

ремонта // Морские интеллектуальные технологии. – 2019. – № 3 (92)

**Referens:**

1. <https://cordis.europa.eu/article/id/90488-new-energyefficient-ship-propulsion>
2. <https://www.semanticscholar.org/paper/Analysis-of-ship-propulsion-system-behaviour-and-on-Shi-Grimme-lius/8f1f36f7dfe5a49f308fe04ea71bfe5732834719>
3. [http://www.mercury-ms.ru/txt/articles/10\\_2006/03/](http://www.mercury-ms.ru/txt/articles/10_2006/03/)
4. Experience in the operation of marine dual-fuel diesels. Khalilov.N.A., Strakhova.N.A. Article in the journal: Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology. Number: 2, Year: 2011, Pages: 124-127. UDC: 621.499
5. Koperchak O.P. 2019. Analysis of information technologies in the field of maritime transport, methods of improving performance in the system of then and repair. Marine intellectual technologies/Marine intellectual technologies № 3 (92)

**УДК 621**

DOI: 10.34046/aumsuomt105/23

## **МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЭУ И СНИЖЕНИЮ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРЕ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА СУДНА**

*Д.В. Огурцов, кандидат технических наук, доцент  
О.П. Коперчак, кандидат экономических наук, доцент  
Н.А. Халилов, старший преподаватель*

Статья посвящена проблематике энергоэффективности судна. Рассмотрены используемые и потенциальные технические и эксплуатационные меры по энергосбережению, в том числе непосредственно связанные с состоянием корпуса судна и с оптимизацией гидродинамических процессов работы винторулевой группы судна. Данные меры направлены на обеспечение эффективной эксплуатации СЭУ, повышение энергоэффективности судна и снижение выбросов в атмосферу.

**Ключевые слова:** энергоэффективность судна, эффективная эксплуатация СЭУ, расход топлива, винторулевая группа, сопротивление корпуса, обрастание корпуса, шероховатость, устройства гидродинамического улучшения, выбросы в атмосферу, парниковые газы

## **MEASURES TO ENSURE EFFICIENT OPERATION OF SPP AND REDUCTION OF EMISSIONS TO THE ATMOSPHERE BY OPTIMIZING THE HYDRODYNAMIC PROCESSES OF THE ELEMENTS OF THE SHIP'S PROPULSION COMPLEX**

*D.V. Ogurtsov, O.P. Koperchak, N.A. Khalilov*

The article is devoted to the problems of ship's energy efficiency. The used and potential technical and operational measures for energy saving, including those directly related to the state of the ship's hull and the optimization of the hydrodynamic processes of the ship's propeller-steering group, are considered. These measures are aimed at ensuring the efficient operation of the power plant, increasing the energy-efficiency of the ship and reducing emissions into the atmosphere.

**Key words:** vessel energy-efficiency, efficient operation of SPP, fuel consumption, propeller-steering group, hull resistance, hull fouling, roughness, Hydrodynamic Improvement Devices (HIDs), air emissions, greenhouse gases.

**Введение.** Энергетический контроль и энергоэффективность судов, направленные на снижение выбросов вредных веществ в атмосферу, весьма актуальные в настоящее время, будут иметь все большее значение в ближайшие годы. По данным Четвертого исследования ИМО по выбросам парниковых газов 2020 г., выбросы парниковых газов (GHG), включая двуокись углерода (CO<sub>2</sub>), метан (CH<sub>4</sub>) и закись азота (N<sub>2</sub>O), выраженные в эквиваленте CO<sub>2</sub>, от общего объема морских перевозок (международных, внутренних и рыболовных) увеличились с 977 миллионов тонн в 2012 году до 1076 млн тонн в 2018 году

(рост на 9,6%). В 2012 г. выбросы CO<sub>2</sub> составили 962 млн тонн, а в 2018 г. этот показатель вырос на 9,3% до 1056 млн тонн выбросов CO<sub>2</sub>. Также увеличилась доля выбросов от судоходства в глобальных антропогенных выбросах с 2,76 % в 2012 г. до 2,89 % в 2018 г. [1].

