

**ISSN 2949-3684**

# **ВЕСТНИК**

**МОРСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО  
УНИВЕРСИТЕТА**

**Выпуск 102 / 2026**

**Вестник Морского государственного университета.** Вып. 102 / 2026 / Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского. — Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2026. — 62 с. ; цв. ил., табл. — Библиогр. в конце ст. — ISSN 2949-3684.

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

Дата выхода в свет - 21 апреля 2026 г. Выходит четыре раза в год.

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

---

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

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

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

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

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

**Выпускающий редактор** – Баранникова Анастасия Олеговна, кандидат исторических наук.

**Редакционная коллегия:**

Азовцев Анатолий Иванович, доктор технических наук, профессор;

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

Войлошников Михаил Владиленович, доктор технических наук, профессор;

Глушков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор;

Друзь Иван Борисович, доктор технических наук, профессор;

Дыда Александр Александрович, доктор технических наук, профессор;

Лазарев Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, доцент;

Луговец Александр Анатольевич, доктор экономических наук, доцент;

Москаленко Михаил Анатольевич, доктор технических наук, профессор;

Надежкин Андрей Вениаминович, доктор технических наук, профессор;

Огай Сергей Алексеевич, доктор технических наук, доцент;

Оськин Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Холоша Михаил Васильевич, кандидат технических наук.

Цена свободная.

# СОДЕРЖАНИЕ

## СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Гришанин А.П., Мойсейченко Д.Д., Перминов Б.Н. Рациональное использование моторных масел в судовых двигателях.....	4
Sobolenko A.N., Baranov S.T. Transfer of experience and neural networks.....	16
Шаркевич А.В., Москвин Д.Д. Бескулачковое управление клапанами системы газораспределения в судовых двигателях внутреннего сгорания.....	19

## ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Матвиенко Н.Н. Анализ различных типов судовых движителей применительно к операциям у морских одноточечных причалов.....	25
Мотрич В.Н. Защита от коррозии грузовых танков нефтеналивных судов.....	40

## ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Баранникова А.О., Вороненко А.К., Смирнов С.М. О проблемах и перспективах мировой судоходной отрасли в 2025 году.....	56
---	----

## Рациональное использование моторных масел в судовых дизелях

Гришанин Алексей Павлович <sup>1</sup>,  
Мойсейченко Данил Денисович <sup>1</sup>,  
Перминов Борис Николаевич <sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

*Приведены результаты испытаний смазочной системы повышенной эффективности. Комплексность подхода состоит в подборе унифицированных масел с многофункциональными присадками и разработке комбинированного маслоочистительного комплекса с избирательным отсевом нерастворимых продуктов, ускоряющих старение углеводородной основы и изнашивание двигателя. На базе многофункциональных присадок МАСК и ПМС осуществлена оптимизация состава унифицированных масел. При соотношении предлагаемых присадок 3:2, уровне щелочности 10-30 мг КОН/г и превышении этого показателя зольности масел в 8-12 раз достигнут синергетический эффект с усилением на 20-35% их моющего и детергентного действия. Экспериментом установлено, что добавка в унифицированные масла 2% термостойкого сукцинимиды значительно снижает илаобразование в дизелях, особенно при работе на низкотемпературных режимах смазки и обводнении. Комбинирование непрерывного фильтрования и частично(полно)поточного центрифугирования моторного масла позволяет полностью использовать достоинства и преимущества каждого из очистителей с разным принципом действия. Они обеспечивают одновременно полную защиту дизеля от абразивного изнашивания, высокий срок службы масла со стабилизацией его угара на минимальном уровне, торможение старения и низкий расход фильтрующих элементов.*

**Ключевые слова:** судовой дизель, системы смазки, моторные масла, унифицированные масла, многофункциональные присадки, сукцинимидные присадки, комбинированная очистка масла, фильтрование, центрифугирование.

## Rational use of motor oils in ship diesels

Grishanin Alexey Pavlovich,<sup>1</sup>  
Moiseichenko Danil Denisovich,<sup>1</sup>  
Perminov Boris Nikolaevich <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

*The results of tests of the lubrication system of increased efficiency are given. The complexity of the approach consists in the selection of unified oils with multifunctional additives and the development of a combined oil-purifying complex with selective settling of insoluble products that accelerate the*

*aging of the hydrocarbon base and engine wear. The composition of unified oils has been optimized based on the multifunctional additives MASS and PMS. When the ratio of the proposed additives is 3:2, the alkalinity level is 10-3-mg kon/g, and the ash content of the oils exceeds this level by 8-12 times, a synergistic effect is achieved, with a 20-35% increase in their detergent properties. Experiments have shown that adding 2% of thermostable succinimide to standardized oils significantly reduces sludge formation in diesel engines, especially when operating in low-temperature lubrication and water-contaminated conditions. The combination of full-flow filtration and partial (full) flow centrifugation of engine oil allows you to fully utilize the advantages and benefits of each type of cleaner with different principles of operation. They provide simultaneous full protection of the diesel engine from abrasive wear, long oil service life with minimal oil consumption, combustion inhibition, and low filter element consumption.*

**Keywords:** marine diesel, lubrication systems, engine oils, unified oils, multifunctional additives, succinimide additives, combined oil purification, filtration, and centrifugation.

Научно-технический прогресс как в России, так и во всем мире нацелен на максимально эффективное использование природных ресурсов, материалов, топлив и энергии на всех стадиях - от добычи и комплексной переработки сырья до выпуска и реализации конечной продукции.

Развитие двигателестроения выдвигает новые требования к горюче-смазочным материалам (ГСМ) и системам их очистки. Форсировка дизелей по наддуву и частоте вращения, использование в подшипниках тонкостенных вкладышей, снижение маслообмена - вот те условия, в которых необходимо рассматривать работу комплекса «дизель - эксплуатация - топливо - масло - очистка» (ДЭТМО).

Рациональное использование моторных масел (ММ) предполагает в первую очередь их обоснованный выбор с учетом конструктивных особенностей, уровня форсировки, режимов работы и условий эксплуатации дизеля [1]. Существенное значение при этом имеет качество применяемых топлив и расход масла на угар, формирующий общий маслообмен и срок его службы [2]. Качество смазочных масел в основном определяется количеством и эффективностью вводимых в них присадок [3]. С помощью присадок можно обеспечить повышение диспергирующих, антиокислительных, антиизносных и других специфических эксплуатационных свойств масел. Правильно и обосновано выбранный сорт ММ в значительной степени способствует повышению надежности, долговечности и экономичности судовых дизелей.

Следует также отметить, что при подборе присадок всё ещё недостаточно внимания уделяется взаимодействию их со средствами очистки масла, увеличению эмульгируемости и вымываемости этого продукта при контакте с водой [4]. Влагостойкость является важным свойством масла для судовых дизелей, так как в условиях эксплуатации водного транспорта практически всегда имеет место обводнение смазочного масла, что влечет за собой гидролиз и выпадение присадок в осадок. При этом увеличивается отфуговывание присадок центрифугами и центробежными сепараторами, интенсифицируется зашламливание двигателя низкотемпературными отложениями.

Для ММ с высокими моюще-диспергирующими, детергентными и стабилизирующими свойствами важен, особенно при работе на низкосортных топливах, углубленный подход к их очистке [5]. Наиболее перспективной является комбинированная очистка, сочетающая достоинства полнопоточного фильтрования и байпасного центрифугирования [6]. Этот вариант комбинирования устраняет противоречие между полнотой и тонкостью очистки смазочного

масла от нерастворимых продуктов (НРП), снижает “грязевую” нагрузку на фильтр и удаляет компоненты, ускоряющие срабатывание присадок и окисление масла [7]. Эта специфика применения присадок требует рассмотрения, так как в выполненных исследованиях изучена поверхностно.

Особенно важно рассматривать старение унифицированных ММ в композиции сульфонатных присадок с алкилсалицилатами для эффективного сочетания моющих и диспергирующего свойств. Найти соотношения между такими свойствами масла, как щелочность и зольность, чтобы достигалось минимальное изнашивание основных деталей двигателя, особенно поршневых колец и наблюдалось незначительное нагаро-лакообразование на поршнях.

Оптимальное сочетание присадок должно способствовать надёжной работе судового дизеля при высоком сроке службы масла. Подбор браковочных показателей масла должен осуществляться с учётом форсировки дизеля и возможности работы его на низкотемпературных режимах смазки. Важно достижение эксплуатационных свойств смазочного масла, способных обеспечить долговременную работу судового дизеля как на дистиллятных, так и в сочетании их с остаточными продуктами крекинга топливах.

В настоящее время имеются все предпосылки для разработки комбинированного маслоочистительного комплекса для двигателя средней мощности с поверхностными, фильтрами тонкой очистки масла, полнопоточными (ФТОМП) и масляными центрифугами с наружным реактивным приводом и напорным сливом (МЦН-НС). Принципы повышения эффективности работы таких комплексов приведены в работах [6, 8]. Их необходимо использовать для того, чтобы возможности и положительные стороны разных физических методов очистки (фильтрования, центрифугирования) можно было бы реализовать наиболее полно. Методика такого подхода опробована исследованиями [9] и может быть реализована в двигателях мощностью более 3 тыс. кВт. Подбором присадок необходимо достичь срок службы фильтрующих элементов (ФЭ) более тысячи часов. Важно подобрать композицию присадок, которая придаст некоторую универсальность комплектации и позволит сравнить её эффективность с лучшими зарубежными образцами масел [10].

В последние годы достигнуты некоторые успехи в организации рационального использования смазочных материалов в ДВС. В настоящее время отечественная промышленность выпускает 72 марки масел, которые рекомендованы для использования в судовых дизелях [10]. Несмотря на такой широкий ассортимент, полностью удовлетворить разнообразные потребности ДВС товарные нефтепродукты не могут. Отсутствие рекомендаций по эффективному маслоиспользованию приводит к тому, что на судах применяют ММ, например Дп-11, МС-20п и МТ-16п, с довольно низким уровнем эксплуатационных свойств.

В обеспечении надёжного функционирования таких агрегатов системы смазки (СС) как масляный холодильник и фильтр роль ММ очень высока. При использовании масел с неэффективными присадками срок службы фильтрующих элементов ФЭ полнопоточных фильтров тонкой очистки может составлять 70 - 200 ч. Особенно низок этот показатель при очистке масла с плохими моюще-диспергирующими свойствами, работе дизеля на низкотемпературных режимах смазки, когда в масле образуется много шлама.

Возможности масел в обеспечении надёжной работы СС видны из сопоставления динамики роста перепада давлений  $\Delta p_{\phi}(t)$  на фильтре при очистке низкосортного масла Дп-11 и модифицированного масла М-10Г<sub>2</sub>(цс) с высоким уровнем моюще-диспергирующих свойств (рис. 1). В первом случае полнопоточный режим очистки обеспечивался в течение 0,2 тыс. ч, во втором - срок службы ФЭ был в 7 раз больше.

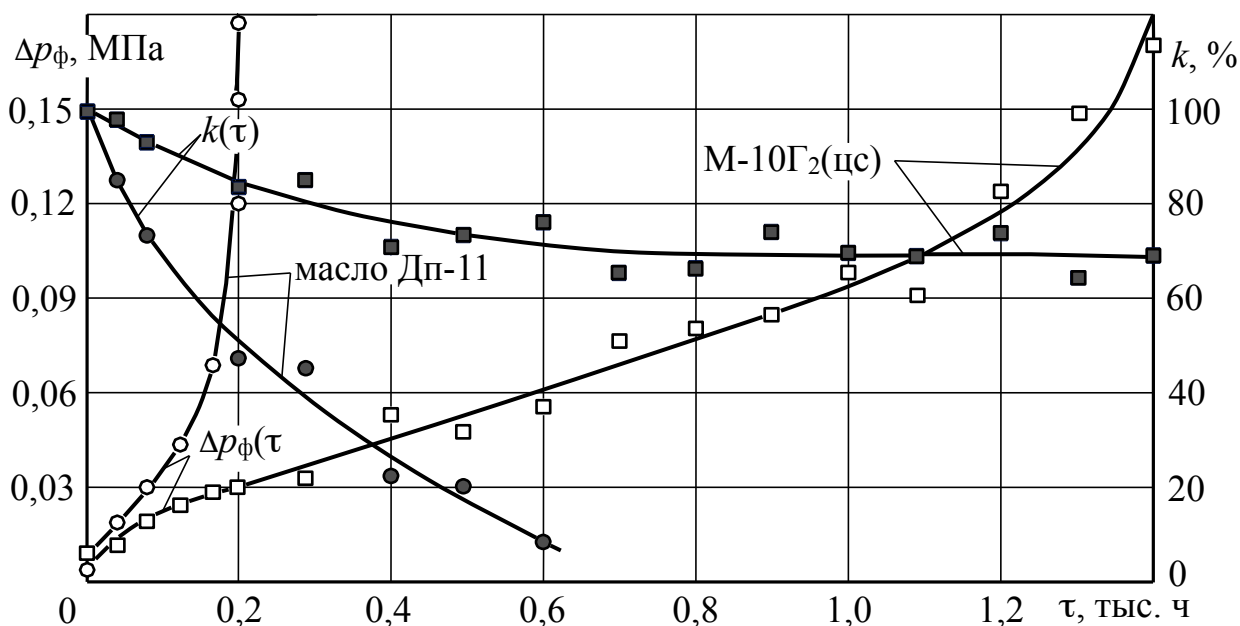


Рис. 1. Роль масел в обеспечении эффективной работы ФТОМП и масляного холодильника

Периодичность химических чисток холодильников масла также в значительной мере зависит от качества применяемого масла. Для масла с низким уровнем моюще-диспергирующими свойствами в условиях форсированного дизеля коэффициент теплопередачи  $k$  этого теплообменника за 500 ч падает почти в 6 раз, и его приходится обслуживать (чистить) через 250 ч работы, в то время как при охлаждении масла М-10Г<sub>2</sub>(цс) этот показатель за более длительный период снижается только до уровня 70 % его исходного значения и химическая чистка масляного холодильника проводится очень редко.

Комплексное повышение эффективности маслоиспользования в дизелях было нацелено на сокращение расхода масла и достижение при работе на низкосортных сортах топлива ресурсных показателей, характерных для условий применения дистиллятных топлив.

Реализация поставленной цели обеспечения экономической надежной ресурсосохраняющей эксплуатации дизелей осуществляется за счет решения следующих задач:

- уточнение композиции присадок к унифицированным маслам;
- расширение диапазона эксплуатационных свойств судовых унифицированных ММ путем повышения эффективности работы на низкотемпературных режимах и перевод некоторых из них в разряд топливосберегающих;
- моделирование системы ДЭТМО с целью повышения эффективности ее работы на унифицированных маслах;
- повышение эффективности эксплуатационных свойств масел с учетом взаимодействия со средствами их очистки

Выбор композиции присадок проводился с учетом эффективности, синергизма действия ее составляющих, стоимости и перспектив их промышленного производства, а также восприимчивости к углеводородам основы. Исследованиями, проведенными ВНИИ НП, ЦНИ-ИМФ и ЦНИДИ, установлено, что одной из наиболее эффективных многофункциональных присадок является алкилсалицилат кальция (АСК). Он термостоек, обладает высокой щелочностью и моющим действием [11, 12]. А по соотношению «щелочность - зольность» значительно превосходит алкилфенолят бария (АФБ).

Главное достоинство многозольного алкилсалицилата кальция (МАСК), предложенного для использования в унифицированных ММ, состоит в способности значительно превышать термоокислительную стабильность масла. Присадка МАСК придает высокие моющие и нейтрализующие свойства. Поэтому может считаться многофункциональной.

Нейтрализующая способность этой присадки по отношению к кислотным продуктам старения масла очень высока, что обусловлено ее высокой щелочностью. По комплексному действию на старение масла и улучшению его эксплуатационных свойств оно превосходит алкилсалицилатные присадки, получаемые на основе других металлов. У МАСК моющее действие выше, чем у сульфонатных и сукцинимидных присадок. Последние не обладают собственно этой способностью, но оказывают интенсивное диспергирующее и стабилизирующее действие на нерастворимую фазу старения масла.

Весьма важным свойством судовых ММ является их высокая способность к противокоррозионной защите металлов, что очень важно при использовании в дизелях сернистых топлив. Несмотря на то, что присадка МАСК обладает высоким противокоррозионным действием, ее способность к модифицированию поверхностей трения очень низка, что не способствует улучшению противозадирных и противоизносных свойств масла. Поэтому в композицию присадок для судовых масел включен компонент ПМС - щелочной сульфонат кальция. Это одна из многофункциональных присадок, которая эффективно защищает металлы от коррозии, а образуемая ею защитная пленка на деталях двигателя из-за модифицирования поверхностей трения благоприятно сказывается на противоизносных свойствах масел.

Испытание присадок МАСК и ПМС в составе унифицированных ММ показали (рис. 2), что наибольший эффект (максимальный синергизм) как по противоизносным, так и по моюще-диспергирующим свойствам достигается при соотношении присадок МАСК и ПМС 3:2. Эта пропорция заложена при легировании этими компонентами унифицированных ММ широкого диапазона моторных свойств (группы Г<sub>2</sub>, Д<sub>2</sub>, Е<sub>2</sub>).

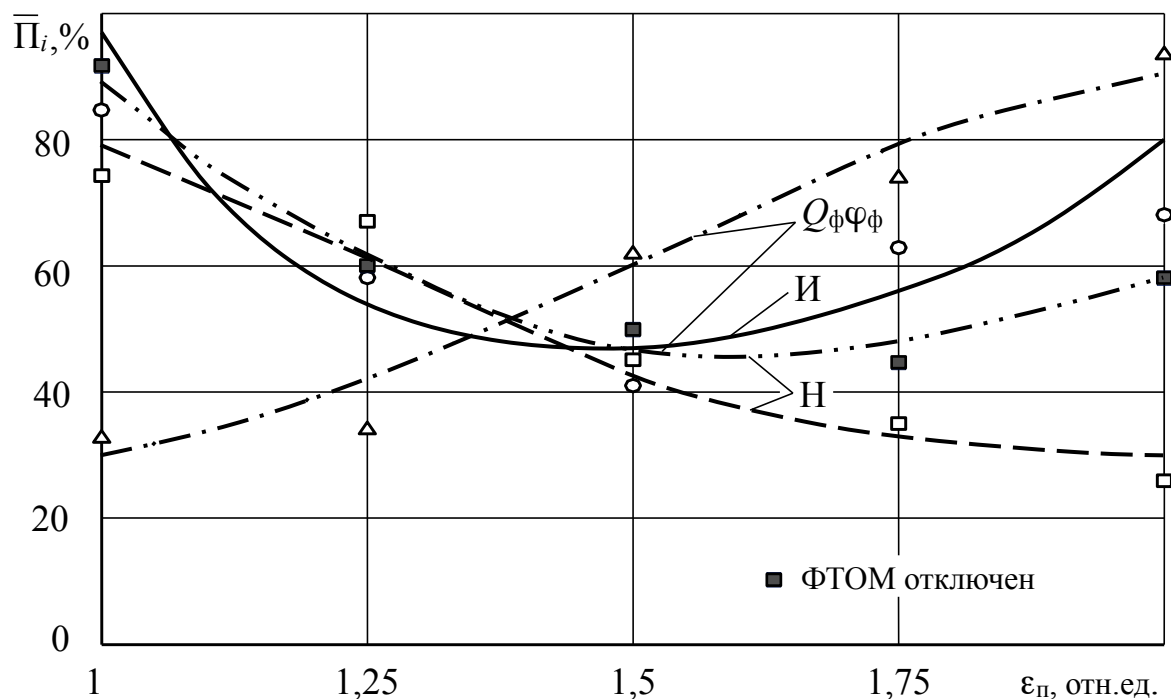


Рис. 2. Влияние композиции присадок в ММ на состояние дизеля и эффективность ФТОМ

Преимущество композиции присадок при оптимальном соотношении рассматриваемых компонентов по сравнению с композицией другого состава доказана в условиях форсированного дизеля 5ЧН24/31 при работе на масле группы Д<sub>2</sub>. Общая концентрация присадок рассматриваемого класса составляла 12,5 %. Соотношение  $\epsilon_{\text{п}}$  МАСК и ПМС изменялось в пределах 1-2. Самые выгодные условия маслоиспользования как по влиянию на износ дизеля, так и на нагаро- и лакообразование проявились при концентрации присадок МАСК и ПМС соответственно 7,5 и 5 %. При  $\epsilon_{\text{п}} = 1,5$  между моющими, диспергирующими и нейтрализующими свойствами масла наблюдается самый выгодный баланс для его длительного использования.

Моторный эксперимент проводился на топливе Ф-5 (ГОСТ10585-75) с содержанием серы 1,5 %. Комбинированная очистка масла в условиях оптимального сочетания присадок МАСК и ПМС оказалась самой действенной. Коррозионного разрушения вкладышей подшипников при смазке двигателей маслом М-10Д<sub>2</sub>, содержащем 7,5 % МАСК и 5 % ПМС, не наблюдалось. Фильтр со сменным бумажным ФЭ функционировал в режиме полнопоточной очистки в течение 1 - 1,5 тыс. ч.

