

ВЕСТНИК

**МОРСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА**

Серия

Судостроение и судоремонт

Вып. 83 / 2018

УДК 629.5.083.5(06)

Вестник Морского государственного университета. Серия : Судостроение и судоремонт [Текст] : сб. науч. тр. – Вып. 83/2018. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – 153 с.

ISBN 978-5-8343-1113-3

Настоящий выпуск научных трудов Морского государственного университета имени адмирала Г. И. Невельского представляет собой сборник статей преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов по результатам научных исследований, связанных с

- оценкой эффективности способов очистки деталей топливной аппаратуры судовых ДВС;
- исследованием структуры и износостойких покрытий из самофлюсующихся порошковых сплавов на основе никеля;
- исследованиями по регенерации моторного мала и повышению эффективности системы смазки судовых дизелей.

Рассмотренные вопросы представляют научный и практический интерес для инженерно-технических работников судоремонтных предприятий, пароходств, проектно-конструкторских организаций, баз технического обслуживания, а также для преподавателей, аспирантов, курсантов и студентов университета.

Редакционная коллегия:

- С. В. Ворохобин, к.т.н., доцент (отв. ред.);
- А. В. Арон, к.т.н., доцент;
- Г. П. Кича, д.т.н., профессор;
- Л. Б. Леонтьев, д.т.н., профессор;
- В. В. Тарасов, к.т.н., профессор;
- Е. П. Патенкова, к.т.н., доцент (отв. секретарь).

ISBN 978-5-8343-1113-3

© Морской государственный университет
имени адмирала Г. И. Невельского, 2018

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ «КУРС»
В ПРЕПОДАВАНИИ ДИСЦИПЛИН «ТЕХНОЛОГИЯ СУДОРЕМОНТА»
И «ТЕХНОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
И РЕМОНТА СУДОВ»

Развитие информационных технологий и расширение технических возможностей, появление новых разработок и их тесное вхождение в нашу повседневную жизнь обязывает преподавателей и создателей образовательных программ учитывать все это в своей работе, в том числе и для повышения интереса студентов к процессу обучения.

В современную жизнь прочно вошло электронное обучение. По определению ЮНЕСКО: «e-learning – обучение с помощью Интернета и мультимедиа». Впервые термин elearning (электронное обучение) был употреблен в октябре 1999 г. в Лос-Анджелесе на семинаре SVT Systems.

Электронное обучение или e-learning – общее обозначение, используемое для описания широкого диапазона применяемых электронных технологий (телевидение, радио, компакт-диск, сотовый телефон, Интернет и т. д.) в образовании с особым акцентом на обучение через Интернет.

В связи с тем, что использование дистанционных технологий стало необходимостью как для образовательных структур, так и для российских потребителей, в декабре 2002 г. Министерством образования была утверждена «Методика применения дистанционных образовательных технологий (дистанционного обучения) в учреждениях высшего, среднего и дополнительного профессионального образования в РФ». В январе 2003 г. подписан закон «О внесении изменений и дополнений в Закон РФ «Об образовании» и Федеральный закон «О высшем и послевузовском профессиональном образовании», где дистанционные технологии получили юридическое признание.

E-learning вначале зарождался как система поддержки дистанционного образования. Глобальная сеть являлась тогда единственным коммуникативным средством между студентом и вузом, поэтому сегодня многие называют электронное обучение дистанционным. Но надо иметь в виду, что e-learning не просто удаленное получение знаний. Оно предполагает использование учебного материала и обязательное общение студента и преподавателя через Интернет (как в форме видеоконференции в режиме on-line, так и интерактивным способом). Электронное образование – это возможность смешанного обучения (объединяющего очный и виртуальный сценарии), которое стало основной формой взаимодействия преподавателя и студента. В данном случае присутствует электронная компонента образования (компьютер, Интернет, информационные технологии) и то, что непосредственно поддерживается общением человека с человеком.

28.02.2012 г. введён закон Российской Федерации № 11-ФЗ «О внесении изменений в закон «Об образовании» в части применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий». Тем самым названные методы обучения узаконены наряду с традиционными.

Согласно требованиям к условиям реализации программы федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС) «каждый обучающийся в течение всего периода обучения должен быть обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к одной или нескольким электронно-библиотечным системам (электронным библиотекам) и к электронной информационно-образовательной среде организации. Электронно-библиотечная система (электронная библиотека) и электронная информационно-образовательная среда должны обеспечивать возможность доступа обучающегося из любой точки, в которой имеется доступ к информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», как на территории организации, так и вне её».

В соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 23.08.2017 № 816 «Об утверждении порядка применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционных образовательных технологий при реализации образовательных программ». Организации, осуществляющие образовательную деятельность, реализуют образовательные программы или их части с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий в предусмотренных Федеральным законом от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» формах обучения или при их сочетании, при проведении учебных занятий, практик, текущего контроля успеваемости, промежуточной, итоговой и (или) государственной итоговой аттестации обучающихся».

На основании вышеуказанных нормативных документов решением ученого совета МГУ им. адм. Г. И. Невельского, протокол от 22.05.2017 № 10 утверждено «Положение об организации образовательного процесса с применением электронного обучения, дистанционных образовательных технологий».

Когда речь идет об электронном обучении, предполагается, что учебный материал будет размещён в системе электронного обучения (на английском – Learning Management System – LMS). Она представляет собой программный продукт. Доступ в систему обучения осуществляется через интернет или по локальной сети, в свободном режиме или с авторизацией пользователей – по логину и паролю. Чаще всего для доступа в систему обучения используется интернет-браузер. Преподаватель размещает учебный материал, создает тесты с использованием встроенной системы тестирования учащихся. После этого, каждому пользователю предоставляется свой набор дисциплин для изучения. Результаты учебного процесса анализирует преподаватель, формируя ответы и просматривая результаты тестирования.

Система электронного обучения предоставляет такие возможности:

- Структурирование учебного материала по дисциплинам и курсам.
- Каждому учащемуся предоставляется свой набор дисциплин и курсов.
- Встроенный механизм тестирования позволяет проверить усвоенные знания.

- Возможность отслеживать активность учащихся. Например, если в отчетах видно, что учащийся, смотрел учебный ролик 15 минут, а длительность ролика составляет полчаса, это значит, что он не ознакомился с ним полностью.

- Удобный анализ результатов обучения – система электронного обучения позволяет преподавателю сформировать отчёты по тестированию учащихся.

- Как правило, система обучения также хранит историю учебного процесса каждого учащегося и позволяет удобно конвертировать её в таблицы Excel или в pdf-документ.

Таким образом, используя систему обучения главное преимущество, которое вы получаете – «обратная связь». Теперь вы можете сказать точно, насколько хорошо учащиеся усвоили учебный материал, а также подкорректировать учебный процесс.

В настоящее время существует большое количество систем для реализации электронного обучения в образовательных учреждениях как отечественных, так и зарубежных.

В МГУ им. адм. Г. И. Невельского система электронного обучения «Курс» реализована на базе LMS Moodle.

LMS Moodle – модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая среда, разработанная в Австралии.

Система позволяет создавать огромное количество образовательных элементов и ресурсов, поэтому курсы в Moodle – это не просто набор лекций и заданий. Курс в системе Moodle, созданный опытным преподавателем, выглядит как структура из дополняющих друг друга элементов, которые различаются по своему виду и назначению.

Помимо стандартных элементов обучения, таких как лекции, задания и тесты, в системе Moodle используются – глоссарий, вики, блоги, форумы, практикумы, которые помогают разнообразить процесс обучения.

Система Moodle предоставляет удобные средства контроля успеваемости студентов. Moodle создает и хранит информацию каждого учащегося: все сданные им работы, оценки и комментарии преподавателя, сообщения в форуме. Позволяет контролировать «посещаемость» – активность студентов, время их учебной работы в сети. В итоге, преподаватель может собирать статистику по студентам: просмотренные материалы лекций, выполненные домашние задания, успеваемость по тестам и т. д. Таким образом, легко понять, насколько студенты разобрались в теме, и с учётом этого предложить материал для дальнейшего изучения.

На основании вышесказанного в 2017/2018 учебном году в системе электронного обучения на базе LMS Moodle были разработаны и внедрены в учебный процесс курсы по дисциплинам «Технология судоремонта» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.01 «Машиностроение» и 26.03.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры» и «Технология технического обслуживания и ремонта судов» для курсантов, обучающихся по специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок». Структура курса показана на рис. 1.

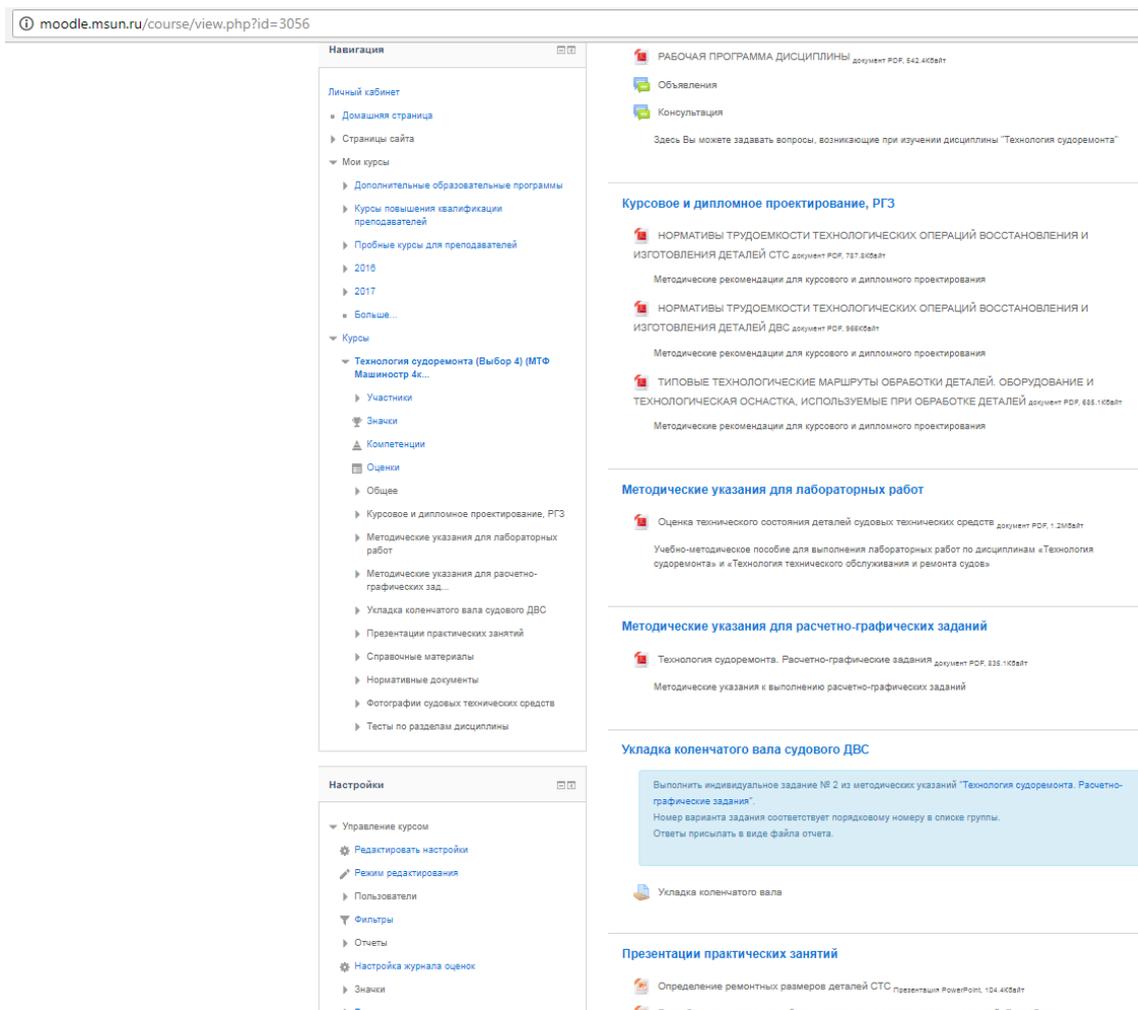


Рис. 1. Структура электронного курса по дисциплине «Технология судоремонта»

Структура данных электронных курсов включает в себя учебно-методическую литературу в pdf-формате, справочную информацию, гиперссылки на нормативную документацию и т. д. Имеются форумы «Объявления» и «Консультация», которые позволяют осуществлять общение со студентами в online-режиме. При появлении новых тем на форумах все участники курса (студенты и преподаватель) получают оповещение по электронной почте.

Особое внимание уделено тестированию для текущего контроля знаний по разделам дисциплин. Тесты имеют гибкие режимы настроек, которые определяет преподаватель.

В данных курсах тесты имеют ограничение по времени (10 мин.) и количеству попыток (1 попытка). После проведения тестирования у преподавателя имеется возможность не только просмотреть результаты тестирования группы (рис. 2) и теста конкретного обучающегося (рис. 3), но и усвоение материала по разделу в целом по группе (рис. 4).