Хотя судоходство, безусловно, является наиболее энергоэффективным видом коммерческого транспорта, различные исследования показали, что выбросы парниковых газов от судоходства, будут увеличиваться со временем, если их оставить без жесткого контроля. По прогнозам, в

ближайшие десятилетия выбросы CO<sub>2</sub> от судоходства значительно увеличатся. В зависимости от будущего экономического и энергетического развития, различные сценарии вышеупомянутого исследования ИМО прогнозируют увеличение выбросов до 130% в период до 2050 года. Дальнейшие действия по повышению энергоэффективности и контролю выбросов могут смягчить рост выбросов, хотя по всем сценариям, суммарный объем выбросов в 2050 году будут выше, чем в 2020 году [1].

Выбросы выхлопных газов с судов имеют негативное воздействие на окружающую среду, поскольку известно, что они способствуют глобальному потеплению, кислотным дождям, эвтрофикации водоемов, повышение уровня приземного озона, влияющие также на экосистемы и человеческое здоровье.

Международные правила по сокращению выбросов SO<sub>x</sub> и NO<sub>x</sub> от судоходства

уже внедрены, включая использование малосернистого мазута и установку

на борту двигателей с пределами максимальных выбросов NO<sub>x</sub>. Правила сокращения выбросов CO<sub>2</sub> также действуют и остаются высокоактуальными в повестке дня ИМО, с целью обеспечения соблюдения рыночных мер регулирования для сокращения выбросов CO<sub>2</sub> в ближайшем будущем. В связи с тем, что почти весь углерод при попадании в двигатель внутреннего сгорания окисляется с образованием CO<sub>2</sub>, который выбрасывается в атмосферу с выхлопными газами, таким образом, выбросы CO<sub>2</sub> от двигателя прямо пропорциональны содержанию углерода в топливе и расходу топлива [2].

Расчетный индекс энергоэффективности (EEDI), разработанный ИМО для новых судов, представляет собой показатель, который оценивает выбросы CO<sub>2</sub> в граммах на одну транспортную работу (грамм CO<sub>2</sub> на тонно-милю). Другими словами его можно выразить как отношение «экологических затрат» к «пользе для общества». Энергоэффективность судна делает наилучшим использование затрачиваемой энергии для получения максимальной работы и предназначена для снижения расхода топлива и как следствие сокращения выброса парниковых газов. Увеличение энергоэффективности судна достигается либо уменьшением затрат энергии для заданного уровня работы, либо увеличением или улучшением работы на заданное количество энергии.

В Стратегии по снижению выброса с судов до 2050 года, принятой в апреле 2018 года на 72-й сессии Комитета по защите морской среды

(КЗМС), ИМО поставила цель снизить выбросы CO<sub>2</sub> на единицу транспортной работы (углеродоемкость) в среднем по международному судоходству не менее чем на 40% к 2030 году, цель — снижение до 70% к 2050 году по сравнению с показателями 2008 года. Для достижения цели различают краткосрочные (до 2023 года), среднесрочные (до 2030 года) и долгосрочные (до 2050 года) меры. Были рассмотрены и широко обсуждены различные меры, и ИМО решила ввести комбинацию конструктивных (технических) и эксплуатационных мер (показателей). Индекс энергоэффективности существующих судов (EEXI) является технической мерой, рассматривая конструкцию и показатели судна в сравнении с EEDI для новостроек, эксплуатационный показатель (индекс) углеродной интенсивности (CII) является соответствующей эксплуатационной мерой, учитывающей фактическое потребление топлива и пройденное расстояние для каждого отдельного судна в эксплуатации.

На 76-й сессии КЗМС в июне 2021 года ИМО приняла поправки к Приложению VI к МАРПОЛ. Документ вводит и регламентирует два новых критерия энергоэффективности для судов, находящихся в эксплуатации: EEXI и CII, которые становятся обязательными с 01.01.2023 года для существующих судов, совершающих транспортную работу. EEXI применяется ко всем судам валовой вместимостью более 400 тонн, подпадающим под действие Приложения VI к МАРПОЛ. Руководство по расчетам, обследованию и проверке EEXI было завершено также на 76-й сессии КЗМС.

**Пути решения задачи энергоэффективности.** Постоянно повышающиеся требования Приложения VI к МАРПОЛ вынуждают судовладельцев применять на судах различные меры по сокращению выбросов, которые можно разделить на четыре типа технических решений [3, 4]:

1. Уменьшение потребления топлива за счет рационального использования (оптимизация маршрута) и снижения скорости.

2. Повышение эффективности пропульсивной установки: уменьшение удельного расхода топлива двигателями, что на существующих судах практически не осуществимо, за исключением применения устройств, ограничивающих мощность двигателя или мощность на гребном валу, установка эффективных движителей.

