

10-12 тыс. часов. Поставку гидравлических блоков на цилиндры и отдельных деталей к ним целесообразно включать в гарантийные обязательства фирм судостроителей (дизелестроителей), несмотря на то, что повреждения и отказы в СГС наступают через 8-10 тыс. часов (2-3 года), что значительно больше гарантийного периода (1 год).

#### Литература.

1. RT-flex. Training RT-flex, X82, X92. Service Aspects: Chapter 80. Wartsila Land & Sea Academy, 2017. – 127 p.
2. Power Supply, HPS. MAN Diesel & Turbo, 2012. – 59 p.
3. The Sulzer RT-flex Common-Rail System Described: Wartsila Corporation, August 2004. – 15 p.
4. David Brown. Helping shipowners cut fuel bills with Wärtsilä low-speed engines: Wärtsilä Corporation. Feb. 2009. – 5 p.
5. Худяков С.А. Современные судовые малооборотные дизельные двигатели: состояние, перспективы и проблемы / С.А. Худяков, А.В. Игнатенко // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 1. – С.143-154.
6. Худяков С.А. Показатели надежности судового малооборотного дизеля с электронным управлением / С.А. Худяков, А.В. Игнатенко // Эксплуатация морского транспорта. – 2020. – № 1. – С.
7. Худяков С.А. Усталостная прочность деталей судовых технических средств: монография / С.А. Худяков, Н.А. Тарануха, М.М. Фролов. – Новороссийск: РИО ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2019. – 196 с. ISBN 978-5-89426-160-7.
8. Худяков С.А. Анализ причин повреждений и отказов судовых технических средств: учеб. пособие / С.А. Худяков, А.В. Струтынский // – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2020. – 173 с.
9. Худяков С.А. Технологические методы восстановления и повышения износостойкости деталей машин: учеб. пособие / С.А. Худяков, Л.Б. Леонтьев. – Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, 2018. – 176 с.

#### REFERENCES

1. RT-flex. Training RT-flex, X82, X92. Service Aspects: Chapter 80. Wartsila Land & Sea Academy, 2017. – 127 p.
2. Power Supply, HPS. MAN Diesel & Turbo, 2012. – 59 p.
3. The Sulzer RT-flex Common-Rail System Described: Wartsila Corporation, August 2004. – 15 r.
4. David Brown. Helping shipowners cut fuel bills with Wärtsilä low-speed engines: Wärtsilä Corporation. Feb. 2009. – 5 r.
5. Hudyakov S.A. Sovremennyye sudovyye malooborotnyye dizel'nyye dvigateli: sostoyaniye, perspektivy i problemy / S.A. Hudyakov, A.V. Ignatenko // Ekspluatatsiya morskogo transporta, № 1 , 2020. – Novorossiysk, GMU im. adm. F.F. Ushakova. – S.
6. Hudyakov S.A. Pokazateli nadezhnosti sudovogo malooborotnogo dizelya s elektronnyim upravleniem / S.A. Hudyakov, A.V. Ignatenko // Ekspluatatsiya morskogo transporta, № 1 , 2020. – Novorossiysk, GMU im. adm. F.F. Ushakova. – S.
7. Hudyakov S.A. Ustalostnaya prochnost' detaley sudovykh tekhnicheskikh sredstv: monografiya / S.A. Hudyakov, N.A. Taranuha, M.M. Frolov // – Novorossiysk: RIO GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2019. – 196 s. ISBN 978-5-89426-160-7.
8. Hudyakov S.A. Analiz prichin povrezhdenij i otkazov sudovykh tekhnicheskikh sredstv: ucheb. posobie / S.A. Hudyakov, A.V. Strutyanskiy // – Novorossiysk: Izd-vo GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2020. –173 s.
9. Hudyakov S.A. Tekhnologicheskie metody vostanovleniya i povysheniya iznosostojkosti detaley mashin: ucheb. posobie / S.A. Hudyakov, L.B. Leont'ev // – Novorossiysk: Izd-vo GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2018. – 176 s.