	Фамилия / Имя	Адрес электронной почты	Состояние	Тест		Затраченное время	Оценка/10	/1	/1	/1	/1	/1	/1	/1
				начат	Завершено									
<input type="checkbox"/>	 Товстолес Алексей Андреевич Просмотр попытки	tovstoles96@mail.ru	Завершённые	23 Апрель 2018 09:06	23 Апрель 2018 09:11	5 мин. 39 сек.	8	✗ 0	✓ 1	✗ 0	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1
<input type="checkbox"/>	 Тю Дао Шон Линь Просмотр попытки	sonlinhchu@gmail.com	Завершённые	23 Апрель 2018 09:12	23 Апрель 2018 09:22	9 мин. 59 сек.	8	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✗ 0	✓ 1	✓ 1
<input type="checkbox"/>	 Кочнев Родион Константинович Просмотр попытки	orhan.96@mail.ru	Завершённые	23 Апрель 2018 09:14	23 Апрель 2018 09:17	3 мин. 25 сек.	7	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✗ 0	✗ 0	✓ 1
<input type="checkbox"/>	 Макаров Владислав Вениаминович Просмотр попытки	vlad.vladmak@mail.ru	Завершённые	23 Апрель 2018 09:19	23 Апрель 2018 09:28	9 мин. 23 сек.	8	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✗ 0
<input type="checkbox"/>	 Акалелов Тихон Александрович Просмотр попытки	akalelov@gmail.com	Завершённые	23 Апрель 2018 09:19	23 Апрель 2018 09:24	4 мин. 33 сек.	9	✓ 1	✓ 1	✗ 0	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1
<input type="checkbox"/>	 Шелепов Даниил Дмитриевич Просмотр попытки	shelepov-2018@mail.ru	Завершённые	23 Апрель 2018 09:25	23 Апрель 2018 09:34	9 мин. 34 сек.	5	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✗ 0	✓ 1	✗ 0
<input type="checkbox"/>	 Герций Аркадий Андреевич Просмотр попытки	djchaos4100@mail.ru	Завершённые	23 Апрель 2018 09:26	23 Апрель 2018 09:30	4 мин. 15 сек.	9	✓ 1	✗ 0	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1
<input type="checkbox"/>	 Хоанг Тьунг Чонг Просмотр попытки	hoangtrongchung2791995@gmail.com	Завершённые	23 Апрель 2018 09:32	23 Апрель 2018 09:38	5 мин. 50 сек.	7	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✓ 1	✗ 0	✗ 0
<input type="checkbox"/>	 Курушин Алексей Сергеевич Просмотр попытки	lexa95_20@bk.ru	Завершённые	23 Апрель 2018 09:35	23 Апрель 2018 09:44	9 мин. 1 сек.	6	✓ 1	✗ 0	✗ 0	✓ 1	✓ 1	✗ 0	✓ 1

Рис. 2. Результаты тестирования по группе

В настоящее время в университете разрабатываются локальные нормативные документы по использованию системы электронного обучения «КУРС» не только для преподавания дисциплин, но и для контроля остаточных знаний обучающихся.

Навигация по тесту

1 2 3 4 5 6 7
 8 9 10

Показать одну страницу
Закончить обзор

Навигация

Личный кабинет

- Домашняя страница
- ▶ Страницы сайта
- ▼ Мои курсы
 - ▶ Дополнительные образовательные программы
 - ▶ Курсы повышения квалификации преподавателей
 - ▶ Пробные курсы для преподавателей
 - ▶ 2016
 - ▼ 2017
 - ▶ ФЗДО
 - ▼ Специалитет
 - ▼ Эксплуатация судовых энергетических установок
 - ▼ 4 курс
 - ▼ Технология технического


Королев Александр Владимирович

Тест начат	Понедельник, 23 Апрель 2018, 10:50
Состояние	Завершённые
Завершен	Понедельник, 23 Апрель 2018, 10:59
Прошло времени	9 мин. 10 сек.
Оценка	7 из 10 (70%)

Вопрос 1

Верно

Баллов: 1 из 1

✎ Редактировать вопрос

При наличии повреждений поршневых колец ДВС (изнашивание, коробление, потеря упругих свойств):

Выберите один ответ:

- a. поршневые кольца подвергаются термической обработке
- b. поршневые кольца наплавляют
- c. повреждения устраняют в процессе заводского ремонта
- d. поршневые кольца заменяют ✓

Правильный ответ: поршневые кольца заменяют

Оставить комментарий или переопределить балл

История ответов

Шаг	Время	Действие	Состояние	Баллы
1	23/04/18, 10:50	Начало	Пока нет ответа	
2	23/04/18, 10:50	Сохранено: поршневые кольца заменяют	Ответ сохранен	
3	23/04/18, 10:59	Попытка завершена	Верно	1

Вопрос 2

Верно

Баллов: 1 из 1

Срок представления судовладельцем заводу ремонтных ведомостей до постановки судна в доковый ремонт:

Выберите один ответ:

- a. за 10 суток ✓

Рис. 3. История ответов на тест конкретным студентом

График количества студентов, получивших оценки в диапазонах.

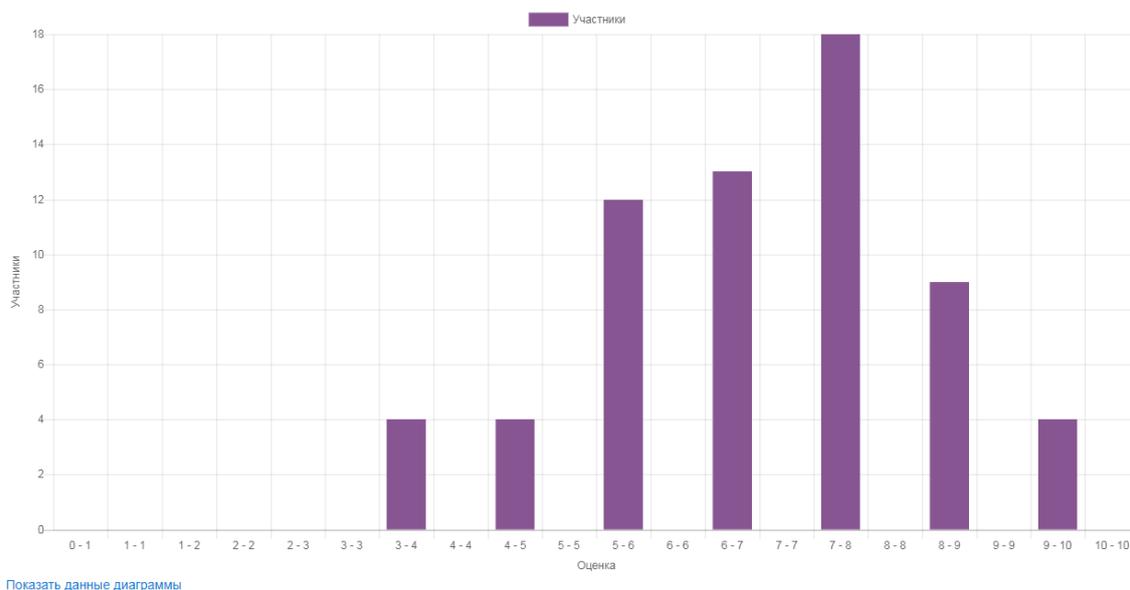


Рис. 4. График оценок по результатам тестирования

Список литературы

1. Асадуллина Л. И. Компетенции преподавателя вуза в смешанном обучении / Л. И. Асадуллина, И. Р. Дусеев // Молодой учёный. – 2015. – № 10. – С. 1086–1088.

2. Сергеев А. Г. Введение в электронное обучение : монография / А. Г. Сергеев, И. Е. Жигалов, В. В. Баландина : Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2012. – 182 с.

3. Официальный сайт Moodle. – Режим доступа : <https://moodle.org>. – Заглавие с экрана.

4. Электронное обучение: плюсы и минусы внедрения. – Режим доступа : <https://www.gd.ru/articles/9328-elektronnoe-obuchenie>. – Заглавие с экрана.

УДК 621.879:629.5.083.5

А. В. Арон, В. А. Васильченко

ОПОРНОЕ УСТРОЙСТВО КРАНА

Конструкция относится к кранам с поворотной платформой, предназначенным для выполнения грузовых работ в доке с винто-рулевым комплексом судна, которые должны отвечать целому ряду требований по грузоподъемности, устойчивости, экономичности и габаритам.

Таким требованиям отвечают различные существующие технические средства (устройства) докового комплекса для монтажа и демонтажа гребных винтов, рулей. Однако они не могут в достаточной степени обеспечить выполнение важнейшей функции грузоподъемного средства – экономную укладку груза (например, гребного винта судна) на стапель-палубу дока, для производства ремонтных работ, а именно:

– привлечение же для этих целей сторонних плавкранов приводит к значительным финансовым затратам, потере времени в ожидании крана и на само выполнение работ;

– использование известных кранов с поворотной платформой в доке, имеющего, как известно, ограниченный полезный объем внутреннего пространства, ограничено, вернее, невозможно из-за значительных габаритов, возрастающих при работе за счёт вылета выносных опор, большого веса конструкций рабочих элементов крана и противовесов [1, 2, 3].

Предлагаемая конструкция направлена на устранение указанных недостатков, т. е. создание такого опорного устройства крана, на основе которого можно создать малогабаритный устойчивый и экономичный при работе кран, сравнительно высокой грузоподъемности, пригодный для использования в естественных условиях дока для снятия и укладки на стапель-палубу дока винтов и рулей судов. В конечном итоге задачей является расширение функциональных возможностей крана при использовании его на стапель-палубе дока.

Особенностью предлагаемого опорного устройства крана является то, что с целью расширения функциональных возможностей крана при использовании его в работе на стапель-палубе дока, выдвигная балка крана закрепляется к кильблоку, причём за его верхнюю металлическую полку.

На рис. 1 изображена предлагаемая конструкция опорного устройства крана.

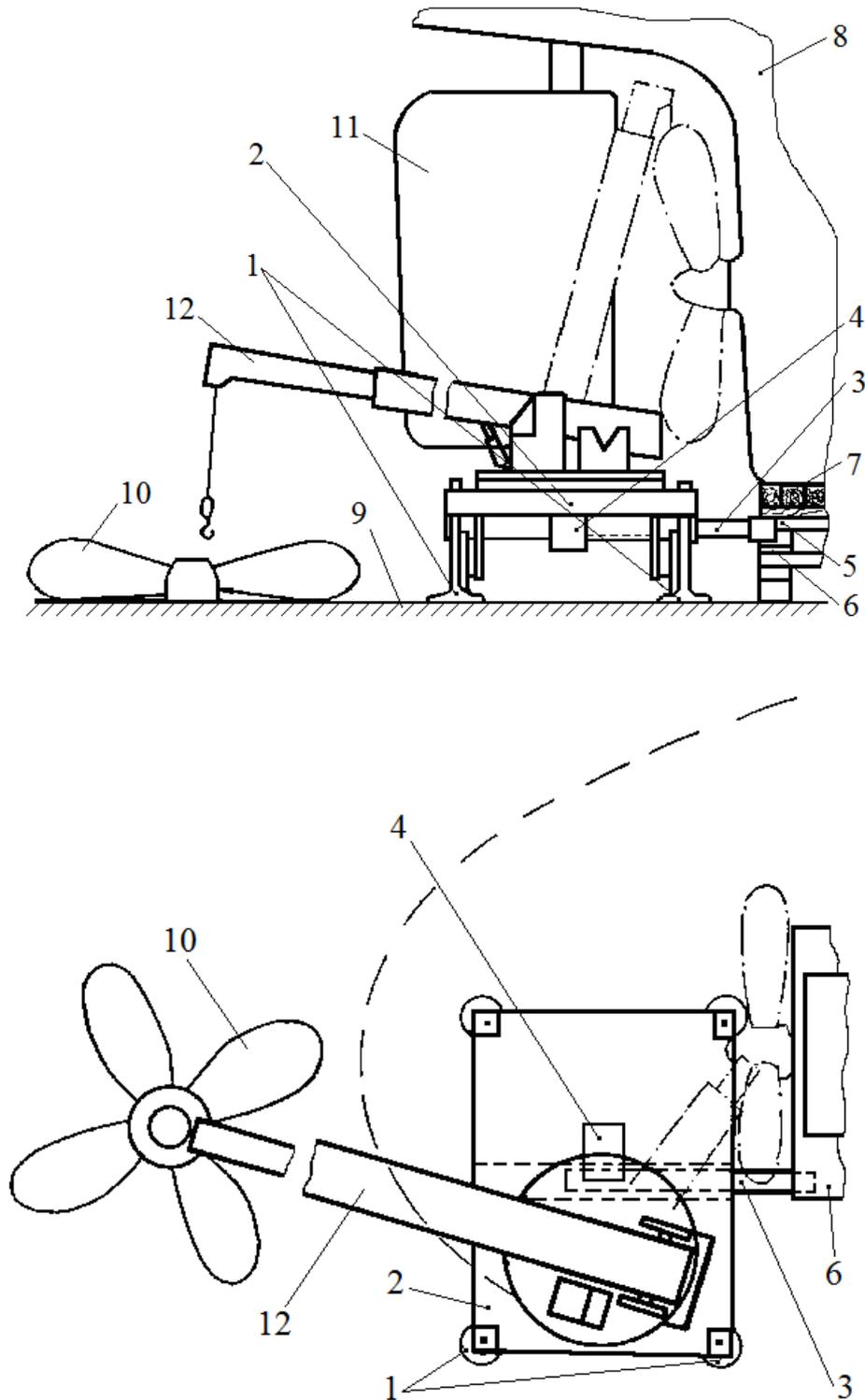


Рис. 1. Опорное устройство крана

Опорное устройство крана содержит стационарные опоры 1, установленные непосредственно под рамой 2 (под угловыми частями рамы), выдвижную балку 3, смонтированную в средней части рамы 2 крана с механизмом выдвижения балки 4. Опоры 1 предназначены как для разгрузки колес крана (не показаны), так и для повышения его устойчивости при работе с грузом и могут быть выполнены в виде, например домкрата (не показано).