3. Очистка выхлопных газов, которая хотя и получает в настоящее время все большее распространение, но только для очистки от SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, «черного углерода». Поглощение CO<sub>2</sub> при

пропускании выхлопных газов через скруббер составляет не более нескольких процентов и не учитывается в действующих методиках расчета показателей энергоэффективности. Также следует отметить, что установка скрубберов является дорогостоящей процедурой, по оценкам Финского Института морских исследований, капитальные затраты на использование этой технологии увеличатся примерно на 50 евро за кВт бортовой мощности, а эксплуатационные расходы - примерно на 5-7 евро. Кроме того, имеются абсорбенты внутри системы, которые поглощают выхлоп, в результате чего образуются различные сульфиты, такие как сульфат цинка.

Это ядовитые реагенты, которые порты в настоящее время не хранят, создавая еще одну экологическую проблему, так как до сих пор нет до конца разработанных способов и методов утилизации отходов скруббера [4].

4. Использование топлива с низким содержанием серы и более экологически чистого топлива, такого как уже применяющийся на судах сжиженный природный газ (СПГ) или новых, таких как, метанол. Хотя применение СПГ обеспечивает снижение выбросов CO<sub>2</sub> примерно на 20%, но для существующих судов это связано с существенным дорогостоящим переоборудованием, поэтому примеров переоборудования судов для использования СПГ в качестве топлива крайне мало, особенно на фоне строительства новых судов, где применение СПГ находит все более широкое применение.

Таким образом, для существующих судов остается реально эффективным и осуществимым на практике только первые два пути повышения энергоэффективности: уменьшение потребления топлива путем оптимизации скорости судна, улучшение логистики и организации перевозок и повышение эффективности пропульсивной установки [3].

Дополнительно к изложенному выше, другие исследователи предлагают следующие способы решения проблемы снижения объемов выбросов и токсичности выхлопных газов: проведение модернизации систем образования горючих смесей, камер сгорания, систем впрыска; применение альтернативных видов топлива, перевод двигателей на водотопливные эмульсии; рециркуляция отработанных газов; использование топливных присадок; предварительная обработка топлива [2]. А также: конструктивные изменения систем и конструкции двигателя; регулировка топливной аппаратуры; капитальный ремонт и восстановление деталей цилиндрико-поршневой

группы и топливной аппаратуры; каталитическая нейтрализация отработавших газов; совершенствование рабочего процесса путем влияния на термодинамику горения топлива в цилиндре двигателя внутреннего сгорания [5]. И такие, более долгосрочные как: альтернативные проекты судов, конфигурации с нулевым или минимальным балластом; судовые корпуса с меньшим сопротивлением и улучшенной конфигурацией рулевого управления; более эффективная кормовая часть, гребной винт и руль; разные технологии для снижения потребления энергии судовыми потребителями (инновационные изолирующие защитные покрытия и теплоизоляция, энергосберегающее освещение и кондиционирование и др.); замена традиционно используемых в судостроении материалов на более легкие; гибридные СЭУ, использующие ветровую и солнечную энергию [6, 7].

Среди всего разнообразия уже используемых и потенциальных технических и эксплуатационных мер по энергосбережению, направленных на повышение энергоэффективности судна, более подробно рассмотрим некоторые эксплуатационные и технические решения, связанные с винто-рулевой группой и состоянием подводной части корпуса судна, которые непосредственно влияют на повышение энергоэффективности судна и позволяют снизить расход топлива и объем вредных выбросов в атмосферу.

**Меры направленные на снижение сопротивления корпуса судна.** Как известно, сопротивление движению судна за счет смачиваемых участков поверхности корпуса складывается из сопротивления трения и волнообразования. Когда корпус судна движется по воде, создавая и увлекая массу воды, следующую за судном и формируя так называемый «пограничный слой», сопротивление трению, особенно для низкоскоростных судов, является основным компонентом общего сопротивления и оно со временем увеличивается, что приводит к увеличению расхода топлива. Изменение сопротивления корпуса зависит от изменения шероховатости подводной части корпуса, так как увеличение шероховатости поверхности корпуса приводит к увеличению пограничного слоя, что, в свою очередь, увеличивает сопротивление трения корпуса. Чем более гладкий корпус, тем меньше сопротивление будет у судна, и, следовательно, тем быстрее оно будет двигаться при той же выходной мощности, экономя топливо и сокращая выбросы парниковых газов. Обрастание уменьшает гладкость (повы-

шая шероховатость) корпуса и даже может увеличить вес судна, снизив грузоподъемность. Эти моменты делают шероховатость корпуса и обрастание серьезной проблемой контроля энергоэффективности.