Анализ зависимости  $I(\epsilon_{\text{п}})$  (см. рис. 2) показывает наличие минимума скорости изнашивания при  $\epsilon_{\text{п}} = 1,5$ . Такое явление объясняется, как уже отмечалось, максимальным синергетическим эффектом действия присадок МАСК и ПМС при соотношении 3:2. Повышение  $I$  при  $\epsilon_{\text{п}} > 1,5$  вызвано увеличением зольности масла и укрупнением частиц дисперсной фазы, а при  $\epsilon_{\text{п}} < 1,25$  возможна полировка втулки цилиндра от действия мелкодисперсных зольных частиц механических примесей, концентрация которых может превышать 5 %. Также необходимо отметить, что с повышением концентрации этих присадок при их оптимальном соотношении моюще-диспергирующие свойства и стабилизирующая способность улучшаются (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение композиции присадок в составе масла ДС-11

Композиция	Моющие свойства, %	Термоокислительная стабильность, мин.	Вымываемость, %	Эмульгируемость с водой, %
10 % БФК + 1 % ЛАНИ-317	74	38	35	1,6
9 % Моносанто-613 + 0,7 % Сантолюб-493	98	110	27	1,5
8 % АСК + 3 % ПМС	86	76	18	0,7
5 % МАСК + 3 % ПМС	94	92	12	0,4
10 % МАСК + 7 % ПМС	85	86	15	0,2
15 % МАСК + 10 % ПМС	100	115	19	0,6

Для низкотемпературного режима смазки в предлагаемую композицию целесообразно добавлять сукцинимидные присадки. Большинство товарных образцов этих беззольных компонентов на базе полиизобутилена и производной янтарной кислоты имеют низкую термостойкость. В судовых дизелях предлагается использовать термостойкий сукцинимид С-5А

или Дипол-45Т, которые апробированы в ДВС с наддувом. Оптимальная концентрация сукцинимидных присадок составляет 2 %.

Эффективность добавок беззольной присадки С-5А проверена в дизеле 2Ч10,5/13 при работе на масле М-10Г<sub>2</sub>(цс). Низкотемпературные режимы смазки моделировались искусственно. Интенсивное загрязнение масла НРП создавалось также увеличением продолжительностью  $\bar{\tau}_p$  долевых, переходных и неустановившихся режимов работы двигателя.

Оценка нагаро- и лакообразования на поршнях и отложений в картере велась относительно загрязнений двигателя при его работе на обычных режимах эксплуатации. Увеличение доли  $\bar{\tau}_p$  переходных (дизеля) и низкотемпературных (смазки) режимов работы приводит к интенсификации отложений в двигателе в 1,6 - 3,5 раза. При этом с увеличением  $\bar{\tau}_p$  загрязнение 3 картера растет быстрее по сравнению с ростом нагаров Н (рис. 3).

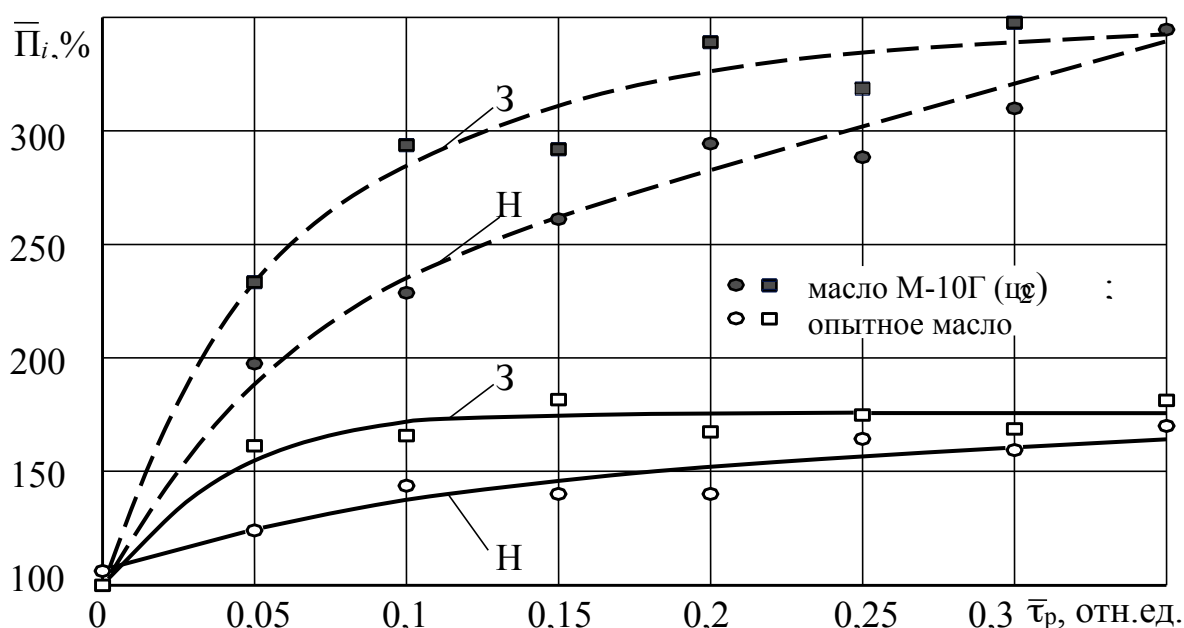


Рис. 3. Влияние присадок на эффективность работы масла на низкотемпературных режимах смазки

Сравнение данных испытаний масла М-10Г<sub>2</sub>(цс) с добавкой (опытное масло) и без добавки сукцинимида показали значительное торможение старения масла, если в ММ вводится беззольный детергент. При этом срок службы ФЭ увеличивается в 1,4 - 3 раза. Рост загрязнения двигателя низкотемпературными отложениями стабилизируется на уровне 176 % по отношению к обычному режиму работы. Без добавки С-5А загрязнение двигателя по мере увеличения  $\bar{\tau}_p$  растет по экспоненте до уровня 350 %, т.е. зафиксирован эффект снижения показателя 3 почти в 2 раза.

Нагаро- и лакообразование (показатель Н) при увеличении доли низкотемпературных режимов смазки растет почти линейно и не стабилизируется. Рост нагаров с увеличением доли переходных режимов работы ДВС при работе на опытном масле в 3,3 раза ниже, чем на ММ без сукцинимида. При обводнении масел преимущество композиции с высокоэффективными беззольными детергентами возрастает в 4 - 6 раз. Эффект снижения низкотемператур-

ных отложений от легирования ММ термостойким сукцинимидом в форсированных дизелях, работающих на обводненных маслах, еще выше.

Оценка эксплуатационной эффективности унифицированных ММ с добавками сукцинимидом С-5А проводилась на судах в дизелях типа ЧН32/48 и ЧН18/22. Сравнивали по влиянию на состояние ДВС модифицированное масло М-10Г<sub>2</sub>(цс) с зарубежным ММ «Мобилгард-312» аналогичного класса.

Проведено также сопоставление эффективности выше названного ММ с маслом М-10Д (ТУ 38101636-76), получившим широкое распространение на морском флоте. Сравнение велось с учетом влияния на состояние масла различных очистителей. Потому СС рассматриваемых дизелей были оборудованы штатными системами очистки (ШСО), включающими фильтр (дизель 8ЧН32/48) грубой очистки (ФГО) и фильтр масляный полнопоточный ФМП-2 с двумя ФЭ «Нарва-6-4» (дизель 6ЧН18/22). Комбинированный маслоочистительный комплекс (КМОК) состоял из названных двух- и трехмерных фильтров типа ФМП и центрифуг с напорным сливом МЦН-НС пятого и шестого типоразмеров (ГОСТ 10556-78).

Роль маслоочистителей (МО) в стабилизации состояния масла хорошо иллюстрирует такой показатель, как концентрация в нем общих и зольных НРП. При комбинированной очистке она была в два раза ниже, чем при использовании ФГО, что вызвано интенсивным отфуговыванием загрязнений центрифугой МЦН-6НС (табл. 3). Интенсивность очистки масла этим агрегатом в сочетании с ФМП-3 на порядок выше, чем ФГО. Особенно сильно разнятся сравниваемые системы очистки по надежности защиты пар трения от крупных абразивных частиц. Поэтому при использовании ШСО в дизелях 6ЧН32/48 высока вероятность повреждения вкладышей.

Сопоставление моторных свойств сравниваемых нефтепродуктов показало значительное превосходство М-10Г<sub>2</sub>(цс) над товарным маслом по влиянию как на нагаро- и лакообразование, так и на изнашивание основных деталей дизеля 8ЧН32/48 (см. табл. 2). Доля ММ в общем повышении эффективности СС названного дизеля составляла не менее 60 %. В совокупном воздействии на состояние двигателя превосходство модернизированной СС над штатной вылилось в снижение скорости изнашивания деталей в 1,7-2,2 раза. Наибольшее влияние эффективности очистки ММ проявилось на деталях КШМ, что связано с высокой его циркуляцией через трибосопряжения этой группы.

Велика роль масел в снижении нагаро- и лакообразования. Эксплуатация дизелей с опытными СС улучшила состояние поршней по этому показателю почти на 64 %. При этом потерявших подвижность компрессионных колец при работе на масле М-10Г<sub>2</sub>(цс) не было, а состояние поршневых канавок под кольца при смазке дизеля маслом М-10Д в среднем было оценено в 2,4 балла.

Эксплуатационная эффективность масел и очистителей в системах смазки форсированных дизелей

Показатель	Дизель 8ЧН32/48		Дизель 6ЧН18/22		
	М-10Д, ФГО	М-10Г <sub>2</sub> (цс), ФМП-3 + МЦН-6 НС	М-10Г <sub>2</sub> (цс), ФМП-2	Моби-лгард-3 12, ФМП-2	М-10Г <sub>2</sub> (цс), ФМП-2 + МЦН-5 НС
Максимальная концентрация НРП в масле, отработавшем 1000 ч, %:	2,4 ± 0,5	1,2 ± 0,2	1,5 ± 0,3	1,8 ± 0,4	1,0 ± 0,2
общих зольных	0,48 ± 0,08	0,25 ± 0,04	0,32 ± 0,06	0,35 ± 0,05	0,18 ± 0,03
Щелочность к этому же моменту времени, мг КОН/г	1,3 ± 0,2	3,2 ± 0,5	3,1 ± 0,5	3,5 ± 0,5	5,2 ± 0,7
Интенсивность очистки масла от НРП, г/ч:	310 ± 53	3860 ± 420	32 ± 10	43 ± 3	250 ± 20
общих зольных	284 ± 42	2650 ± 310	25 ± 3	22 ± 4	330 ± 30
Скорость изнашивания поршневых колец, г/1000 ч	13,7 ± 1,3	7,8 ± 1,2	4,3 ± 0,4	4,2 ± 0,4	2,6 ± 0,2
Скорость изнашивания цилиндровых втулок, мкм/1000 ч	34,2 ± 5,1	16,2 ± 2,3	16,4 ± 1,2	14,2 ± 1,5	7,3 ± 0,8
Скорость изнашивания вкладышей шатунного подшипника, мг/1000 ч	275 ± 43	134 ± 22	163 ± 14	143 ± 25	78 ± 3
Скорость изнашивания шатунных шеек коленчатого вала, мкм/1000 ч	17,6 ± 2,3	7,3 ± 1,8	8,9 ± 1,1	8,2 ± 1,2	4,3 ± 0,8
Нагаро- и лакообразование на поршнях, балл:	23,5 ± 3,2	12,8 ± 1,6	8,4 ± 0,9	7,6 ± 0,8	5,8 ± 0,6
подвижность поршневых колец (общая оценка)	2,4 ± 0,5	0	1,1 ± 0,3	0,8 ± 0,1	0

Испытания в дизеле 6ЧН18/22 показали высокую эффективность масла М-10Г<sub>2</sub>(цс) в сравнении с наиболее известным зарубежным маслом "Мобилгард-312". Сравнение велось при очистке масел полнопоточным тонким фильтрованием. Эксплуатационные качества у них практически одинаковы. Зарубежное масло несколько превосходит отечественное по моюще-диспергирующим свойствам. У отечественного лучше антикоррозионные характеристики. Данный вывод вытекает из сопоставления данных по срабатыванию щелочности масла при его обводнении. У зарубежного ММ этот процесс идет в 1,3 раза интенсивнее, чем у отечественного, что указывает на низкую вымываемость присадок МАСК и ПМС водой.

В условиях применения высокозольного масла М-10Г<sub>2</sub>(цс) превосходство КМОК над полнопоточным ФТОМ проявилось по всем показателям. Комбинированная очистка по интенсивности удаления НРП эффективнее полнопоточного фильтрования в 6-15 раз, что приводит к более низкому (на 40-50 %) накоплению в масле нерастворимых примесей. Эффективное удаление центрифугой зольных продуктов тормозит старение масла и улучшает его антиизносные свойства. Это хорошо иллюстрирует сравнение МО по влиянию на скорость изнашивания основных деталей ДВС. Использование КМОК в СС дизеля 6ЧН18/22 способствовало снижению износа поршневых колец, цилиндровой втулки в 1,67-1,85 раза. По шейкам коленчатого вала и подшипникам результат еще разительнее: изнашивание снизилось на 46-53 %, т. е. наполовину.

Высокий результат при установке КМОК достигнут и в снижении нагаро- и лакообразования. Если при очистке масла М-10Г<sub>2</sub>(цс) ФТОМ общее состояние поршней дизеля оценивалось в 8,4 балла, то комбинация ФМП-2 и МЦН-5НС дает результат 5,8 балла. При комбинированной очистке все поршневые кольца были подвижны. Если же глубокая очистка ММ не проводилась, то отдельные кольца из-за наличия нагара перемещались в канавках туго, что объясняется жесткими режимами испытаний дизеля.

Оценка интенсивности старения масла М-10Г<sub>2</sub>(цс) при комбинированной очистке его показала возможность удлинения срока службы этого ММ до 3 тыс.ч. В условиях применения ВТЭ оно переходит в разряд долгорботающего даже при сжигании в дизеле 8ЧН32/48 флотских мазутов с содержанием серы до 1 %. Такой же режим маслоиспользования, т. е. со сменой по браковочным показателям, рекомендован и для дизелей типа ЧН 18/22 с разным уровнем форсировки при использовании дизельного топлива. Комплексное повышение эффективности СС рассматриваемых дизелей позволило увеличить их ресурсные показатели на 20 %, в 1,2-1,3 раза сократился расход сменно-запасных частей и на 40-60 % масел. В этом случае наработка на отказ по деталям ЦПГ и подшипникам увеличилась в 1,3-1,6 раза [10].

Анализ результатов длительного использования в ДВС на судах новых МО и унифицированных ММ подтвердил их высокую эффективность. Сравнительные данные показывают большие преимущества модернизированных над штатными СС. Применение ФМП и МЦН по сравнению с распространенными МО в 1,2-2,3 раза замедляет старение ММ, увеличивает в 2-6 раз срок его службы и стабилизирует угар на уровне 1,2-2,5 г/(кВт×ч) в течение длительного времени.

Роль ММ в комплексном повышении эффективности СС значительна. Так, почти двойное снижение нагаро- и лакообразования в дизелях 8ЧН38/48 и на 40 % в ЧН18/22, оснащенных СС повышенной эффективности, обусловлено высокими моюще-диспергирующими свойствами масла М-10Г<sub>2</sub>(цс). Оно превосходит штатные масла по всем показателям. Запас нейтрализующих свойств у него таков, что можно использовать топлива с содержанием серы до 1 %. Срок службы масляных ФЭ и ММ при переходе со штатного на масло М-10Г<sub>2</sub>(цс)

увеличивается соответственно в 4,3-6,3 и 5-6 раз. При этом доля масла в общем повышении эффективности СС составляет 40-60 %.

При переводе рассматриваемых дизелей на унифицированные судовые масла группы Г2 такие показатели двигателей как скорость изнашивания, нагаро- и лакообразование улучшены в 1,6-1,8 раза. У двигателей с модернизированными СС в среднем на 15 % увеличен ресурс. Сравнительными моторными испытаниями доказано, что доля ММ в улучшении вышеперечисленных показателей составляет не менее 40 % [10].

#### Выводы

1. Моторными испытаниями тронковых дизелей на лабораторных стендах и в эксплуатации на судах доказано, что использование унифицированных ММ с композицией присадок МАСК и ПМС в сочетании 3:2 при превышении щелочности уровня 10-30 мг КОН/г над зольностью в 8-12 раз, позволяет обеспечить ресурсосберегающую эксплуатацию ДВС на низкосернистых топливах при угаре смазочного материала 1,2-2,5 г/(кВт·ч). Достоинством предложенной композиции при добавке термостойких сукцинимидов является улучшение диспергирующих свойств масел при низкотемпературных режимах их применения в условиях обводнения.
2. Комбинированный маслоочистительный комплекс, функционирующий на разных принципах действия (фильтрования и центрифугирования), полностью обеспечивает защиту пар трения дизеля от абразивного изнашивания, исключает полировку цилиндров двигателя зольными нерастворимыми продуктами, стабилизируют угар ММ на низком уровне, способствует удалению из него катализаторов окисления и таким образом тормозит старение масла.

#### Список литературы

1. Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.К. Перминов, А.В. Надёжкин. - Владивосток: Изд-во мор. гос. ун-та, 2011. -372 с.
2. Сомов, В.А. Эффективное использование моторных масел на речном флоте / В. А. Сомов, Г. Ф. Бенуа, Ю. Л. Шепельский. - М.: Транспорт, 1985. - 231 с.
3. Никифоров, О. А. Рациональное использование моторных масел в судовых дизелях / О. А. Никифоров, Е. В. Данилова. - Л.: Судостроение, 1986. - 96 с.
4. Кича, Г. П. Эксплуатационная эффективность полнопоточной тонкой очистки моторного масла в судовых вспомогательных дизелях / Г. П. Кича, Л.А. Семенюк, М.И. Тарасов [и др.] // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. - 2020. - № 58/59. - С. 71-80.
5. Гаук, Г.А. Повышение эксплуатационных свойств унифицированного моторного масла и оценка его эффективности в судовых тронковых дизелях / Г.А. Гаук, Б.Н. Перминов //Актуальные проблемы создания, проектирования и эксплуатации современных двигателей внутреннего сгорания: сб. науч. тр./ под ред. В.А. Лашко. -Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2007. -Вып. 4. - С. 54-65.
6. Кича, Г. П. Полнопоточная комбинированная фильтрованием и центрифугированием тонкая очистка моторного масла в судовых дизелях / Г. П. Кича, Л. А. Семенюк // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. - 2018. - № 2. - С. 62-69.

7. Кича, Г. П. Результаты эксплуатационных испытаний саморегенерирующегося фильтра в судовых дизелях в составе комбинированного маслоочистительного комплекса / Г. П. Кича, А. В. Надежкин, С. П. Бойко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. - 2019. - Т. 11. - № 4. - С. 718-726.
8. Кича, Г.П. Новые стохастические модели очистки топлив и масел судовыми центробежными аппаратами со сложной гидродинамической обстановкой / Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Л.А. Семенюк / Морские интеллектуальные технологии. -2018.-№ 4(42).-Т. 5. -С. 77-89.
9. Надежкин, А. В. 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(37). - Т. 2. - С. 93-100.
10. Кича, Г. П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием: монография / Г. П. Кича, Н. Н. Тарашан, А. В. Надежкин. - Владивосток: Из-во Мор. гос. ун-та, 2015. - 174 с.
11. Дерябин, А. А. Смазка и износ дизелей / А.А. Дерябин. - Л.: Машиностроение, 1974. - 184 с.
12. Кича, Г. П. Стохастическая ячеистая модель очистки моторного масла от механических примесей объемным фильтрованием / Г. П. Кича, Л. А. Семенюк, М. И. Тарасов // Морские интеллектуальные технологии. - 2020. - № 1(47). - Т. 2. - С. 105-112.

*Поступила в редакцию 7 апреля 2026 г.*

## Transfer of experience and neural networks

Anatoly Nikolaevich Sobolenko <sup>1</sup>, e-mail: sobolenko\_a@mail.ru

Sergey Tierovich Baranov <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

*A major advantage of neural networks is the speed with which they can analyze a given question and provide a response. A neural network is a structure of artificial neurons that are interconnected. A neural network can get an answer to any question? Neural networks can help us become better and resolve issues more quickly in various fields. However, the final decision must still rest with humans. If we take any accident or incident that occurred with ship technical equipment and conduct independent examinations by several experienced experts who will not be aware of the examination being conducted by other specialists, 50 percent of the conclusions will be different, which can subsequently be challenged in higher-level organizations. And there, too, it's likely that some specialist could still make a mistake in their conclusion regarding the underlying cause of the accident. We should pass on the experience we've accumulated over our professional years to the younger generation, to young professionals in all fields.*

*The best way to do this is develop neural networks in all areas.*

**Keywords:** neural networks, ship technical equipment, accident, incident.

## Передача опыта и нейросети

Соболенко Анатолий Николаевич,<sup>1</sup> e-mail: sobolenko\_a@mail.ru

Баранов Сергей Тьерович <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

*Одним из главных преимуществ нейронных сетей является скорость, с которой они могут анализировать заданный вопрос и давать ответ. Нейронная сеть — это структура искусственных нейронов, которые взаимосвязаны. Может ли нейронная сеть ответить на любой вопрос? Нейронные сети могут помочь нам стать лучше и быстрее решать проблемы в различных областях. Однако окончательное решение все равно должно оставаться за людьми. Если мы возьмем любую аварию или инцидент, произошедший с судовым техническим оборудованием, и проведем независимые экспертизы несколькими опытными экспертами, которые не будут знать о проводимых другими специалистами исследованиях, 50 процентов выводов будут отличаться, что впоследствии может быть оспорено в организациях более высокого уровня. И там тоже есть вероятность, что какой-то специалист может ошибиться в своем заключении относительно первопричины аварии. Мы должны передавать накопленный за годы работы опыт молодому поколению, молодым специалистам во всех областях.*

*Лучший способ сделать это — развивать нейронные сети во всех областях.*

**Ключевые слова:** нейронные сети, судовое техническое оборудование, авария, инцидент.

Why share professional experience? Experience is a concept in epistemology. It's knowledge acquired through life, work, professional activity, participation in historical events, and so on. By sharing our experience, we can help preserve the planet for our children, grandchildren, and great-grandchildren.