Выдвижная балка 3, предназначенная для восприятия значительных нагрузок, закреплена за верхнюю металлическую полку 5 кильблока 6, на которой находится деревянный набор 7 кильблока. На деревянный набор 7 кильблоков 6 килевой дорожки (не показана) устанавливается судно 8 при доковании.

Первоначально кран, размещённый непосредственно на стапель-палубе 9, перед началом грузовых работ, например, с винто-рулевым комплексом 10, устанавливают поперёк килевой дорожки кильблоков (на которой установлено судно 8) так, чтобы средняя часть его рамы 2 находилась напротив кормового кильблока 6. С помощью механизма выдвижения балки 4 заводят конец выдвижной балки 3 под верхнюю металлическую полку 5 кормового кильблока 6 и крепят к ней. Для удобства крепления выдвижной балки 3 крана, при необходимости, верхние металлические полки кормового кильблока наращивают по ширине (например, приваркой пластин) в обе стороны (не показано). После этого устанавливают стационарные опоры 1 крана (опускают башмаки), разгружая колеса крана.

Перенос с судна 8 на стапель-палубу 9 дока, демонтированного ранее винта 10 (или руля 11), в секторе вылета выдвижной балки 3, производят с минимальным вылетом стрелы 12 крана, что продиктовано, как правило, стеснёнными условиями дока. При этом возникающий опрокидывающий момент от груза минимален и компенсируется парой стационарных опор 1, установленных под рамой 2 крана со стороны выдвижной балки 3. При переносе груза в секторе противоположном по расположению выдвижной балки 3, когда вылет стрелы 12 увеличивается до максимального, необходимый для укладки груза, и резко возрастает момент опрокидывания, опрокидывавший момент компенсируется парой стационарных опор 1, установленных под рамой крана с противоположной стороны выдвижной балки 3, а также удерживающим моментом реакции опоры соединения выдвижной балки 3 с кильблоком 6, на котором установлено судно 8. Поскольку вес судна несоизмеримо больше веса груза (винта, руля) устройство гарантирует устойчивость грузоподъёмного средства при работе с грузом на максимальном вылете стрелы. При этом, все работы, выполняемые внутри закрытого докового пространства, производят независимо от силы ветра за пределами дока.

Преимуществом предлагаемой конструкции по сравнению с традиционными решениями является реализованная в конструкции опорного устройства крана возможность компенсировать опрокидывающий момент значительной величины, что достигается путём заведения единственной выдвижной

балки устройства под верхнюю металлическую полку кормового кильблока килевой дорожки и крепления к нему. Такая возможность позволяет проектировать и использовать кран с поворотной платформой с минимальными габаритами, без противовеса, без выносных опор, т. е. позволяет работать крану в стеснённых условиях дока и обеспечивает его всепогодность и экономичность использования. Это, в свою очередь, даёт возможность отказаться от использования в работах с винто-рулевым комплексом судна дорогостоящего плавкрана, сократить время стоянки судов в доке.

Список литературы

1. А. с. 503812 СССР, М. Кл.² В 66 С 23/78. Опорное устройство грузоподъемной машины / В. И. Папазов, В. Т. Пенчук, В. Т. Лагутин, Н. П. Шестак : заявитель и патентообладатель Макеевский инженерно-строительный ин-т. – № 2021343/27–11 ; заявл. 26.04.1974 ; опубл. 25.02.1976. – Бюл. № 7. – 2 с.

2. А. с. 376317 СССР, М. Кл.² В 66 С 23/78. Опорное устройство грузоподъемной машины / А. З. Кричевский : заявитель и патентообладатель Всесоюзный ин-т по проектированию организации энергетического строительства «ОРГЭНЕРГОСТРОЙ». – № 1639419/27–11 ; заявл. 26.03.1971 ; опубл. 05.04.1973. – Бюл. № 17. – 2 с.

3. А. с. 650964 СССР, М. Кл.² В 66 С 23/78. Опорное устройство грузоподъемного средства / В. М. Колисниченко : заявитель и патентообладатель Колисниченко В. М. – № 2381258/29–11 ; заявл. 01.07.1979 ; опубл. 05.03.1979. – Бюл. № 9. – 3 с.

УДК 62-121 : 621.316.7

И. И. Кулешов, И. И. Чернаткин

СИСТЕМА УЧЁТА ДАННЫХ О РАСХОДЕ ТОПЛИВА

Введение

В соответствии с Правилom 22 Приложения VI МК МАРПОЛ [1] на каждом судне валовой вместимостью 400 и более, за исключением платформ и любых несамоходных судов, приведённых в Правиле 19 Приложения VI [1], должен быть и поддерживаться судовой план управления энергоэффективностью (Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)), который разрабатывается на основании Руководства 2016 по разработке SEEMP, приведённого в резолюции МЕРС.282(70).

С принятием резолюции МЕРС.278(70) в Правило 22 Приложения VI [1] вводится ряд изменений. Одно из них касается SEEMP. Вводится новый пункт 2, в котором указано, что в данном пункте должны быть описаны методологии, которые будут использоваться для сбора данных по расходу топлива, а также процедуры для предоставления данных Администрации судна. Также введено новое правило 22А, в котором отмечено, что, начиная с 2019 календарного года, каждое судно валовой вместимостью более 5000 и более, на котором требуется наличие SEEMP, должно обеспечить сбор данных

по расходу топлива судном, пройденному расстоянию относительно берега и времени нахождения в пути, используя методы и процедуры, указанные в SEEMP. Собранные данные должны быть переданы в виде обобщённого отчёта (в соответствии с дополнением X резолюции МЕРС.282(70)) в Администрацию или признанную организацию. Полученные Администрацией или признанной организацией данные должны быть проверены в соответствии с процедурами, разработанными с учётом Руководства 2017 г. (резолюция МЕРС.292(71)). При условии удовлетворительных результатов на судно должно выдаваться Удостоверение, касающееся расхода судового топлива (Дополнение X резолюции МЕРС.278(70)) [2].

Системы контроля расхода топлива и мониторинга судна

С введением в силу резолюции МЕРС.278(70) перед судовладельцами, суда которых не имели системы мониторинга расхода топлива, остро встала проблема дооборудования топливных систем комплексами, позволяющими контролировать расход топлива. Данный вопрос является весьма интересным со стороны разработки проекта дооборудования существующей топливной системы новыми техническими решениями. Так, например, при проектировании следует учитывать ряд эксплуатационных факторов, влияние которых имеет прямое отношение на снижение количества топлива, подаваемое от цистерны до потребителя. К таким факторам можно отнести некоторые, приведённые ниже:

- потеря топлива при протечках в системе;
- потеря топлива при его сепарации.

В связи с возможными потерями топлива в систему должны быть вмонтированы несколько измеряющих устройств для фиксации количества топлива, проходящего на конкретные потребители. Также важно отметить, что требуемые к установке системы должны быть снабжены системами связи, позволяющими выполнять передачу собранной информации от нескольких устройств на различных режимах работы потребителя. Также требуется устройство, предусмотренное в устанавливаемой системе, позволяющее определить местоположение судна. Отсюда можно сделать вывод, что устанавливаемые на судах системы контроля расхода топлива и мониторинга судна должны состоять из следующих компонентов:

- электронная система учёта и контроля (может включать персональный компьютер с установленным программным обеспечением, позволяющим фиксировать информацию от устройств замера расхода);
- GPS/GSM антенны для передачи данных;
- устройства измерения расхода топлива (расходомеры);
- электрооборудование (соединительные кабели, трансформаторы);
- сопутствующая путевая арматура (запорные клапана, байпасы (обводные каналы), межфланцевый прокладочный материал, гибкие соединения (при необходимости)).

Немаловажным является и то, что в период разработки проекта дооборудования необходимо учесть то, что для установки на судах под наблюдением морского/речного Регистра судоходства (РС) ряда компонентов, на последние требуется наличие сертификата Регистра об одобрении изделия.

Для определения объектов наблюдения следует руководствоваться Приложением 1 [3]. Так, для установки на судах, следующие изделия должны иметь сертификаты РС (если таковые имеют место в проекте):

- устройство антенное (код номенклатуры 04070000);
- оборудование спутниковой связи (код номенклатуры 04090000);
- гибкие соединения (код номенклатуры 08030600);
- расходомеры и счётчики расхода (код номенклатуры 08031270);
- прокладочный межфланцевый материал (код номенклатуры 08120000МК);
- трансформаторы силовые (код номенклатуры 11030100);
- кабели и провода (код номенклатуры 1130100);
- устройства регистрации (код номенклатуры 15090400).
- приборы дистанционные контрольно-измерительные (код номенклатуры 15130000).

Помимо вышеперечисленных нюансов, при разработке проекта дооборудования топливной системы рассматриваемого комплекса необходимо учитывать также и то, что написано в правилах классификации и постройки морских судов, а так же материалом какого года следует руководствоваться. Так в пункте 1.3.3 [4] определено, что к судам в эксплуатации применяются «требования той редакции правил, по которой они были построены, если в последующих изданиях правил не указано иное». Также в данном пункте в подпункте 1.3.3.3 [4] указано, что «при переоборудовании применимость вновь изданных правил устанавливается Регистром с учётом целесообразности и технической обоснованности в каждом конкретном случае». Топливная система является наиболее ответственной системой ввиду назначения системы, а также типа рабочей среды системы. Данная система предназначена для обеспечения силовой установки топливом. В тоже время система представляет значительную степень пожароопасности ввиду свойств перекачиваемой жидкости. Отсюда представляется целесообразным и обоснованным применять к проекту дооборудования топливной системы требования правил Регистра, актуальных на момент выполнения проекта.

Так как система мониторинга является дополнением к существующей системе, необходимо определить, в каких местах следует устанавливать контрольно-измерительные приборы.

Для примера рассмотрим две системы, разработанные организациями, специализирующимися на проектировании судовых технических средств.

Система I

Система I разработана отечественной организацией. Суда, для которых разрабатывалась система мониторинга, имели на борту один главный двигатель, три вспомогательных, а также вспомогательный паровой котёл и аварийный дизель-генератор. Схема установки расходомеров топлива главного двигателя показана на рис. 1.

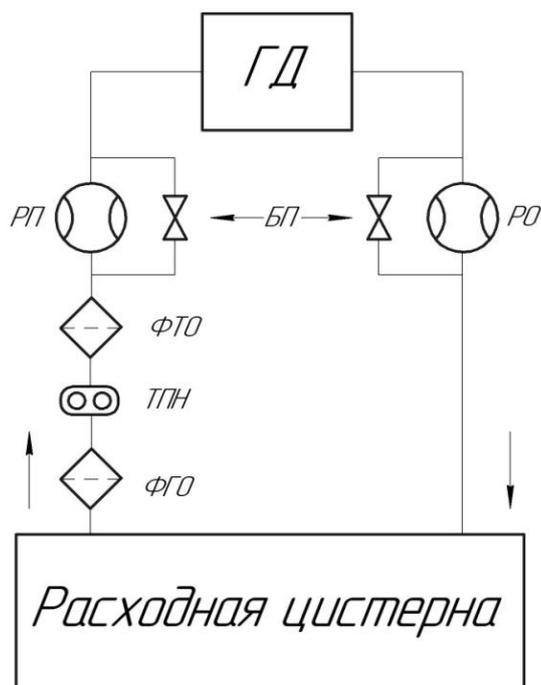


Рис. 1. Схема установки расходомеров главного двигателя:
 ГД – главный двигатель; БП – байпас; РП – расходомер «Подача»;
 РО – расходомер «Обратка»; ФТО – фильтр тонкой очистки;
 ФГО – фильтр грубой очистки; ТПН – топливоподкачивающий насос

В топливной системе главного двигателя устанавливаются расходомеры типа Contoil VZO-20.

