пространственно-корреляционного фильтра в декаметровом диапазоне // Пути повышения уровня подготовки специалистов высших учебных заведений: Материалы XV межвузовской научно-практической конференции. – Калининград, 2012. – С. 12–14.
16. Орошук И.М., Сучков А.Н. Стохастическая имитационная модель пространственно-корреляционных характеристик поля радиопомех декаметрового диапазона // 8-я Международная научно-техническая конференция «Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации»: Доклады. – Суздаль: Российское НТОРЭС им. А.С. Попова, 2015. – С. 90–94.

УДК 620.197:629.563.2

А.О. Шуваева, С.Ю. Труднев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: trudnev@mail.ru*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ПИТАНИЯ СИСТЕМЫ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ МОРСКИХ БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ

В материалах представлена компьютерная модель автономной системы питания морских буровых платформ. Разработана и описана структура работы катодной защиты морских платформ от коррозии. Разработана компьютерная модель источника питания катодной защиты от коррозии. Проведен ряд экспериментов, подтверждающих адекватность разработанной компьютерной модели. Получен положительный результат.

Ключевые слова: модель, коррозия, защита, система питания, ионистор.

A.O. Shuvaeva, S.Yu. Trudnev

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatskiy, 683003
e-mail: trudnev@mail.ru*

AUTONOMOUS POWER SUPPLY COMPUTER SIMULATION OF CATHODIC PROTECTION SYSTEM FOR MARINE DRILLING PLATFORMS

The computer model of an autonomous power supply system for marine drilling platforms is presented. The work structure of cathodic protection of marine platforms against corrosion has been developed and described. A computer model of a power source for cathodic corrosion protection has been developed. A series of experiments confirming the adequacy of the developed computer model has been carried out. A positive result is obtained.

Key words: model, corrosion, protection, power system, ionistor.

При разработке и внедрении в производство оборудования, изделий, сооружений и конструкций различного типа значительную роль играет их коррозионная стойкость. Коррозия на морских месторождениях ежегодно приводит к значительным убыткам. Основной ущерб, причиняемый коррозией, заключается в огромной стоимости изделий, которые подвергаются данному виду разрушения, и стоимости проведения восстановительных операций. Увеличение срока между восстановительными операциями за счет совершенствования технической части источника бесперебойной подачи электрической энергии для поддержания работы устройства катодной защиты является главной целью данной статьи.

Ведущими специалистами в области судостроения, а также научными школами под руководством отечественных заслуженных деятелей науки: А.А. Фатхуллина, И.Г. Гараева [1], А.А. Анашкина [2] и В.В. Чулючкина [3] – регулярно проводятся исследования по совершенствованию системы катодной защиты от коррозии морских платформ. Поэтому работы, направленные на модернизацию системы катодной защиты, остаются актуальными.

В рамках данной статьи были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать существующие системы катодной защиты, имеющие автономный источник питания и выявить недостатки.
2. На основе проведенного анализа разработать структурную усовершенствованную схему источника питания.
3. Разработать и исследовать компьютерную модель источника питания катодной защиты.
4. Провести анализ полученных результатов.

Существует катодная защита металлических сооружений с автономным питанием, структурная схема которой изображена на рис. 1.