Во время эксплуатации судна шероховатость поверхности корпуса может увеличиваться из-за растрескивания и повреждения покрытия, а также из-за коррозии, которая также может привлекать морскую растительность. На рисунке 1 показана зависимость увеличения расхода топлива от шероховатости корпуса судна [7]. Рост

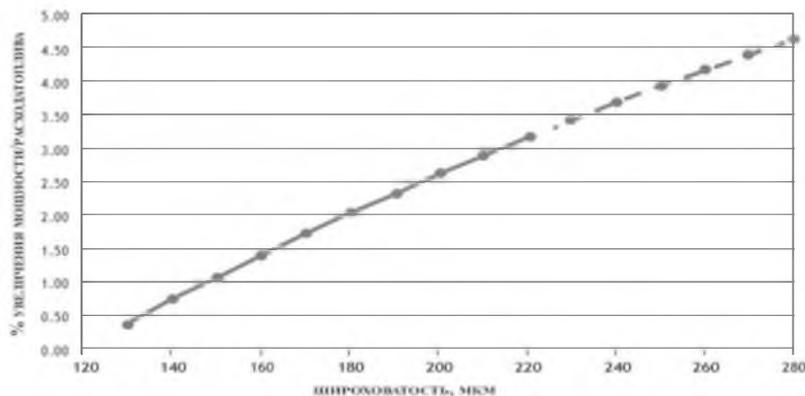


Рисунок 1 – Зависимость увеличения расхода топлива от шероховатости корпуса судна

Биологическое обрастание представляет собой очень сложный процесс, который зависит от таких факторов, как состояние загрузки судна, зоны его эксплуатации, эффективность противообрастающего покрытия и условия окружающей среды. Если судно всегда в движении, оно не соберет столько морской растительности, как то, которое подолгу стоит возле причала или на якоре. Если судно остается неподвижным в течение длительного времени, морская растительность и организмы, вызывающие обрастание, может прикрепиться к корпусу и гребному винту, что снизит скорость судна и увеличит расход топлива. Основными факторами, влияющими на скорость обрастания корпуса, являются: начальная шероховатость корпуса; качество покрытия корпуса; стойкость покрытия к механическим повреждениям; площадь участков корпуса, где есть солнечный свет (вдоль бортов корпуса у ватерлинии); температура воды (более холодная вода обычно означает меньшее загрязнение); соленость воды (эффективность покрытия будет зависеть от солености воды); количество водорослей и других биоорганизмов в воде; скорость судна и режим его работы (стоянка у причала, на якоре и т.д.).

Существуют различные методы снижения сопротивления корпуса, наиболее известными из которых являются:

органических видов будет включать слизь, обрастание водорослями и ракушками. Нередко новое судно спускается со стапеля с шероховатостью поверхности всего 75 мкм, а позже приходит на первое докование с шероховатостью 250 мкм и более. Отчетные данные показали, что даже при хорошей практике технического обслуживания средняя шероховатость корпуса может увеличиваться на 10–25 мкм в год, в зависимости от системы покрытия корпуса, даже если не учитывать обрастание [7].

1. Очистка корпуса. Это очень эффективный способ обеспечить приемлемый уровень энергоэффективности. Регулярная очистка в процессе эксплуатации (в междуковый период) для удаления загрязняющих организмов полезна, если только она не приводит к повреждению покрытия или «шероховатости» поверхности. С точки зрения эффективности использования топлива, акцент должен быть сделан на управление «шероховатостью» корпуса и гребного винта, а не только на контроле их «обрастания». Для достижения наилучших результатов планирование подводной очистки должно основываться либо на мониторинге показателей энергоэффективности (таких как мощность/расход топлива в зависимости от скорости), либо на регулярных осмотрах в период перед очисткой. В обоих случаях устанавливается порог, определяющий, когда подводная очистка экономически оправдана. Для визуальных осмотров этот порог включает процент обрастания поверхности корпуса и тип обрастания. Регулярный осмотр, фотографии и измерения шероховатости по прежнему один из самых эффективных и применяемых способов контролировать состояние покрытия и результат очистки. Всегда рекомендуется упреждающий подход, который предотвращает любое обширное макрообраста-

ние, потому что стоимость потерь при наличии такого загрязнения значительно превышает стоимость очистки. Регулярная очистка от микроорганизмов также часто является рентабельной, если используется надлежащий метод очистки, позволяющий не ухудшать шероховатость поверхности и не удалять материал покрытия.