В соответствии с правилом 4.1.3.3, главы 4 [5] «контрольно-измерительные приборы в топливных системах должны оборудоваться клапанами и кранами с целью отсечки этих приборов от трубопроводов», также в соответствии с правилом 13.2.5, главы 13 [5] расходомеры и иные приборы учёта, установленные в системе топлива должны быть оборудованы обводными трубопроводами и соответствующей запорной арматурой для обеспечения ремонта и обслуживания приборов без прекращения работы двигателей внутреннего сгорания (котлов). На схеме (рис. 1) можно заметить, что данная спроектированная система учёта расхода топлива главного двигателя не соответствует требованиям правил 4.1.3.3 и 13.2.5. Однако в техническом описании расходомеров указано, что данная контрольно-измерительная аппаратура не нуждается в обслуживании и ремонте, а в случае повреждения, подлежит замене. Ввиду этого, при необходимости, при отключении расходомера от системы, предусмотрены металлические заглушки, соответствующие номинальному диаметру трубопроводов. С учётом вышеизложенного было разрешено отступление от приведённых правил.

Система учёта расхода топлива вспомогательного котла полностью соответствует системе учёта главного двигателя.

В схеме установки расходомеров вспомогательных дизель-генераторов и аварийного дизель-генератора (рис. 2) можно отметить введение в систему

гибких соединений. Выше в работе отмечалось, что гибкие соединения должны быть одобренного типа, т. е. иметь при установке на судне сертификаты РС. В данных системах установлены расходомеры типа Contoil-VZO-15 и Contoil DFM-12.

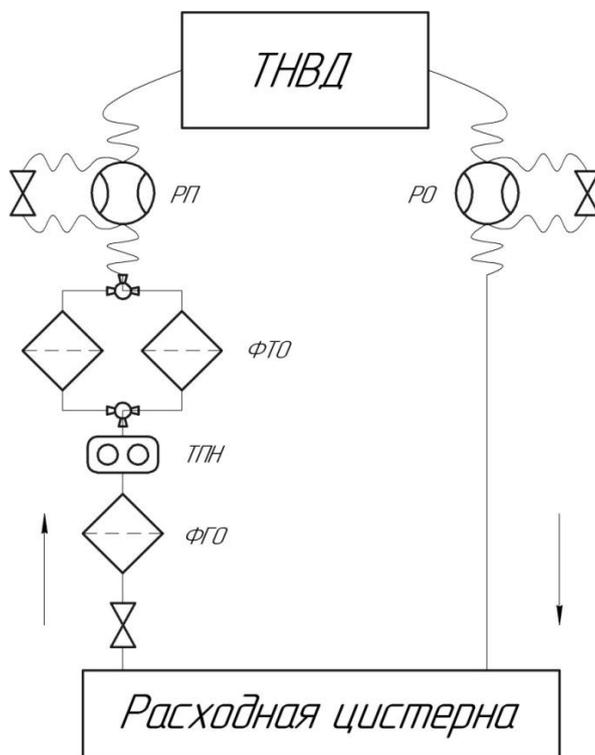


Рис. 2. Схема установки расходомеров вспомогательных дизель-генераторов и аварийного дизель-генератора
 ГД – главный двигатель; БП – байпас; РП – расходомер «Подача»;
 РО – расходомер «Обратка»; ФТО – фильтр тонкой очистки;
 ФГО – фильтр грубой очистки; ТПН – топливоподкачивающий насос

Для учёта приёма-выдачи топлива расходомеры установлены также в системе приёмки-выдачи топлива (рис. 3). В данной системе применены расходомеры типа ЭМИС МАСС 260.

Важно отметить, что рассматриваемые в Системе I расходомеры представляют конструкцию обыкновенных роторных расходомеров с измерительной камерой.

Система II

Система II разработана иностранной организацией. Суда, для которых разрабатывалась настоящая система, имеют на борту один главный двигатель, три вспомогательных и аварийный дизель-генератор. Схема установки расходомеров топлива главного двигателя показана на рис. 4.

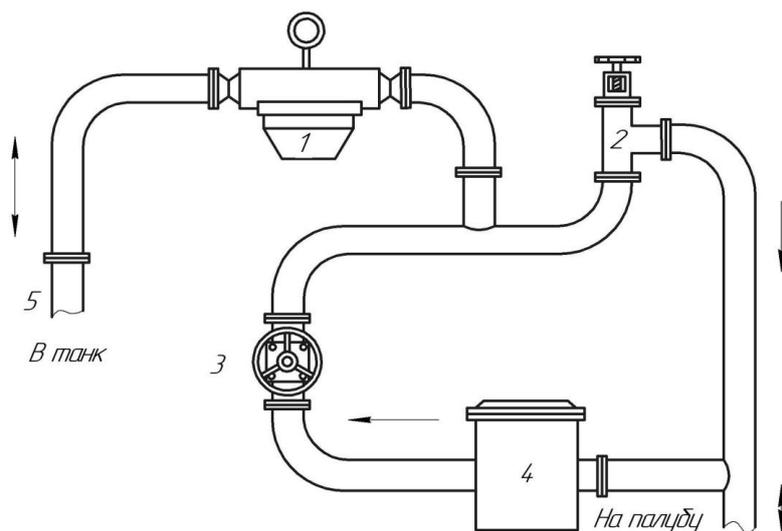


Рис. 3. Схема узла приёмки-выдачи топлива:

- 1 – расходомер приёма-выдачи топлива; 2 – клапан обратный проходной;
 3 – клапан проходной; 4 – фильтр топлива; 5 – трубопровод в танк;
 6 – трубопровод на палубу

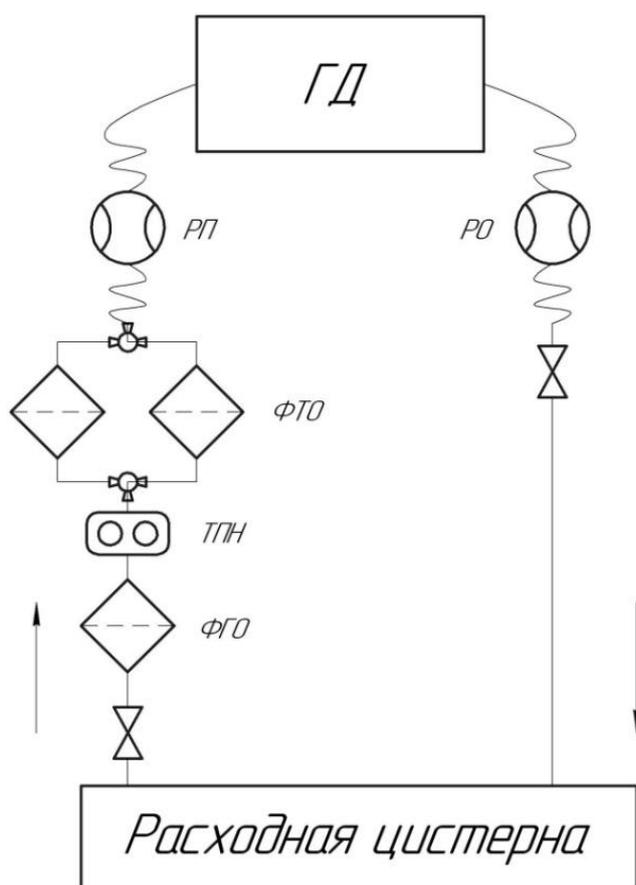


Рис. 4. Схема узла приёмки-выдачи топлива:
 1 – расходомер приёма-выдачи топлива; 2 – клапан обратный проходной; 3 – клапан проходной;
 4 – фильтр топлива;
 5 – трубопровод в танк;
 6 – трубопровод на палубу

Как видно из схемы (рис. 4), в данной системе для соединения расходомера использовались гибкие соединения. В разработанной схеме отсутствуют требуемые правилами РС байпас и путевая арматура. Данный момент

объясняется тем, что иностранной организацией в качестве расходомеров используются не роторные контрольно-измерительные приборы, а Кориолисовы расходомеры. Общий вид Кориолисова расходомера показан на рис. 5.

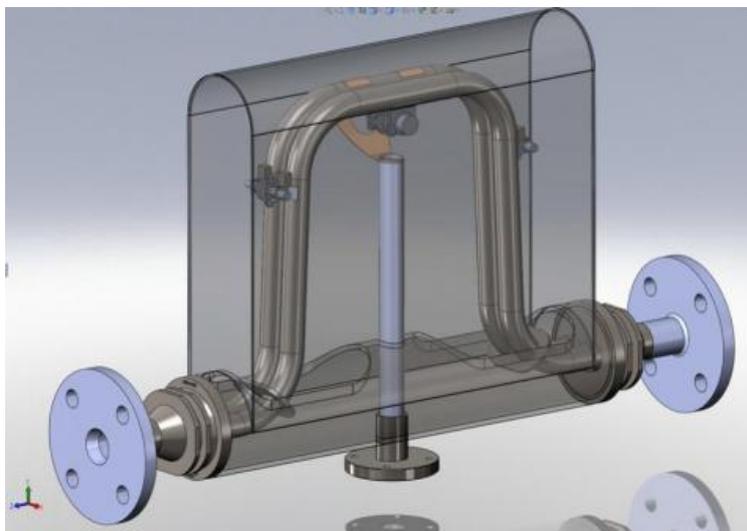


Рис. 5. Общий вид Кориолисова расходомера

Принцип действия Кориолисова расходомера основан на сдвиге фаз и прямом измерении того, сколько жидкости перемещается по трубкам в настоящий момент. Внутри расходомера установлены две трубки, а также вибратор, который заставляет одну трубку постоянно вибрировать. При отсутствии потока измерительная трубка вибрирует равномерно. Сенсоры, расположенные на входе и выходе с достаточно высокой точностью определяют основное колебание. В период хода жидкости внутри трубок на имеющуюся вибрацию накладывается дополнительное колебание в результате инерции жидкости. Вследствие эффекта Кориолиса вибрация трубки на входе и выходе отличается друг от друга. Высокочувствительный сенсор отмечает данное изменение в вибрации трубки в условиях времени и пространства. Подобное явление называется сдвигом фаз и прямым измерением того, сколько жидкости или газа перемещается по трубе в настоящий момент. Чем выше скорость потока и таким образом общий поток, тем больше вибрация измерительной трубки.

Основываясь на техническом описании данных расходомеров, определено, что данные приборы являются необслуживаемыми и неремонтопригодными. Срок полезной эксплуатации расходомеров составляет десять лет. Однако, у расходомеров имеется довольно слабое место – тонкостенные трубки внутри прибора, которые могут быть повреждены твёрдыми фракциями, находящимися в перекачиваемом топливе. Стоит отметить, что при повреждении одной из трубок расходомер, как измерительный прибор, выйдет из строя, но, как путевая арматура, будет выполнять свои функции в полной мере, т. е. конструкция данных приборов представляет конструкцию труба в трубе. При повреждении внутренних трубок внешний корпус

расходомера будет выполнять роль трубки без прекращения подачи топлива на потребители. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что для установки Кориолисовых расходомеров не требуется установка дополнительной путевой и обводной арматуры и трубопроводов.

Схема установки Кориолисовых расходомеров в системах вспомогательных дизель-генераторов и аварийного дизель-генератора не имеет принципиальных отличий от системы главного двигателя. Общий вид установленных расходомеров в системе вспомогательного дизель-генератора на приём-возврат топлива приведён на рис. 6.

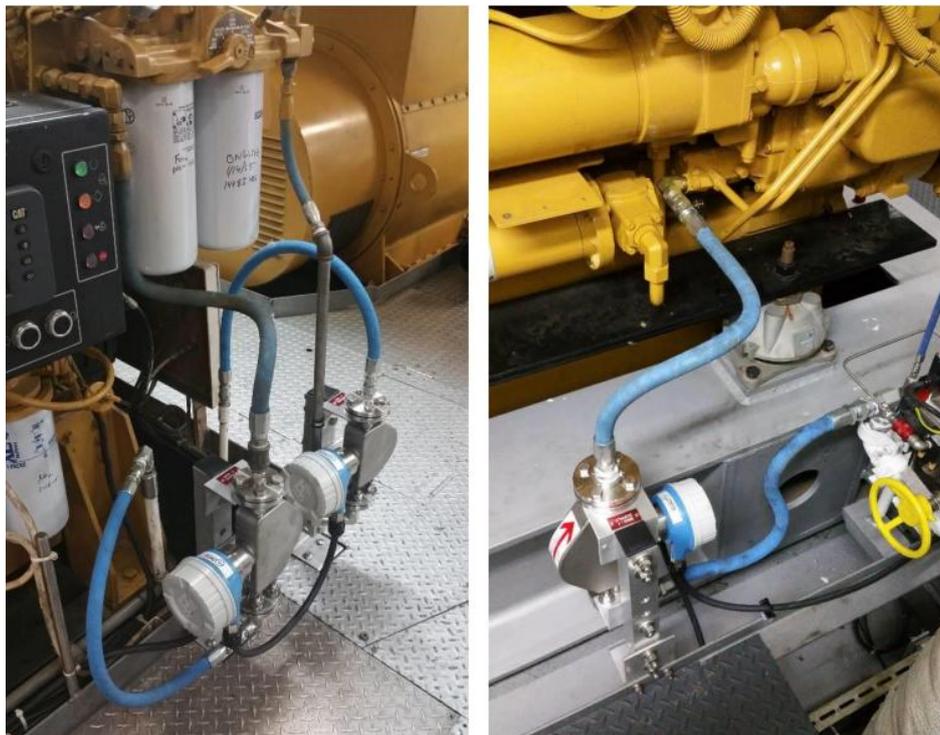


Рис. 6. Общий вид установленных расходомеров

Выводы

Системы учёта расхода топлива, устанавливаемые на судах для удовлетворения требований правила 22А МК МАРПОЛ, можно отнести к значительному шагу в повышении энергоэффективности судна. Благодаря данным системам будет производиться учёт топлива на протяжении эксплуатационного периода (в течение одного года). По результатам отчётов по расходу топлива станет возможным определить эффективность эксплуатации судна в целом и механической установки в частности, так как будет возможно произвести оценку расхода топлива, как за календарный год, так и за конкретно пройденное расстояние.