There are now many articles and videos on various Internet platforms, and neural networks are increasingly being connected; they will answer any question.

A major advantage of neural networks is the speed with which they can analyze a given question and provide a response. However, we believe there is also a drawback: errors are possible, which, under various circumstances, can lead to various incidents, accidents, etc.

What is a neural network? A neural network is a structure of artificial neurons that are interconnected (Fig. 1). The most primitive neural network has a single layer of neurons, while more complex ones have several. Often, each layer performs a specific task: for example, one recognizes, another transforms, and a third creates a new concept.



Fig. 1. Representation of the neural network structure

Is it possible to completely transfer the experience of all humanity to a neural network? Probably so. Can a neural network get an answer to any question? Of course it can. Will it be fast? Yes, it will. But as for accuracy and precision, many would agree that it most likely won't. And who will verify the answer?

In ancient Rome, in the 7th century BC, a council of elders was created, consisting of 100 heads of patriarchal families. And they, too, made mistakes; otherwise, the great city of Rome would still exist today.

If we take any accident or incident that occurred with ship technical equipment and conduct independent examinations by several experienced experts who will not be aware of the examination being conducted by other specialists, I think 50 percent of the conclusions will be different, which can subsequently be challenged in higher-level organizations. And there, too, it's likely that some specialist could still make a mistake in their conclusion regarding the underlying cause of the accident.

Transferring expertise to neural networks can help us become better and resolve issues more quickly in various fields. However, the final decision must still rest with humans, so that we can pass on our planet to our children, grandchildren, and great-grandchildren in good condition (Fig. 2).



Fig. 2. "Transferring" the planet to our children, grandchildren...

We believe that strict human control over the neural network is necessary to prevent it from making mistakes, as we do as we navigate our lives. It cannot be left to wander freely.

Should we pass on the experience we've accumulated over our professional years to the younger generation, to young professionals in all fields? Yes, we should.

What's the best way to do this? Our opinion is as follows:

1. Creating a platform (round table) where technical topics can be discussed with colleagues, with a mandatory requirement for young people to be involved not only as listeners but also as speakers;

2. Personal involvement (mentoring), directly in the workplace or in the classroom, a mentor will help a student, cadet, or young professional master any specialty. Incidentally, Russian President Vladimir Putin also raised the issue of mentoring in one of his speeches.

Develop neural networks in all areas.

And then in the future we will have not only neural networks, but also a place for humanity.

## **Bibliography**

1. Sobolenko, A. N. General Principles of Artificial Neural Networks / A. N. Sobolenko, W. R. Kim // Proceedings of the Far Eastern State Technical University. - 2006. - No. 142. - pp. 156-158.

*Поступила в редакцию 6 марта 2026 г.*

## **Бескулачковое управление клапанами системы газораспределения в судовых двигателях внутреннего сгорания**

Шаркевич Анатолий Владимирович, <sup>1</sup> e-mail: tolan2018g@gmail.com,

Москвин Данил Денисович, <sup>1</sup> e-mail: ballntdany@yandex.ru

<sup>1</sup> Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

*В статье анализируется бескулачковое управление клапанами в судовых двигателях внутреннего сгорания. Рассматриваются недостатки механического привода и преимущества гидравлических, электрогидравлических и электромагнитных систем. Делается вывод о перспективности технологии для повышения экономичности и экологичности судовых дизелей.*

**Ключевые слова:** бескулачковое управление, судовые двигатели, клапанное управление, электрогидравлический привод, топливная экономичность.

## **Camless valve actuation for the gas distribution system in marine internal combustion engines**

Sharkevich Anatolii Vladimirovich, <sup>1</sup> e-mail: tolan2018g@gmail.com,

Moskvin Danil Denisovich, <sup>1</sup> e-mail: ballntdany@yandex.ru

<sup>1</sup> Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

*The article analyzes camless valve actuation in marine internal combustion engines. Disadvantages of mechanical drives and advantages of hydraulic, electro-hydraulic, and electromagnetic systems are examined. The conclusion highlights the technology's potential for improving fuel efficiency and environmental performance of marine diesel engines.*

**Keywords:** camless actuation, marine engines, valve control, electro-hydraulic drive, fuel efficiency.

### **Введение**

В настоящее время в области морского и речного судоходства основной энергетической установкой является дизельный двигатель. Это инженерное сооружение требует большого количества вспомогательных механизмов и агрегатов.

Каждый год к судовым дизельным установкам предъявляются все более жесткие требования по экономичности, массо-габаритным показателям, экологичности и надежности. Одной из систем дизельного двигателя, оказывающей существенное влияние на его работу и эффективность является система газораспределительного механизма.

В основном в судовых дизелях применяется традиционный механический привод клапанов с использованием распределительного вала, кулачков и толкателей. Невзирая на высокую надежность, относительную простоту конструкции и многолетний опыт эксплуатации, такой привод имеет ряд принципиальных недостатков.

Шестеренные привода влекут за собой значительные механические потери, которые снижают общий коэффициент полезного действия всей установки. Часть эффективной мощности затрачивается на преодоление сил трения и инерционных нагрузок в элементах газораспределительного механизма

Кроме того, механический привод газораспределительного механизма существенно увеличивает массу и габариты судового двигателя. Распределительный вал, приводные механизмы и связанные с ними элементы усложняют конструкцию и ограничивают возможности компоновки энергетической установки. Для главных энергетических установок, использующихся для больших типов судов данные недостатки приобретают особую значимость.

Еще одним существенным ограничением механического газораспределительного механизма является жесткая фиксация фаз газораспределения. Профиль и частота открытия кулачков задает неизменные моменты открытия и закрытия клапанов, что не позволяет оптимизировать рабочий процесс двигателя в зависимости от нагрузки и частоты вращения. В итоге ухудшается эффективность на некоторых режимах и снижаются возможности по уменьшению расхода и выбросу вредных веществ.

#### Общий принцип бескулачкового управления

Бескулачковая система газораспределения – это система, в которой управление клапанами осуществляется без применения распределительного вала, моменты открытия и закрытия клапанов задаются электронным блоком управления.

Основная идея этой системы заключается в том, что электронная система управления анализирует режим работы двигателя и считывает необходимые ей параметры: общая нагрузка, частота вращения, значения давлений и температур. Далее на основании заранее сформированных алгоритмов формируются управляющие сигналы, которые приводят в движение клапаны газораспределительного механизма при помощи гидравлических, электрогидравлических или электромагнитных исполнительных механизмов.

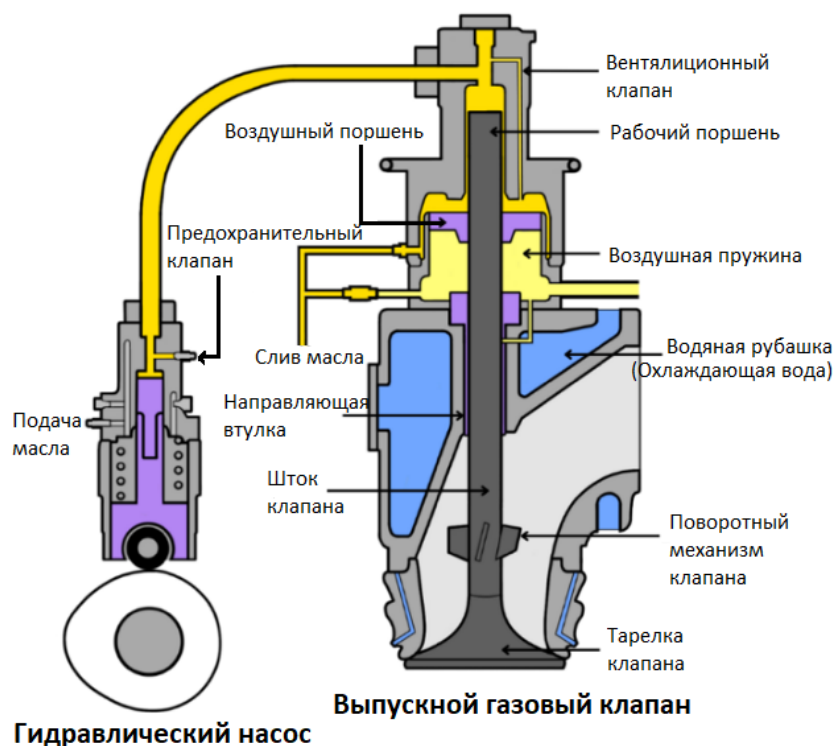


Рис. 1. Схема устройства выпускного газового клапана

#### Гидравлическое управление клапанами

В гидравлических системах основной принцип заключен в том, что клапаны приводятся в действие за счет давления масла. Эти системы состоят из: гидравлических насосов, аккумуляторов давления, клапанов и их исполнительных гидроцилиндров.

Работа такой системы заключается в подаче масла под давлением в исполнительный гидроцилиндр клапана. В момент открытия клапана, управляющий элемент направляет рабочую жидкость в гидроцилиндр клапана, создавая усилие достаточное для преодоления силы пружины клапана и давления газов в цилиндре. Закрытие клапана происходит посредством работы возвратной пружины, а также пневматических поршней как показано на (см. рис. 1), либо перенаправлением масла в противоположную полость.

К преимуществам гидравлических систем можно отнести высокую мощность гидравлического усилия, надежность при длительной эксплуатации, устойчивость к тяжелым условиям работы. Однако из недостатков можно выделить зависимость механизмов от качества и температуры рабочей жидкости, относительное усложнение конструкции в сравнении с традиционной системой газораспределения.

#### Электрогидравлическое управление клапанами

Электрогидравлические системы управления клапанами газораспределительного механизма, являются наиболее совершенным и распространенным типом бескулачкового газораспределения в современных судовых дизельных двигателях. В этих системах электрическая часть предназначена для формирования управляющих сигналов, которые передаются на гидравлические исполнительные механизмы. Основным отличием электрогидравлической системы от гидравлической является то, что в первой есть возможность независимого управления каждым клапаном и изменения фаз газораспределения в режиме реального времени.

Во многих судовых двигателях данная система объединяет управление системой газораспределения и впрыском топлива. Наиболее известным представителем системы электрогидравлического управления является разработка MAN B&W ME/ ME-C– Electronic Valve Control (EVC)/Electro-Hydraulic Valve Actuation (EHVA).

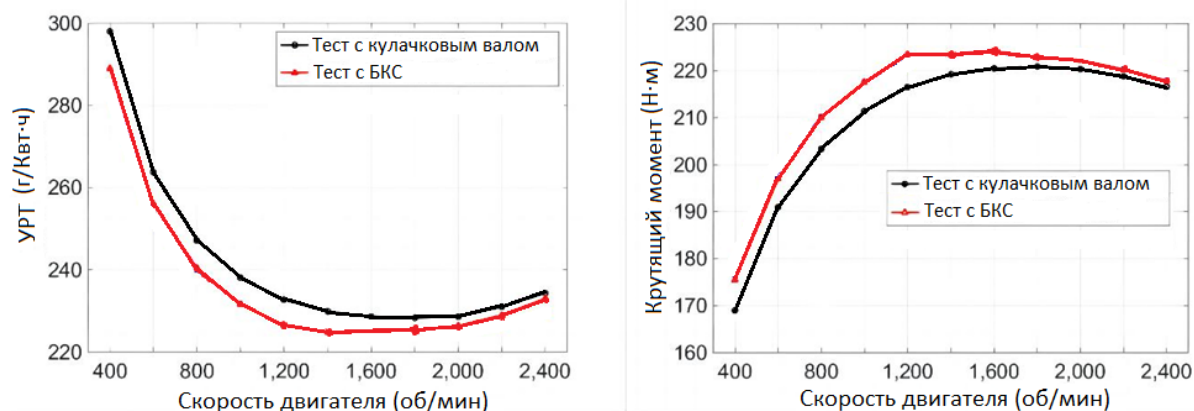


Рис. 2. Графики УРТ и крутящего момента

Преимуществами данных установок являются высокую точность и воспроизводимость фаз газораспределения, дополнительные возможности для диагностики и мониторинга, а также значительное снижение механических потерь, которое влечет за собой улучшение топливной эффективности. Но с точки зрения недостатков можно выделить повышенную сложность исполнения и обслуживания системы, что требует дополнительных компетенций от обслуживающего персонала.

В ходе испытаний тестовых одноцилиндровых двигательных установок, использующих электрогидравлическую систему газораспределения с независимым управлением впускных и выпускных клапанов, было установлено снижение удельного расхода топлива (УРТ) на 20% и возрастание крутящего момента на 16% в сравнении с традиционной кулачковой системой газораспределения (см. рис. 2).

Раннее закрытие впускных клапанов позволяет увеличить продолжительность сгорания топлива, увеличивая тепловую эффективность ДВС.

#### Электромагнитное управление клапанами

В электромагнитных системах клапаны управляются непосредственно электрическими приводами без использования гидравлической среды. Перемещение клапана осуществляется за счёт сил, создаваемых электромагнитами. Управление осуществляется полностью электронно, что в теории обеспечивает максимальную гибкость в изменении фаз газораспределения. В настоящее время в судовых энергетических установках такие системы применяются очень ограничено из-за высокого энергопотребления, сложностей в обеспечении надежности и большой чувствительности к температурам.

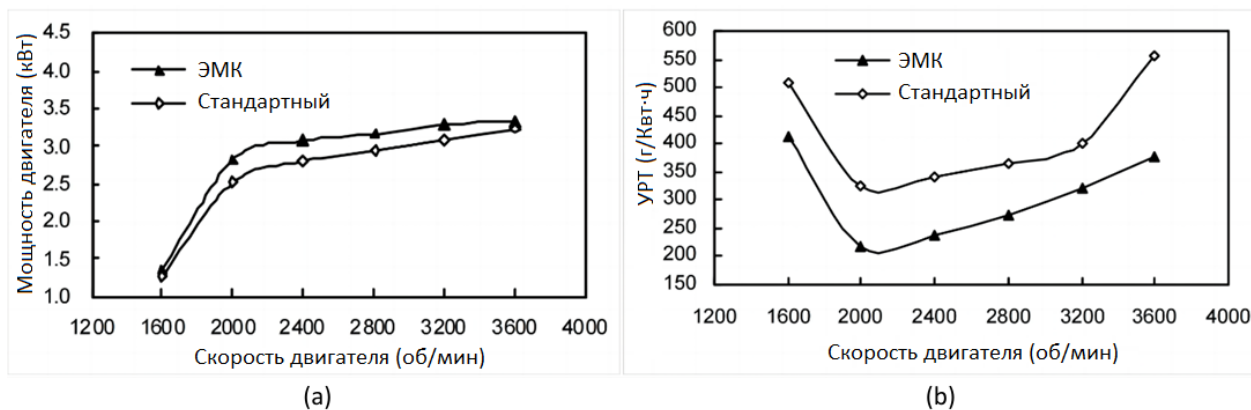


Рис. 3. Графики зависимости мощности и удельного расхода топлива (УРТ).

Преимущества таких систем можно оценить на наглядном примере тестовых одноцилиндровых двигательных установок, использующих электромагнитное управление клапанами – Electromagnetic Valve (EMV) (ЭМК) и традиционный механизм ГРМ.

Результаты наглядно показывают, что система EMV имеет повышенный потенциал для увеличения крутящего момента двигателя на 20% и понижения удельного расхода топлива на 14%, что так же приводит к уменьшению выбросов угарного газа, углеводородов и оксидов азота (см. рис. 3).

#### Заключение

Бескулачковые системы газораспределения оказывают значительное влияние на рабочие процессы судовых двигателей. Возможность точного управления клапанами позволяет снижать потери на газообмен, повышать эффективность сгорания топлива, а также адаптировать двигатель к различным сортам топлива. С экологической точки зрения такие системы являются важным инструментом для выполнения современных требований по уменьшению выбросов, особенно в сочетании системами рециркуляции отработавших газов. Подобные системы являются важным этапом развития мирового дизелестроения. Несмотря на усложнение конструкции и увеличение стоимости, преимущества таких систем делают их очень перспективными для широкого внедрения в использование.

#### Список литературы

1. Николаев, В. П. Шаговый электромагнитный бескулачковый механизм как элемент МИН-ТАХАНОВ М. А. системы управления и защиты реактора / В. П. Николаев // Тяжелое машиностроение. – 2006. – № 2. – С. 14-17. – EDN HZKXLL.
2. Болтенков, А. Ю. Двигатель freevalve camless повышенной эффективности / А. Ю. Болтенков // Прогрессивные технологии и процессы : сборник научных статей 6-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Курск, 25–26 сентября 2019 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 40-43. – EDN BTKXAB.

3. Performance enhancement of camless air engine by optimising the inlet-valve cut-off position / N. Ja. Chotai, V. Patel, V. Savsani, M. Karan // International Journal of Ambient Energy. – 2022. – Vol. 43, No. 1. – P. 7173-7181. – DOI 10.1080/01430750.2022.2059778. – EDN FBGSP0.
4. Mercorelli, P. Regulation of a Servo Piezo Mechanical Hydraulic Actuator for Intake Valves in Camless Combustion Engines / P. Mercorelli // WSEAS Transactions on Applied and Theoretical Mechanics. – 2020. – Vol. 15. – P. 46-51. – DOI 10.37394/232011.2020.15.7. – EDN YNLUWB.
5. Higgins, A. Camless engines give 'Peak' performance / A. Higgins // Machine Design. – 2000. – Vol. 72, No. 19. – P. 72. – EDN EPOOOL.
6. Wang, Y. Camless engine valvetrain: Enabling technology and control techniques / Y. Wang, 2002. – 1 p. – EDN FQLPMP.
7. Tai, C. Modeling and control of camless engine valvetrain systems / C. Tai, 2003. – 1 p. – EDN EYWQVZ.
8. Mercorelli, P. A hybrid actuator modelling and hysteresis effect identification in camless internal combustion engines control / P. Mercorelli, N. Werner // International Journal of Modelling, Identification and Control. – 2014. – Vol. 21, No. 3. – P. 253-263. – DOI 10.1504/IJMIC.2014.060729. – EDN SOTGOD.
9. Yang, X. Control of Camless Electrohydraulic Valvetrain in Internal Combustion Engine under Extended Kalman Filter / X. Yang, L. Zhang // International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications. – 2025. – Vol. 23, No. 3. – DOI 10.1504/ijista.2025.10069474. – EDN YQOVAM.
10. Li, Ya. A Review of Advanced Camless Technologies for Engine Performance Enhancement / Ya. Li, M. R. Hanipah, F. Liu // Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology. – 2025. – Vol. 63, No. 4. – P. 105-120. – DOI 10.37934/araset.63.4.105120. – EDN COOJVC.

*Поступила в редакцию 10 марта 2026 г.*

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК: 629.543

## Анализ различных типов судовых движителей применительно к операциям у морских одноточечных причалов

Матвиенко Нестор Николаевич, аспирант, e-mail: nestormtv@yandex.ru

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

*Изучен процесс постановки танкера к морскому одноточечному причалу (МОП). Выявлены особенности, которыми должен обладать движитель танкера, выполняющий операции у МОП. Выявлены движители, которые чаще всего применяются на современных крупнотоннажных судах. Выведена оптимальная формула расчета пропульсивного коэффициента движителей, работающих в швартовном режиме. Проанализирована эффективность и совместимость с выполнением операций у МОП каждого из выявленных движителей.*

**Ключевые слова:** гребной винт, танкер, морской одноточечный причал, манёвренность, пропульсивный коэффициент, швартовные операции.

## Analysis of various types of ship propulsion units as applied to single-point mooring operations

Matvienko Nestor N., post-graduate student, e-mail: nestormtv@yandex.ru

Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

*The process of mooring a tanker at a single-point mooring (SPM) was studied. The required characteristics of a tanker propulsion system for SPM mooring operations were identified. The propulsion systems most commonly used on modern large-capacity vessels were identified. An optimal formula for calculating the propulsion coefficient of propulsion systems operating in mooring mode was derived. The efficiency and compatibility of each of the identified propulsion systems with SPM mooring operations were analyzed.*

**Keywords:** propeller, tanker, SPM mooring, maneuverability, propulsion coefficient, mooring operations.

**Введение.** К операциям у МОП относятся швартовка, грузовые операции и отшвартовка. Эти процессы являются сложными технологическими операциями, ключевую роль в которых играет манёвренность судна. Манёвренность судна зависит от двух компонентов:

рулевого устройства и движителя. На танкерах, осуществляющие такие операции в качестве движителя, используются гребные винты следующих типов: винт фиксированного шага (ВФШ), ВФШ с направляющей насадкой, соосные гребные винты, контрвинты систем РВСФ (Propeller Boss Cap Fins) и PSP (Pre-swirl Stator Propeller), винт регулируемого шага (ВРШ) [1, 2].

Операции у МОП делятся на 3 этапа. Во время 1-го этапа танкер на малой скорости подходит к МОП. Затем, с помощью буксирного судна, на судно подаётся швартовный конец. После крепления этого конца, к судну подключается грузовой шланг.