УДК 621.1

DOI: 10.34046/aumsuomt95/15

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ СОКРАЩЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ СЕРЫ ОТ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

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

*В.В. Шкода, кандидат педагогических наук, доцент*

*Р.Р. Туктаров, кандидат технических наук, доцент*

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. В статье рассматривается проблема снижения и эффективность методов очистки продуктов сгорания от оксидов серы.

**Ключевые слова:** морские суда, выбросы, оксид серы, способы очистки.

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 the task of protecting the atmosphere from emissions of vessels is determined by the fact that pollution from marine diesel engines and boilers are the most significant share of all modes of transport. The article considers the problem of reducing emissions of sulfur oxides from marine power plants.

**Keywords:** ships, emissions, sulfur oxide, cleaning method.

Интенсивное развитие судоходства на водных путях привело к строительству качественно нового флота с мощными энергетическими установками. Массовая эксплуатация такого флота сопровождается ростом его воздействия на окружающую среду [1].

Морской транспорт – один из важнейших компонентов общественного и экономического развития, поглощающий значительное количество ресурсов и оказывающий серьезное влияние на природную среду. Услуги транспорта играют важную роль в экономике и повседневной жизни людей. При всей важности транспортного комплекса как неотъемлемого элемента экономики необходимо учитывать его весьма значительное негативное воздействие на природные экологические системы [2].

Постоянный рост судов приводит к увеличению объема, сжигаемого ими топлива, а, следовательно, к большим выбросам токсичных компонентов с отработавшими газами [3].

Все возрастающее загрязнение атмосферы промышленными и транспортными выбросами представляет одну из наиболее важных и трудно разрешимых проблем современности.

Особое внимание при этом уделяется морскому транспорту, вредные выбросы которого играют преобладающую роль, как в глобальной проблеме, так и в региональном и локальном загрязнении воздушного бассейна [4].

В настоящее время воздействие морского транспорта на окружающую среду – самая насущная и актуальная проблема современного общества. Последствия этого воздействия сказываются не только на нынешнем поколении, но и могут отразиться и на будущем поколении, если не принимать серьезные меры по снижению и даже устранению последствий воздействия и самого воздействия [1].

Метод борьбы за снижение поступления в атмосферу оксидов серы от 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).

Тяжелое судовое топливо, так называемое «бункерное топливо», содержит в себе большие количества серы. Сгорая, сера загрязняет окружающую среду, образуя диоксид серы  $SO_2$ .

К числу основных способов решения проблемы снижения токсичности выхлопных газов относятся: проведение модернизации систем образования горючих смесей, камер сгорания, систем впрыска; перевод двигателей на водотопливные эмульсии; рециркуляция отработанных газов; использование топливных присадок; предварительная обработка топлива; применение альтернативных видов топлива; очистка и нейтрализация выхлопных газов [5, 16].

➤ **Первичные мероприятия.**

К совершенствованию конструкции двигателя относится - оптимизация смесеобразования; выбор рабочего объема и степени сжатия; учет уровня форсирования дизеля; выбор параметров воздушного заряда и системы охлаждения; оптимизация процесса топливоподачи; совершенствование систем воздухообеспечения, газораспределения, рециркуляции отработавших газов; применение системы очистки отработавших газов.

В настоящее время на удовлетворение потребностей современного судостроения ориентированы многие дизелестроительные фирмы, такие как MAN, MaK, Caterpillar, GME (США), Wartsila (Финляндия), Iveco (Италия), Mitsubishi, Daihatsu (Япония) и др. Крупные дизелестроительные

фирмы уже долгое время ведут разработки в области снижения эмиссии вредных веществ отработавших газов силовых установок морских судов.

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 [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].