Список литературы

1. MARPOL. Consolidated edition. London, 2017 – 478 p.
2. Руководство по применению положений МК МАРПОЛ, 2018.

3. Правила технического наблюдения за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов. Т. 1. Ч. I. Общие положения по техническому наблюдению. – СПб, 2017 – 145 с.

4. Общие положения о классификационной и иной деятельности. – СПб, 2018 – 14 с.

5. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. VIII. Системы и трубопроводы. – СПб, 2018 – 116 с.

УДК 621.43:004.62

А. В. Ходаковская

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ СУДОВЫХ ДВС

Очистка деталей топливной аппаратуры является актуальной задачей, поскольку предшествует такому важному технологическому процессу, как их восстановление. В настоящее время детали топливной аппаратуры восстанавливаются методом пористого хромирования и для успешного осуществления этого процесса необходима очень тщательная очистка поверхности, ведь её качество напрямую влияет на результаты восстановления [1, 2].

Основным загрязняющим веществом на деталях топливной аппаратуры судовых ДВС являются остатки тяжёлого топлива. На судоремонтных заводах наиболее распространенным способом очистки являются ванны – наиболее простые моечные установки. Обычно их применяют для вываривания деталей в щелочных растворах. Ванны состоят из двух отсеков: одного – для моющего раствора, другого – для воды. Недостатками этого способа являются низкая производительность и невысокое качество очистки внутренних поверхностей отверстий. В дальнейшем остаточные загрязнения могут попадать в электролит и отрицательно влиять на результат восстановления детали, в частности на адгезию наносимого покрытия.

В этой связи были проведены эксперименты с целью оценки эффективности методов очистки деталей топливной аппаратуры перед их восстановлением методом пористого хромирования.

В эксперименте в качестве образца использован диск из стали 45 с диаметральной отверстием. Диаметр диска 40,5 мм, высота диска 10,1 мм, диаметр отверстия 4 мм. Перед началом опыта образец вымыли в бензине и ацетоне, затем произвели травление в 10 % растворе соляной кислоты в течение одной минуты с последующей мойкой в дистиллированной воде и сушкой воздухом при температуре 60 °С. После этого образец был взвешен и этот вес был принят за исходный.

Оценка эффективности каждого способа очистки проводилась в шесть циклов загрязнения и последующей очисткой образца. Загрязнение образца осуществлялось путём его окунания во флотский мазут Ф 12 с последующей тщательной протиркой и взвешиванием для установления массы мазута оставшейся на поверхности образца.

В первой серии опытов оценивается качество очистки образца горячим (70...80 °С) 10 % раствором каустической соды $NaOH$ в течение 5 минут.

Во второй серии опытов оценивается качество очистки образца техническим моющим средством «РИК-М».

Химический состав «РИК-М»: полиэтиленгликолевый эфир моноалкилфенола $C_9H_{19}C_6H_4O(C_2H_4O)_{10}H$, сода каустическая $NaOH$, сода кальцинированная Na_2CO_3 , триполифосфат натрия $Na_5P_3O_{10}$, метасиликат натрия Na_2SiO_3 . По степени воздействия на организм – умеренно опасное вещество (III класс опасности согласно ГОСТ 12.1.007).

Очистка образца моющим средством «РИК-М» производилась с применением ультразвуковой обработки в ванне типа «Серьга» в течение 5 минут.

После каждого загрязнения и очистки образца проводилось его взвешивание на электронных весах модели AW220 (Япония) с точностью до 0,1 мг.

Степень загрязнения поверхности образца оценивается исходя из удельного загрязнения, которое показывает массу загрязнений, распределенных по поверхности образца, на единицу площади поверхности.

Результаты экспериментов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты очистки образца в 10 % растворе $NaOH$

№ опыта	Масса мазута на поверхности образца до мойки, г	Масса мазута на поверхности образца после мойки, г
1	0,7631	0,0993
2	0,8020	0,1044
3	0,7399	0,0941
4	0,7544	0,1089
5	0,7145	0,0902
6	0,7934	0,1033

Удельное загрязнение после очистки образца в 10 % растворе $NaOH$ составляет 2,45 мг/см², после очистки образца в «РИК-М» в ультразвуковой ванне – 1,28 мг/см². Следовательно, наилучшая очистка образца от загрязнений тяжёлым топливом достигается при его мойке в растворе технического средства «РИК-М» в ультразвуковой ванне. Эффективность очистки в данном случае почти в два раза выше, чем при обычной очистке в 10 % растворе $NaOH$. Кроме того, процесс ультразвуковой очистки в «РИК-М» не требует дополнительных энергозатрат на нагревание раствора, что является условием при очистке в 10 % растворе $NaOH$.

Результаты очистки образца в РИК-М в ультразвуковой ванне

№ опыта	Масса мазута на поверхности образца до мойки, г	Масса мазута на поверхности образца после мойки, г
1	0,7789	0,0526
2	0,7580	0,0548
3	0,7923	0,0542
4	0,8211	0,0511
5	0,8002	0,0520
6	0,7366	0,0484

На основании проведённого исследования можно сделать вывод, что более эффективным способом очистки деталей топливной аппаратуры от загрязнений тяжёлым топливом перед их восстановлением методом пороистого хромирования является их мойка в растворе технического средства «РИК-М» в ультразвуковой ванне.

Список литературы

1. Богорад Л. Я. Хромирование / Л. Я. Богорад. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л. : Машиностроение, 1984. – 97 с.
2. Дасоян М. А. Технология электрохимических покрытий / М. А. Дасоян, И. Я. Пальмская, Е. В. Сахорова. – Л. : Машиностроение, 1989. – 391 с.

УДК 621.899:621.436

В. В. Тарасов, Е. П. Патенкова

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЗАПАСА КАЧЕСТВА МАСЛА ПО МОТОРНОЙ ГРУППЕ И ГЛУБИНЕ ОЧИСТКИ ОТ НЕРАСТВОРИМЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ЕГО РЕГЕНЕРАЦИИ НА ИЗНАШИВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ ДИЗЕЛЯ

Накопленные запасы отработанных смазочных материалов (ОСМ) по данным Госкомэкологии составляют свыше 400 млн. т. В России ежегодно их образуется свыше 4 млн. т, но данные различных источников о количестве сбора и накопленных запасов ОСМ довольно противоречивы. С 1993 по 1998 годы в России сбор и утилизация ОСМ в промышленном масштабе не производились, и только с 1998 г. появились официальные сведения об использовании ОСМ в качестве котельного топлива для получения тепловой энергии [1].

Отработанные моторные масла (ММ) можно использовать в двигателях судовой энергетической установки (СЭУ) с понижением моторной группы масла, как это показано в исследованиях [4]. Кроме того, их эксплуатационные свойства можно восстанавливать легированием специальными присадками

[5, 6] до уровня свежих ММ [7]. Регенерация отработанных моторных масел (ОММ) в установке РУМС-1, по схеме автора, позволяет снизить концентрацию нерастворимых примесей (НРП) до 0,05 %, полностью удалить из них воду и топливо [2, 3].

Глубокая очистка регенерированных масел до полного удаления НРП не способствует улучшению противоизносных и моюще-диспергирующих восстановленных на их основе нефтепродуктов. Это обусловлено тем, что полное удаление мелкодисперсной фазы нерастворимых загрязнений из регенерированных масел микрофильтрацией или сепарированием в интенсивном центробежном поле способствует отфуговыванию находящихся в коллоидном состоянии большинства присадок типа МАСК, ППС и некоторых модификаторов трения, что приводит к ухудшению эксплуатационных свойств восстановленных ММ [9].

Целью данной статьи было создание математических моделей для обоснования требуемой глубины очистки масла от НРП. Имеются исследования [8, 9], которые показывают, что с позиций износных свойств отработанных ММ, полностью удалять из них механические примеси нет необходимости. Определяя глубину очистки масла, важно учитывать: абразивность НРП, их дисперсный состав, соотношение сгораемых и минеральных (несгораемых) компонентов нерастворимых примесей. Обоснованных рекомендаций по данному вопросу нет.

Для эксперимента были подобраны три группы отработанных масел, применяемых в судовых дизелях [3, 10]. Масла в исходном состоянии полностью соответствовали продуктам М-14-Г₂(цс), М-14-Д₂(цл20) и М-14-Д₂(цл30) (ГОСТ 12337–84).

При реализации эксперимента [3, 10], функция отклика (износ I в относительных единицах) получена в виде полинома второй степени:

$$y = 101,5 - 24,15x_1 - 19,7x_2 + 11,12x_1x_2 + 15,28x_1^2 + 5,13x_2^2. \quad (1)$$

На рис. 1 представлены зависимости скорости изнашивания роликов (J) для регенерированных масел разного качества (износа I от свойств моторной группы) в зависимости от коэффициента их регенерации (φ_p), который в какой-то мере связан с остаточной концентрацией НРП в ММ [3, 7]. По рисунку можно заключить, что для регенерированных масел допустимо остаточное загрязнение масел нерастворимыми примесями, которое может составлять в зависимости от группы ММ 0,2...0,8 %. Эти показатели центробежным сепарированием легко достигаются.

Роль масел в снижении I при увеличении коэффициента регенерации φ_p ослабевает. Если при $\varphi_p = 0$ переход от масла $M = -1$ к $M = 0$ приводил к снижению I на 35 %, то при $\varphi_p = 0$, ΔI составило всего 14 % (рис. 1). При этом для масел группы Д₂ переход от $M = 0$ к $M = +1$ выразился в снижении ΔI соответственно при ($\varphi_p = 0$) на 26 %, а при $\varphi_p = 0,5$ – на 21 %. Приведённые данные указывают на то, что противоизносные характеристики полностью регенерированных масел ($\varphi_p = 1$) сближаются и отличаются

не значительно. При увеличении φ_p от 0 до 1 снижение I для масла $M = -1$ произошло в 1,66 раз, а нефтепродукта $M = 0$ и $M = +1$ соответственно в 1,52 и 1,29.