2-ой этап – это грузовая операция. В большинстве случаев – погрузка. Но, в связи с интенсивным развитием нефтегазовой отрасли в последние годы, МОП всё чаще используют и для выгрузки. Существуют 2 схемы выполнения данного этапа (рис. 1):

- 1) «МОП – танкер – буксир»;
- 2) «МОП – танкер».



Рисунок 1 – Схемы швартовки к МОП: а) «МОП – танкер – буксир»; б) «МОП – танкер».

В случае со схемой «МОП – танкер – буксир» главный двигатель не работает и находится в постоянной готовности, т.к. судно оттягивает от МОП буксир, одновременно направляя его вдоль действия внешних сил (ветра, течения и волнения). Такая схема используется в незамерзающих портах, либо в акваториях, где зимой толщина льда не достигает больших значений (не толще 10 см) [3, 4]. Схема «МОП – танкер» применяется в замерзающих портах, в которых, из-за колоссальных нагрузок дрейфующего люда на корпуса танкера и буксира, конец между этими двумя судами, может разорваться. В этом случае движитель судна постоянно работает на задний ход. Судовой движительный комплекс, состоящий из главного двигателя, валопровода и движителя, должен обеспечивать тонкую и оперативную настройку упора гребного винта, т.к. в случае внезапного изменения сил, действующих на судно, задержка в этой настройке может привести либо к столкновению судна с МОП, либо к разрыву швартовного конца.

Во время 3-го этапа от судна отсоединяется шланг. Затем оно отшвартовывается и уходит от МОП.

На всех трёх этапах движители танкеров работают в швартовном режиме, то есть, когда винт вращается, но не перемещается вдоль своей оси. Следовательно, наиболее подходящие гребные винты должны соответствовать следующим критериям:

- 1) высокая эффективность при работе как на передний, так и на задний ход;
- 2) достаточная тяга на малых скоростях;
- 3) гидродинамическая устойчивость к кавитации;

- 4) воздействие боковых сил сведено к минимуму;
- 5) уровень шума и вибрации сведены к минимуму;
- 6) максимальное соответствие работе идеального двигателя;
- 7) возможность точно регулировать упор винта;
- 8) неуязвимость к ледовым нагрузкам;
- 9) большое значение пропульсивного коэффициента  $\eta$ .

**Цель исследования:** определить, какой из наиболее распространённых двигателей лучше всего подходит для танкеров, выполняющих операции у МОП.

**Пропульсивный коэффициент.** Пропульсивный коэффициент  $\eta$  является основным параметром эффективности. Применительно к работе двигателя в швартовном режиме данный коэффициент состоит из коэффициента полезного действия (КПД) гребного винта при работе в «свободной воде»  $\eta_0$ , то есть, когда на винт отсутствует влияние корпуса судна, КПД валопровода  $\eta_v$ , швартовного коэффициента влияния корпуса судна  $\eta_k$  и рассчитывается по формуле (1) [5, 6]:

$$\eta = \eta_0 \cdot \eta_v \cdot \eta_k \quad (1)$$

где:  $\eta$  – пропульсивный коэффициент;

$\eta_0$  – КПД гребного винта при работе в «свободной воде»;

$\eta_v$  – КПД валопровода;

$\eta_k$  – швартовный коэффициент влияния корпуса судна;

КПД гребного винта при работе в «свободной воде» вычисляется по формуле:

$$\eta_0 = \frac{T_0 \cdot V_0}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_0} \quad (2)$$

где:  $T_0$  – упор гребного винта в «свободной воде», Н;

$V_0$  – скорость движения гребного винта в «свободной воде», м/с;

$n$  – скорость вращения гребного винта, об/с;

$M_0$  – момент гребного винта в «свободной воде», Нм.

Швартовный коэффициент влияния корпуса рассчитывается по формуле (3). Он состоит из коэффициентов влияния корпуса на упор и на момент гребного винта и коэффициента засасывания, которые в свою очередь рассчитываются по формулам (4), (5) и (6) соответственно:

$$\eta_K = \frac{i_T \cdot (1 - t)}{i_M} \quad (3)$$

где:  $i_T$  – коэффициент влияния корпуса на упор;

$i_M$  – коэффициент влияния корпуса на момент;

$t$  – коэффициент засасывания;

$$i_T = \frac{T}{T_0} \quad (4)$$

$$i_M = \frac{M}{M_0} \quad (5)$$

$$t = 1 - \frac{T_E}{T} \quad (6)$$

где:  $T$  – упор гребного винта с учётом влияния корпуса судна, Н;

$M$  – момент гребного винта с учётом влияния корпуса судна, Нм;

$T_E$  – полезный упор гребного винта, Н;

Если подставить значения формул (4), (5) и (6) в формулу (3) то, сократив  $T$ , её можно записать в следующем виде:

$$\eta_K = \frac{\frac{T}{T_0} \cdot \frac{T_E}{T}}{\frac{M}{M_0}} = \frac{T_E \cdot M_0}{T_0 \cdot M} \quad (7)$$

Подставив формулы (2) и (7) в формулу (1) и сократив  $T_0$  и  $M_0$ , значение пропульсивного коэффициента можно записать в виде уравнения (8):

$$\eta = \frac{T_0 \cdot V_0}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_0} \cdot \frac{T_E \cdot M_0}{T_0 \cdot M} \cdot \eta_e = \frac{V_0 T_E \eta_e}{2 \pi n M} \quad (8)$$

Эти формулы включают ключевые кинематические параметры судовых гребных винтов. Они служат для количественной оценки работы винта и позволяют вычислять его тягу и полезную мощность. На основе этих характеристик можно судить об эффективности винта. В частности, об его полезном или вредном влиянии на маневренность танкера. Именно эти

параметры и помогут определить наиболее подходящий движитель для танкеров, выполняющих операции у МОП.

**Винт фиксированного шага (ВФШ).** ВФШ (рис. 2) – самый распространённый вид гребного винта во всём мировом флоте. Его дешевизна и простота конструкции, а также отсутствие необходимости в эксплуатационном обслуживании, делают данный вид гребных винтов универсальным. ВФШ является основой для большинства других перспективных видов движителей [7]. Он хорошо подходит для судов с предсказуемыми, постоянными скоростями и нагрузками, которыми и являются танкеры классов Aframax, Suezmax и VLCC (Very Large Crude Carrier).



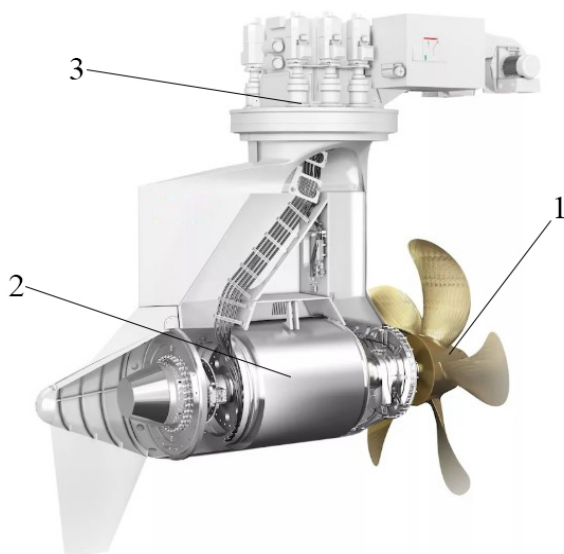
Рисунок 2 – Винт фиксированного шага

Операции у МОП характеризуются постоянно изменяющимися нагрузками. Здесь вскрывается основной недостаток ВФШ, а именно то, что тягу такого винта можно изменять лишь путем изменения количества оборотов гребного вала. То есть, необходимо постоянно изменять мощность главного двигателя. Из-за механических и гидравлических ограничений большинства современных судовых дизельных энергетических установок полностью отсутствует возможность тонкой настройки упора гребного винта. В частности, судно, оборудованное ВФШ, не может мгновенно перейти с переднего на задний ход. А процесс реверсирования создаёт дополнительную нагрузку на главный двигатель, с его последующим износом. Фиксированный угол наклона лопастей не идеален для движения назад, что приводит к значительному снижению тяги и эффективности по сравнению с движением вперед. В частности, действие боковых сил наибольшее при работе ВФШ на задний ход [8].

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод, что в условиях постоянно изменяющихся нагрузок на систему «МОП – танкер» использование ВФШ на судах с дизельной энергетической установкой неприемлемо. Без увеличения риска возникновения аварийного случая их можно использовать в двух случаях:

- 1) танкер работает в схеме «МОП – танкер – буксир»;
- 2) ВФШ вращается с помощью энергетической установки с возможностью тонкой настройки своей мощности (например: с помощью электромотора в составе азимутального

подруливающего устройства (АЗИПОД) (рис. 3, а), обеспечивающую идеальную манёвренность, как это делают на многих современных танкерах (рис. 3, б).



а)



б)

Рисунок 3 – Система АЗИПОД: а) устройство: 1) ВФШ; 2) электродвигатель; 3) модуль управления; б) АЗИПОДы установленные на танкере

Кроме того, фиксированный угол лопастей даёт существенно худшую и менее эффективную работу задним ходом с увеличением боковых сил, поэтому такой винт снижает манёвренность, надёжность и эффективность судна в условиях выполнения операций у МОП.

Ещё одним недостатком ВФШ являются потери энергии, связанных с закручиванием им струи. Для снижения этих потерь на современных судах применяют специальные направляющие устройства – контрпропеллеры и контрвинты. В последние годы широкое применение нашли контрпропеллеры PBCF (Propeller Boss Cap Fins) и контрвинты PSP (Pre-swirl Stator Propeller) (рис. 8).



а)



б)

Рисунок 8 – Контрвинты и контрпропеллеры: а) контрпропеллеры PBCF (Propeller Boss Cap Fins); б) контрвинты PSP (Pre-swirl Stator Propeller)

Технология PBCF представляет собой размещение небольших лопастей, расположенных на ступице за гребным винтом. Она значительно улучшает тяговое усилие на швартовке за счёт восстановления энергии вихря в ступице винта, преобразуя ее в дополнительную тягу, что приводит к увеличению упора до 7 % (рис. 9).

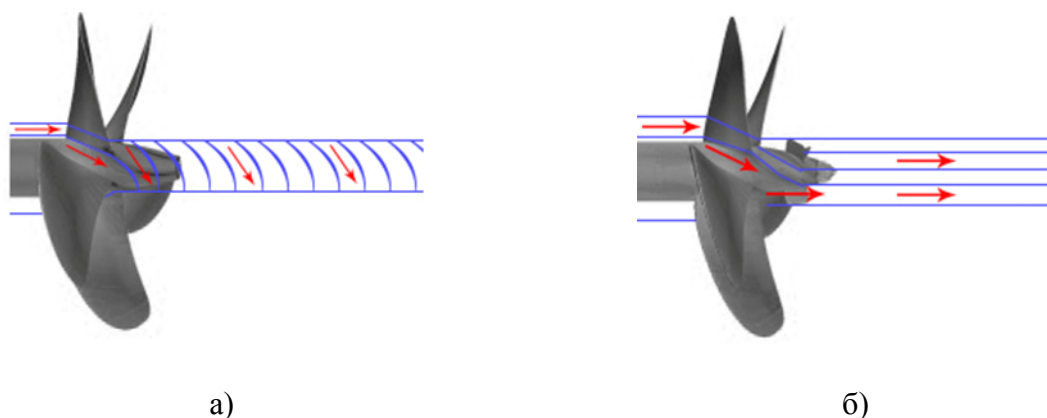


Рисунок 9 – Поток воды на ступице винта: а) вихрь на ступице без PBCF; б) выпрямление вихря на ступице с использованием PBCF

Благодаря выпрямлению сильного нисходящего потока и разрушения вихря, который у обычных ВФШ образуется прямо за ступицей, значительно снижается шум и вибрация [9, 10]. Натурные анализы 16 различных судов подтвердили средний прирост эффективности в 4,3–5,4 %, в то время как модельные испытания обычно показывают лишь 1–2 %. Испытания на танкерах типа Aframax показали снижение мощности на валу на 3,5–4 % в балласте и в полном грузу [11, 12]. Исследования показывают, что PBCF помогает сделать поле скоростей за ступицей более однородным. Это также снижает пиковые значения боковых сил, возникающих из-за неравномерного распределения нагрузки на лопасти в косом потоке [13]. Ходовые качества судна, использующую данную технологию, улучшаются и при работе гребного винта на задний ход. При движении назад лопасти винта создают аналогичный, но обратный вихревой поток в ступице. Дополнительные лопасти на PBCF перенаправляют этот поток, разрушая ядро вихревого потока низкого давления, тем самым, уменьшая потери энергии, улучшая способность винта создавать отрицательную тягу (тормозное усилие) для маневрирования или остановки.

Контрвинт PSP – это устройство, состоящее из неподвижных лопастей, размещённых перед гребным винтом, которые создают завихрение (вращение) в поступающей воде в направлении, противоположном вращению гребного винта. Это вращение взаимодействует с собственным вращением винта, в результате чего в диск винта поступает более равномерный и менее завихренный поток, что приводит к восстановлению энергии вращения, которая в противном случае была бы потеряна в водном потоке гребного винта (рис. 10).

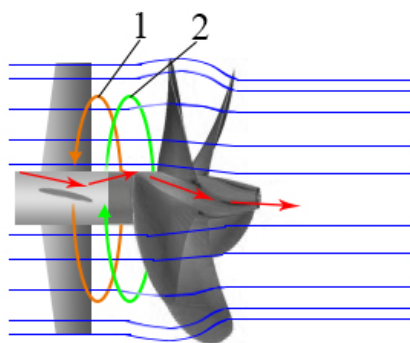


Рисунок 10 – Поток, проходящий через контрвинт PSP и гребной винт: 1) закручивание потока, создаваемое контрвинтом; 2) закручивание потока, создаваемое гребным винтом

Технология PSP позволяет увеличить пропульсивный коэффициент гребного винта на 5 – 8 %, существенно снизить шум и вибрацию [14]. При работе на задний ход PSP по-прежнему создает предварительное завихрение, но теперь в том же направлении, что и обратное вращение гребного винта (или против прямого потока). Следствием создаваемого завихрения могут стать вредная условия потока и повышенная нагрузка на гребной винт, что приводит к снижению мощности движения задним ходом или увеличению сопротивления [15]. Боковые силы, действующие на систему PSP, возникают из-за неравномерного следа статора и взаимодействия лопастей, вызывая нестабильные нагрузки, вибрации и потенциальный шум, даже при хорошей работе; такие факторы, как количество/расстояние между лопастями статора (эффект синхронизации), движение судна (волны) и вихреобразование существенно влияют на эти колеблющиеся боковые силы. Все эти эффекты усиливаются в режиме реверса, что делает конструкцию PSP далеко не самым эффективным движителем для танкера, работающего у МОП.

Важно отметить, что контрвинты и контрпропеллеры создавались с целью улучшения ходовых качеств судна при движении полным ходом вперед. Следовательно, при работе гребного винта при постоянно меняющихся оборотах на задний ход они не будут демонстрировать такую же хорошую эффективность. Поэтому установка контрвинтов и контрпропеллеров на танкеры, осуществляющие операции у МОП нежелательна.

**Винт регулируемого шага (ВРШ).** С целью устранения главного недостатка ВФШ был создан винт регулируемого шага (ВРШ) (рис. 4) – гребной винт с возможностью изменения угла атаки лопастей. Если ВФШ полностью литой, то в ВРШ ступица и лопасти являются отдельными частями. В ступице находится механизм (обычно гидравлический поршень), который вращает лопасти вокруг своей оси. Эта регулировка изменяет угол атаки лопастей, изменяя количество выталкиваемой воды и, следовательно, создаваемый упор. Угол атаки лопастей изменяется с помощью телеграфа на навигационном мостике и в машинном отделении [16].



Рисунок 4 – Винт регулируемого шага

Возможность изменения угла атаки лопастей, а следовательно, шага винта, нивелирует некоторые существенные недостатки ВФШ. Эффективность работы ВРШ на передний и на задний ход одинакова. Данный тип движителя обеспечивает точное управление, включая движение на малой скорости и моментальную, по сравнению с ВФШ, остановку и реверс. Главный двигатель может работать на оптимальных оборотах на различных нагрузках, снижая расход топлива и износ своих деталей [17]. В случае повреждения одного из лопастей, нет необходимости доставлять судно в док и менять гребной винт целиком, как это пришлось бы делать с ВФШ. Достаточно заменить поврежденную лопасть. Все вышеперечисленные достоинства делают ВРШ хорошим вариантом для использования в качестве движителя танкеров, работающих у МОР.

Недостатками ВРШ являются повышенная сложность. Гидравлическая система управления шагом винта сложна и требует интенсивного и регулярного технического обслуживания специально обученными инженерами. Составная конструкция ВРШ делает его уязвимым к ледовым нагрузкам. Повреждение обломками льда элементов ВРШ может привести к загрязнению моря гидравлической жидкостью. При этом ВРШ хорошо зарекомендовали себя на многих судах ледового плавания, как например на атомном лихтеровозе «Севморпуть», лихтеровозе «Иван Пананин» и челночных нефтеналивных танкерах [18].

**Направляющие насадки.** Идея об увеличении упора гребного винта с помощью специального кольца, имеющего профиль аэродинамического крыла, принадлежит русскому инженеру Ф. А. Бриксу, но эту заслугу приписывают немецкому инженеру Людвигу Карту, называя данное изобретение «Насадки Корта» (Kort Nozzles – англ.), который запатентовал данное изобретение лишь в 1936 г., в отличие от Брикса, который высказал данную идею ещё в 1887 г. [19].

Площадь входного сечения  $S_1$  насадки всегда превышает площадь выходного сечения  $S_2$ . В его самом узком месте  $S_v$ , расположен гребной винт (рис. 5). Это приводит к увеличению скорости потока через винт и, как следствие, к росту его пропульсивного коэффициента

и набегающего потока на перо руля, что также обеспечивает улучшение маневренности судна.

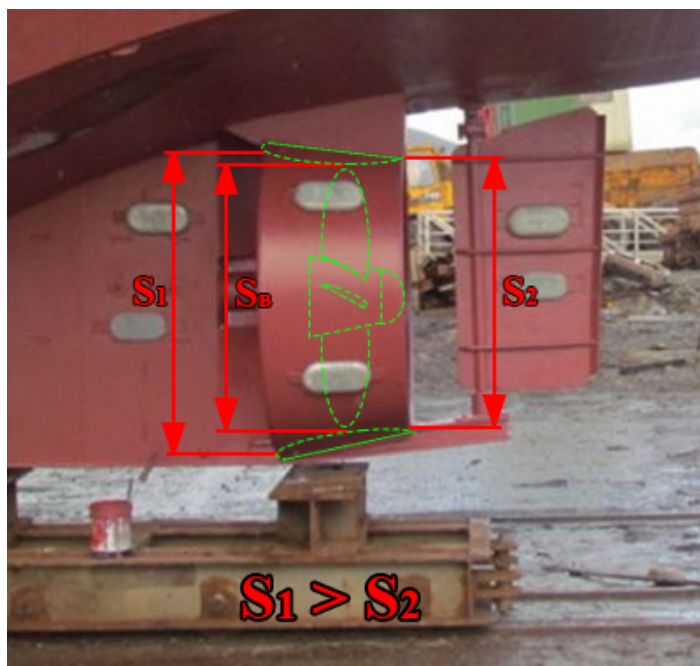


Рисунок 5 – Направляющая насадка

Ещё одним фактом, способствующим увеличению упора, является создание насадкой дополнительной гидродинамической силы (рис. 6). Как и любое аэродинамическое крыло, на насадке, направленной по отношению к набегающему потоку под углом атаки  $\alpha$ , возникают подъемная сила  $\Delta Y$  и сила профильного сопротивления  $\Delta X$ , в результате которой и возникает сила  $\Delta R_H$ . Её вертикальная составляющая – это увеличение момента  $\Delta M$ , а горизонтальная – увеличение упора  $\Delta T$ . В швартовном режиме это увеличение может составлять 15–30 % от упора самого гребного винта [20].

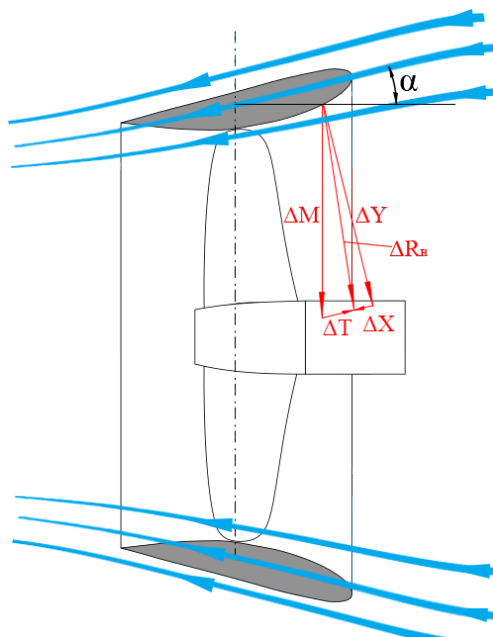


Рисунок 6 – Силы, возникающие в направляющей насадке

Основным достоинством направляющих насадок является увеличение маневренности судна. Гребной винт в насадке менее подвержен действиям боковых сил, нежели без них. Он направляет на винт более равномерный поток воды и существенно снижает шум и вибрацию. На судах небольшого дедвейта направляющие насадки применяются в составе винто-рулевого комплекса (рис. 7), в которых они крепятся к днищу судна специальным баллером. Этот баллер поворачивается на  $40^\circ$  на каждый борт, заменяя перо руля и обеспечивая превосходную маневренность на малых скоростях, в том числе в случае полного отсутствия хода относительно воды [21]. Благодаря насадке вероятность повреждения лопастей при столкновениях с битым льдом и плавающими обломками существенно уменьшается.



