

- statej uchastnikov Dvenadcatyh Prohorovskih chtenij. Volzhskij gosudarstvennyj universitet vodnogo transporta. 2017. S. 116-122.
7. Coj L.G., Shtrek A.A., Glebko YU.V. Ledokol'noe sudno. Patent na izobrenenie RU 2586100 C1, 10.06.2016. Zayavka № 2015112408/11 ot 06.04.2015.
 8. LuYu, GuZhuhao, LiuShewen, Liu S., Chuang-Zhenju, LiZiying, LiChunzheng. Scenario-based optimization design of icebreaking bow for polar navigation //Ocean Engineering.T.244, № 110365. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.110365.
 9. Budushchee Arktiki.RF [Elektronnyj resurs]// Novaya epoha ledokol'nogo flota Rossii: kakie korabli obespechat budushchee sudohodstva v Arktike? Rezhim dostupa: <https://budushchee-arkтики.rf/novaya-epoxa-ledokol'nogo-flota-rossii-kakie-korabli-obespechat-budushchee-sudohodstva-v-arktique/>
 10. Delovye novosti [Elektronnyj resurs]// Severnyj morskoy put' i Sueckij kanal Rezhim dostupa: <https://delonovosti.ru/analitika/3921-severnyj-morskoy-put-i-sueckiy-kanal.html>
 11. Nikolaeva A.B. Severnyj morskoy put': problemy i perspektivy // Vestnik kol'skogo nauchnogo centra RAN, 2011.-S. 108-112
 12. Fomichyov A.A. Politicheskij vektor razvitiya Severnogo morskogo puti // Vestnik MGIMO-Universiteta, 2015.-S.122-127
 13. FGBU Administraciya Severnogo morskogo puti [Elektronnyj resurs]// Tarifny na ledokol'nyy provodku sudov, okazyvaemuyu FGUP «Atomflot» v akvatorii SMP Rezhim dostupa:http://www.nsra.ru/ru/ofitsialnaya_informatsiya/tarifn_for_icebreaker_escort_atomflot.html
 14. Fal'monov E.V. Ekspertnyj soyuz [Elektronnyj resurs]// Kolesnye teplohody. - Rezhim dostupa: <http://unionexpert.su/vozvrashhenie-kolesa/> (data obrashcheniya: 08.04.2022).

УДК 621.3

DOI: 10.34046/aumsuomt 103/27

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Т.А. Макаревич, кандидат физико-математических наук, доцент, (Республика Беларусь)
Е. В. Хекерт, доктор технических наук, профессор
Ю.С. Кузнецова, кандидат педагогических наук, доцент,
М.А. Модина, кандидат технических наук, доцент,
Д.О. Яворская, аспирант

Морской транспорт – один из важнейших компонентов общественного и экономического развития, поглощающий значительное количество ресурсов и оказывающий серьезное влияние на природную среду. Важность решения задач защиты атмосферы от вредных выбросов морских судов определяется тем, что загрязнения от судовых дизелей и котлов составляют наиболее существенную долю от всех видов транспорта. Снижение токсичности отработавших газов (ОГ) судовых двигателей внутреннего сгорания представляет собой сложную научно-техническую задачу. Необходимость ее решения диктуется нормативно-законодательными требованиями, которые становятся все более жесткими. В статье рассматривается проблема снижения и эффективность методов очистки продуктов сгорания. Приводятся основные современные способы снижения токсичности отработавших газов судовых энергетических установок. Проанализирована эффективность основных методов очистки отработавших газов судовых энергетических установок с оценкой предотвращенного экологического ущерба и определены наиболее перспективные методы.

Ключевые слова: морские суда, выбросы, оксид серы, способы очистки, отработавшие газы, экологичность

STATUS OF THE PROBLEM AND METHODS FOR REDUCING HARMFUL EMISSIONS FROM SHIP POWER INSTALLATIONS

T.A. Makarevich, E.V. Khekert, Yu.S. Kuznetsova, M.A. Modina, D.O. Yavorskaya

Maritime transport is one of the most important components of social and economic development, absorbing a significant amount of resources and having a serious impact on the natural environment. The importance of solving the problems of protecting the atmosphere from harmful emissions from marine vessels is determined by the fact that pollution from marine diesel engines and boilers makes up the most significant share of all types of transport. Reducing the toxicity of exhaust gases (EG) of marine internal combustion engines is a complex scientific and technical problem. The need to solve it is dictated by regulatory and legislative requirements, which are becoming increasingly stringent. The article deals with the problem of reducing and the effectiveness of methods for cleaning combustion products. The main modern methods of reducing the toxicity of exhaust

gases of ship power plants are given. The effectiveness of the main methods of cleaning the exhaust gases of ship power plants is analyzed with an assessment of the prevented environmental damage, and the most promising methods are identified.