Очистка легкой слизи может дать до 7-9% снижения расхода топлива для главного двигателя, очистка тяжелой слизи до 15-18%, а очистка тяжелого макрообрастания до 20 до 30% [7].

Очистка подводной части корпуса судна находящегося в эксплуатации водолазами или роботом заключается в удалении биологической шероховатости или загрязнения, а также, в зависимости от типа защитного покрытия, процесс очистки может иметь дополнительное преимущество – это «омоложение» активного биоцидного слоя покрытия. Правильная очистка удаляет все загрязнения и не удаляет и не повреждает покрытие, а также не вызывает повышения шероховатости поверхности. Подводная очистка осуществляется с помощью бригады водолазов с ручными скрубберами, включая некоторые типы вращающихся щеток или мягких дисков. Некоторые компании предлагают услуги по очистке корпуса подводными роботами, которыми можно управлять дистанционно с поверхности. В зависимости от степени и вида загрязнения, бригада водолазов может очистить до 2000 кв. метров в час на ровной поверхности бортов, но на носовом и кормовом участках скорость очистки меньше. Поставщики услуг по подводной очистке обычно предоставляют достаточное количество бригад водолазов для очистки и запрашивают для полной очистки корпуса от 6 до 12 часов, в обычном режиме остановки (бункеровка, якорная стоянка, ожидание прохода канала и др.).

В случае, когда в связи с навигационными условиями возможна только частичная очистка, участки должны очищать в следующем порядке, чтобы обеспечить наилучший результат повышения энергоэффективности: вначале гребной винт; затем передняя треть корпуса; в оставшееся время продолжать очистку от носа к корме с акцентом на области, которые больше подвержены воздействию света. Использование методов и оборудования для подводной очистки должно осуществляться с осторожностью и с должным учетом исходного покрытия, а также степени загрязнения. Например, реклама некоторых образцов оборудования для подводной очистки информирует, что оно может удалить ракушки до 50 мм в диаметре,

но для этого на поверхности с противоположающим покрытием потребуются использование очень жестких щеток, высокого давления и скорости вращения. При таком сценарии будет проблематично удалить сильное загрязнение, не удаляя значительное количество краски. Если противоположающее покрытие наносится разными цветными слоями, то эти цвета можно использовать для контроля удаления краски во время очистки. В идеале, на свежеччищенной поверхности не должно быть царапин, вихревых следов или признаков истирания, которые обнажают базовые покрытия или голую сталь. Полная очистка корпуса танкера VLCC может стоить 50 000 долларов США [7] и, конечно, нет необходимости всегда выполнять полную очистку корпуса, что сокращает время и стоимость очистки, но всегда очистка должна выполняться с должным вниманием к сохранению системы покрытия, в противном случае это может дать отрицательный результат.

2. Покрытие корпуса. Проблему повышения энергоэффективности и улучшения скоростных характеристик судов можно решить путем предотвращения обрастания подводной части корпуса и минимизации шероховатости наружной обшивки подводной части корпуса. Системы противоположающих покрытий предотвращают скопление таких организмов, как ракушки и водоросли, на подводной поверхности корпуса, они представляют собой сверхгладкие, с низким коэффициентом трения, гидрофобные покрытия, на которых организмы-обрастатели с трудом оседают. Современные технологии этих систем покрытия обеспечивают высокоэффективное решение в борьбе с обрастанием, что может повысить эффективность использования топлива и увеличить скорость судна до 4%. Современные полимерные, содержащие биоцид, так и безбиоцидные силиконовые и фторосиликоновые противоположающие покрытия обеспечивают междоковый период судна до 60 месяцев, снижают расход топлива в среднем 3-4%, а при оптимальных условиях позволяют судовладельцу снизить затраты на топливо на 8-12% [7] и обеспечивают снижение эмиссии вредных газов, а также соответствуют требованиям экологической безопасности. Противообрастающие покрытия нового поколения – это одно из наиболее экономичных решений для снижения расхода топлива и вредных выбросов. При поиске и подборе наилучшего покрытия корпуса предпочтение должно быть в пользу покрытия, которое обеспечивает гладкую поверхность, которую можно разумно поддерживать в

гладком состоянии, и которое наилучшим образом предотвращает прилипание обрастающих организмов, с учетом всех технических и эксплуатационных условий. Покрытие также необходимо правильно наносить, контролировать и поддерживать его лучшие качества, о чем было сказано выше.