Рисунок 7 – Направляющие насадки в составе винто-рулевого комплекса

Данный тип движителя лучше всего подходит для тихоходных судов, т.к. на скоростях более 10 узлов он создаёт огромное сопротивление. Этот фактор делает направляющие насадки не самым удачным выбором для крупнотоннажных танкеров, задача которых не только благополучно выполнить операцию у МОП, но и быстро, с наименьшими расходами топлива доставить груз. При реверсе поток воды затягивается через узкую часть насадки, что создает значительное сопротивление и пагубно влияет на маневренность. Суда с направляющей насадкой склонны к непредсказуемому «рысканию» (уходу в сторону) при движении назад. Это происходит из-за того, что поток от винта стремится прижаться к одной из сторон расширяющегося входа насадки. Все вышеперечисленные факторы делают гребные винты с направляющей насадкой неподходящим движителем для танкеров, работающих у МОП.

**Соосные гребные винты.** Соосные гребные винты — это система из двух гребных винтов, установленных один за другим на одной оси, которые вращаются в разные стороны (рис. 11).

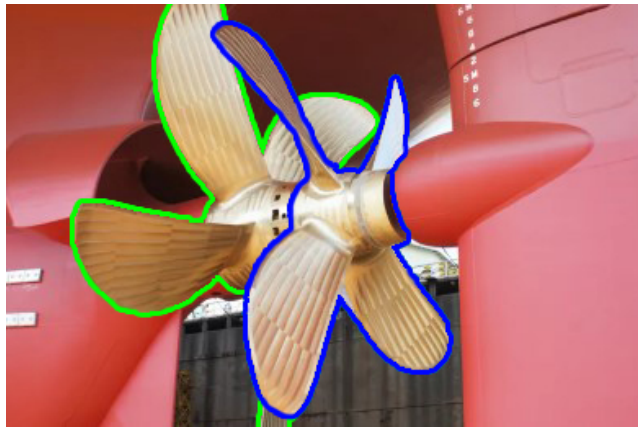


Рисунок 11 – Соосные гребные винты (зелёным выделен передний винт, синим – задний)

Вращающиеся в противоположных направлениях винты восстанавливают энергию из завихрений воды, что приводит к повышению пропульсивного коэффициента на 6-16 % [22]. Они позволяют уменьшить общий диаметр гребного винта или создать более компактный движитель при заданной мощности, экономя пространство. Обеспечивает быстрое торможение, что крайне важно для больших судов. Конструкция соосных гребных винтов помогает предотвратить кавитацию в обоих направлениях, продлевая срок службы и повышая эффективность гребного винта.

В целях большего понимания процессов, происходящих в данном виде движителей, необходимо построить многоугольники скоростей (рис. 12).

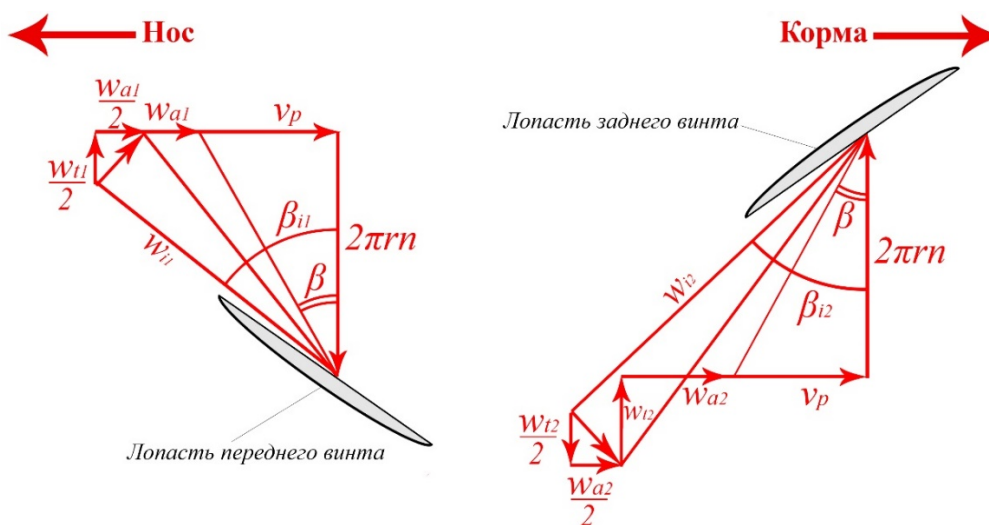


Рисунок 12 – Многоугольники скоростей соосных гребных винтов

Скорость  $v_p$  – это скорость водяного потока, проходящего через движитель.  $w_{a1}$  и  $w_{a2}$  – аксиальные скорости, а  $w_{t1}$  и  $w_{t2}$  – тангенциальные скорости, создаваемые передним и задним винтом соответственно. Благодаря тому, что направление этих скоростей совпадает, тяга движителя увеличивается. Направления тангенциальных скоростей различны. Вследствие чего задний винт уменьшает закручивание струи, создаваемое передним винтом. Так как аксиальные вызываемые скорости превышают тангенциальные, углы индуктивной поступи  $\beta_{i2}$  у заднего винта всегда больше, чем у переднего  $\beta_{i1}$ . Системы с двумя винтами обеспечивают

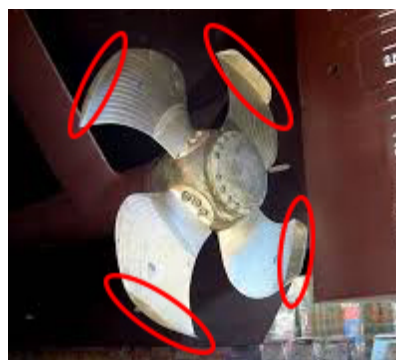
высокую эффективность тяги при движении задним ходом, поскольку задний винт использует энергию водного потока от переднего винта даже при движении задним ходом.

Недостатками данного вида движителей является то, что система соосных валов и редуктора значительно сложнее, дороже в производстве и сложна в техническом обслуживании. Более сложное оборудование означает больше потенциальных точек отказа и более высокие затраты на протяжении всего времени эксплуатации судна. Соосные гребные винты сильно подвержены влиянию боковых сил, что является следствием неравномерного течения воды, из-за чего ухудшается манёвренность [23]. В ступица соосных гребных винтов содержит в себе множество деталей, что делает данный вид движителя уязвимым к поломкам, особенно в ледовых условиях.

**Винты с концевыми пластинами.** Концевые потери являются основной причиной потерь мощности. С целью их снижения на современных судах получили распространение винты с концевыми пластинами – Contracted Loaded Tip (CLT) Propeller (рис. 13, а). Торцевая пластина на каждой лопасти уменьшает силу вихревого потока на конце лопасти, что приводит к более тихой работе, меньшей вибрации корпуса, смягчению износа лопастей гребного винта, обусловленного кавитацией. Улучшенное распределение тяги и управление потоком положительно влияют на манёвренность судна. Более эффективное использование поверхности лопастей позволяет использовать гребной винт меньшего диаметра, увеличить упор и пропульсивный коэффициент на 5-8 % [24].



а)



б)

Рисунок 13 – Винт с концевыми пластинами: а) в составе ВФШ; б) в составе ВРШ

Стандартные конструкции CLT оптимизированы для движения вперед, поэтому работа гребного винта на задний ход создает гидродинамические проблемы. При движении назад увеличивается сопротивление, следовательно крутящий момент относительно упора, что, согласно формуле (8), снижает пропульсивный коэффициент по сравнению с движением вперед. Торцевые пластины блокируют вихрь на конце лопасти, удерживая жидкость под высоким давлением на поверхности лопасти. Это перенаправление потока создает значительную нагрузку вблизи конца лопасти, генерируя сильные боковые силы, что пагубно влияет на манёвренность. В настоящее время ведётся разработка более совершенных конструкций гребных винтов данного типа с целью нивелировать вышеуказанные недостатки. Эти недостатки

могут быть существенно смягчены за счет использования лопастей с концевыми пластинами в составе ВРШ (рис. 13, б).

**Заключение.** По результатам данного анализа можно сделать вывод, что для танкеров, осуществляющих операции у МОП, на данный момент лучше всего подходят ВФШ в составе АЗИПОД. Учитывая передовой опыт эксплуатации некоторых судов ледового плавания, можно с уверенностью сказать, что ВРШ также подходят для выше указанных танкеров. Не рекомендуется использовать в качестве движителей гребные винты с направляющей насадкой, контрвинты, контрпропеллеры и соосные винты. В перспективе можно будет использовать ВРШ с концевыми пластинами. Но работа в этом направлении требует дополнительного исследования.

### Список литературы

1. А.М. Галицына, А.В. Месропян, Ю.А. Шабельник. К вопросу о повышении эффективности гребных винтов. Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика / XXIV Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. НИУ МЭИ (Москва, 9 декабря 2020 г.) Сборник материалов и докладов – М.: Мир науки, 2020. – С. 74-80.
2. Ф.М. Кацман, Д. В. Дорогостайский. Теория судна и движители: Учебник.— Л.: Судостроение, 1979. — 280 с.
3. ISO/CD 19906:2007 Нефтяная и газовая промышленность - Арктические морские конструкции (ISO/CD 19906 Petroleum and natural gas industries - Arctic offshore structures).
4. Мирзоев Д.А. Основы морского нефтегазопромыслового дела – В 2 т. – Т.1: Обустройство и эксплуатация морских нефтегазовых месторождений. – М.: Издательство ООО «День Серебра», 2009. – 288 с.
5. Г.И. Каневский, А.М. Клубничкин, И.В. Щербаков. Швартовая система коэффициентов взаимодействия гребных винтов с корпусом / Труды центрального научно-исследовательского института им. Академика А.Н. Крылова — 2011. — № 59. – с. 77-88.
6. В.М. Котлович. Причины различий между коэффициентами упора винта при работе за корпусом судна и в свободной воде на швартовых / Труды Крыловского государственного научного центра — 2023. — Т. 2. — № 404. – С. 58-67.
7. Антоненко С.В. Судовые движители: учеб. пособие / С.В. Антоненко; Дальневосточный государственный технический университет. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 126 с.
8. Ю.В. Бакшт, Е.Г. Лофенфельд, А.А. Русецкий. Гребные винты регулируемого шага. — Л.: СудпромГИЗ, 1961. — 328 с.
9. Irfan Syarief Arief, Achmad Baidowi, Anson Novendra Pradana. Analysis of the effects from adding propeller boss cap fins to skewed propeller performance with CFD methods / International Journal of Marine Engineering Innovation and Research. June. 2021. – Vol. 6. – No 2. – P. 140-151.
10. Sang-Seop Lim, Tae-Won Kim, Dong-Myung Lee, Chung-Gil Kang, Soo-Young Kim. Parametric study of propeller boss cap fins for container ships. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. June 2014. – Vol. 6. – No. 2. – P. 187-205.
11. K. Kimura, S. Ando, S. Ono, Y. Tanaka, S. Takeuchi, N. Asanuma. Investigation on Full Scale Performance of the Propeller Boss Cap Fins (PBCF) / Engineering, Environmental Science, Full Scale Ship Performance, London, UK, 24th - 25th October 2018. – 8 p.

12. Lurong Xu, Decheng Wan. Numerical Investigation of Scale Effect for Propeller Boss Cap Fins / Proceedings of the Twenty-eighth (2018) International Ocean and Polar Engineering Conference Sapporo, Japan, June 10-15, 2018. – P. 805-811.
13. Hassan Ghassemi, Abdollah Ardehshir, Amin Mardan. Numerical analysis of hub effect on hydrodynamic performance of propellers with inclusion of PBCF to equalize the induced velocity / Polish Maritime Research. January 2012. – Vol. 19. – No. 2(73). – P. 17-24.
14. А.А. Коваль, А.А. Маслова, Н.В. Маринич. Проектирование гребных винтов с предзакручивающим аппаратом / Труды Крыловского государственного научного центра. — 2022. — Т. 1. — № 399. — С. 95-101.
15. Gert-Jan Zondervan, Jan Holtrop, Jaap Windt, Tom van Terwisga. On the Design and Analysis of Pre-Swirl Stators for Single and Twin Screw Ships / Second International Symposium on Marine Propulsors, smp'11, Hamburg, Germany, June 2011. – 8 p.
16. А.В. Пустошный, В.О. Борусевич, А.В. Бушуев, Ф.И. Габерцеттель. Применение современных конструкций винтов регулируемого шага и особенности их проектирования / Труды Крыловского государственного научного центра — 2023. — Т. 2. — № 404. — С. 19-34.
17. М. П. Лебедева, Л. И. Вишнеvский. Силы на гребном винте маневрирующего судна. Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб. : ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова — 2019. — Т. 11. — № 3. — 194 с.
18. Г. Г. Мартиросов. Анализ мореходности и эксплуатационной надежности ледоколов и судов ледового плавания с пропульсивными комплексами с ВФШ и ВРШ / Судостроение — 2011. — № 5. — С. 33-35.
19. Kort L. Патент на изобретение №2030375 (US) – Combined Device of a Ship's Propeller Enclosed by a Nozzle, 1936.
20. Alamsyah, Anggoronadhi Dianiswara, Muhammad Uswah Pawara, Olga Dandi Hutagaol, Faisal Mahmuddin. Study of the Characteristics of Ship Propulsion Systems with the Addition of a Kort Nozzle using the CFD Method / Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences 121. – 2024. – No. 1. – P. 226-238.
21. Г.Н. Шарлай. Матрос морского судна [Текст]: учебное пособие / Г.Н. Шарлай. Владивосток: Мор. гос. ун-т., 2012. – 287 с.
22. Ullah M.R. A Theoretical method for the design of marine tandem propellers / Proceedings of MARTEC 2010. The International Conference on Marine Technology. 11–12 December 2010, BUET, Dhaka, Bangladesh – P. 477-482.
23. Fangshuai Wei, Yujun Liu, Ji Wang, Rui Li, Lin Pang. A Computational Study on the Excitation Forces of Partially Submerged Propellers for High-Speed Boats / Journal of Marine Science and Engineering — 2025. — №1.3 — 1169 p.
24. Gennaro G., Gonzalez-Adalid J. Improving the Propulsion Efficiency by means of Contracted and Loaded Tip Propellers / 30th Symposium on Naval Hydrodynamics Hobart, Australia, 2-7 November 2014. – 17 p.

*Поступила в редакцию 11 апреля 2026 г.*

## Защита от коррозии грузовых танков нефтеналивных судов

Мотрич Владимир Николаевич, доцент, e-mail: MotrichVN@msun.ru

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

*Статья продолжает тему безопасности нефтеналивных судов, затронутую в выпуске № 99 Вестника Морского государственного университета имени адмирала Г. И. Невельского, которая приобрела особую остроту после разлома двух танкеров на Черном море в декабре 2024 года с последующим загрязнением окружающей среды федерального масштаба. В статье рассмотрены научные исследования механизма коррозии в подпалубных пространствах и на настилах двойного дна грузовых помещений нефтеналивных судов последних лет, а также требования по их защите от коррозии с помощью лако-красочных покрытий и применения особых сортов стали. Приведены практические рекомендации для экипажей судов и операторов нефтеналивных судов по проведению обследования, технического обслуживания и ремонта средств защиты от коррозии поверхностей и конструкций грузовых танков, контактирующих с агрессивной средой.*

**Ключевые слова:** Коррозия, прочность корпуса судна, аварии судов в море, коррозионные повреждения, защита от коррозии.

## Corrosion protection of cargo tanks of vessels for oil transportation

Motrich Vladimir N., e-mail: MotrichVN@msun.ru

Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

*The article continues the topic of oil tanker safety, raised in Issue No. 99 of the Bulletin of the Maritime State University named after Admiral G. I. Nevelskoy, which became particularly acute after the breakup of two tankers on the Black Sea in December 2024, followed by federal environmental pollution. The article discusses recent scientific studies of the mechanism of corrosion in the under-deck spaces and on the decks of the double bottom of cargo structures of oil-loading vessels, as well as the requirements for their protection against corrosion using paint coatings and the use of special grades of steel. Practical recommendations for ship crews and oil tanker operators on inspection, maintenance and repair of corrosion protection equipment for surfaces and structures of cargo tanks in contact with an aggressive environment are given.*

**Keywords:** Corrosion, hull strength, ship accidents at sea, corrosion damage, corrosion protection.

Анализ последствий, связанных с авариями танкеров (табл.1) [1], показывает, что наиболее опасными с точки зрения загрязнения моря являются столкновения и посадки на мель.

Поэтому первостепенное значение приобретают вопросы конструктивного обеспечения безопасности эксплуатации крупнотоннажных танкеров и вопросы повышения качества эксплуатации, а также вопросы локализации масштабов последствий при возможной аварии.

К конструктивной защите могут быть отнесены двойное дно, двойные борта либо бортовые танки изолированного балласта. Танкеры с двойным дном и бортами в документах ИМО получили название «двухкорпусные танкеры» (Double Hull Tanker) [2].

После катастрофы танкера «Эксон Валдес» в США был принят закон ОРА-90, установивший запрет на заход в американские воды однокорпусных танкеров.

Табл.1. Крупнейшие случаи загрязнения моря после 1967 года по данным Международной федерация владельцев танкеров по борьбе с загрязнением ИТОРФ [1]

Название судна	Год	Место аварийного случая	Количество разлитой нефти, т	Конструкция бортов и днища
Atlantic Empress	1979	Столкновение	287000	одинарные
ABT Summer	1991	Взрыв	260000	одинарные
Castillo de Bellver	1983	Взрыв	252000	одинарные
Amoco Cadiz	1978	Посадка на мель	223000	одинарные
Haven	1991	Взрыв	144000	одинарные
Odyssey	1988	Взрыв	132000	одинарные
Torrey Canyon	1967	Посадка на мель	119000	одинарные
Sea Star	1972	Столкновение	115000	одинарные
Irenes Serenade	1980	Пожар	100000	одинарные
Urquiola	1976	Посадка на мель	100000	одинарные
Hawaiian Patriot	1977	Повреждение корпуса	95000	одинарные
Independenta	1979	Столкновение	95000	одинарные
Jakob Maersk	1975	Взрыв	88000	одинарные
Braer	1993	Посадка на мель	85000	одинарные
Khark 5	1989	Повреждение корпуса	80000	одинарные
Aegean Sea	1992	Столкновение	74000	Двойные
Sea Empress	1996	Посадка на мель	72000	одинарные
Katina P	1992	Повреждение корпуса	72000	одинарные

Nova	1985	Потеря устойчивости	70000	одинарные
Prestige	2002	Перелом корпуса	63000	одинарные
Exxon Valdez	1989	Посадка на мель	37000	одинарные

В дальнейшем ИМО разработала специальные правила, существенно изменившие конструкцию танкеров. Так, согласно поправкам к Международной конвенции МАРПОЛ, принятым Резолюцией Комитета по защите морской среды МЕРС.52(32) 6 марта 1992 г. было принято два новых правила: Правило 13F «Предотвращение загрязнения нефтью в случае столкновения или посадки на мель» и Правило 13G – те же требования, но для существующих танкеров. Согласно этим правилам, новые нефтяные танкеры дедвейтом 600 т и более должны иметь двойное дно, двойные борта и другие технические усовершенствования. Существующие танкеры дедвейтом 20 тыс. т и более для перевозки сырой нефти и танкеры дедвейтом 30 тыс.т и более для перевозки нефтепродуктов подлежат расширенной программе проверок в соответствии с руководством, разработанным ИМО [2].

С целью дальнейшего совершенствования защиты морской среды резолюцией МЕРС.95(46) 27 апреля 2001 года были одобрены поправки к правилу 13G Приложения I к МАРПОЛ 73/78, инициирующие поэтапный вывод из эксплуатации танкеров с одинарным корпусом [2],

Внедрение танкеров двухкорпусной конструкции, несомненно, стало важным шагом вперед в снижении риска разливов нефти. Уже имел место ряд случаев, когда при повреждении внешней обшивки танкера загрязнения удавалось избежать, если при этом внутренний корпус уцелел. Несмотря на эти факты, все еще существует множество возможных причин, которые могут привести к повреждению конструкций и, как следствие, к разливу нефти. Пожар, взрыв, столкновение, посадка на мель, повреждение механизмов или корпуса судна, а также человеческий фактор - это лишь некоторые из них.

К началу XXI столетия около 65 % существующих танкеров дедвейтом свыше 5000 тонн по тоннажу и 56 % по количеству были двухкорпусными [1]. К этому классу принадлежали танкеры типа «Волгонефть» (проектов 550, 550А, 558, 630 и 1577), строившиеся массовой серией с 1963 по 1996 гг.[3].

Появление судов с двойным корпусом породили надежды на решение всех проблем транспортировки нефти по морю без риска загрязнения окружающей среды, но не все специалисты разделяли этот оптимизм.

«Двухкорпусные танкеры – действительно ли это решение проблемы?» - под таким заголовком в 2003 году было опубликовано исследование Международного морского форума нефтяных компаний ОСИМФ.