Использование топливных присадок очень хорошо для повышения энергетических и эксплуатационных характеристик топлив, но значительно количественный состав выхлопных газов не меняется [5].

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  $SO_2$ .

Отечественные и зарубежные исследования [11, 12, 13, 14] 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

Биодизель – органическое топливо, производимое из маслянистых культур. Преимущества: практически не содержит серы, при его использовании уменьшаются выбросы в атмосферу сернистого ангидрида; в два раза снижается дымность газов, а концентрация CO, углеводородов и твердых частиц, особенно сажи, уменьшается на 25-50%. Недостатки: пониженная теплота сгорания, что приводит к снижению мощности двигателя на 5-16% и увеличению расхода топлива, при этом необходима частая замена топливных фильтров и проведение регламентных работ на форсунках вследствие закоксовывания распылителей; высокая вязкость, что приводит к ухудшению распыливания, смесеобразования и сгорания в дизеле и является причиной появления отложений на стенках камеры сгорания, быстрого выхода из строя двигателя, а так же жировых отложений в каналах топливной аппаратуры.

Наиболее инновационным способом сокращения количества выбросов оксидов серы является переход на бункеровку судов сжиженным природным газом. Из положительных сторон можно отметить возможность реализации больших объемов сжиженного природного газа с очень высокой прибылью, так как внутренняя цена на газ в России меньше, чем его цена для Европейского рынка примерно в три раза. Кроме того, суда, использующие газ в качестве топлива, соответствуют всем экологическим стандартам, определенным до 2025 года, а также имеют пони-

женный износ двигателя. Преимущества сжиженного природного газа: полностью исключены выбросы серы и твердых частиц; кардинально - на 80%, снижаются выбросы оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ); существенно - на 30% снижаются выбросы диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ); уменьшается абразивный износ топливной аппаратуры; значительные прогнозируемые запасы сырья. Недостатки: необходимость поддерживать низкую температуру в топливных емкостях; повышение топливных нагрузок и снижение надежности двигателя; большее значение коэффициента избытка воздуха, чем для жидких топлив.

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

➤ Вторичные методы.

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

Десульфуризация (сероочистка) отходящих газов занимает ключевое место в области охраны окружающей среды.

1. Десульфуризация дымовых газов морской водой. Самым простым способом удаления оксидов серы из отработавших газов является метод скруббирования с использованием морской воды [15].

2. Жидкофазные методы десульфуризации газов. 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]:

3. Смешанные (полусухие методы) десульфуризации газов:

- абсорбционно-термические методы. Сущность данных процессов заключается в тонком распылении высокоактивного абсорбента (суспензия тонкоизмельченной извести, раствор соды, раствор гидроксида натрия и другие.) в потоке горячего очищаемого газа. При этом наряду с очисткой газов от диоксида серы происходит полное испарение влаги из абсорбента за счет тепла дымовых газов. Часть воды переходит в твердую фазу в виде кристаллогидратов сульфата и сульфита кальция. Об-

разующиеся сухие соли отделяют в электрофилт্রে или рукавном филт্রে;

- абсорбционно-адсорбционные методы. Данные технологии отличаются от рассмотренных методов полусухой абсорбции дополнительной стадией, заключающейся в проведении сопутствующих  $\text{SO}_2$  примесей таких, как  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  [6].

4. Газофазные методы десульфуризации:

- термические (высокотемпературные);
- адсорбционные методы. Определяющими требованиями к твердым сорбентам (адсорбентам – оксиды металлов, перлит, миккулит и т.д.), применяемым в процессах десульфуризации дымовых газов, являются их прочностные характеристики и доступность;
- гетерогенно-каталитические методы заключаются в проведении каталитической реакции окисления  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$  с последующим поглощением триоксида серы водой с получением серной кислоты [6].

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  $\text{SO}_x$ .