**Устройства гидродинамического улучшения.** В настоящее время существует несколько устройств улучшения гидродинамики Hydrodynamic Improvement Devices (HIDs), в свою очередь относящихся к группе устройств улучшения движения Propulsion Improving Devices (PIDs) которые направлены на снижение расхода топлива различными способами. Некоторые из наиболее распространенных HID, с описанием их действия и вкладом в увеличение энергоэффективности, изложены ниже.

1. Каналы для выравнивания кильватерного следа – это HID, которые выравнивают и стабилизируют кильватерный поток при притоке к диску гребного винта и создают предварительную завихренность для уменьшения потерь вращения в потоке гребного винта что повышает эффективность работы винта и приводит либо к значительной экономии топлива на заданной скорости, либо судно движется быстрее для заданного уровня мощности.

Наиболее заметными типами являются канал Шнеекюта и канал Мьюиса.

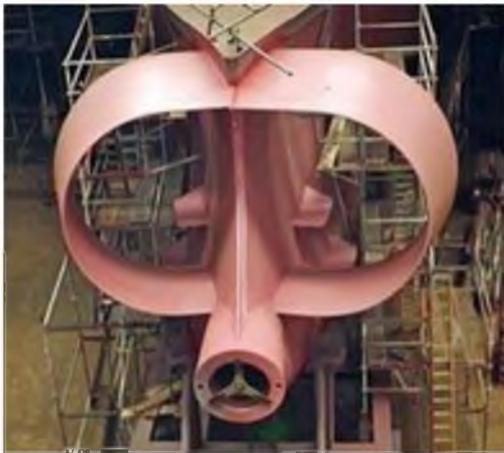


Рисунок 2 – Кильватерный уравнивательный канал Шнеекюта

Кильватерный уравнивательный канал Шнеекюта (рисунок 2), представляет собой версию, использующую два полукруглых сопла диаметр которых равен радиусу винта, по одному с каждого борта, установленных по центру перед гребным винтом над осевой линией вала и расположенных под углом для обеспечения обратного вращения выходного потока.

По данным испытаний и эксплуатационным отчетам [8], сообщается об экономии топлива в размере 1-4%.

Кильватерный уравнивательный канал Беккера Мевиса (рисунок 3), конструкция которого запатентована и используется с 2009 года, представляет собой устройство, состоящее из эксцентричного кольцевого сопла, установленного между корпусом судна и гребным винтом, поддерживаемом рядом направляющих поток радиальных лопастей, каждая из которых наклонена для оптимизации направления потока. Канал выпрямляет и ускоряет кильватерный след корпуса к гребному винту, а также производит чистую тягу вперед.



Рисунок 3 – Кильватерный уравнивательный канал Мевиса

Система обеспечивает предварительную закрутку кильватерной струи, уменьшая потери в спутном потоке гребного винта, что приводит к увеличению тяги винта. Оба эффекта способствуют друг другу, достижимое при этом энергосбережение сильно зависит от гребной нагрузки и составляет от 3 % для малых многоцелевых судов до 9 % для крупных танкеров и сухогрузов [7].

2. Плавники крышки ступицы гребного винта (рисунок 4) Propeller Boss Cap Fins (PBCF). Гребной винт создает вихри на своей ступице, которые снижают его эффективность и вызывают кавитацию.



Рисунок 4 – Плавники на крышке ступицы гребного винта

Плавники крышки ступицы гребного винта представляют собой небольшие ребра, прикрепленные к крышке ступицы гребного винта, предназначены для уменьшения величины вихрей ступицы, тем самым восстанавливая потерянную энергию вращения и уменьшая кавитацию. Сообщается о повышении энергоэффективности до 7%, хотя прирост порядка 3-5%, по-видимому, более распространен. Производители утверждают, что PVCF увеличивает тягу винта более чем на 1%, снижает крутящий момент на приводном валу более чем на 3% и облегчает работу винтов в условиях высокого крутящего момента. Кроме того, производимый эффект охватывает широкий диапазон рабочих скоростей [9]. Основные преимущества системы заключается в том, что PVCF применим к каждому типу судна, и это простая конструкция, как обычная крышка ступицы винта с добавленными лопастями плавников. Это надежная система не требующая затрат на техобслуживание, так как не содержит вращающихся частей. PVCF изготовлены из того же материала, что и гребной винт и устанавливается в соответствии с теми же процедурами, что и стандартная крышка ступицы.