«Хотя общепризнано, что при столкновениях с низкой энергией удара и касаниях грунта танкера с двойным корпусом вероятность разлива нефти гораздо ниже, чем танкера с одним корпусом, но в некоторых случаях, ситуация с танкером с двойным корпусом может быть не лучше, чем с его предшественником с одним корпусом» - говорится в этом документе [4].



*Рисунок 1. Конструкция двухкорпусного танкера*

Танкеры с двойным корпусом ввиду своей сложности (рис.1) могут быть подвержены катастрофическим разрушениям конструкции, если их обслуживание и эксплуатация не соответствуют высоким стандартам. Очевидной опасностью, которую необходимо учитывать всем операторам танкеров с двойным корпусом, является утечка груза в балластные отсеки.

Переход от однокорпусной конструкции к двухкорпусной привел к некоторым новым условиям эксплуатации, что привело к возникновению дополнительных проблем, из-за которых коррозия на танкерах с двойным корпусом отличается от коррозии на судах с одним корпусом.

С 25 по 26 февраля 2004 г. классификационное общество RINA (Royal Institution of Naval Architects) провело международную конференцию «Конструкция и эксплуатация двухкорпусных танкеров», на которой в числе прочих был рассмотрен вопрос «Двойной корпус и коррозия» [5].

Проблема быстрой коррозии стальных конструкций в балластных танках, заполняемых морской водой, по сути, представляющей собой электролит, подробно описана в работе [6]. Однако по сравнению с однокорпусными, площадь поверхности у двухкорпусных судов в два или почти в три раза больше, и их необходимо защищать покрытием и поддерживать в рабочем состоянии. Многие из этих поверхностей труднодоступны из-за опасного характера грузов, перевозимых этими судами.

Инспекторы норвежского классификационного общества Det Norske Veritas (DNV) отметили, что коррозия в верхней и нижней частях грузовых танков нефтяных танкеров имеет различный характер. Так, стальная обшивка и конструкции набора в подпалубном пространстве грузового танка подвергается действию нагнетаемого в целях предотвращения образования взрывоопасной концентрации нефтяных паров отработанного (инертного) газа, который поступает от главного двигателя или котельной установки, очищается водой в скруббере и содержит  $N_2$ ,  $CO_2$ , сернистый ангидрид и некоторое количество  $CO_2$ , который в присутствии воды образует угольную кислоту с рН около 4,0. В этом случае наблюдается относительно равномерный коррозионный износ.



Рисунок 2. Питтинг-коррозия в грузовом танке

На листах настила двойного дна и на других горизонтальных поверхностях грузовых танков для перевозки сырой нефти наблюдаются глубокие изъязвления, так называемая питтинг-коррозия (рис.2). Это хорошо известное явление, с которым обычно сталкиваются танкеры с одним корпусом в возрасте от 15 до 20 лет. Однако многие операторы с удивлением обнаружили очень высокую частоту и интенсивность изъязвления днища грузовых танков танкеров с двойным корпусом. Скорость питтинг-коррозии на некоторых из них, в наиболее серьезных случаях, превышала 1,0 мм в год, и за пять лет после ввода судна в эксплуатацию поражается до 40 % толщины металла. Если развитие этих изъязвлений остается незамеченным, это может привести к утечке нефтепродуктов в пространство балластных танков. Такая утечка создает как потенциальную проблему безопасной эксплуатации, так и риск загрязнения окружающей среды нефтью и взрывоопасными газами, попадающими в балластный танк.

Ученые Е.Хилл и Дж. Хилл из института микробиологии в Кардифе высказали предположение о том, что этот вид коррозии вызывается сульфат редуцирующими бактериями (Sulphate Reducing Bacteria, SRB), который обычно проявляется в форме глубоких изъязвлений, так как эти микробы выделяют агрессивные кислотные соединения.

На борту судна, когда бактерии находят нишу на стальной поверхности, они могут размножаться, и в этом месте образуется коррозионная яма. При обнаружении сероводорода можно заподозрить наличие микробиологического загрязнения, которое подтверждается присутствием бактерий в пробах воды, взятых со дна танка, и наличием очагов активной коррозии в настиле дна. Условия окружающей среды, которые предпочитают SRB, учитывая, что они являются анаэробными, включают отсутствие растворенного кислорода в воде и присутствие растворимых органических питательных веществ. Аэробные микроорганизмы потребляют кислород, и образующаяся зона с дефицитом кислорода является анодной по отношению к соседним зонам, относительно богатым кислородом, что приводит к образованию очагов анодной коррозии.

Двойной корпус действует как термос, и груз сырой нефти в двойном корпусе охлаждается за счет конвекции с морем гораздо медленнее, чем в однокорпусном танкере для сырой нефти. Высокие температуры, например, в грузовых танках танкеров с двойным корпусом, достигающие 40°C и 50°C, дают микробам возможность оставаться активными гораздо дольше, чем раньше, при условии наличия необходимых питательных веществ, которые содержатся в большинстве грузовых танков с сырой нефти.

Опасения по поводу безопасности и адекватности правил, регулирующих безопасность танкеров с двойным корпусом, побудили Европейскую комиссию в ноябре 2003 года провести международный семинар, на котором обсуждались вопросы безопасного проектирования,

строительства, эксплуатации, технического обслуживания и освидетельствования нефтяных танкеров с двойным корпусом.

Одним из основных вопросов, который обсуждался на этом семинаре, было понимание того, что внедрение танкеров с двойным корпусом не станет панацеей для предотвращения загрязнения моря танкерами в будущем. В этой связи было решено, что, хотя внедрение танкера с двойным корпусом, несомненно, приведет к снижению загрязнения, все еще возможны дальнейшие усовершенствования режима безопасности, и что это должно быть изучено промышленностью и регулирующими органами.

После этого семинара Европейское агентство по безопасности на море (EMSA) создало группу экспертов высокого уровня для изучения упреждающих мер по улучшению стандартов безопасности танкеров с двойным корпусом.

В состав Группы входили видные представители: Балтийского и Международного морского совета (Baltic and International Maritime Council BIMCO); Сообщества европейских ассоциаций судостроителей (Community of European Shipyards' Associations CESA); Европейской комиссии (DG TREN); Европейское агентство по безопасности на море (EMSA); Международная ассоциация классификационных обществ (International Association of Classification Societies IACS); Международная палата судоходства (International Chamber of Shipping ICS); Международная морская организация (IMO); Международная ассоциация независимых владельцев танкеров (International Association of Independent Tanker Owners INTERTANKO); Международный морской форум нефтяных компаний (Oil Companies International Marine Forum OCIMF).

Группа признала, что основные проблемы, вызванные изменением одинарной геометрии на двухкорпусную, связаны, в основном, с факторами, которые могут негативно повлиять на конструктивную целостность корпуса судна в течение всего срока его службы. Исходя из этого, Группа проанализировала ряд возможных мер контроля с целью минимизации или смягчения выявленных проблем. Основными областями, вызывающими озабоченность, которые были выявлены Группой, были:

- Ускоренная коррозия конструкций грузовых и балластных танков;
- Качество покрытия танков, в том числе преждевременное разрушение;
- Усталость металла;
- Методы осмотра корпуса и технического обслуживания;
- Различия в качестве изготовления и строительных стандартах при новом строительстве и при переоборудовании;
- Изменения в содержании классификационных освидетельствований (при строительстве новых судов и во время ремонта на судах, находящихся в эксплуатации).

Кроме того, Группа рассмотрела возможность нарушения целостности границ грузовых нефтяных танков в результате просачивания углеводородов в пространство двойных бортов и двойного дна. Комиссия вынесла восемь рекомендаций, направленных на минимизацию или смягчение потенциальных проблем, связанных с этими проблемными областями. Комиссия намерена продвигать эти рекомендации с помощью следующих механизмов:

- Принятие поправок к международным правилам по линии ИМО;
- Принятие поправок к требованиям и процедурам классификационных обществ;
- Усовершенствованные руководящие принципы и саморегулирование в отрасли.

Европейская комиссия высоко оценила инициативу EMSA, и результаты работы группы экспертов высокого уровня были представлены на 24-й Ассамблее ИМО в ноябре 2005 г.

По предложению 24-й сессии Ассамблеи ИМО делегации Австрии, Бельгии, Кипра, Чешской Республики, Дании, Эстонии, Финляндии, Франции, Греции, Венгрии, Ирландии,

Италии, Латвии, Литвы, Люксембурга, Польши, Португалии, Словакии, Словении, Испании, Соединенного Королевства, Европейской комиссии, БИМКО, МАКО, Международной палаты судоходства и др. представили на 82-й сессии доклад «Безопасность танкеров с двойным корпусом – покрытие грузовых нефтяных танков». В нем говорилось, что после аварии танкера «Престиж» как на уровне ИМО, так и на уровне Европейского союза были выражены опасения по поводу безопасности и адекватности правил, регулирующих безопасность танкеров с двойным корпусом. Внедрение танкеров с двойным корпусом не стало панацеей для предотвращения несчастных случаев и загрязнения моря танкерами в будущем. В этой связи Европейская комиссия выступила с инициативами на уровне ЕС по изучению упреждающих мер для повышения безопасности танкеров с двойным корпусом и проинформировала об этом ИМО на 24-й сессии Ассамблеи. Одной из проблемных областей, выявленных Комиссией, было отсутствие обязательных положений, касающихся покрытия грузовых танков для нефти.

Комитет по безопасности на море рассмотрел предложение Австрии и других стран и включил в программу дальнейшей работы высокоприоритетный вопрос «Покрытие грузовых нефтяных цистерн и защита от коррозии», что будет включать разработку проекта новых правил СОЛАС и связанных с ними рекомендаций, эксплуатационного стандарта на покрытие грузовых танков для защиты от коррозии [8].

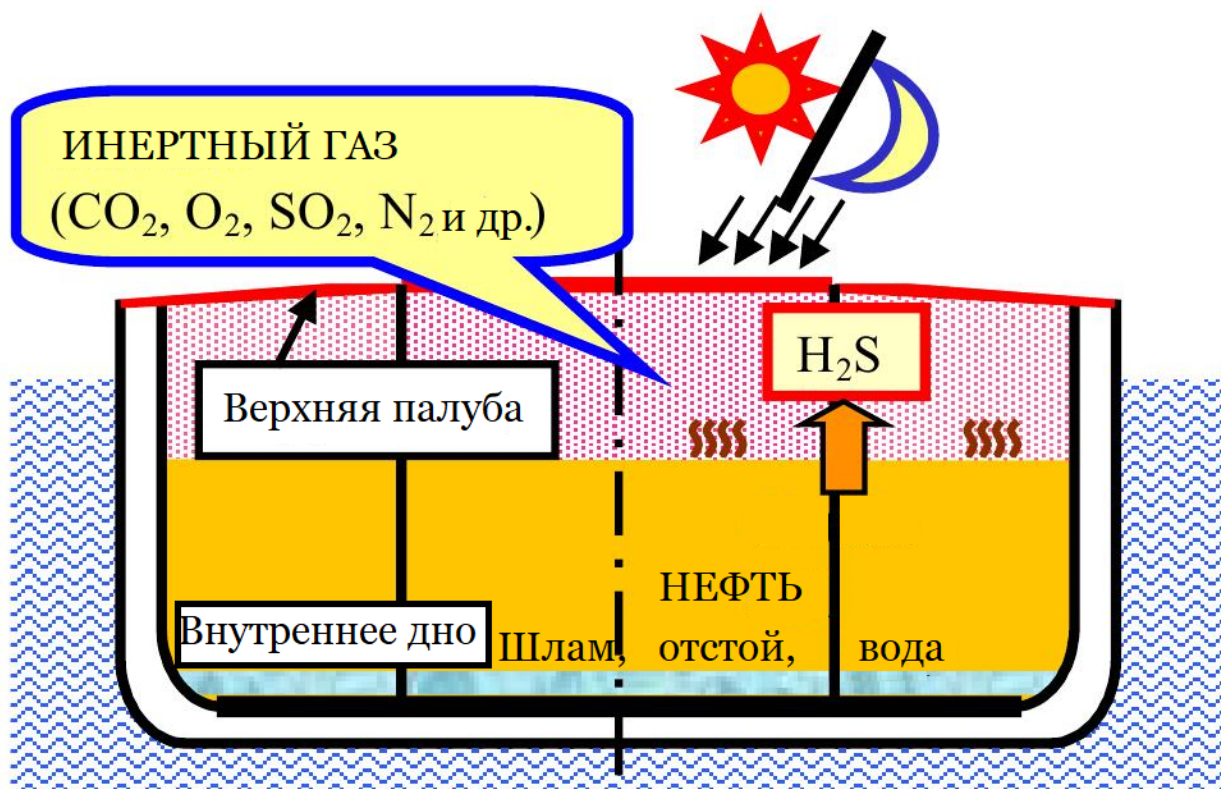


Рисунок.3. Коррозионная среда в грузовом нефтяном танке

Делегация Японии сообщила о трехлетнем исследовании, посвященном коррозии грузовых нефтяных танков нефтяных танкеров, проведенном группой SR242 комитета Ассоциации судостроительных исследований (Committee of the Shipbuilding Research Association of Japan) с 1999 по 2001 год. В состав этой Группы входила группа организаций: исследовательские институты, представители классификационных обществ, судовладельцы, судостроители и сталелитейщики. В результате исследований была получена ценная информация о механизме возникновения и развития коррозии в грузовых танках [9].

Действительно, в грузовом танке с нефтью наблюдается два вида коррозии (рис.3): общая коррозия верхних листов палубного настила и точечная коррозия настила внутреннего днища. В танк нагнетается инертный газ для предотвращения взрывоопасной концентрации нефтяных паров, а из сырой нефти выделяется газ сероводород  $H_2S$ . Нижняя поверхность листов верхней палубы подвергается циклическому воздействию отпотевания и высыхания из-за изменения температуры днем и ночью. Происходит конденсация воды. Кроме того, при окислении  $H_2S$  кислородом образуется элементарная сера, а конденсация воды усиливает общую коррозию листов палубного настила (рис.4).



Рис.4. Механизм коррозии под верхней палубой



Рисунок 5. Примеры масляного слоя в грузовом танке танкера класса VLCC

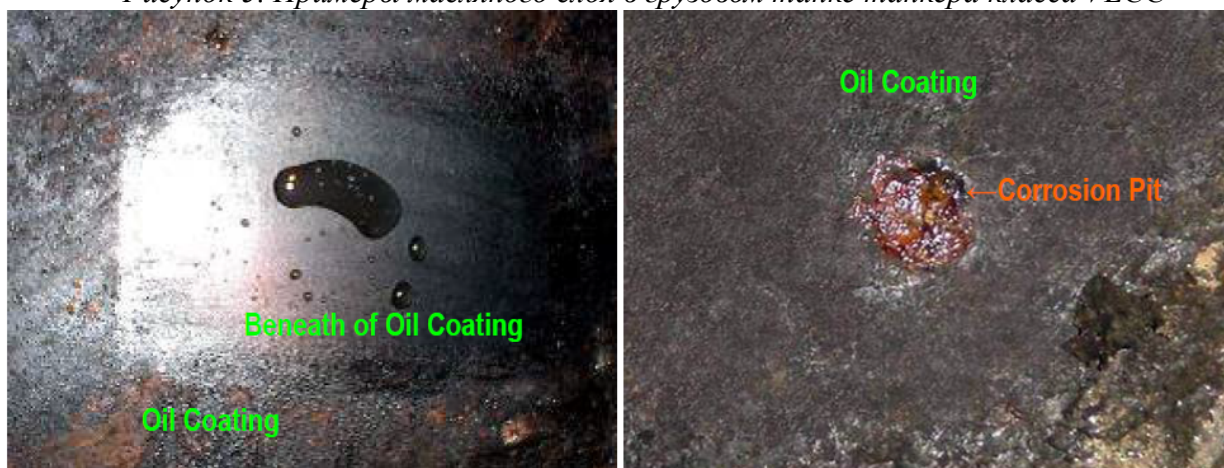


Рисунок 6. Образование коррозионной ямки после удаления масляного слоя

Настил двойного дна в танке покрывается слоем осадочного нефтяного шлама, дренажной влаги, из сырой нефти образуются высококонцентрированные ионы хлоридов и  $H_2S$ . В целом, нефтяной слой снижает скорость коррозии (рис.5). Однако частичные дефекты могут быть вызваны в результате мойки сырой нефтью (рис.6). Настил внутреннего дна подвергается

ется сильному воздействию агрессивной среды, содержащей концентрированные хлорид-ионы и  $H_2S$ . Это приводит к точечной коррозии днищевых листов в месте дефекта нефтяного покрытия и усиливает ее [9].

Япония предложила рассматривать антикоррозийную сталь как одну из мер по предотвращению коррозии в грузовых танках танкеров для перевозки сырой нефти. Ряд нефтяных танкеров, включая VLCC, уже применили эту технологию к грузовым танкам без защитного покрытия, и результаты инспекции в доке показали высокие антикоррозийные характеристики. Результаты показывают, что уменьшение толщины стальной пластины грузового нефтяного танка в течение расчетного срока службы, составляющего 25 лет, будет меньше, чем требуется для уменьшения толщины, при условии надлежащего проведения технического обслуживания. Кроме того, это также означает, что в течение этого периода не потребуется обновлять стальные листы грузового танка и производить ремонтные работы по сварке, что будет выгодно для эксплуатации как с точки зрения безопасности, так и с точки зрения затрат [9].

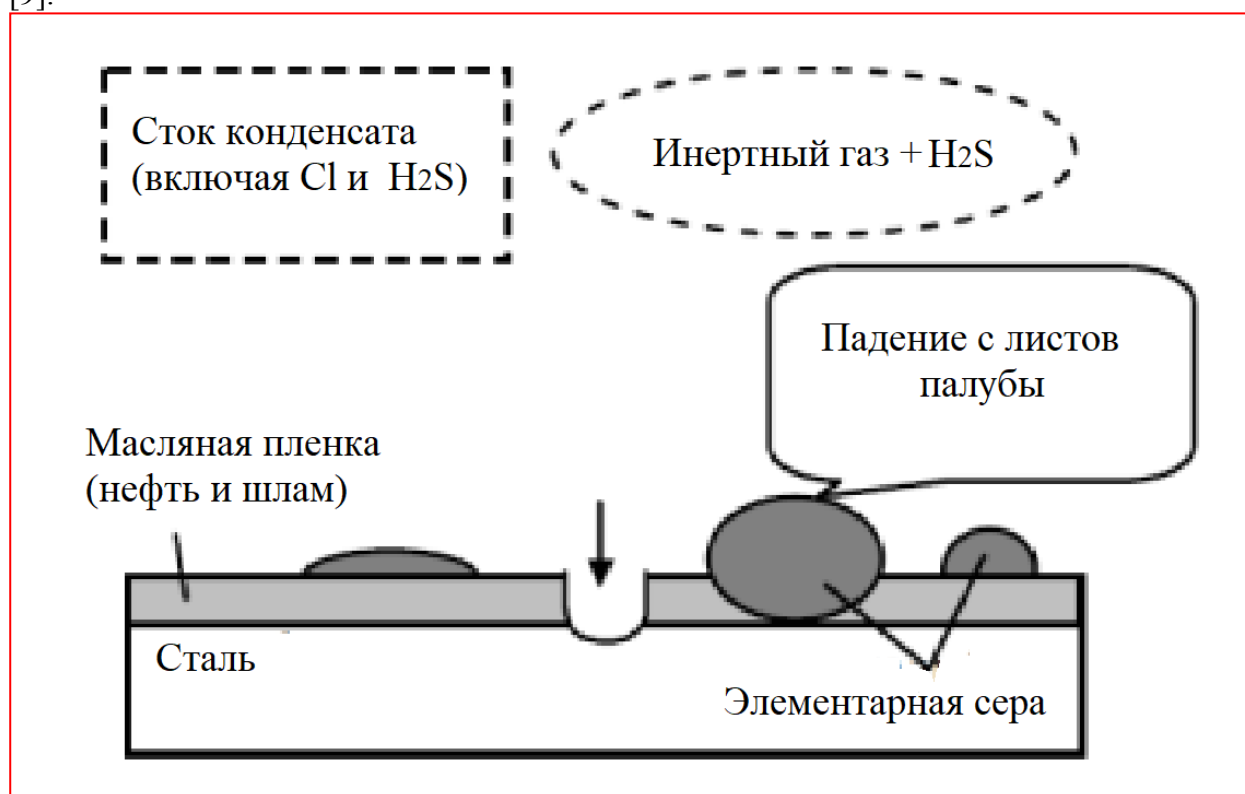


Рисунок 7. Механизм коррозии на днище грузового танка

Механизм защиты антикоррозийной стали от коррозии полностью отличается от механизма защиты защитного покрытия. В то время как защитное покрытие препятствует проникновению коррозионных веществ из стали, антикоррозийная сталь существенно снижает скорость и площадь распространения коррозии. Поэтому необходимо разработать и согласовать на международном уровне специальный стандарт эксплуатационных характеристик антикоррозийной стали, включая методы испытаний, чтобы правильно проверенные антикоррозийные стали поставлялись и использовались для танкеров.

Стали, устойчивые к коррозии в различных средах с содержанием  $SO_2$ ,  $H_2S$  или  $Cl$ , уже поставляются на коммерческой основе во многие отрасли. Коррозионная стойкость этих сталей более чем в пять раз выше, чем у обычных сталей. В агрессивной среде грузовых танков эти антикоррозийные стали демонстрируют отличные эксплуатационные характеристики [9].