Keywords: marine vessels, emissions, sulfur oxide, cleaning methods, exhaust gases, environmental friendliness

Морской транспорт – один из важнейших компонентов общественного и экономического развития, поглощающий значительное количество ресурсов и оказывающий серьезное влияние на природную среду. При всей важности транспортного комплекса, как неотъемлемого элемента экономики, необходимо учитывать его весьма значительное негативное воздействие на природные экологические системы.

Вопросам экологической безопасности судостроения в комплексе проблем современного морского транспорта уделяется повышенное внимание. Наибольший ущерб окружающей среде наносится судовой энергетической установкой, в результате работы которой образуются такие вредные компоненты, как твердые частицы, несгоревшие углеводороды, оксиды азота, парниковые газы и, в отдельных случаях, соединения серы [1, 2].

В мире выполняются теоретические и экспериментальные работы по взаимодействию газовых выбросов различного состава (оксиды углерода, азота, серы, несгоревшие компоненты топлива, твердые частицы и др.) от теплогенерирующих установок, с жидкостями. Большой вклад в исследование проблем очистки газообразных выбросов внесли отечественные ученые: Николаев Н.И., Туркин В.А., А.К. Внук, Н.Ф. Тищенко, В.В. Кафаров, Э.Я. Тарат, В.М., Рамм, М.Э. Аэров, О.М. Тодес, Л.И. Друскин, Л.М. Циркульников, И.Я. Сигал, Н.А. Федоров, В.А. Спейшер, А.Д. Горбаненко, Н.М. Бажин, К.Б. Комиссаров, В.М. Гарин, Е.Е. Новгородский, В.И. Беспалов, Е.И. Богуславский, В.Л. Гапонов, В.И. Гаршин и другие [1].

В последнее десятилетие во всем мире допустимые нормативные значения выбросов оксидов азота для дизелей значительно ужесточились (ГОСТ Р 51249–99, МАРПОЛ 73/78, ЕРА, ЕВРО-нормы). Ужесточившиеся нормы заставили крупные двигателестроительные компании разрабатывать новые и совершенствовать уже существующие способы снижения токсичности отработавших газов дизелей. В настоящее время всю совокупность способов снижения токсичности отработавших газов СЭУ можно свести к следующим основным направлениям:

– конструктивные изменения систем и конструкции двигателя;

– использование альтернативных видов топлива и присадок;

– регулировка топливной аппаратуры;

– капитальный ремонт и восстановление деталей цилиндро-поршневой группы и топливной аппаратуры;

– каталитическая нейтрализация отработавших газов[3].

Метод борьбы за снижение поступления в атмосферу вредных выбросов судовых энергетических установок должен быть комплексным, сочетающим первичные и вторичные мероприятия.

К первичным мероприятиям относятся: очистка топлива от загрязняющих примесей – улучшение качества топлива (обогащение исходного сырья, использованием альтернативных видов топлива); подавление образования вредных веществ при горении путем совершенствования топочных процессов сжигания органического топлива (за счет улучшения конструкций топок, технологических методов и режимных мероприятий, организации процессов смесеобразования и сгорания, совершенствование системы впрыска топлива).

Ко вторичным мероприятиям относятся технологии улавливания вредных примесей из отходящих газов, включающие способы, предназначенные для грубой и тонкой очистки дымовых газов (рециркуляция отработавших газов, каталитическая очистка отработавших газов, мокрые методы, сухие методы, абсорберы для очистки продуктов сгорания от оксидов серы, циклонно-пенные аппараты).

К числу основных способов решения проблемы снижения токсичности выхлопных газов относятся: проведение модернизации систем образования горючих смесей, камер сгорания, систем впрыска; перевод двигателей на водо-топливные эмульсии; рециркуляция отработанных газов; использование топливных присадок; предварительная обработка топлива; применение альтернативных видов топлива; очистка и нейтрализация выхлопных газов [4, 5, 14].

К совершенствованию конструкции двигателя относится - оптимизация смесеобразования, выбор рабочего объема и степени сжатия, учет уровня форсирования дизеля; выбор параметров воздушного заряда и системы охлаждения; опти-

мизация процесса топливоподачи; совершенствование систем воздухообмена, газораспределения, рециркуляции отработавших газов; применены системы очистки отработавших газов.