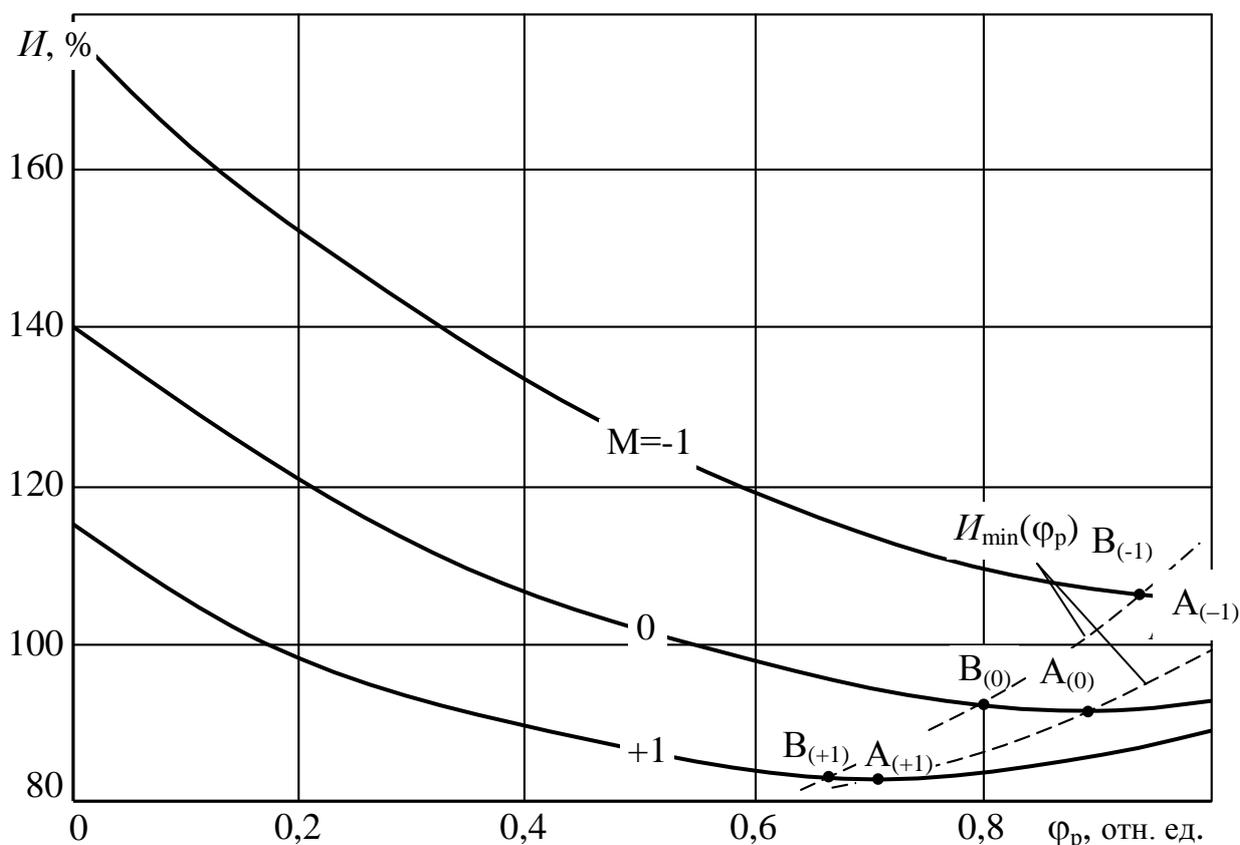


Рис. 1. Зависимость износа от коэффициента регенерации отработанного масла

На рис. 1 пунктирными линиями $I_{\min}(\varphi_p)$ на зависимостях $I(\varphi_p)$ для свойств масел разных эксплуатационных групп выделяются участки со значениями $\varphi_{p(\text{opt})}$, на которых износ минимален. Правая точка A_i пересечения кривых $I(\varphi_p)$ соответствует их экстремуму. Левая B_i — допустимому значению остаточного загрязнения НРП отработанных ММ для групп Γ_2 и D_2 с разным уровнем щёлочности. Снижение износных свойств отработанных масел в наибольшей мере проявляется до коэффициента регенерации, равного 0,6. Дальнейшее его повышение, особенно для масел со щёлочностью более 20 мг КОН/г, эффекта не даёт (рис. 2). Так при этой щёлочности повышение φ_p от 0 до 0,5 снижает I в 1,4 раза, а с 0,5 до 1 всего на 8,8 %.

Увеличение коэффициента регенерации φ_p более 0,5 для масел группы D_2 не приводит к значительному снижению I . Эффект может составить не более 10 % (рис. 2).

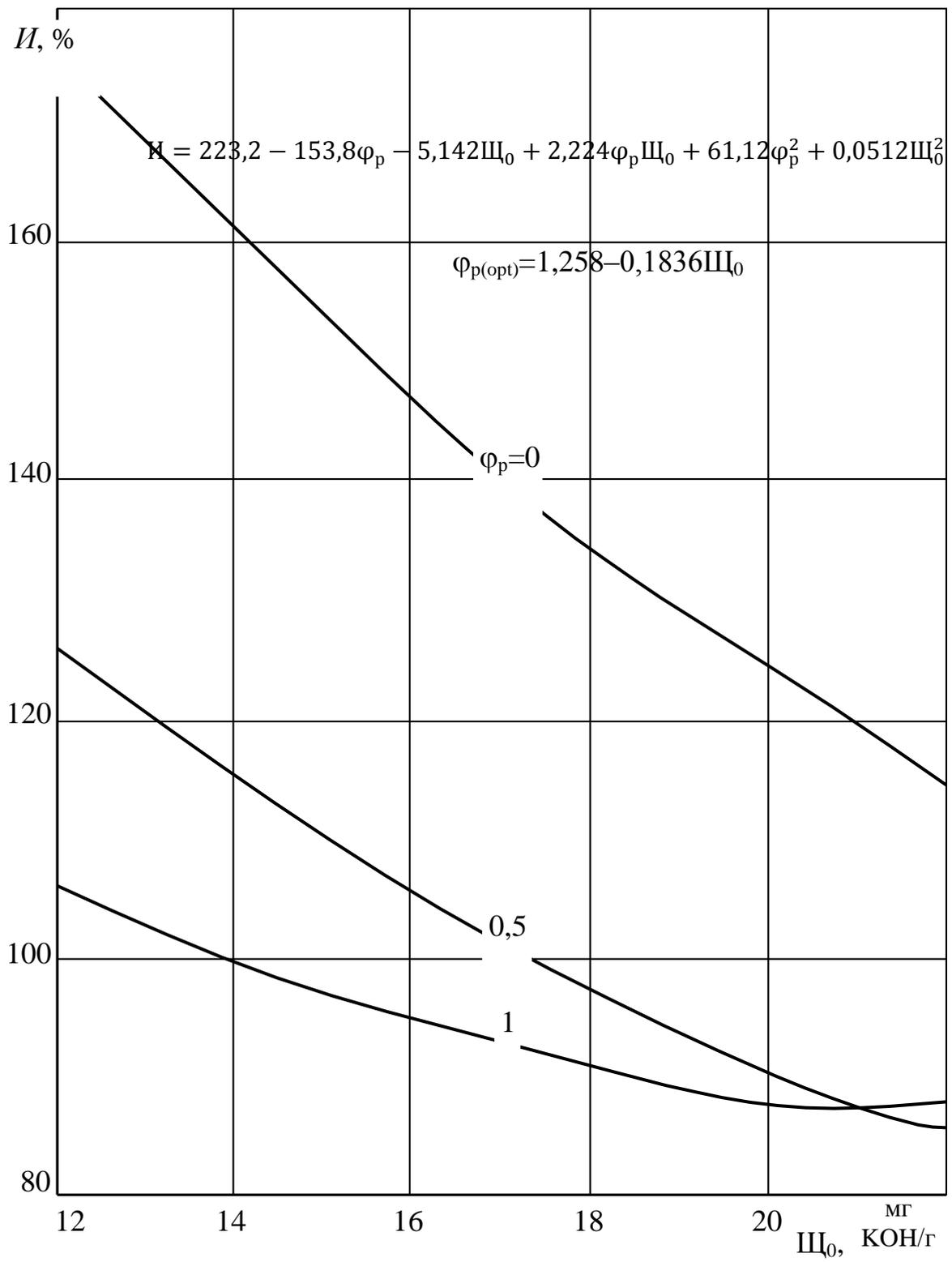


Рис. 2. Влияние качества и глубины регенерации масла на его износные свойства

Пределы центрифугирования отработанных масел по их коэффициенту регенерации могут быть найдены в результате исследования зависимости (1) на экстремум. Для этого необходимо взять первую производную по dy/dx_1 и приравнять её нулю:

$$\frac{dy}{dx_1} = 24,15 + 11,12x_2 + 2 \cdot 15,28x_1 = 0;$$

$$x_{1(\text{opt})} = \frac{25,15 - 11,12x_2}{30,56} = 0,79 - 0,36x_2. \quad (2)$$

Для отработанных масел с уровнем эксплуатационных свойств, закодированных как $M = -1, 0$ и $+1$ допустимо регенерацию проводить до x_1 , соответственно равное $1,15, 0,79$ и $0,43$. При достижении этих значений коэффициента регенерации дальнейшее углубление очистки отработанных масел от НРП не приводит к снижению их износных свойств. Для масла М-14-Г₂(цс) в пределах рассматриваемого фактора пространства ($x_1 = 0 \dots 1$) экстремума не наблюдается, что указывает на необходимость очистки этого продукта до достижения предела центрифугирования ($x_{\text{ост}} = 0,2 \dots 0,3$ %) см. данные эксперимента [3].

Для масел группы Д₂ стабилизация J наблюдается при $x_1 > x_{1(\text{opt})}$, т. е. для $M = 0$ она происходит когда x_1 становится больше $0,79$. При очистке масла $M = +1$ стабилизация J , как показал однофакторный эксперимент, происходит при $x_1 \geq 0,43$ [7].

Окончательные рекомендации по обеспечению требуемой глубины очистки отработанных масел в зависимости от их качества представлены в табл. 4. Рекомендации работают не только для масел выделенных групп, но и для всех свежих масел, у которых группа эксплуатационных свойств M может идентифицироваться через зольность фугата ($Z_m, \%$) и щелочность ($\text{Щ}_0, \text{мг КОН/г}$) следующими соотношениями [7]:

$$M = \frac{\text{Щ}_0 - 20}{10}, \quad M = \frac{Z_m - 3,0}{1,5}.$$

Применительно к судовым унифицированным свежим ММ, эксплуатационные свойства которых идентифицируются показателем Щ_0 и Z_m или их совокупностью, уравнение (1) может быть трансформировано в зависимости следующего вида:

$$I = 140,9 - 109,32\varphi_p - 30,9M + 22,24\varphi_p M + 61,12\varphi_p^2 + 5,13M^2; \quad (3)$$

$$I = 223,2 - 153,8\varphi_p - 5,142\text{Щ}_0 + 2,224\varphi_p \text{Щ}_0 + 61,12\varphi_p^2 + 0,0512\text{Щ}_0^2; \quad (4)$$

$$I = 223,2 - 153,8\varphi_p - 20,63Z_m + 14,82\varphi_p Z_m + 61,12\varphi_p^2 + 2,273Z_m^2. \quad (5)$$

В этом случае ограничения по требуемой глубине очистки отработанных масел рассматриваемых групп Г₂ и Д₂, задаваемой коэффициентом $\varphi_{p(\text{opt})}$ регенерации могут быть рассчитаны по формулам:

$$\varphi_{p(\text{opt})} = 0,894 - 0,182M; \quad (6)$$

$$\varphi_{p(\text{opt})} = 1,258 - 0,1836\text{Щ}_0; \quad (7)$$

$$\varphi_{p(\text{opt})} = 1,258 - 0,12123_{\text{м}}. \quad (8)$$

Значение этих коэффициентов регенерации для масел с низким уровнем моюще-диспергирующих свойств близко к 1, что указывает на необходимость полной их очистки от крупнодисперсных НРП вплоть до предела центрифугирования, когда в регенерированном масле остаются дисперсные фазы с размерами частиц менее 0,7 мкм. Остаточное загрязнение НРП отработанных регенерированных масел более высших эксплуатационных групп (например Д₂) может быть выше. Этот уровень концентрации мелкодисперсных НРП не окажет заметного влияния на износные свойства регенерированных и восстановленных масел (табл. 4).

Таблица 4

Рекомендуемый уровень регенерации отработанных масел и допустимого остаточного их загрязнения НРП

Моторное масло	Характеристика свежего масла		Применяемое топливо	Форсировка дизеля по $\rho_{\text{те}}$, МПа	Коэффициент регенерации φ_p , отн. ед.	Остаточное загрязнение $S_{\text{ост}}$, % масс.
	щёлочность Щ_0 , мг КОН/г	зольность Z_a , % масс.				
М-10-Г ₂ (цс) М-14-Г ₂ (цс) М-16-Г ₂ (цс)	8–12	1,2–1,6	Л-0,2-61 СМТ ТГВК	0,8–1,2	0,9	0,1–0,2
М-10-Д ₂ (цл20) М-14-Д ₂ (цл20)	18–23	2,8–3,2	СЛ, ДГ Ф6, Ф12 М-40В	1,2–1,8	0,8–0,9	0,3–0,5
М-14-Д ₂ (цл30) М-16-Д ₂ (цл30)	27–32	4,2–4,8	СВТ ДМ М-100	1,2–2	0,7–0,8	0,4–0,8

Математическая модель (4), полученная по уравнению регрессии в кодированных значениях факторов влияния (1), а затем в натуральных значениях этих факторов (3), для оценки износных характеристик регенерированного масла по эксплуатационным свойствам его моторной группы идентифицируемой начальной щёлочностью Щ_0 (табл. 4) имеет вид:

$$И = 223,2 - 153,8\varphi_p - 5,142\text{Щ}_0 + 2,224\varphi_p\text{Щ}_0 + 61,12\varphi_p^2 + 0,0512\text{Щ}_0^2.$$

Геометрическая интерпретация полученной модели для моторной группы Г₂ (цл) ($\text{Щ}_0 = 8-12$ мг КОН/г) приведена на рис. 3.