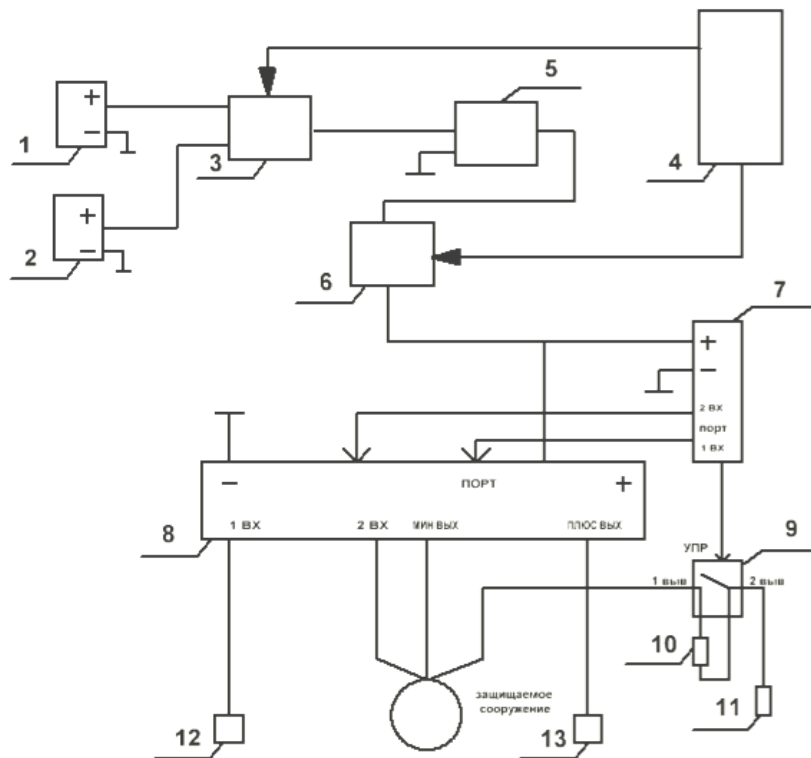


Рис. 1. Блок-схема устройства катодной защиты с автономным питанием и ионисторным модулем

Устройство содержит: блок автономного источника питания, состоящий из ветрогенератора 1 и волновой электростанции 2, блок регулирования тока заряда 3, связанного с управляющим микроконтроллером 4, блок контроля работы генератора высокочастотных колебаний – импульсный модулятор 5, систему стабилизации напряжения 6, блок управления резервом 7, блок формирования амплитуды импульсов 8, размыкатель 9, резистор 10, протектор 11, электрод сравнения 12, анодный заземлитель 13.

Основным недостатком схемы является электрохимический источник напряжения, емкость которого зависит от температуры окружающей среды. Морская буровая платформа, как правило, эксплуатируется в жесткой агрессивной среде. От бесперебойности подачи электрической энергии будет зависеть качество работы буровой нефтяной платформы. Выход из строя основного источника питания в случае аварии обесточит систему питания защиты от коррозии, чем самым снизит срок эксплуатации морской буровой платформы. В связи с этим система питания катодной защиты должна иметь автономное питание, основным источником которого является аккумулятор. Предлагается усовершенствовать систему путем замены электрохимического источника на ионисторный модуль, состоящий из нескольких батарей.

Применение ионисторных батарей будет иметь ряд преимуществ по сравнению с аккумулятором:

- 1) большое количество циклов заряда и разряда;
- 2) отсутствие изнашиваемых химических элементов;
- 3) большие токи отдачи;
- 4) суперконденсаторы достаточно быстро заряжаются;
- 5) суперконденсаторы намного меньше обычных конденсаторов и в то же время имеют намного большую емкость;
- 6) широкий рабочий диапазон температур (от -60 до $+50^{\circ}\text{C}$).

Для стабилизации выходного напряжения ионисторного модуля на его выход подключен импульсный стабилизатор напряжения, функциональная схема которого изображена на рис. 2. Применение импульсного стабилизатора напряжения позволит поддерживать потенциал защищаемого сооружения в пределах $0,85-1,15$ В.

Электронные импульсные стабилизаторы симисторного типа на микропроцессорной схеме управления, где в качестве ключей применяются симисторы или тиристоры, характеризуются быстродействием, высокой точностью стабилизации, отсутствием шума, непрерывностью на-

пряжения, неискаженной синусоидой и длительным сроком службы [4]. В обобщенном виде стабилизатор напряжения – это регулирующий компонент, подсоединяемый параллельно нагрузке [5].