В пользу решения, связанного с совершенствованием рабочего процесса, свидетельствуют следующие показатели: низкие первоначальные затраты, связанные в основной своей массе, с модернизацией отдельных компонентов двигателя, остающиеся практически неизменными эксплуатационные расходы и низкий уровень технического риска.

Судовые дизели из-за специфики организации рабочего процесса, имеют свои особенности по составу отработавших газов в сравнении с ДВС других типов. В отработавших газах судовых дизелей мало продуктов неполного сгорания топлива (монооксид углерода CO и несгоревших углеводородов C_xH_y), но при этом имеется значительное количество оксидов азота NO_x и оксидов серы SO_x , твердых частиц. Главная особенность отработавших газов судовых дизелей состоит в наличии в них оксидов серы и твердых частиц, вследствие того, что образованию этих токсичных компонентов способствуют антагонистические факторы - невозможно одновременно абсолютный минимум эмиссии оксидов серы SO_x и твердых частиц по средствам согласования параметров дизеля, можно говорить только о достижении некоторого оптимума [6, 7, 9].

Ступенчатая подача топлива обеспечивает существенное снижение содержания сажи в отработавших газах, при этом сохраняются выбросы SO_x и удельный эффективный расход топлива, это объясняется более глубоким окислением сажи за счет повышения температуры на последней фазе процесса сгорания [10].

Специфика сгорания топлива в цилиндре двигателя сопряжена с многими факторами, большинство из которых связаны с неоднородностью температурного поля как в объеме камеры сгорания, так и во времени. Вопросам горения топлива в цилиндре двигателя посвящено довольно много работ. Их анализ свидетельствует, содержание токсических компонентов и сажи в ОГ, главным образом, зависит от скорости и температуры горения. С увеличением температуры сгорания топлива количество сажи в отработавших газах уменьшается, а содержание оксидов азота увеличивается. Наоборот, если процесс сгорания протекает с малой скоростью и при более низкой температуре, то в составе ОГ будет наблюдаться повышенное содержание сажи и меньшее значение

NO_x . Таким образом, все внутренние способы борьбы с вредными выбросами и дымностью ОГ предусматривают воздействие на температуру и скорость сгорания топлива в цилиндре дизеля [10]. Технологии, направленные на снижение оксидов азота (NO_x), дают обратный эффект по отношению к дымности. Поэтому выбор той или иной технологии улучшения экологичности ДВС всегда сопровождается поиском компромисса между токсичностью, дымностью, топливной экономичностью и затратами на ее реализацию.

Снижение вредных компонентов в процессе их образования воздействием на рабочий процесс дизеля является одним из двух основных направлений по снижению вредных выбросов ОГ дизелей. Образование токсичных продуктов в цилиндре дизеля поддается регулированию в широких пределах путем разнообразных воздействий на рабочий процесс двигателя.

Известно, что увеличение угла опережения подачи топлива в цилиндр приводит к увеличению периода задержки воспламенения, при этом жесткость процесса сгорания возрастает и NO_x растет, при обратном действии происходит снижение NO_x и увеличение удельного расхода топлива. Сокращение выхода NO_x при уменьшении угла опережения впрыска топлива сопровождается снижением максимальной температуры в цилиндре, ростом дымности продуктов сгорания, увеличением выхода CO и альдегидов и ухудшением топливной экономичности.

Степень сжатия отражает энергетическое состояние воздушного заряда. С повышением давления и температуры молекулы кислорода воздуха переходят из нормального в возбужденное (химически активное). Такой кислород является исключительно реакционноспособным. Попавшее в такую среду топливо быстро окисляется и процесс воспламенения ускоряется. Однако высокие значения степени сжатия приводят к жесткой работе дизеля (увеличение уровня шума, износа подшипников, деформации поршневых колец).

Увеличение степени сжатия приводит к повышению давления и температуры в камере сгорания в момент впрыска топлива, а также к повышению теплонапряженности. Период задержки самовоспламенения снижается, что приводит к уменьшению жесткости и NO_x . Изменение степени сжатия не оказывает существенного воздействия на содержание CO , C_xH_y и сажистых частиц.

Снижение выхода NO_x за счет уменьшения угла опережения топлива при сохранении топливной экономичности возможно при увеличении степени сжатия, однако тем самым увеличивая теплонапряженность деталей ЦПГ дизеля.