Члены судоходного альянса за экологичное судоходство – Clean Shipping Alliance 2020 (CSA 2020), сформированного в прошлом году, положительно оценили новое исследование, посвященное использованию систем очистки выхлопных газов (скрубберов). В исследовании, опубликованном норвежской SINTEF (одной из крупнейших в Европе независимых исследовательских организаций), указывается, что использование на всех стадиях жизненного цикла обычного мазута вместе со скрубберными установками является оптимальным средством для глобального сокращения выбросов оксидов серы. В результатах исследований говорится о том, что 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 окислов 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.

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

Общепризнанно, что единственным путем, позволяющим кардинально снизить загрязнение атмосферы от оксидов серы, поступающих с отработавшими газами стационарных и транспортных дизельных и котельных установок, является оснащение их системами нейтрализации этих выбросов после выпуска из судовых энергоустановок.

Рассмотреть все возможные варианты системы очень сложно, тем более, что приоритеты, отдаваемые в судовых системах нейтрализации вредных выбросов, отличается от наземных транспортных систем. Если на наземных видах транспорта с дизельными двигателями, приоритет отдается очистке отработавших газов от сажи-стых частиц и продуктов неполного сгорания, то в судовых и стационарных – очистке от оксидов серы, оксидов азота и оксидов углерода, количество которых в отработавших газах дизельных установок этого типа преобладает по сравнению с другими выбросами [3].

Необходимо отметить, что в настоящее время существует достаточно большое количество способов и мер по решению проблемы выбросы оксидов серы. Это обстоятельство ставит судовладельцев перед непростым выбором

средств по достижению соответствия с 2020 г. новым требованием ИМО по ограничению содержания серы в используемом топливе. Выбор способа соответствия новым требованиям ИМО представляется сложной организационно-технической проблемой, требующей всестороннего анализа достаточно большого числа факторов влияния.

#### Литература

1. 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.
2. Голубев, И. Р. Окружающая среда и транспорт: учебн. пособие для вузов / И.Р. Голубев, Ю.В. Новиков. – М.: Транспорт, 1987. – 96 с.
3. Авдевин, Д.Е. Повышение экологической безопасности дизельных установок судов выбором рациональной технологии нейтрализации оксидов азота в отработавших газах [Электронный ресурс]: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05. – М.: РГБ, 2003 (Из фондов Российской Государственной Библиотеки). – 189 с.
4. Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй: учеб. для вузов / Г.Н. Абрамович – М.: Физматгиз, 1960. – 715 с.
5. Епихин А.И., Курьшев Г.А. Управление токсичностью выхлопов судовых двигателей// Материалы международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы текущего состояния транспортного комплекса. – Новосибирск, РИО ФГБОУ ВО "ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова", 2020.
6. 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 В.Н. Парамон. – Новосибирск, 1996. – 156 с.
7. Носков, А.С. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба / А.С. Носков, М.А. Савинкина, Л.Я. Анищенко. – Новосибирск, 1990. – 184 с.
8. Нунупаров, С.М. Предотвращение загрязнения моря с судов: учебное пособие для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 288 с.
9. 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.
10. Мельник Г.В. Вопросы экологии на конгрессе СИМАС-2007 // Двигателестроение. – 2007. – № 4. – С. 45-50.
11. Гусаков С.В. Перспективы применения в дизелях альтернативных топлив из возобновляемых

источников: учебное пособие. – М.: РУДН, 2008. – 288 с.

12. Марков В.А., Папрыхальцев Н.Н. Спиртовые топлива для дизельных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – №1. – С. 22-27.
13. 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.
14. Топливо и топливные системы судовых дизелей/ Ю.А. Пахомов, Ю.П. Коробков, Е.В. Дмитриевский, Г.Л. Васильев; под редакцией канд. техн. наук Ю.А. Пахомова. – М.: РКонсульт, 2004. – 496 с.: ил.
15. Раевски, П. Снижение уровня эмиссии оксидов серы на судах морского флота. // Двигателестроение. – 2007. – №1. – С. 43-45.
16. 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).