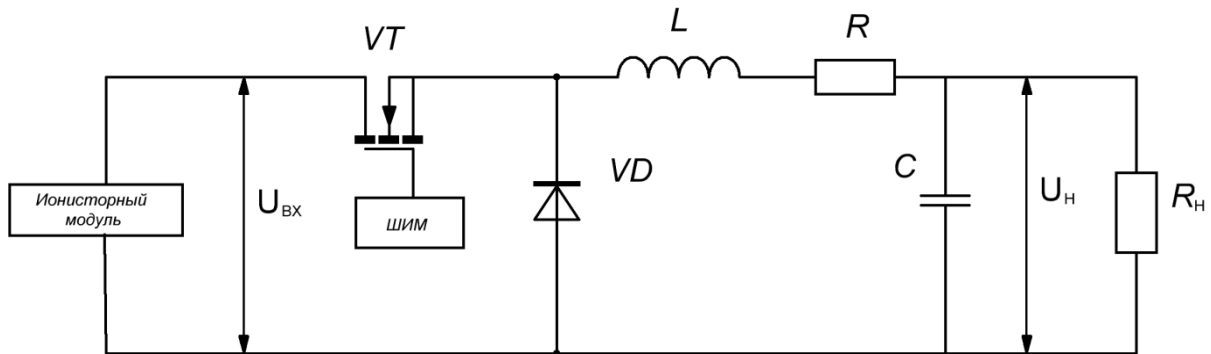


Рис. 2. Схема подключения ионисторного модуля и импульсного стабилизатора

Полевой транзистор VT работает в двух ключевых режимах: открытом и закрытом. В момент открытия регулирующего транзистора VT входное напряжение $U_{вх}$ первичного источника, которым является ионисторный модуль, поступает на вход сглаживающего фильтра. Ток протекает через первичный источник, дроссель и нагрузку, так как полупроводниковый диод VD не пропускает ток в другую сторону. В закрытом состоянии транзистора VT напряжение на входе сглаживающего фильтра отсутствует. Через полупроводниковый диод VD проходит ток, который поддерживается за счет накопленной энергии в дросселе.

Согласно схеме подключения была разработана математическая модель работы стабилизатора:

Уравнения силовой части импульсного стабилизатора напряжения в переменных состояния в этом случае имеют вид [4, 5]:

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{r}{L}i_L - \frac{1}{L}U_c + \frac{1}{L}U_n, \quad (1)$$

$$\frac{dU_c}{dt} = \frac{1}{C}i_L - \frac{U_c}{RC} \quad (2)$$

Для интервалов времени, когда транзистор VT закрыт, схемы замещения представлены на рис. 3, б и в, соответственно, для $i_L > 0$ и $i_L = 0$. При $i_L > 0$ уравнения силовой части стабилизатор в переменных состоянии принимают вид:

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{r}{L}i_L - \frac{1}{L}U_c, \quad \frac{dU_c}{dt} = \frac{1}{C}i_L - \frac{U_c}{RC}. \quad (3)$$

В стабилизаторе процесс описывается уравнением, представленным для случая, если $i_L = 0$

$$\frac{dU_c}{dt} = -\frac{U_c}{RC}. \quad (4)$$

Исключив из уравнений (3) и (4) ток дросселя i_L , можно получить уравнения типа «вход – выход» силовой части стабилизатора:

– при открытом транзисторе

$$\frac{d^2U_c}{dt^2} + a_1 \frac{dU_c}{dt} + a_0U_c = b_0U_n; \quad (5)$$

– при закрытом транзисторе

$$\frac{d^2U_c}{dt^2} + a_1 \frac{dU_c}{dt} + a_0U_c = 0. \quad (6)$$

Здесь $a_1 = \frac{LC_r}{RLC}$; $a_0 = \frac{R+L}{RLC}$; $b_0 = \frac{1}{LC}$.

Объединив уравнения (5) и (6), заменив входное напряжение в виде импульсов со средним значением, получим

$$\bar{U} = \gamma U_n, \quad (7)$$

где U_n – относительная длительность открытого состояния транзистора. Получим

$$\frac{d^2 U_c}{dt^2} + a_1 \frac{dU_c}{dt} + a_0 U_c = \bar{U}. \quad (8)$$

По уравнению (8) найдем передаточную функцию силовой части стабилизатора:

$$W_c(s) = \frac{U_c}{U_n} = \frac{b_0}{s^2 + a_1 s + a_0}. \quad (9)$$

Для верификации в программе *Matlab R2014a* была разработана имитационная модель (рис. 3), позволяющая исследовать выходные характеристики импульсного стабилизатора постоянного напряжения с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).