Форма камеры сгорания (КС) дизелей, конструкция и расположение ее отдельных элементов оказывает влияние на протекание процесса сгорания, что приводит к изменению процесса образования и выделения токсичных компонентов с ОГ. Кроме того, форма КС должна быть согласована с числом, диаметром и направлением сопловых каналов форсунки.

Формы КС в дизелях разделяются на три группы: неразделенные, полуразделенные и разделенные. По своей геометрической форме, виду и количеству образования вредных компонентов полуразделенные камеры занимают промежуточное положение.

Дизели с неразделенной КС отличаются рядом положительных свойств: высокие эффективные показатели, малый удельный расход топлива и простота конструкции. Характерные недостатки: повышенная жесткость работы, шумность, чувствительность к качеству топлива и склонность к дымлению, малые тепловые потери способствуют развитию высоких температур и давлений, что способствует образованию NO_x . Выгорание C , CO , C_xH_y происходит менее интенсивно, чем в разделенной КС, из-за худшего перемешивания этих продуктов с воздухом.

Разделенные КС отличаются интенсификацией процесса смесеобразования. Высокая турбулентность заряда и обусловленное этим хорошее перемешивание топлива с воздухом способствуют малому выходу продуктов неполного сгорания топлива. К достоинствам также относятся: малая жесткость сгорания, хорошее использование воздуха, малая чувствительность к сорту топлива. Разделенные КС менее чувствительны к качеству топлива, но и менее экономичны: сложнее конструкция крышки цилиндра, труднее запуск холодного двигателя, повышенные потери теплоты от газов в стенки из-за увеличенной поверхности КС.

Совместное изменение этих параметров приводит к необходимости уменьшения диаметра и увеличения числа сопловых отверстий распылителя форсунки, тем самым улучшается смесеобразование и уменьшается число локальных зон с высокой температурой, в результате содержание NO_x падает. С увеличением давления впрыска увеличивается тонкость распыливания, повышается

скорость прогрева струи и соответственно возрастает скорость сгорания топлива.

Число принципиальных типов присадок составляет более 40 [4, 10], на практике используется около 20. Количество товарных марок присадок в мире исчисляется тысячами.

Ужесточение экологических требований к продуктам сгорания топлив привело к разработке антидымных присадок. Назначение антисажевых присадок заключается в предотвращении забивки катализаторов и фильтров сажей за счет снижения ею эмиссии с ОГ. Это достигается тем, что в составе присадки находятся соединения меди, железа или других металлов, снижающих температуру выгорания сажи до температуры ОГ.

Весьма небольшое распространение присадок к дизельному топливу в определенной степени объясняется:

- присадки снижают стабильность свойств топлива при хранении, что приводит к уменьшению цетанового числа;
- с увеличением концентрации присадки ее относительная эффективность понижается;
- высокой стоимостью качественных присадок;
- отсутствием данных по влиянию на работоспособность деталей отложений (камера сгорания и выпускной газовый тракт);
- широким знанием потенциальных потребителей ассортимента и возможностей присадок.

Существуют различные способы воздействия на топлива, повышающие их полноту сгорания. Широко используется наложение ультразвуковых колебаний на топлива, что выражается в сокращении выбросов NO_x и SO_2 .

Одним из новых путей по совершенствованию экологических показателей явилось применение в качестве топлива водо-топливной эмульсии (ВТЭ). ВТЭ представляет собой дисперсную систему, состоящую из двух не растворяющихся друг в друге жидкостей, одна из которых (дисперсная фаза – вода.) представлена, в виде мелких частиц в другой (дисперсионной среде – топливе). Улучшение протекания рабочего процесса, дизеля при переводе его на ВТЭ имеет сложную физико-химическую природу.

К недостаткам работы дизелей на ВТЭ следует отнести ограничение их мощности до уровня не выше 75 % от номинального значения, из-за недостаточной производительности топливных насосов. При решении вопроса о переводе дизельной установки судна на ВТЭ целесообразно учитывать степень форсирования двигателей, сорт

применяемого топлива и условия эксплуатации судна.

Отечественные и зарубежные исследования [11, 12, 13] показывают, что одним из приемлемых путей повышения экологической эффективности и безопасности судов является переход на альтернативные виды топлива, использование которых обеспечит снижение вредных выбросов твердых частиц в окружающую среду судовыми двигателями. Выделяют следующие виды топлива, которые рассматриваются как альтернативные существующим: природный газ, биотопливо, водород и др.