В Японии были проведены имитационные испытания на коррозионную стойкость разработанных сталей. Толщина испытательной пластины составляет 16,5 мм, и эта испытательная пластина изготовлена из стали марки DH36 для конструкции корпуса. Свариваемость и другие механические свойства эквивалентны обычной корпусной стали DH36. Эта сталь в полной мере обеспечивает коррозионную стойкость как верхней палубы, так и внутреннего дна грузового масляного бака. Результаты испытаний показывают, что скорость коррозии этой стали через 2,5 года будет составлять менее 1/4 от скорости коррозии обычной стали как на верхнем ярусе, так и во внутренней части днища. См. рис.6 и рис.7. [9]

Проводились испытания коррозионностойкой стали и в натуральных условиях. В подпалубное пространство грузового танка без защитного покрытия танкера класса AFRAMAX были помещены три купона стали А, и после года их нахождения в зоне действия паров, было установлено, что скорость коррозии коррозионностойкой стали составляет около 50-60 % от обычной стали, что аналогично показателям, полученным в ходе лабораторных испытаний (рис.8).

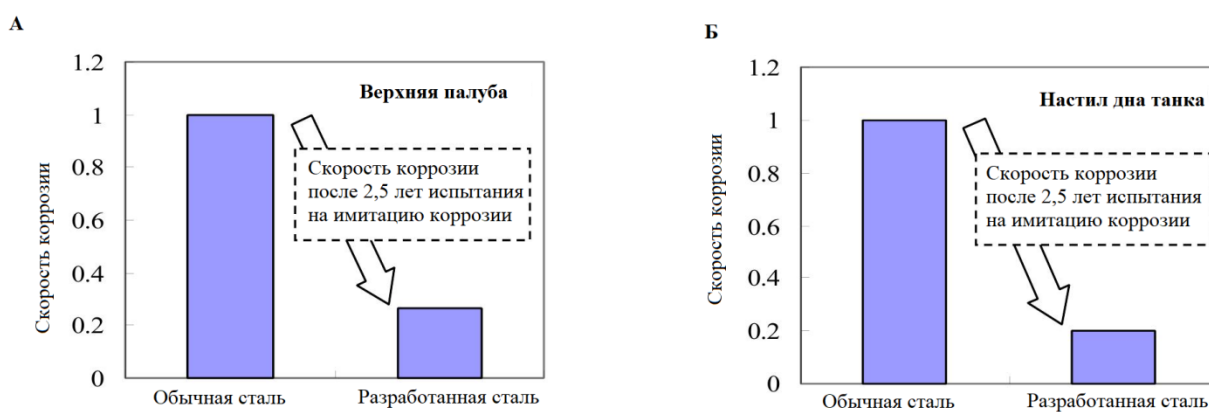


Рисунок 8. Результаты испытания коррозионностойкой стали на имитацию коррозии

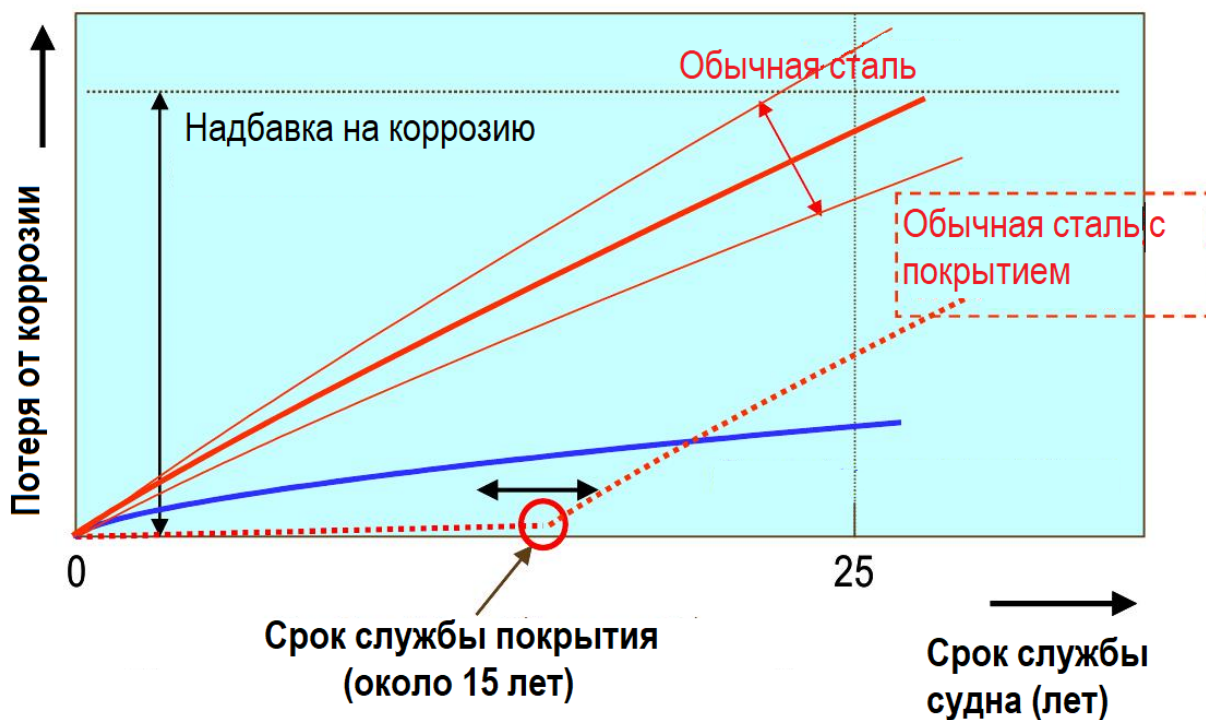


Рисунок 9 Снижение риска коррозионного разрушения подпалубных листов грузового танка

Одновременно были проведены интенсивные исследования явлений точечной коррозии листов внутренней обшивки днища грузовых танков на VLCC, изготовленных из обычной стали [9].

В листах подпалубного настила грузовых танков скорость коррозии обычно составляет менее 0,3 мм/год. Таким образом, если коррозионностойкие стали могут снизить его до 1/4, то вероятность замены или ремонта пластин в течение всего срока службы судна, составляющего 25 лет, составляет почти 0 % (рис. 9).

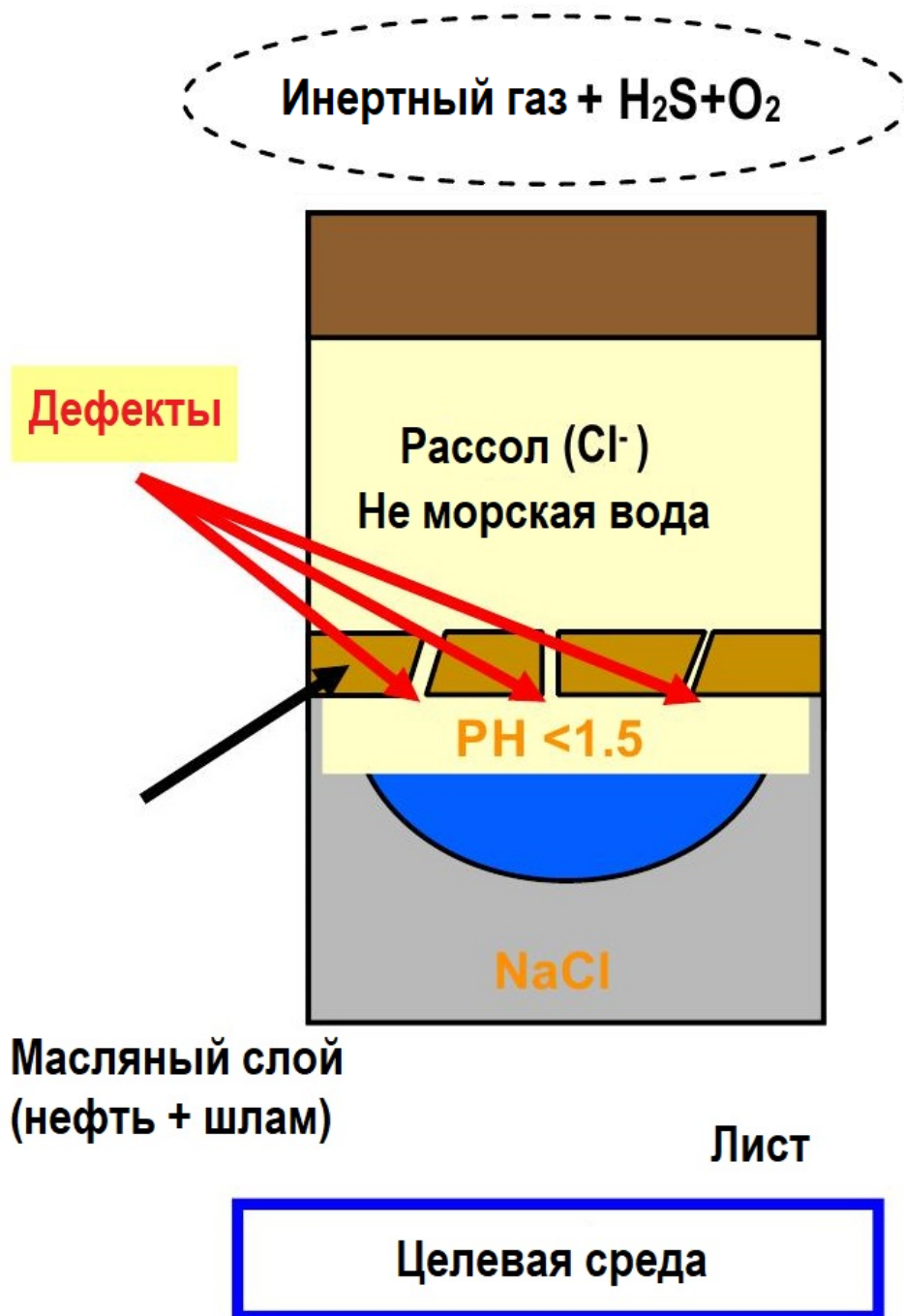


Рисунок 10. Основные признаки коррозии внутренних листов днища грузового танка

Листы внутреннего настила дна покрыты масляным слоем, содержащим шлам, водный конденсат, включая высококонцентрированные хлорид-ионы и  $H_2S$ , образующийся из сырой нефти. В целом, масляное покрытие снижает скорость коррозии. Однако частичные дефекты

масляного покрытия могут быть вызваны мойкой сырой нефтью. Затем листы внутреннего настила дна подвергается сильному воздействию агрессивной среды, содержащей хлорид-ионы и  $H_2S$ . Это приводит к точечной коррозии листов в месте дефекта масляного покрытия и усиливает ее [9].

Ниже приведены основные признаки коррозии внутренних листов днища (рис.10):

(1) Нейтральный рассол (не морская вода). Он содержит 10 % NaCl по массе.

(2) Раствора с pH ниже 1,5 внутри ямки. Установлено, что этот показатель pH слишком низок для микробиологической коррозии, а форма внутренней поверхности углубления гладкая, а не ступенчатая. Таким образом, основной причиной точечной коррозии донных листов является не жизнедеятельность микроорганизмов.

(3) Большинство образовавшихся ямок донных листов имеют форму чаши.

(4) В некоторых случаях скорость точечной коррозии достигала 4 мм/год.

(5) Рост ямок прекращается при осмотре в доке [9].

В дальнейшем было замечено, что коррозионные изъявления во время осмотров в доке, не увеличивались при следующих проверках. Этот факт объясняется следующим образом:

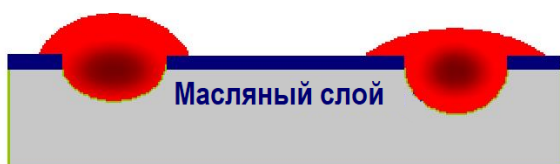
- В доке грузовой танк чистят и сушат для осмотра (рис. 11 (2));

- После осмотра резервуары будут заполнены сырой нефтью, и на поверхности днища между агрессивными веществами образуется масляное покрытие, предотвращающее коррозию (рис. 11 (3)); и

- Считается, что, поскольку толщина масляного покрытия на уже разработанных углублениях больше, чем на обычной поверхности, эффект изоляции стальной поверхности от агрессивной среды выше, чем у окружающей нормальной поверхности, как показано на рисунке 11 (3) и (4) [9].

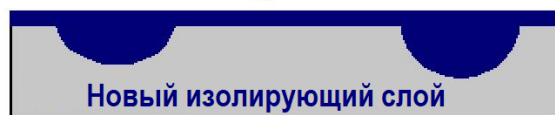
(1) Танкер в эксплуатации

**Шлам + Продукты коррозии**



(3) Возобновление эксплуатации

**Чистые и сухие ямки покрываются слоем нефти**



(2) Инспекция в доке

**Масляный слой, шлам + продукты коррозии очищены и высушены**



(4) Образование ядра питтинг-коррозии

**Дефект масляного слоя после мойки**

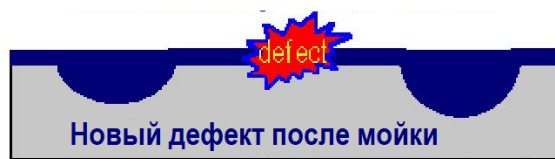


Рисунок 11. Механизм питтинг-коррозии в доке и в эксплуатации



Рисунок 12. Частота точечной коррозии в грузовых танках

Таким образом, рост точечной коррозии прекращается в процессе тщательной очистки и сушки, и это явление характерно для коррозионностойкой стали.

Что касается частоты точечной коррозии на коррозионностойкой стали, то ни одной ямки глубиной более 4 мм обнаружено не было. С другой стороны, средняя частота появления ямок глубиной более 4 мм на обычной стали, исследованной в прошлом, составляла около 140 случаев на один слой, как показано на рисунке 12. Следовательно, применение коррозионно-стойкой стали в значительной степени снизило частоту точечной коррозии. Что касается наблюдаемой максимальной глубины углубления в коррозионностойкой стали, то она составила менее 3 мм, как показано на рисунке 13. С другой стороны, максимальная глубина углубления в обычной стали составляла от 7 до 11 мм [9].

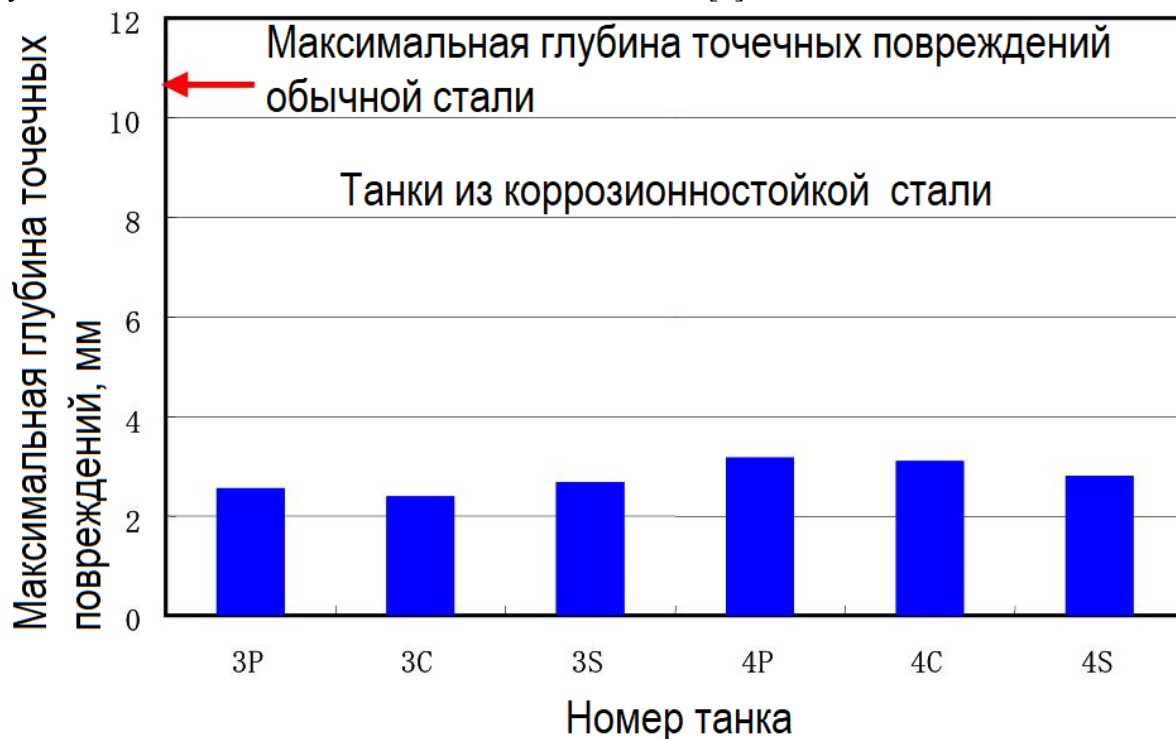


Рисунок 13. Максимальная глубина углубления в коррозионностойкой стали,

Нанесение покрытия является одним из хорошо известных методов предотвращения коррозии. Покрытие изолирует поверхность стали от коррозионной среды. С другой стороны, коррозионностойкая сталь обладает химической инертностью, когда поверхность подвергается воздействию коррозионной среды. Таким образом, первичный механизм предотвращения коррозии у коррозионностойкой стали и покрытия совершенно различен.

Если бы покрытие было нанесено полностью, эффект изоляции был бы идеальным. Однако завершить работу по нанесению покрытия без дефектов от начальной подготовки поверхности до окончательного нанесения покрытия очень сложно. Как правило, в слое покрытия имеются мелкие дефекты, и, кроме того, при удалении покрытия с обычной стали поверхность стали подвергается воздействию коррозионной среды.

Точечная коррозия начнется с высокой скоростью, и риск пробития днища и разлива сырой нефти из танка будет значительным. Напротив, как описано ранее, коррозионностойкая сталь обладает химически инертными свойствами, что приводит к низкой скорости коррозии в коррозионной среде. Грузовой танк, изготовленный из коррозионностойкой стали, снижает вышеупомянутый риск до минимума [9].

Применение коррозионностойких сталей не требует дополнительных работ и специального управления, поэтому их можно применять обычными методами [9].

Кроме того, использование коррозионностойких сталей приводит к сокращению использования краски, поэтому можно сказать, что использование коррозионностойких сталей благоприятно для окружающей среды [9].

Как известно, стандарт МАКО на сталь был разработан и используется для обеспечения физических свойств стали, приемлемых для судостроения и судостроительной конструкции. Химический состав коррозионностойкой стали (сталь-B), соответствующей стандарту МАКО, приведен в таблице 2. Эта коррозионностойкая сталь обладает теми же физическими свойствами, что и сталь марки АН32 обычная корпусная сталь. Судостроитель, изготовивший VLCC, подтвердил физические свойства судна в ходе физических испытаний и убедился в том, что его конструкция пригодна для обработки. Было подтверждено, что коррозионностойкая сталь обладает теми же физическими свойствами и обрабатываемостью, что и обычная сталь [9].

Табл.2 Типовой химический состав различных сортов стали (в процентах от массы)

	C	Si	Mn	P	S	Seq
Коррозионностойкая сталь	0,124	0,26	0,96	0,014	0,007	0,331
Обычная сталь (АН32)	0,140	0,20	1,09	0,018	0,006	0,322
Сталь по стандарту МАКО	0,18	0,5	0,9-1,6	0,035	0,035	0,36

В Китайской Народной Республике в течение ряда лет велись испытания различных сортов стали и типов защитных покрытий методом длительного погружения в нефть и судовое топливо. Результаты все этих исследований послужили основой для принятия нового Правила 3-11 «Защита от коррозии грузовых танков нефтяных танкеров» Главы II-1 Международной конвенции СОЛАС и эксплуатационных стандартов качества защитных покрытий грузовых нефтяных танков, а также альтернативных средств защиты от коррозии, включая коррозионностойкую сталь.



*Рисунок 14. Последствия незамеченной коррозии*

Исследования также показали, возможна безопасная эксплуатация нефтеналивных судов, независимо от конструкции, при соблюдении трех условий [8].

1. Если танкеры спроектированы и построены в соответствии с высокими стандартами. Принятые ИМО целевые стандарты конструкции навалочных судов и нефтяных танкеров, при их строгом соблюдении, обеспечивают безопасность и исключают негативное влияние на окружающую среду в неповрежденном и установленном поврежденном состоянии, при надлежащей эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте, при соблюдении установленных условий эксплуатации и в определенных условиях окружающей среды.

2. Если танкеры обслуживаются персоналом, который хорошо обучен и предан своей работе. В связи с этим необходимо включить в программу повышения квалификации судовых специалистов вопросы борьбы с коррозией, а также контроля и эксплуатации защитных покрытий.

3. Если танкеры обслуживаются на более высоком уровне, чем сегодня обслуживаются некоторые суда. Техническое обслуживание конструкций крупных судов сопряжено с трудностями, которые усугубляются по мере старения судна. Однако ответственному владельцу не стоит пренебрегать техническим обслуживанием, поскольку отсутствие технического обслуживания приведет к неконтролируемой коррозии конструкции корпуса, а также может способствовать распространению потенциально серьезных конструктивных дефектов. Незамеченная коррозия является основной причиной некоторых серьезных структурных нарушений, которые мы наблюдаем в последние годы (рис. 14).