### 3. Рулевой бульб и поперечные плавники

Целью применения энергосберегающих устройств в рулях является увеличение

коэффициента восстановления энергии потерянной на гребном винте, так как руль расположен следом в потоке от винта. Существует три основных источника потерь в винте: трение, осевые и вращательные потери. Есть несколько способов компенсировать потери от вращения, одним из них является использование такого устройства, как рулевой бульб Коста (рисунок 5). Обтекаемый бульб расположен на передней кромке лопастного руля, расположенного позади крышки ступицы гребного винта. Бульб руля сводит к минимуму потери энергии за ступицей гребного винта, устраняя разделение потока и снижая бесполезную турбулентность жидкости.

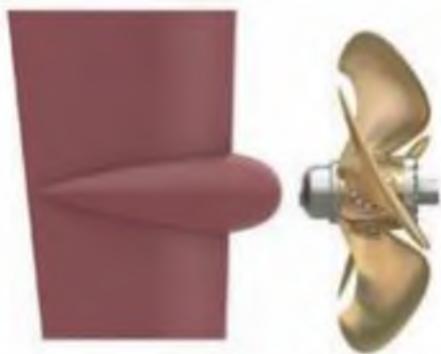


Рисунок 5 – Рулевой бульб Коста

Кроме того, тщательно продуманная геометрия бульба и закрученная передняя кромка руля обеспечивают оптимальное восстановление энергии встречного потока гребного винта. Колба бульба устраняет завихрения, возникающие из-за турбулентного потока и внезапного сжатия воды, стекающей с крышки ступицы. Это устройство оказывает успокаивающее действие на поток воды за гребным винтом, снижает вибрацию винта, делает руль жестче, а также улучшает управляемость судна. Увеличение тягового КПД составляет около 0,5%, что позволяет рассчитывать на более чем 5-процентное снижение потребляемой мощности пропульсивной установки [10].

Еще одним решением компенсировать потери энергии на вращение в винте является установка поперечных плавников на поверхности руля, в последнее время часто используется комбинированная конструкция рулевого бульба и поперечных плавников (рисунок 6) т.н. SURF-BULB (Swept-back Up-thrusting Rudder Fin with BULB). По сообщению источника, данная конструкция снижает расход топлива примерно на 3-5% за счет преобразования энергии вращения за гребным винтом в силу тяги [10].

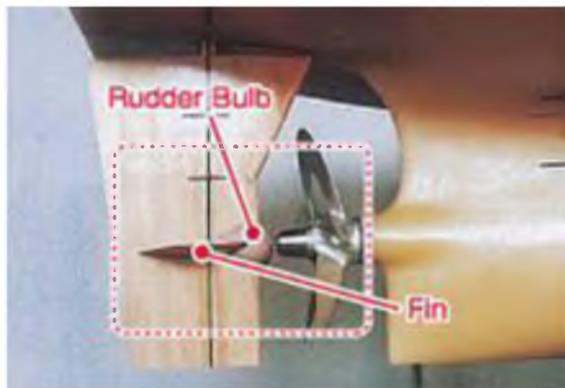


Рисунок 6 – Судовой руль оборудованный бульбом и поперечными плавниками

Около 2-3% экономии энергии подтверждается при скоростных испытаниях крупнотоннажных судов. Благодаря простой форме и простоте установки такие устройства используются на многих современных судах, которые были построены в рамках политики энергоэффективности.

**Таким образом:** экономическим стимулом для судоходной отрасли является инвестирование в более экономичные суда и технологии, а также их энергоэффективное использование и обеспечение эффективной эксплуатации СЭУ, с целью снижения расхода топлива и, как следствие, снижение вредных выбросов в атмосферу.