Основные требования к альтернативному топливу для применения на судах:

- экономическая привлекательность и большие доступные запасы сырья для его производства;
- низкие капитальные затраты по установке на судне дополнительного оборудования;
- присутствие на рынке, доступность в портах, наличие необходимой инфраструктуры или незначительные затраты на ее создание;
- безопасность, а также наличие нормативных документов, регламентирующих безопасное применение на судне.

Наибольшее распространение на данный момент получили сжиженный природный газ и биодизельное топливо.

Использование СПГ в виде топлива позволяет снизить до 90% выбросов [14]. При этом, следует отметить, что процесс сжижения не влечет за собой никаких дополнительных выбросов вредных веществ в атмосферу. По стоимости СПГ находится на уровне с метанолом, поэтому оба этих вида топлива финансово выгодны. Кроме того, использование СПГ позволяет уменьшить зависимость судовладельцев от колебаний цен на нефть. Основным недостатком СПГ является необходимость иметь значительное дополнительное пространство на судне под установку емкостей.

Применение альтернативных видов топлив в судовых энергетических установках позволит снизить зависимость от нефтяных топлив и повысить экологическую эффективность судов.

Рециркуляция отработавших газов – кроме основного нетоксичного компонента ОГ – азота N_2 - в них также содержатся углекислый газ CO_2 и пары воды H_2O , обладающими высокими значениями удельной теплоемкости. При перепуске части ОГ происходит изменение химического состава заряда, снижается количество свободного

кислорода в камере сгорания и уменьшается температура пламени внутри камеры сгорания. Исследования показывают, что введение рециркуляции уменьшает выход NO_x , но происходит увеличение выхода CO , $CxHy$, а также дымности S , особенно при больших нагрузках дизеля близких к номинальной. Применение (9... 11)% рециркуляции ОГ снижает NO_x на 28% без существенного уменьшения расхода топлива [4, 10].

Следует иметь в виду, что организация рециркуляции связана с некоторыми дополнительными осложнениями. Транспортировка запыленных газов повышенной температуры требует установки специальных дымососов рециркуляции и связана с затратой дополнительной энергии на собственные нужды. Рециркуляция дымовых газов повышает сопротивление газового тракта и может вызвать некоторое ухудшение условий горения.

Метод очистки и нейтрализации выхлопных газов позволяет в большей степени снизить капитальные затраты по сравнению с методами, требующими модернизации.

Самым простым способом удаления оксидов серы из отработавших газов является метод скруббирования с использованием морской воды [13].

В настоящее время, несмотря на большое количество работ, проводимых во всем мире по очистке газов от диоксида серы, наибольшее распространение для очистки дымовых газов получили жидкофазные (мокрые) технологии, это, прежде всего, нерегенерационные известняковый метод и регенерационный сульфит-бисульфит натриевый метод [6, 7, 8]:

Очистка дымовых газов от оксидов серы осуществляется с использованием способов, предназначенных для избирательной очистки от конкретного компонента, либо технологии, использующей методы совместной очистки газов от оксидов серы и оксидов азота [6].

Также для очистки выхлопных газов на судах применяют специальные устройства – скрубберы. Поскольку скрубберы с открытым контуром запрещают использовать в акваториях многих странах, самыми популярными решениями становятся скрубберы с гибридной и замкнутой системой. В этих устройствах применяется щелочной водный раствор для нейтрализации кислых сернистых газов SO_x . Скрубберные системы с разомкнутым контуром, безусловно, являются наиболее популярными в настоящее время благодаря их относительной простоте и сравнительно

низкой стоимости, особенно для дооснащения существующих судов. Однако применимость этих систем не распространяется на районы, в которых введены ограничения на сброс промывочной воды скруббера.

Двухтактные двигатели с рециркуляцией отработавших газов (EGR) и скрубберами представляют собой наиболее экономичное и эффективное техническое решение для соблюдения требований ИМО как по уровню содержания оксидов азота (стандарт ИМО Tier-3), так и по уровню содержания серы в 0,5% с 2020 года.

Однако, использование скрубберов требует больших капитальных вложений. Помимо высокой стоимости переоборудования судна, проблем с размещением на нем довольно громоздких конструкций и значительных запасов раствора каустической соды, необходимо обеспечить соответствующую подготовку и наличие на судне дополнительного персонала для обслуживания скрубберов. Вероятно, также увеличение эксплуатационных расходов, связанных с хранением и сдачей на берег серной кислоты слабой концентрации, образующейся в результате очистки выхлопных газов. В обязательном порядке следует контролировать параметры выбросов соли за борт, при этом отсутствует гарантия, что следующий этап ограничений МАРПОЛ не запретит сбросы в воду этих химически нейтральных отходов.