#### REFERENCES

1. Shchhavelev, D.V. Razrabotka sistemy ochistki otrabotavshih gazov sudovyh dizelej i s ispol'zovaniem zhidkostnyh kontaktnykh apparatov: [Elektronnyj resurs]: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.03.05. – М.: RGB, 2005 (Iz fondov Rossijskoj Gosudarstvennoj biblioteki), 162 s.
2. Golubev, I. R. Okruzhayushchaya sreda i transport: uchebn. posobie dlya vuzov / I.R. Golubev, YU.V. Novikov. – М.: Transport, 1987. – 96 s.
3. Avdevin, D.E. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti dizel'nyh ustanovok sudov vyborom racional'noj tekhnologii nejtralizacii oksidov azota v otrabotavshih gazah [Elektronnyj resurs]: Dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.05. – М.: RGB, 2003 (Iz fondov Rossijskoj Gosudarstvennoj Biblioteki). – 189 s.
4. Abramovich, G.N. Teoriya turbulentnyh struj: ucheb. dlya vuzov / G.N. Abramovich – М.: Fizmatgiz, 1960. – 715s.
5. Epihin A.I., Kurylev G.A. Upravlenie toksichnost'yu vyhlopov sudovyh dvigatelej// Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Kompleksnye problemy tekushchego

sostoyaniya transportnogo kompleksa. - Novorossiysk, RIO FGBOU VO "GMU imeni admiral F.F. Ushakova", 2020 g.

6. 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. Borekova; Otv. redaktor chl.-kor. RAN V.N. Paramon. – Novosibirsk, 1996. – 156 s.
7. Noskov, A.S. Vozdejstvie TES na okruzhayushchuyu sredu i sposoby snizheniya nanosimogo ushcherba / A.S. Noskov, M.A. Savinkina, L.YA. Anishchenko. – Novosibirsk, 1990. – 184 s.
8. Nunuparov, S.M. Predotvrashchenie zagryaznenie morya s sudov. Uchebnoe posobie dlya vuzov. М.: Transport, 1985. – 288 s.
9. 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.
10. Mel'nik G.V. Voprosy ekologii na kongresse CI-MAC-2007 // Dvigatelsestroenie. - 2007. - № 4. - S. 45–50.
11. Gusakov S.V. Perspektivy primeneniya v dizelyah al'ternativnyh topliv iz vozobnovlyaemyh istochnikov: Uchebnoe posobie. - М.: RUDN, 2008. - 288s.
12. Markov V.A., Patrahal'cev N.N. Spirtovye topliva dlya dizel'nyh dvigatelej // Transport na al'ternativnom toplive. - 2010. - №1. - s. 22-27.
13. 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.
14. Topливо 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. - М.: RKonsul't, 2004. - 496 s.
15. Raevski, P. Snizhenie urovnya emissii oksidov sery na sudah morskogo flota. // Dvigatelsestroenie, 2007, №1. – S. 43-45.
16. Epihin A.I., Hudyakov S.A. Prakticheskie osobennosti modernizacii toplivnyh sistem i dvigatelej sudov portovogo flota dlya ispol'zovaniya spg v kachestve topliva. //Ekspluataciya morskogo transporta 2020. – №2(91)

УДК 629.5.015

DOI: 10.34046/aumsuomt95/16

## МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*С.А. Худяков, доктор технических наук, профессор*

*М.М. Фролов, кандидат технических наук*

Опыт эксплуатации судовых малооборотных дизелей с электронным управлением свидетельствует о том, что со временем появляются повреждения и отказы, связанные с естественными износами пар трения, особенно прецизионных, в силовой гидравлической системе, топливных насосах высокого давления и форсунках, а также выпускных клапанах с гидравлическим приводом. Дизелестроители судовых дизелей для повышения ресурсов указанных деталей широко используют новые более износостойкие и