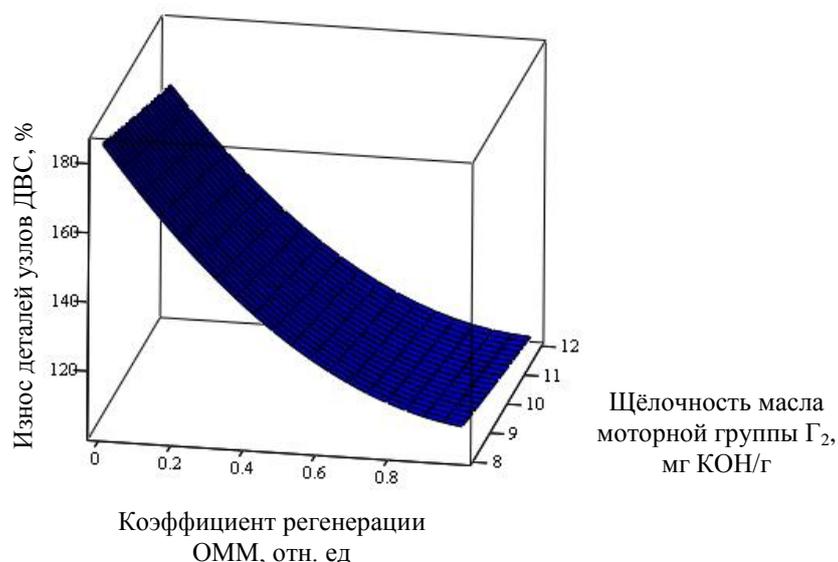


Рис. 3. Гиперповерхность № 1 в натуральных значениях в трехмерном пространстве для двух факторах ($k = 2$), характеризующая зависимость износа деталей судового дизеля от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масла моторной группы Г₂ с начальной щёлочностью 8...12 мг КОН/г, при зольности 1,2...1,6 % масс

Геометрическая интерпретация полученной модели для моторной группы Д₂ (цл20) ($Щ_0 = 18...23$ мг КОН/г) приведена на рис. 4.

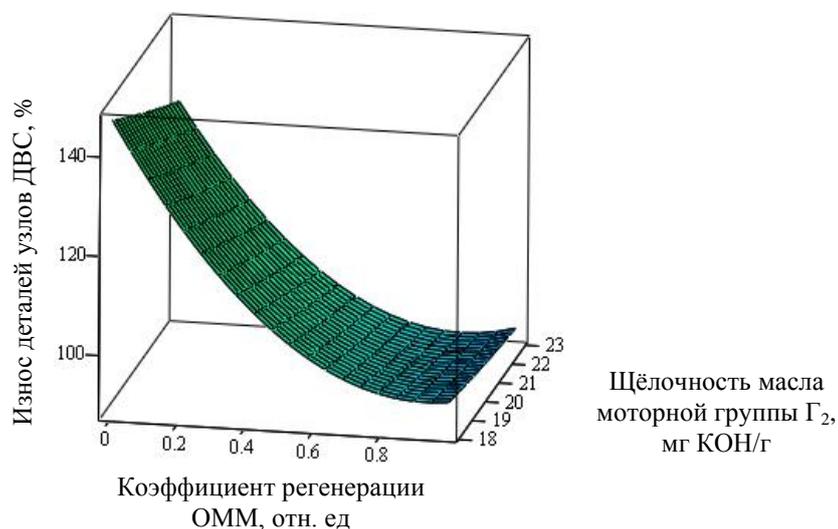


Рис. 4. Гиперповерхность № 2 в натуральных значениях в трехмерном пространстве для двух факторах ($k = 2$), характеризующая зависимость износа деталей судового дизеля от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масла моторной группы Г₂ с начальной щёлочностью 18...23 мг КОН/г, при зольности 2,8...3,2 % масс

Геометрическая интерпретация полученной модели для моторной группы D_2 (цл30) ($Щ_0 = 27 \dots 32$ мг КОН/г) приведена на рис. 5.

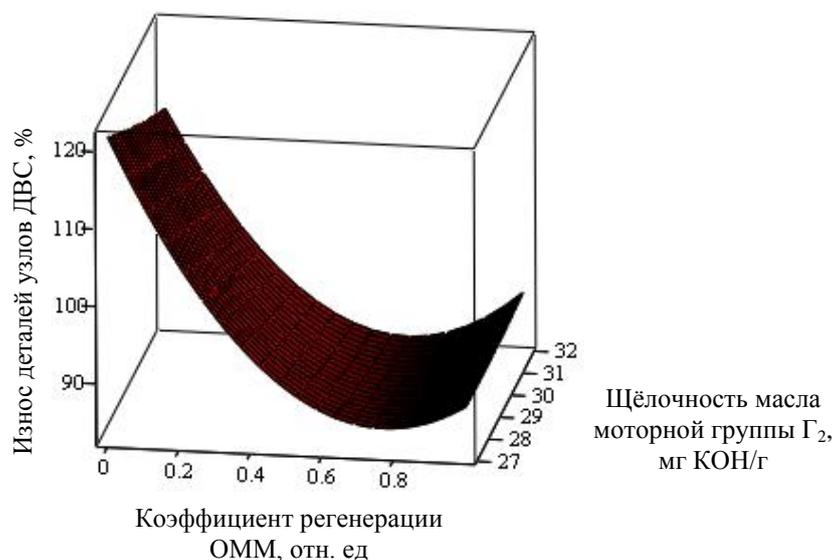


Рис. 5. Гиперповерхность № 3 в натуральных значениях в трехмерном пространстве для двух факторах ($k = 2$), характеризующая зависимость износа деталей судового дизеля от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масла моторной группы D_2 с начальной щёлочностью $27 \dots 32$ мг КОН/ г, при зольности $4,2 \dots 4,8$ % масс

Ресурсы программного комплекса Mathcad 15 позволяют провести наложение поверхностей отклика процессов степени изнашивания деталей судового дизеля от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масел всех указанных моторных групп Γ_2 и D_2 (рис. 3, 4, 5), полученных на основании уравнений регрессии при экспериментально-статистическом моделировании указанных процессов, для визуализации взаимного воздействия коэффициента регенерации ОММ и эксплуатационных свойств масел моторных групп Γ_2 и D_2 (начальные параметры щёлочности и зольности) на износ ДВС.

Геометрическая интерпретация совмещённых поверхностей отклика полученной модели для моторных групп Γ_2 и D_2 приведена на рис. 6.

Математическая модель (5), полученная по уравнению регрессии в кодированных значениях факторов влияния (1), а затем в натуральных значениях этих факторов (3), для оценки износных характеристик регенерированного масла по эксплуатационным свойствам его моторной группы идентифицируемой начальной зольностью Z_m (табл. 4) имеет вид:

$$И = 283,2 - 153,8\varphi_p - 34,343_z + 14,82\varphi_p z_m + 61,12\varphi_p^2 + 2,273z_m^2.$$

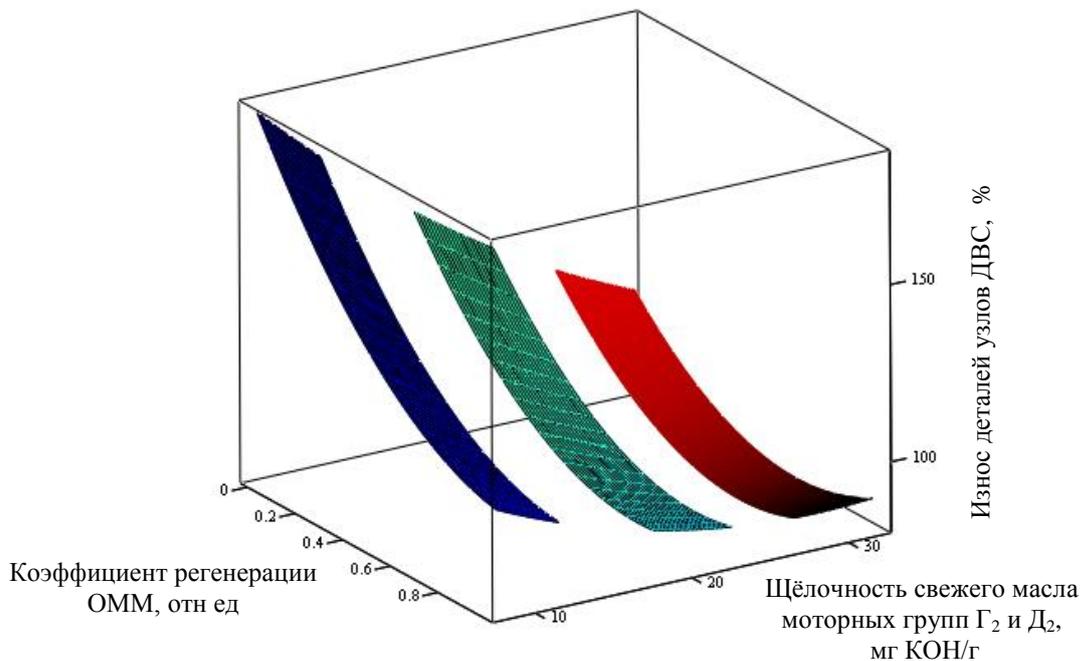


Рис. 6. Гиперповерхности № 1, № 2 и № 3 в натуральных значениях в трехмерном пространстве для двух факторов ($k = 2$), характеризующие зависимости износа деталей судового дизеля при использовании регенерированного моторного масла от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масел моторных групп Γ_2 и D_2 с начальной щёлочностью:

- № 1 – для группы Γ_2 с начальной щёлочностью 8...12 мг КОН/г;
- № 2 - для группы D_2 с начальной щёлочностью 18...23 мг КОН/г;
- № 3 - для группы D_2 с начальной щёлочностью 27...32 мг КОН/г

Математическая модель (5), полученная по уравнению регрессии в кодированных значениях факторов влияния (1), а затем в натуральных значениях этих факторов (3), для оценки износных характеристик регенерированного масла по эксплуатационным свойствам его моторной группы идентифицируемой начальной зольностью Z_M (табл. 4) имеет вид:

$$I = 283,2 - 153,8\varphi_p - 34,34Z_M + 14,82\varphi_p Z_M + 61,12\varphi_p^2 + 2,273Z_M^2.$$

Геометрическая интерпретация полученной модели для моторной группы Γ_2 (цс) ($Z_M = 1,2 \dots 1,6$ % масс.) приведена на рис. 7.

Геометрическая интерпретация полученной модели для моторной группы D_2 (цл20) ($Z_M = 2,8 \dots 3,2$ % масс.) приведена на рис. 8.

Геометрическая интерпретация полученной модели для моторной группы D_2 (цл30) ($Z_M = 4,2 \dots 4,8$ % масс.) приведена на рис. 9.

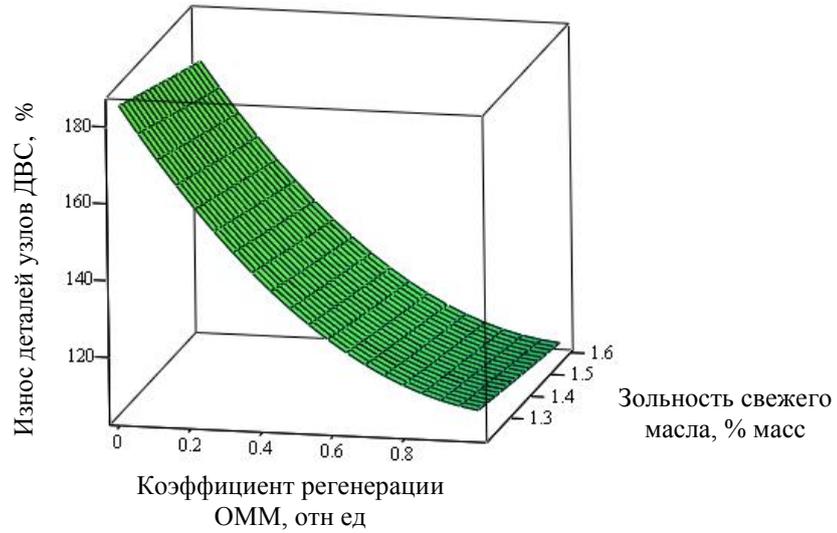


Рис. 7. Гиперповерхность № 1 в натуральных значениях в трёхмерном пространстве для двух факторов ($k = 2$), характеризующая зависимость износа деталей судового дизеля от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масла моторной группы Γ_2 с начальной зольностью 1,2...1,6 % масс., при щёлочности 8...12 мг КОН/г

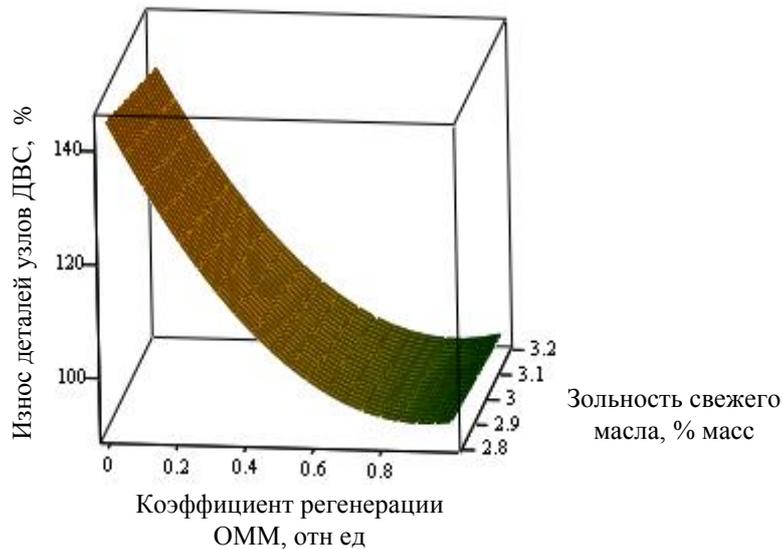


Рис.8. Гиперповерхность № 2 в натуральных значениях в трёхмерном пространстве для двух факторов ($k = 2$), характеризующая зависимость износа деталей судового дизеля от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масла моторной группы Δ_2 с начальной зольностью 2,8...3,2 % масс., при щёлочности 18...23 мг КОН/г