Разработаны скрубберы для очистки выхлопных газов от серы и диоксидов азота. Скрубберы позволяют уменьшать SO_x до 90 %, NO_x до 10 % и твердые частицы до 60 - 90 % от исходного содержания в выхлопных газах. На судах распространено использование мокрых скрубберов, в которых для нейтрализации отработанных газов в качестве очищающей среды применяются либо морская вода, либо пресная с добавлением раствора щелочи (NaOH).

При введении международных норм на выброс экологически вредных веществ возникает необходимость выбрать достаточно эффективный метод их снижения.

Необходимо отметить, что в настоящее время существует достаточно большое количество способов и мер по решению проблемы выбросов от СЭУ.

Рассматривая составляющие концепции экологического совершенствования СЭУ с методологической точки зрения можно выделить следующие ключевые элементы [15, 16]:

1. Использование судовых топлив с низким содержанием серы с 2020 года – 0,5% (ULSF),

01% в ЕСА. В рамках данного элемента целесообразно провести анализ существующих требований к судовым топливам, оценить влияние топлив с низким содержанием серы на техническое состояние судовых технических средств - износ деталей судовых двигателей внутреннего сгорания, коррозия поверхностей нагрева судовых котлов, что позволит разработать научно-обоснованные методы и средства адаптации судовых двигателей внутреннего сгорания и судовых котлов к использованию ими топлив с низким содержанием серы.

2. Сокращение затрат на производство тепловой и электрической энергии (использование альтернативных источников энергии). Для выполнения этой задачи следует оценить влияние электромагнитных и акустических полей на жидкокристаллическую структуру углеводородных топлив. В комплексе с экспериментальными исследованиями полученные результаты позволят обосновать принципы управления реологическими свойствами судовых углеводородных топлив, с точки зрения повышения их экологичности.

3. Повышение эксплуатационной надежности судовой топливной аппаратуры высокого давления. Достижение целей, определенных данным элементом, предполагает проведение оценки современного состояния исследований структуры высоковязких нефтепродуктов, анализ их влияния на свойства топлив, поиск и установление аналогии между высоковязкими нефтепродуктами и упругим континуумом. Использование полученных результатов в ходе экспериментальных исследований волновых процессов в топливопроводах дизелей СЭУ позволит обосновать методы модернизации топливных систем, создать принципиально новые системы топливопроводов высокого давления, разработать методы предотвращения разрыва топливопроводов.

4. Использование современных методов технической диагностики состояния СЭУ с целью оптимизации расходов топлива и масел. Данный элемент экологической концепции предполагает классификацию систем и средств технического диагностирования СЭУ, проведение их теплотехнических исследований и обоснование рекомендации по техническому обслуживанию. Это позволит разработать методики испытаний СЭУ в различных условиях эксплуатации с составлением режимных карт нагрузок.

Выбор способа соответствия новым требованиям ИМО представляется сложной организационно-технической проблемой, требующей всестороннего анализа достаточно большого числа факторов влияния.