## Список литературы

1. International Tanker Owners Pollution Federation. [Электронный ресурс] – Режим доступа:// <https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-statistics/> (дата обращения 08.03.2026).
2. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов (МК МАРПОЛ-73/78) в 2-х томах: - СПб.: АО "ЦНИИМФ", 2023 г. - 1334 с.  
International Convention for Prevention of Pollution from Ships (MARPOL-73/78).
3. Федеральное автономное учреждение «Российское классификационное общество. Регистровая книга [Электронный ресурс] – Режим доступа:// <https://rfclass.ru/uploads/regbook/regbook2025.xlsx> (дата обращения 08.03.2026).
4. Double Hull Tankers – Are they the answer?. [Электронный ресурс] – Режим доступа:// <https://www.ceida.org/>(дата обращения 08.03.2026).
5. International Conference Design and Operations of Double Hull Tankers. The Royal Institution of Naval Architects. London. 2004. P.553.
6. Мотрич В.Н. Предотвращение коррозионных повреждений конструкций морских судов. Вестник Морского государственного университета. Выпуск № (099) 2025 [Электронный ресурс] – Режим доступа:// [https://vestnik.msun.ru/issues/099%20\(2025\)/\(099\)%202025.pdf](https://vestnik.msun.ru/issues/099%20(2025)/(099)%202025.pdf) (дата обращения 08.03.2026).
7. European Maritime Safety Agency. Double Hull Tankers: High Level Panel of Experts Report. [Электронный ресурс] – Режим доступа:// [emsa.europa.eu/about/download/4695/3015/23.html](https://emsa.europa.eu/about/download/4695/3015/23.html) / (дата обращения 08.03.2026).
8. Международная морская организация. Доклад комитета по безопасности на море на 82-й сессии. [Электронный ресурс] – Режим доступа:// <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=41508> / (дата обращения 08.03.2026).
9. Sub-committee on Ship Design and Equipment. 53rd session. Agenda item 7. CARGO OIL TANK COATING AND CORROSION PROTECTION Report of the correspondence group. Submitted by Japan. [Электронный ресурс] – Режим доступа:// <https://docs.imo.org/Shared/Download.aspx?did=57486/> (дата обращения 08.03.2026).

*Поступила в редакцию 24 марта 2026 г.*

## О проблемах и перспективах мировой судоходной отрасли в 2025 году

Баранникова Анастасия Олеговна<sup>1</sup>, к.и.н., e-mail: aobarannikova@gmail.com

Вороненко Анна Константиновна<sup>1</sup>

Смирнов Сергей Маратович<sup>1</sup>, к.т.н.

<sup>1</sup> Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, г. Владивосток

*В морской судоходной отрасли наступает фундаментальная трансформация, вызванная усилением нескольких тенденций: декарбонизации, цифровизации, роботизации и автоматизации. Но этот процесс идет непросто. Прогресс в области декарбонизации будет напрямую зависеть от сохранения коммерческой эффективности судоходного бизнеса, обеспечить которую в условиях роста угроз глобальным цепочкам поставок весьма непросто. Перевод флота на работу с экологически чистыми и при этом энергоэффективными видами топлива является оптимальным способом достижения целей экологической повестки при сохранении приемлемого уровня эксплуатационных расходов. На сегодняшний день лидером среди альтернативных топлив является аммиак; СПГ сдает позиции в портфеле новых заказов. Хороший шанс на развитие получила атомная энергетика, Россия является единственной морской державой, сохранившей компетенции строительства и многолетней безаварийной эксплуатации гражданских атомных судов. В области цифровизации ведущим трендом является внедрение сквозных цифровых решений, опирающихся на сети 5G и искусственный интеллект. Начинается практическое внедрение на флоте технологий интеллектуального планирования размещения грузов, «умной» швартовки и автономного судовождения. Лидирующие позиции в этой сфере занимают Китай и Южная Корея. В целом, трансформация судоходной отрасли сегодня – это не механическое внедрение некоего набора изолированных технологических прорывов, а способность отрасли создать синергию между ними.*

**Ключевые слова:** трансформация судоходной отрасли, декарбонизация, альтернативные виды топлива, аммиак, морские атомные установки, цифровизация, автономная навигация, интеллектуальные системы планирования грузовых операций.

## On the challenges and prospects of the global shipping industry in 2025

A.O.Barannikova,<sup>1</sup> e-mail: aobarannikova@gmail.com

A.K.Voronenko<sup>1</sup>

S.M. Smirnov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Maritime State University named after Admiral G.I. Nevelskoy, Vladivostok

*The maritime shipping industry is undergoing a fundamental transformation driven by the intensification of several trends: decarbonization, digitalization, robotics, and automation. However, this process is not easy. Progress in decarbonization will directly depend on maintaining the commercial viability of the shipping business, which is extremely challenging amid growing threats to global supply chains. Converting fleets to environmentally friendly and energy-efficient fuels is the optimal way to achieve environmental goals while maintaining acceptable operating costs. Ammonia currently leads the way among alternative fuels; LNG is losing ground in the new order book. Nuclear energy has received a good opportunity for development; Russia is the only maritime power that has retained the competence to build and operate civilian nuclear vessels for many years without incident. In the field of digitalization, the leading trend is the implementation of end-to-end digital solutions based on 5G networks and artificial intelligence. The practical implementation of intelligent cargo planning, smart mooring, and autonomous navigation technologies is beginning in the navy. China and South Korea occupy leading positions in this area. Overall, the transformation of the shipping industry today is not a matter of mechanically implementing a set of isolated technological breakthroughs, but rather the industry's ability to create synergies between them.*

**Keywords:** transformation of the shipping industry, decarbonization, alternative fuels, ammonia, offshore nuclear power plants, digitalization, autonomous navigation, intelligent cargo planning systems.

Несмотря на то, что морская судоходная отрасль, среди прочих направлений в транспортной индустрии считается наиболее консервативной, сегодня все больше находится под влиянием современных ключевых трендов, ведущих к серьезным изменениям: декарбонизация, цифровизация операционных процессов, роботизация и автоматизация. Тем не, менее, сам процесс этих изменений происходит со значительными сложностями.

До начала пандемии COVID-19 основой изменений в судоходстве был глобальный тренд декарбонизации. Международная морская организация или ИМО (англ. International Maritime Organization, IMO) сформулировала рамочные цели по достижению «нулевых выбросов», достижение которых предполагается к 2050 году. Но эти директивы сталкиваются с политической и экономической реальностью. По мнению экспертов, стимулирование мер декарбонизации через регулирование глобальных цен на углеродные выбросы или ужесточение стандартов энергоэффективности (СИ) приобрело политизированный оттенок. Регуляторная неопределённость увеличивается на фоне расхождения позиций по поводу применения дифференцированной ответственности стран ОЭСР.

В конечном итоге, прогресс в области декарбонизации будет напрямую зависеть от сохранения коммерческой эффективности судоходного бизнеса. Усилившаяся турбулентность в международных отношениях создает серьезные угрозы глобальным логистическим цепочкам. Судоходная отрасль, основной драйвер международной торговли, несет урон и вынуждена приспособливаться к новым реалиям.

Поскольку напрямую повлиять на сферу высокой политики не могут даже самые крупные судоходные корпорации, в условиях глобальной неопределенности отрасль ищет внутренние резервы для экономии. Новые технологические решения применяются избирательно, с учетом критерия «стоимость – эффективность», нарратив декарбонизации декларируется, но руководствуются им далеко не всегда. В частности, авторитетные отраслевые аналитики отмечали, что существует «дефицит вознаграждения» для ответственных судовла-

дельцев. Финансовые институты и фрахтователи не всегда учитывают экологические рейтинги судов при заключении сделок, что снижает экономические стимулы для инвестиций в «зеленые» технологии.

На основе анализа отраслевой статистики за 2025 год, портфеля новых заказов в гражданском судостроении и публикаций в мировых СМИ авторы постарались дать критическую оценку тенденций в области инновационных технологий, внедряемых в мировом торговом судоходстве.

Перевод судов на работу с экологически чистыми и при этом энергоэффективными видами топлива на сегодняшний день является, вероятно, оптимальным способом достижения целей экологической повестки при сохранении приемлемого уровня эксплуатационных расходов. Топливо считается наиболее затратной статьёй в бюджете флота, по разным оценкам составляя 40–67% от общей стоимости судоходства. [1]

Сжиженный природный газ (СПГ), позиционируемый как переходное топливо, в прошедшем году все чаще подвергался критике: утечки метана на протяжении всего жизненного цикла топлива могут нивелировать его преимущества перед традиционными видами топлива, что ставит под сомнение его долгосрочную экологическую состоятельность. В ближайшей перспективе более рентабельным выглядит переход на экологически более чистые виды традиционного топлива, например, биодизель, применение которых не требует внесения радикальных изменений в конструкцию судовой энергетической установки.

В 2025 г. наблюдался рост спроса на решения под альтернативные топлива (метанол, аммиак, водород) и воспроизводящиеся технологии (ветер, солнце), а также возрождение интереса к мирному атому.

На рынке заказов судов под альтернативные топлива определился лидер – аммиак, особенно «зеленый». В основных бункеровочных кластерах АТР уже предлагается услуга по бункеровке зеленым аммиаком [2], хотя судов с энергетическими установками, способными работать на этом топливе, пока очень мало. Водородное топливо пока еще находится на стадии перехода от экспериментов к рынку, поэтому в портфеле заказов судостроительных корпораций водородные проекты практически не встречаются – судоходные компании предпочитают не рисковать. Метанол позиционируется как промежуточная опция, более углеродно-нейтральная, чем биодизель, СПГ или СУГ, но уступающая аммиаку и водороду.

Перевод части энергопотребления судна на ветроприводные системы рассматривается как одна из самых прагматичных и в ближайшей перспективе наиболее доступных мер для снижения расхода топлива и выбросов. [3] Установки для утилизации энергии ветра могут устанавливаться и на судах в эксплуатации, обеспечивая экономию до 10-15% по топливу.

Электродвижение очень осторожно внедряется в отрасли, известной своим консерватизмом, в основном – в секторе малых судов портофлота и прибрежного плавания. [4]

Отдельного рассмотрения заслуживает тема применения атомной энергии в секторе гражданского судоходства, поскольку в прошедшем году здесь наблюдался резкий рост интереса.

В то время, как ЯЭУ прочно заняли свою исключительную нишу в военно-морском флоте ведущих держав, доказав свою впечатляющую мощь и успешно справившись с неизбежными «детскими болезнями», мировая судоходная отрасль более полувека игнорировала эту технологию, считая ее слишком ненадежной и опасной. В 1960-1970 гг. за рубежом были построены и каким-то образом эксплуатировались три сухогруза с ЯЭУ – «Саванна» (США), «Отто Ган» (ФРГ) и «Муцу» (Япония). Все они были коммерчески нерентабельными политизированными проектами.

СССР стал единственной страной, сохранившей гражданское атомное судостроение. Однако его первое торговое судно с ЯЭУ, лихтеровоз ледового класса «Севморпуть», появилось на свет в неудачное время перестройки и только чудом избежало утилизации. Но промышленная база, компетенции и технологии были сохранены, и следующий отечественный проект, плавучая АТЭС «Академик Ломоносов», хотя его и нельзя в полной мере отнести к судоходной отрасли, подтвердил верность избранного курса на строительство крупных судов с ЯЭУ «классического» типа (с водо-водяными реакторами).

Сегодня, когда судоходная отрасль должна устойчиво двигаться в сторону нулевого уровня загрязняющих выбросов, за рубежом пришло понимание, что суда с ЯЭУ практически идеально соответствуют этой цели. Стоимость их строительства, конечно, выше, чем у конвенциональных судов, но вполне сопоставима с одноклассниками, работающими на водороде или аммиаке, при этом эксплуатационные расходы у атомоходов будут существенно ниже.

Сегодня отрасли в целом и ее ведущим игрокам предстоит решить две основные проблемы: как преодолеть атомофобию, несколько десятилетий насаждавшуюся в мировом общественном мнении, и на какие технологии ЯЭУ сделать ставку.

В первом случае при активном участии ИМО «процесс пошел»; вероятно, очень скоро появятся нормативные документы, позволяющие судам с ЯЭУ беспрепятственно заходить в порты. [5, 6]

Вторая проблема сложнее. Судя по многочисленным публикациям в СМИ, ториевые реакторы на расплавленных солях (TMSR) объявлены едва ли не панацеей на пути в светлое безуглеродное будущее. Да, такие реакторные установки конструктивно должны быть проще, особенно в случае их применения с генераторами сверхкритического диоксида углерода (sCO<sub>2</sub>), работающими по циклу Брайтона с КПД 45-50% (КПД классического водо-водяного реактора около 33%), теоретически безопаснее и должны хорошо масштабироваться, что расширяет диапазон их применения на флоте. Только технология TMSR находится еще на экспериментальной стадии, когда она выйдет на коммерческий рынок, и выйдет ли вообще – большой вопрос. При этом технология судовых водо-водяных реакторов отработана до мелочей, и многолетняя безаварийная работа российских атомных ледоколов и плавучей атомной электростанции в суровых условиях Арктики свидетельствует о ее высокой надежности.

Другим драйвером трансформации является цифровизация. Внедрение сквозных цифровых решений, особенно опирающихся на сети 5G, обеспечивает оптимизацию морской логистики в режиме реального времени. Близкими к практическому внедрению на флоте, в частности, считаются такие технологии, как интеллектуальное планирование размещения грузов, «умная» швартовка и автономное судовождение.

Безусловными мировыми лидерами здесь являются Китай и Южная Корея - страны, обладающие крупнейшим морским флотом, развитой портовой и судостроительной инфраструктурой и к тому же признанные лидеры в сфере передовых технологий.

**Китай** выстраивает полностью цифровую морскую инфраструктуру, в которой суда, порты и логистические компании работают как единая цифровая система. В стране построено 52 автоматизированных контейнерных терминала, а также создано почти 10 000 км цифровых навигационных карт внутренних водных путей. В прошедшем году в стране проведена первая автоматическая швартовка контейнеровоза без участия человека. Китай уверенно догоняет европейские страны, которые первыми начали осваивать технологии автономного судоходства. Уже в 2020х гг. из 3000 патентов на технологии автономного судоходства в мире 96% были зарегистрированы в Китае. [7]

**Южная Корея** активно инвестирует в разработку автономных судов. По данным Министерства торговли, промышленности и энергетики, в 2026 году правительство страны инвестирует 320 млрд вон (240 млн дол.) в укрепление глобальной конкурентоспособности в области судостроения с использованием искусственного интеллекта и экологически чистых технологий, что на 23% больше, чем в прошлом году.

Планируется, что финансирование автономных судов достигнет 37,8 млрд вон (28 млн долл). Кроме того, правительство Р. Корея планирует крупномасштабные пилотные проекты с участием более 30 судов [8], и в настоящее время, уже эксплуатируются суда-автомобилевозы, оснащенные автономными навигационными системами на базе интеллектуальных систем планирования размещения автомобилей на палубе. Исследования компании AVIKUS (дочерняя компания HD Hyundai - разработка систем автономной навигации), показали, что внедрение подобных систем может снизить расход топлива на 15% и снизить выбросы CO<sub>2</sub> на 10%. [9]

Интенсивное развитие технологий на базе ИИ является основой современной цифровизации морского транспорта. Чем больше в сегмент рутинных задач - тем более заметно это влияние. При это сфера применения указанных технологий достаточно обширна: от предварительного анализа состояния оборудования или оптимизации сети маршрутов до автономного судовождения. Появляются инструменты для обработки разнообразных массивов данных, включая сведения о погоде, состоянии судна, рыночных условиях и др., в результате которых системы могут выдавать рекомендации, на базе которых участники перевозки, могут более оперативно принимать решения, повышающие эффективность эксплуатационных параметров судна. Таким образом, появляется новый концепт «когнитивного судна», где человек и машина работают в симбиозе, увеличивая экономическую эффективность и снижая экологические риски.

Однако внедрение ИИ порождает вопросы к надежности и контролируемости алгоритмов. Кто несет ответственность в случае сбоя или ошибочной рекомендации системы? Необходима разработка прозрачных и этичных рамок для использования ИИ, чтобы исключить риски системных ошибок и обеспечить доверие к технологиям.

Следует отметить, что что страхи перед ИИ, связанные с вытеснением человеческого труда, в том числе в морской индустрии, большей частью преувеличены. Вместо полной замены людей, ИИ вероятнее приведет к трансформации профессий, где экипажи все чаще будут выполнять контролирующие и аналитические функции, требующие новых компетенций в области цифровой грамотности. Тем более, что к настоящему времени ресурс уменьшения операционных расходов судоходных компаний за счет сокращения экипажей практически исчерпан. Отраслевые эксперты также отмечают увеличение психологической нагрузки на офицерский состав малочисленных экипажей торговых судов, в том числе из-за расширения практики удаленного бюрократического контроля за их работой в рейсе, введения дополнительных конвенциональных требований и возрастания физических угроз для судов и экипажей из-за роста напряженности в ключевых акваториях мирового океана.

Как отмечалось выше, цифровизация отрасли упрощает внедрение средств автоматизации на судах и в портах, этот процесс идет стабильно и последовательно. При этом наблюдаются определенные отличия в подходах к автоматизации флота по странам. В частности, действующие моряки отмечают, что новые проекты китайских судов иногда перегружены автоматическими системами и механизмами, которые, как и в новых поколениях автомобилей производства КНР, завязаны на центральный компьютер. В повседневных условиях эксплуатации это плюс, но сбой ПО или хакерская атака способны создать серьезную угрозу функционированию всех судовых систем. Японские суда, напротив, сохраняют известную долю

технологического аскетизма, делая упор на надежности и обеспечении долговременной безаварийной работы. Проекты новых корейских судов занимают промежуточное положение между этими двумя крайностями. Вероятно, только время покажет, какой подход предпочтительнее.

Применение роботов на судах торгового флота сегодня осуществляется в минимальных масштабах. В отличие от портовой деятельности и судостроения, сценариев использования роботизированных систем, в том числе беспилотных летательных и подводных аппаратов, не очень много.

Подводя итог, следует констатировать, что сложность новых технологий, волатильность цен на альтернативные виды топлива, расширение зон вооруженных конфликтов на маршрутах морского судоходства и усиление регуляторного давления создают беспрецедентный уровень системных рисков для отрасли. Наиболее часто озвучиваемое решение - проведению отраслевого «стресс-теста». Это комплексное моделирование кризисных сценариев, подобного тому, что практикуется в финансовом секторе. Такой подход позволил бы выявить уязвимости цепочек поставок, логистических узлов и финансовых моделей до того, как они проявятся в реальном кризисе.

Мы полагаем, что трансформация, какой бы впечатляющей она не казалась, есть не самоцель, но оптимальный для первой половины XXI века инструмент развития морского судоходства, которое было, есть и будет основой глобальной системы цепей поставок. Трансформация отрасли сегодня – это не механическое внедрение некоего набора изолированных технологических прорывов, а способность отрасли создать синергию между ними. Судовладельцы все чаще стремятся получить не разрозненные IT-продукты, а комплексные платформы, которые обеспечивают интегрированное управление данными о безопасности, коммерческой деятельности и экологическим показателям. Это снижает операционную сложность и позволяет принимать более обоснованные стратегические решения в условиях неопределенности. «Зеленые» инициативы требуют поддержки со стороны цифровых инструментов для верификации и оптимизации, в то время как управление рисками должно эволюционировать, чтобы охватить новые угрозы. Консолидация технологических компаний, наблюдаемая сегодня в этом секторе - один из ответов на предлагаемые вызовы.

## Список литературы

1. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00036846.2024.2364106#abstract>
2. World's First Green Ammonia Bunkering Operation Completed in Dalian. Aug. 6, 2025. <https://www.maritimeprofessional.com/news/world-first-green-ammonia-bunkering-408698>
3. K LINE completes phase one development of Seawing automated kite system. Sept. 5, 2025 <https://www.ship-technology.com/news/k-line-completes-phase-one-development-seawing-automated-kite-system/?cf-view>
4. Japan sets sail on clean energy with E-Crea, its first all-electric work vessel. May 2, 2025. <https://interestingengineering.com/transportation/japan-sets-sail-on-clean-energy-with-e-crea-its-first-all-electric-work-vessel>
5. <https://splash247.com/imo-fails-to-agree-net-zero-framework-pushes-talks-to-2026/>
6. MIT Maritime Consortium Releases Nuclear Ship Safety Handbook. Oct. 23, 2025. <https://www.marinelink.com/news/mit-maritime-consortium-releases-nuclear-531491>
7. <https://thetius.com/china-will-be-a-leader-in-autonomous-shipping-by-2025/>

8. [https://www.upi.com/Top\\_News/World-News/2026/02/24/shipbuilding-invest-ai-eco-friendly-ship/4221771977651/#:~:text=Investment%20in%20eco%20friendly%20ships,billion%20won%20\(%2428%20million\)](https://www.upi.com/Top_News/World-News/2026/02/24/shipbuilding-invest-ai-eco-friendly-ship/4221771977651/#:~:text=Investment%20in%20eco%20friendly%20ships,billion%20won%20(%2428%20million))
9. <https://avikus.ai/en-us/press/hd-hyundais-avikus-recognized-for-innovation-at-ces-for-second-consecutive-year-1-0-0-1>

*Поступила в редакцию 20 апреля 2026 г.*

**ВЕСТНИК  
МОРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Выпуск 102/ 2026**

Дата выхода в свет – 21 апреля 2026 г.

Выходит четыре раза в год.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору  
в сфере связи и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-82589 от 30.12.2021.

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

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