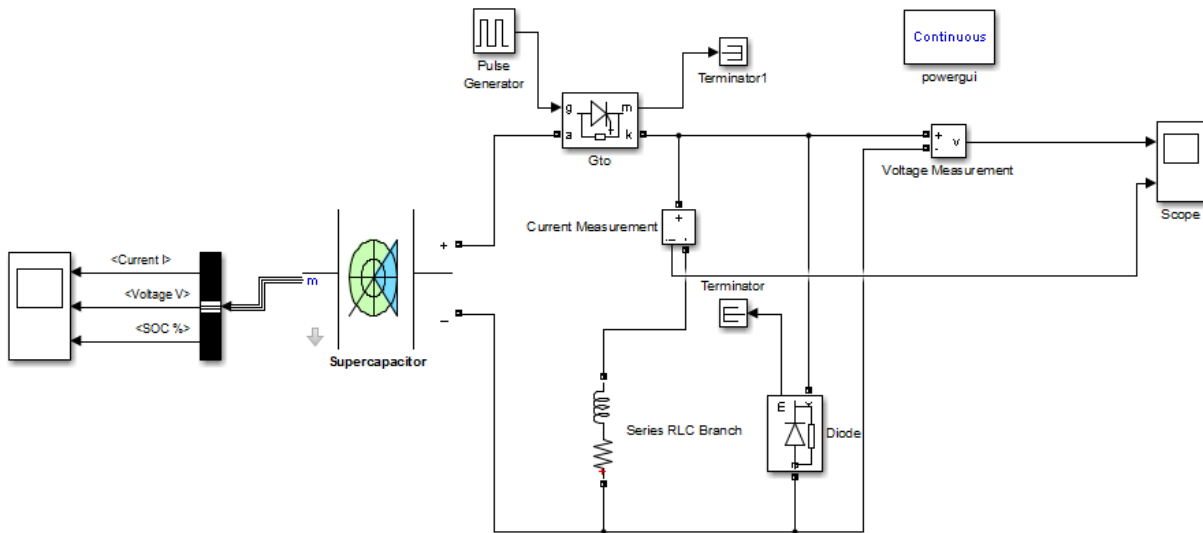
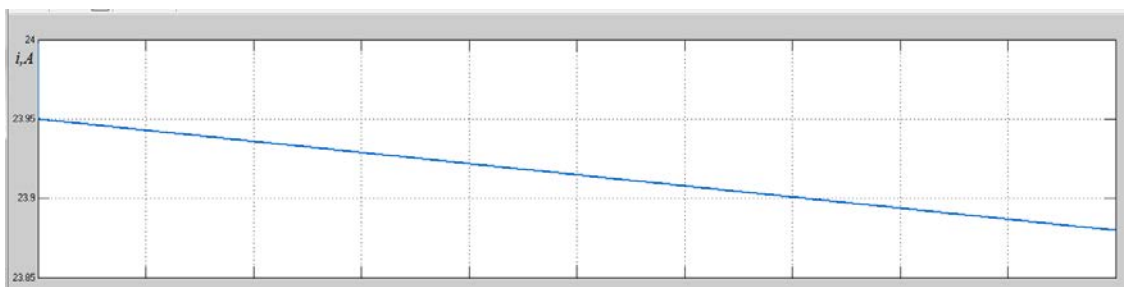


Рис. 3. Компьютерная модель стабилизатора в программе *Matlab*

Был проведен следующий эксперимент: на вход импульсного стабилизатора был подключен ионистор емкостью $C = 3\,000$ Ф и номинальным напряжением $U = 27$ В, имитирующий десять последовательно подключенных ионисторных батарей. Для этой цели может быть использован ионистор *Maxwell BCAP3000P270K04*. Устройство для катодной защиты с автономным питанием содержит в качестве блока формирования амплитуды импульсов импульсную катодную станцию с максимальной амплитудой выходного напряжения 24 В.

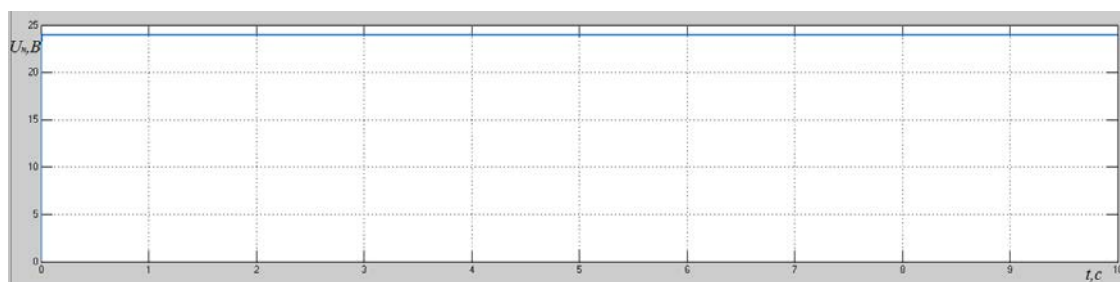
В результате эксперимента был получен ряд зависимостей на входе и на выходе стабилизатора (рис. 4, 5).



а

Рис. 4. Зависимость выходного тока с транзистора:

а – значение тока $i(t)$; б – значение выходного напряжения стабилизатора $U_n(t)$ (начало)



б

Рис. 4. Зависимость выходного тока с транзистора:
а – значение тока $i(t)$; б – значение выходного напряжения стабилизатора $U_n(t)$ (окончание)

По выходным характеристикам ионистора (рис. 5) видно, что с течением времени напряжение снижается на 0,1 В, так как ионистор разряжается и отдает энергию для поддержания работы ИСН. Значение выходного напряжения стабилизатора остается на заданном уровне $U = 24$ В (см. рис. 4). Поддержание напряжения стабилизатором напряжения на заданном уровне осуществляется за счет снижения выходного тока транзистора.