Литература

- Щавелев, Д.В. Разработка системы очистки отработавших газов судовых дизелей и с использованием жидкостных контактных аппаратов: [Электронный ресурс]: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.05. – М.: РГБ, 2005 (Из фондов Российской Государственной библиотеки), 162 с.
- Голубев, И.Р. Окружающая среда и транспорт: учебн. пособие для вузов / И.Р. Голубев, Ю.В. Новиков. – М.: Транспорт, 1987. – 96 с.
- Медведев Г. В. Состояние проблемы и варианты снижения вредных выбросов дизельных судовых энергетических установок / Г.В. Медведев, Н.Н. Горлова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2019. – №6(58). – С. 1133-1140. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1133-1140
- Румб В.К., Серажудзинов О.В. Добавка воздуха в топливо - средство снижения оксидов азота и дымности отработавших газов судовых ДВС // Морской вестник. – 2015. – № 4 (56). – С. 66-68.
- Епихин А.И., Курьлев Г.А. Управление токсичностью выхлопов судовых двигателей // Материалы международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы текущего состояния транспортного комплекса. –Новороссийск: РИО ФГБОУ ВО "ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова", 2020.
- Носков А.С. Технологические методы защиты атмосферы от вредных выбросов на предприятиях энергетики: Аналит. обзор / А.С. Носков, З.П. Пай / СО РАН. ГПНТБ, Ин-т катализа имени К.Б. Борескова; Отв. редактор чл.-кор. РАН ВН. Парамон. – Новосибирск, 1996. – 156 с.
- Нунупаров, С.М. Предотвращение загрязнения моря с судов: учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 288 с.
- Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия: монография / И.В. Парсаданов. – Харьков: Издательский центр НТУ "ХПИ", 2003. – 244 с.
- Мельник Г.В. Вопросы экологии на конгрессе СИМАС-2007 // Двигателестроение. – 2007. – № 4. – С. 45-0.
- Серажудзинов О.В., Чистяков В.А. Технологии снижения оксидов азота в отработавших газах судовых дизелей // Научно-исследовательский центр "Морские интеллектуальные технологии" – 2015. – №4-1. – С. 23-28.
- Sailing towards IMO Tier III - Exhaust After treatment versus Engine-internal Technologies for Medium Speed Diesel Engines / G. Tinschmann, D. Thum, S. Schlueter, P. Pelemis, G. Stiesch // CI-MAC Congress 2010, Bergen. – Paper № 274, 14p.
- Топливо и топливные системы судовых дизелей / Ю.А. Пахомов, Ю.П. Коробков, Е.В. Дмитриевский, Г.Л. Васильев. / под редакцией канд. техн. наук Пахомова Ю.А. – М.: РКонсульт, 2004. – 496 с.: ил.
- Раевски П. Снижение уровня эмиссии оксидов серы на судах морского флота. // Двигателестроение. – 2007. – №1. – С. 43-45.
- Епихин А.И., Худяков С.А. Практические особенности модернизации топливных систем и двигателей судов портового флота для использования СПГ в качестве топлива. // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – №2(91).
- Живлюк Г. Е. Экологическая безопасность судовых ДВС. Выбор эффективного способа соответствия новым требованиям 2020 г. по выбросам серы / Г.Е. Живлюк, А. П. Петров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова – 2019. – №4(56). – С. 727-744. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-727-744
- Епихин, А. И. Концепция экологического совершенствования судовых энергетических установок / А. И. Епихин, М. А. Модина, Е. В. Хеккер // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 3(96). – С. 127-132. – DOI 10.34046/aumsuomt96/18.

References

- SHCHavelev, D.V. Razrabotka sistemy ochistki otrabotavshih gazov sudovyh dizelej i s ispol'zovaniem zhidkostnyh kontaktnyh apparatov: [Elektronnyj resurs]: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.03.05. – М.: RGB, 2005 (Iz fondov Rossijskoj Gosudarstvennoj biblioteki), 162 s.
- Golubev, I. R. Okruzhayushchaya sreda i transport: uchebn. posobie dlya vuzov / I.R. Golubev, YU.V. Novikov. – М.: Transport, 1987. – 96 s.
- Medvedev G. V. Sostoyanie problemy i varianty snizheniya vrednyh vybrosov dizel'nyh sudovyh energeticheskikh ustanovok / Gennadij Valerievich Medvedev, Nina Nikolaevna Gorlova // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2019. - №6(58). - С. 1133-1140. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1133-1140
- Rumb V.K., Serazhutdinov O.V. Dobavka vozduha v toplivo - sredstvo snizheniya oksidov azota i dymnosti otrabotavshih gazov sudovyh DVS // Morskoy vestnik. 2015. № 4 (56). S. 66-68.
- Epihin A.I., Kurylev G.A. Upravlenie toksichnost'yu vyhlopov sudovyh dvigatelej // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Kompleksny e problemy tekushchego sostoyaniya transportnogo kompleksa. - Novorossijsk, RIO FGBOU VO "GMU imeni admirala F.F. Ushakova", 2020 g.
- Noskov, A.S. Tekhnologicheskie metody zashchity atmosfery ot vrednyh vybrosov na predpriyatiyah energetiki: Analit. obzor / A.S. Noskov, Z.P. Paj / SO RAN. GPNTB, In-t kataliza imeni K.B.