## Литература

1. MEPC 75/7/15 — Fourth IMO GHG Study 2020, International Maritime Organization (IMO), London, UK, July 2020.
2. Елихин А.И. Управление токсичностью выхлопов судовых двигателей / А.И. Елихин, Ю.Г. Косолап // Эксплуатация морского транспорта.— 2020.— № 2 (95).— С. 66-69.
3. Шурпяк В.К., Толмачев С.А., Мусонов М.В. Новые требования ИМО по уменьшению выбросов углекислого газа с морских судов, совершающих транспортную работу // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства, — 2021.— № 64/65,— С. 4-18
4. Модина М.А. Ways to reduce harmful emissions from the operation of power plants in special environmental control areas/Modina M.A., Kheckert E.V., Epikhin A.I., Voskanyan A.A., Pismenskaya Yu.V., Shkoda V.V.// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021 International Symposium "Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021". IOP Publishing Ltd, 2021. С. 012104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/867/1/012104>
5. Туркин В.А. Снижение выбросов вредных веществ судовыми дизельными двигателями настройкой регулируемых параметров / В.А. Туркин, А.Ю. Самойленко, Р.Ю. Атласов, Г.В. Игнатенко // Морские интеллектуальные технологии.— 2019.— № 4 (46).— Т.3. С. 59-66.
6. <https://www.irclass.org/media/1393/energy-efficiency-design-index.pdf>
7. "Ship Energy Efficiency Measures, Status and Guidance", <http://ww2.eagle.org/>
8. <https://www.becker-marine-systems.com/products/energy-saving-devices.html> <https://www.sciencedirect.com/book/9780750669443/marine-rudders-and-control-surfaces>
9. K. Mizzi et al. Design optimisation of Propeller Boss Cap Fins for enhanced propeller performance/ Applied Ocean Research 62 (2017) 210–222
10. <https://www.jmuc.co.jp/en/rd/development/hydrodynamics/energy-saving/>

## References

1. MEPC 75/7/15 — Fourth IMO GHG Study 2020, International Maritime Organization (IMO), London, UK, July 2020.
2. Epihin A.I. Upravlenie toksichnost'yu vykhlovov sudovykh dvigatelej /Epihin A.I., Kosolap YUG.// Eksplyuatsiya morskogo transporta. 2020. № 2 (95). S. 66-69.
3. SHurpyak V.K., Tolmachev S.A., Musonov M.V. Novye trebovaniya IMO po umen'sheniyu vybrosov uglekislogo gaza s morskikh sudov, sovershayushchih transportnuyu rabotu Nauchno-tekhnicheskij sbornik Rossijskogo morskogo registra sudoходства, № 64/65, 2021 – S. 4-18
4. Modina M.A. Ways to reduce harmful emissions from the operation of power plants in special environmental control areas/Modina M.A., Kheckert E.V., Epikhin A.I., Voskanyan A.A., Pismenskaya Yu.V., Shkoda V.V.// IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021 International Symposium "Earth Sciences: History, Contemporary Issues and Prospects, ESHCIP 2021". IOP Publishing Ltd, 2021. S. 012104. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/867/1/012104>
5. Turkin V.A. Snizhenie vybrosov vrednykh veshchestv sudovymi dizel'nymi dvigatelyami nastrojkoj reguliruemykh parametrov / V.A. Turkin, A.YU. Samojlenko, R.YU. Atlasov, G.V. Ignatenko // Morskie intellektual'nye tekhnologii. 2019. № 4 (46). T.3. S. 59-66.
6. <https://www.irclass.org/media/1393/energy-efficiency-design-index.pdf>
7. "Ship Energy Efficiency Measures, Status and Guidance", <http://ww2.eagle.org/>
8. <https://www.becker-marine-systems.com/products/energy-saving-devices.html><https://www.sciencedirect.com/book/9780750669443/marine-rudders-and-control-surfaces>
9. K. Mizzi et al. Design optimisation of Propeller Boss Cap Fins for enhanced propeller performance/ Applied Ocean Research 62 (2017) 210–222
10. <https://www.jmuc.co.jp/en/rd/development/hydrodynamics/energy-saving/>

УДК 621

DOI: 10.34046/aumsuomt105/24

## КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ, ВКЛЮЧАЮЩЕЕ В СЕБЯ СИСТЕМУ ПО ВЫДЕЛЕНИЮ, СЖИЖЕНИЮ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВОДОРОДА НА СУДАХ МОРСКОГО ФЛОТА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧНОСТИ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

*Т.Г. Тория, старший преподаватель*

*А.И. Елихин, кандидат технических наук, доцент*

*С.И. Кондратьев, доктор технических наук, профессор*

*М.А. Модина, кандидат технических наук, доцент*

Статья раскрывает потенциал и экологическую важность применения сжиженного водорода на судах гражданского флота в качестве топлива. Рассмотрены текущие требования к содержанию опасных веществ в отработанных газах, характеристики среднестатистического энергетического комплекса судна