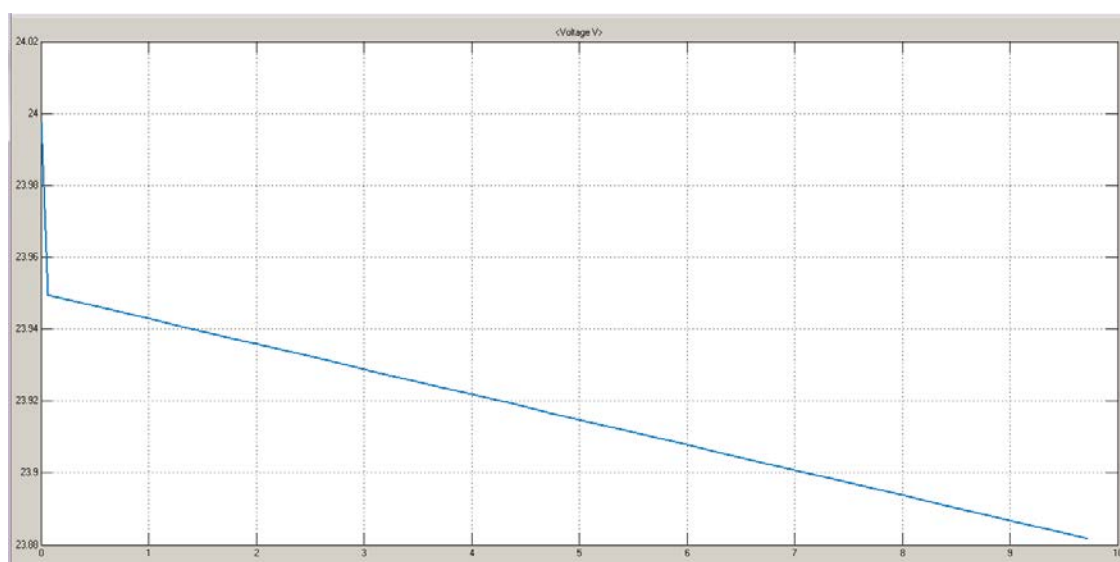


Рис. 5. График зависимости выходного напряжения разряда ионистора от времени $U(t)$

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что ионисторный модуль в комплексе со стабилизатором напряжения способен обеспечить станцию катодной защиты напряжением 24 В. С помощью внедрения в систему катодной защиты таких устройств, как ионистор, который позволяет обеспечить основным и резервным питанием всю систему в целом, и стабилизатора напряжения, который позволяет получить необходимое выходное напряжение, был выявлен факт снижения выходного тока транзистора, и, как следствие, поддержания напряжения на заданном уровне.

Полученный источник электрической энергии будет иметь стабильный выходной электрический сигнал и по сравнению с существующими аналогами имеет следующий ряд преимуществ:

- высокий температурный диапазон;
- большой срок эксплуатации;
- небольшие массогабаритные показатели;
- отсутствие постоянного обслуживания.

Литература

1. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии / Госстандарт России. – М., 1998.
2. ГОСТ 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения: Сооружения подземные: Общие требования к защите от коррозии. – М.: Стандартинформ, 2006.

3. Устройство для импульсной катодной защиты: Патент России № 2486228 / *Анашкин А.А., Чулючкин В.В.* – 2011. – Бюл. № 18.
4. Устройство для катодной защиты с автономным питанием: Патент России № 2486229 / *Анашкин А.А., Чулючкин В.В.* – 2011. – Бюл. № 5.
5. *Румянцев А.А.* Все о стабилизаторах напряжения // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – Т. 2, № 4 (89).– С. 109.
6. *Вадутов О.С.* Импульсный стабилизатор напряжения с пропорционально-интегральным регулятором. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та. – 2014. – С. 9.

Ответственный за выпуск
О.А. Белов

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

*Материалы международной научно-технической конференции
(17–19 октября 2018 г.)*

Часть 1

В авторской редакции
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Подписано в печать 24.01.2019 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 11,85. Уч.-изд. л. 12,25. Усл. печ. л. 14,88
Тираж 100 экз. Заказ № 1

Издательство
Камчатского государственного технического университета

Отпечатано полиграфическим участком издательства КамчатГТУ
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35