- Boreskova; Отв. редактор чл.-кор. РАН V.N. Paramon. – Novosibirsk, 1996. – 156 s.
7. Nunuparov, S.M. Predotvrashchenie zagryaznenie morya s sudov. Uchebnoe posobie dlya vuzov. M.: Transport, 1985. – 288 s.
 8. Parsadanov I.V. Povyshenie kachestva i konkurentosposobnosti dizelej na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriteriya: Monografiya./ Parsadanov I.V. - Har'kov: Izdatel'skij centr NTU "HPI", 2003. - 244 s.
 9. Mel'nik G.V. Voprosy ekologii na kongresse CI-MAC-2007 // Dvigatelsestroenie. - 2007. - № 4. - S. 45–50.
 10. Serazhutdinov O.V., Chistyakov V.A. Tekhnologii snizheniya oksidov azota v otrabotavshih gazah sudovyh dizelej // Nauchno-issledovatel'skij centr "Morskie intellektual'nye tekhnologii" №4-1, 2015, s. 23-28.
 11. Sailing towards IMO Tier III - Exhaust After treatment versus Engine-internal Technologies for Medium Speed Diesel Engines / G. Tinschmann, D. Thum, S. Schlueter, P. Pelemis, G. Stiesch // CI-MAC Congress 2010, Bergen. - Paper № 274, 14r.
 12. Toplivo i toplivnye sistemy sudovyh dizelej/ Pahomov YU.A., Korobkov YU.P., Dmitrievskij E.V., Vasil'ev G.L. Pod redakciej kand. tekhn. nauk Pahomova YU.A. - M.: RKonsult, 2004. - 496 s.: il.
 13. Raevski, P. Snizhenie urovnya emissii oksidov sery na sudah morskogo flota. // Dvigatelsestroenie, 2007, №1. – S. 43-45.
 14. Epihin A.I., Hudyakov S.A. Prakticheskie osobennosti modernizacii toplivnyh sistem i dvigatelej sudov portovogo flota dlya ispol'zovaniya SPG v kachestve topliva. Eksploataciya morskogo transporta №2(91) Novorossijsk, RIO FGBOU VO "GMU imeni admirala F.F. Ushakova", 2020 g.
 15. ZHivlyuk G. E. Ekologicheskaya bezopasnost' sudovyh dvs. vybor effektivnogo sposoba sootvetstviya novym trebovaniyam 2020 g. po vybrosam sery / Grigorij Evgen'evich ZHivlyuk, Aleksandr Pavlovich Petrov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. - 2019. - №4(56). - C. 727-744. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-727-744
 16. Epikhin A.I. Kontseptsiya ecological sovershenstvovaniya sudovykh energetical ustanovok / A. I. Epikhin, M. A. Modina, E. V. Heckert // Exploitation morskoy transport. – 2020. – № 3(96). – S. 127-132. – DOI 10.34046/aumsuomt96/18.

УДК 621.431.7

DOI: 10.34046/aumsuomt 103/25

ANALYSIS OF METHODS OF USING AMMONIA AS A FUEL FOR A MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Octavian Andrei BREZEAN, A. Zolotyykh, D. Gusev, A.I. Epikhin, V.V. Skoda, T.G. Toria, A.S. Gevorgyan

The article considers ammonia as an alternative to modern fuels. A theoretical layout of an engine running on ammonia is presented. The article compares ammonia with other alternative fuels, compares ammonia prices with diesel and heavy fuels, analyzes emissions of harmful substances at different stages of ammonia use - production, transportation and combustion on a ship.

The novelty of this article is that ammonia is often not considered as an alternative to traditional fuels, competing with hydrogen and natural gas. However, it has a number of advantages, both environmental and technical and economic. The article also discusses 3 methods for converting marine engines to ammonia, 2 of which are applicable to ships already in operation. Comparison of prices for ammonia with other fuels has been made.

The use of ammonia makes it possible to reduce the emission of harmful substances into the atmosphere, which is economically justified. The methods of switching to it and increasing the efficiency of the engine are considered. There are no CO₂ and SO_x emissions and NO_x is greatly reduced. Ammonia is cheaper than HFO and DO, as well as H₂ and LNG. Transferring a marine engine to ammonia is possible by increasing the compression ratio, using forced ignition, and also using it in conjunction with the additives listed in the article.

Keywords: CO₂, SO_x, NO_x, efficiency, production, transportation and storage, corrosion, combustion, engine layout.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АММИАКА В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ МОРСКОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Octavian Andrei BREZEAN - PhD (Romania)

Т.А. Золотых

Д. Гусев,

А.И. Епихин, кандидат технических наук

В.В. Шкода, кандидат педагогических наук

Т.Г. Тория, преподаватель

А.С. Геворгян

В статье рассматривается аммиак как альтернатива современным видам топлива. Представлена теоретическая компоновка двигателя, работающего на аммиаке. В статье сравнивают аммиак с другими аль-