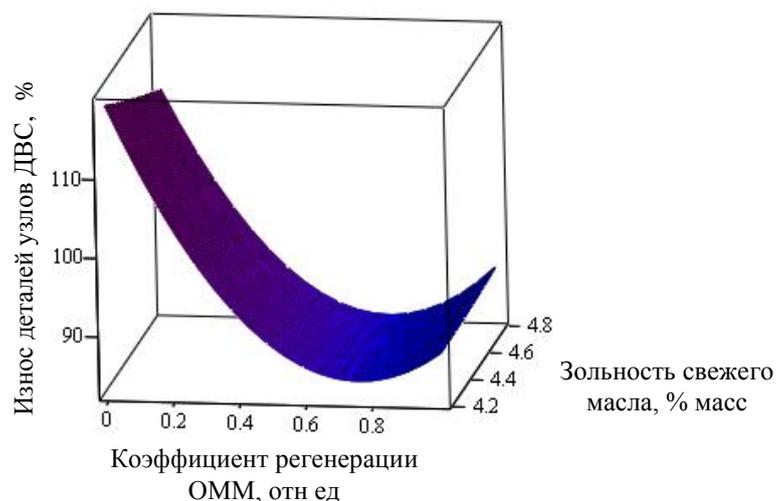


Рис. 9. Гиперповерхность № 3 в натуральных значениях в трёхмерном пространстве для двух факторах ($k = 2$), характеризующая зависимость износа деталей судового дизеля от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масла моторной группы Д₂ с начальной зольностью 4,2...4,8 % масс., при щёлочности 27...32 мг КОН/ г

Ресурсы программного комплекса Mathcad 14 позволяют провести наложение поверхностей отклика процессов степени изнашивания деталей судового дизеля от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масел всех указанных моторных групп Г₂ и Д₂ (рис. 7, 8, 9), полученных на основании уравнений регрессии при экспериментально-статистическом моделировании указанных процессов, для визуализации взаимного воздействия коэффициента регенерации ОММ и эксплуатационных свойств масел моторных групп Г₂ и Д₂ (начальные параметры зольности и щёлочности) на износ ДВС.

Геометрическая интерпретация совмещенных поверхностей отклика полученной модели для моторных групп Г₂ и Д₂ приведена на рис. 10.

Полученные математические модели рекомендуется использовать для расчёта параметров эффективности процессов регенерации отработанных моторных масел, исходя из начальных эксплуатационных свойств моторных групп используемых в СЭУ моторных масел и стремления обслуживающего персонала обеспечить эффективное энергоресурсосбережение горюче-смазочных материалов, а также для оптимизации мероприятий по конструированию и проектированию мобильных малогабаритных комплексов для осуществления регенерации ОММ дизельных двигателей в судовых условиях.

Эксплуатационные наблюдения за старением в форсированных тронковых дизелях регенерированных масел с восстановленными легированием многофункциональными присадками показало, что выполнение рекомендаций табл. 4 по глубине очистки отработанных ММ способствует

сохранению их моторных качеств на уровне использования свежих продуктов, соответствующей группы [4, 7].

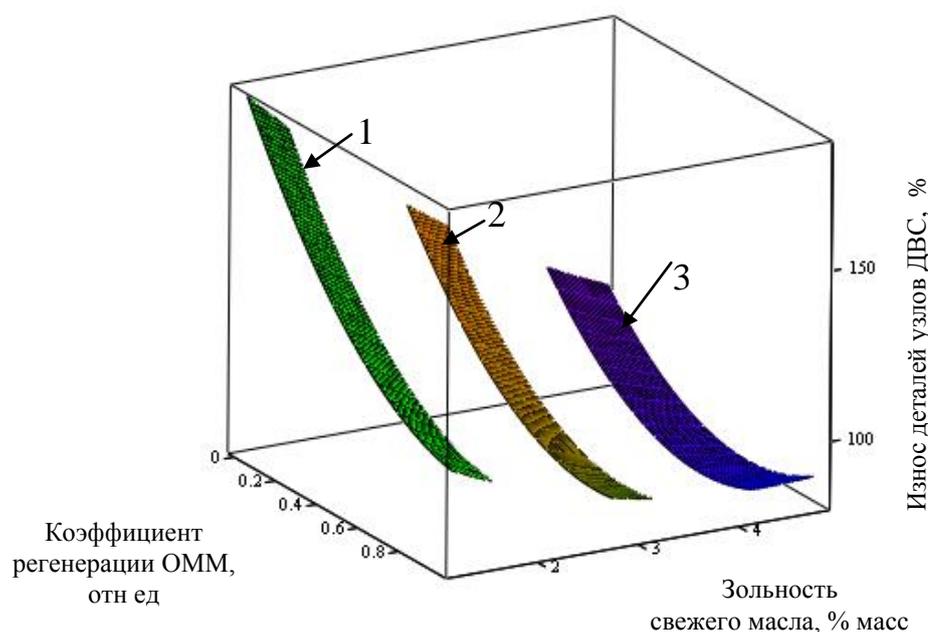


Рис. 10. Гиперповерхности № 1, № 2 и № 3 в натуральных значениях в трёхмерном пространстве для двух факторов ($k = 2$), характеризующие зависимости износа деталей судового дизеля при использовании регенерированного моторного масла, от коэффициента регенерации ОММ по глубине удаления нерастворимых примесей и от эксплуатационных свойств масел моторных групп Γ_2 и D_2 с начальной зольностью:

- № 1 – для группы Γ_2 с начальной зольностью 1,2...1,6 % масс;
- № 2 – для группы D_2 с начальной зольностью 2,8...3,2 % масс;
- № 3 – для группы D_2 с начальной зольностью 4,2...4,8 % масс

Остаточная доля многофункциональных присадок в регенерированном масле, если полностью не удалять НРП и соблюдать требования, приведенные в табл. 4, в зависимости от свойств группы ММ и условий его использования, может составлять 10...35 %. Переходя в восстановленное масло они полностью компенсируют расходы добавляемых свежих присадок при его легировании на диспергирование и стабилизацию остаточных НРП.

Выводы

1. На основе критерия изнашивания получены выражения для расчёта требуемого коэффициента регенерации отработанных масел и допустимой глубины их очистки от нерастворимых загрязнений, при которых эксплуатируемые свойства восстановленных легированием присадок ММ будут находиться на уровне характеристик свежего продукта соответствующей группы.

2. Коэффициент регенерации отработанных масел по нерастворимым примесям в зависимости от их эксплуатационных свойств для группы Γ_2 с начальной зольностью 1,2...1,6 % и щёлочностью 8...12 мг КОН/г

составляет 0,9...1, D₂ с зольностью 1,2...1,6 % и щёлочностью 9...12 мг КОН/г – 0,8...0,9, D₂ с зольностью 4,2...4,8 % и щёлочностью 27...32 мг КОН/г – 0,7...0,8. При этом остаточное загрязнение регенерированных масел мелкодисперсной нерастворимой фазой может составлять 0,1...0,8 %.

3. Эксплуатационными испытаниями подтверждено, что при предлагаемой глубине очистки отработанных ММ от нерастворимых примесей противоизносные и моюще-диспергирующие свойства восстановленных на их основе продуктов соответствуют уровню свежих масел соответствующих групп. Это обусловлено переходом в восстановленное масло вместе с остаточными НРП части нерастворимых многофункциональных присадок к моторным маслам.

4. Полученные математические модели с достаточной достоверностью подтверждаются результатами многофакторного эксперимента, поэтому их рекомендуется использовать для расчёта параметров эффективности процессов регенерации ОММ, исходя из начальных эксплуатационных свойств моторных групп используемых масел и обеспечения эффективного энергоресурсосбережения горюче-смазочных материалов в СЭУ.

Список литературы

1. Тарасов В. В. Проблемы утилизации и регенерации отработанных смазочных материалов на судах: пути их решения восстановлением моторных свойств и повторным использованием в судовых дизелях / В. В. Тарасов // Сб. науч. тр. конф. «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010». – Одесса : Транспорт, 2010. – Т. 1. – С. 65–71.

2. Тарасов В. В. Принципиальная схема установки по регенерации отработанного моторного масла в судовых условиях / В. В. Тарасов, П. В. Кулямов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 2. – С. 175–179.

3. Тарасов В. В. Обоснование глубины очистки отработанных моторных масел от механических примесей при их регенерации и повторном использовании в СЭУ / В. В. Тарасов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2016. – № 3, 4 – С. 99–108.

4. Тарасов В. В. Оценка эффективности использования регенерированного моторного масла в судовых дизелях / В. В. Тарасов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 146–152.

5. Кича Г. П. Эффективность применения в судовых дизелях регенерированных восстановленных отработанных моторных масел / Г. П. Кича, В. В. Тарасов, Е. М. Деревцов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2016. – № 1, 2. – С. 83–91.

6. Кича Г. П. Регенерированные отработанные моторные масла и восстановление их эксплуатационных свойств на судах / Г. П. Кича, В. В. Тарасов, С. В. Глушков // Морские интеллектуальные технологии : сб. науч. тр. – 2016. – № 3 (33). – Т. 1. – С. 126–132.

7. Кича Г. П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. В. Надёжкин. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, – 2011. – 372 с.

8. Надёжкин, А.В. Имитационная модель трибодиагностики двигателей внутреннего сгорания / А.В. Надёжкин, А. В. Безвербный, Г. П. Кича // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – № 3. – С. 6–14.

9. Кича Г. П. Триботехнические характеристики нерастворимых продуктов загрязнения моторных масел и их влияние на износ дизеля / Г. П. Кича, Г. М. Липин, С. П. Полоротов // Трение и износ. – 1998. – № 6. – Т. 7. – С. 1068–1078.

10. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

УДК 629.5.035

А. Н. Соболенко, В. В. Маницын

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА КАЧЕСТВО РЕМОНТА И НАДЁЖНОСТЬ РАБОТЫ ТОНКОСТЕННЫХ ПОДШИПНИКОВ ДИЗЕЛЯ

На выполнение качественного ремонта и на надёжность работы судовых дизелей влияет человеческий фактор. И если в период эксплуатации дизеля происходит его отказ, даже при правильной его техникой эксплуатации, причиной этого может быть некачественный ремонт. Особенно важно соблюдение технических условий на ремонт тонкостенных подшипников скольжения коленчатого вала дизеля.

В эксплуатации было зафиксировано несколько случаев выхода из строя тонкостенных вкладышей рамовых подшипников скольжения сразу же после ремонта.

В качестве примера рассмотрим аварийную ситуацию, которая произошла на главном дизеле (ГД) 8NVD 48A2-U СТР «Сабск».

Главный дизель 8NVD 48A-2U номинальной мощностью 970 кВт при частоте вращения 428 мин^{-1} , передаёт крутящий момент через редуктор на винт регулируемого шага (ВРШ). ГД отработал с постройки 41450 ч. После завершения капитального ремонта ГД на базе технического обслуживания (БТО) «Одесса» с заменой цилиндрического блока, рамовых и шатунных тонкостенных подшипников коленчатого вала, СТР «Сабск» вышел в рейс. После того как ГД отработал 93 часа он был остановлен из-за повышенного нагрева крышек лючков картера 5-го и 6-го цилиндров, падения давления смазочного масла после фильтра до 0,11 МПа и повышения температуры воды перед охладителем масла до $80 \text{ }^\circ\text{C}$.

На судне возникла аварийная ситуация, т. е. произошла аварийная остановка судна, так как было не ясно по какой причине изменились

параметры дизеля. В результате судно отбуксировали к месту стоянки БТО «Одесса» с целью выявления причины остановки ГД.

Для выявления причин необходимо было вскрыть картер и провести визуальный осмотр деталей движения (коленчатый вал, рамовые и шатунные подшипники, цилиндровая втулка, шатун) дизеля, что и было сделано [4].

После вскрытия у ГД 4-го, 5-го и 6-го крышек лючков картера обнаружили стружку белого и цветного металлов. Вскрыв крышки у 5 и 6 рамовых подшипников установили, что их вкладыши провернулись в постелях. В результате антифрикционный слой тонкостенных вкладышей 5-го рамового подшипника выплавлен полностью, а у 6-го подшипника частично. При этом были срезаны стопора верхних вкладышей 5-го и 6-го рамовых подшипников, на поверхности разъемов их крышек обнаружен наклёп, а на рамовых шейках коленчатого вала – кольцевые риски и наволакивания антифрикционного металла [9].

На дизеле 8NVD48A-2U установлены рамовые тонкостенные многослойные подшипники второго поколения, у которых толщина антифрикционного металла не превышает 1,0 мм (рис. 1) и который наносят гальваническим способом [7].

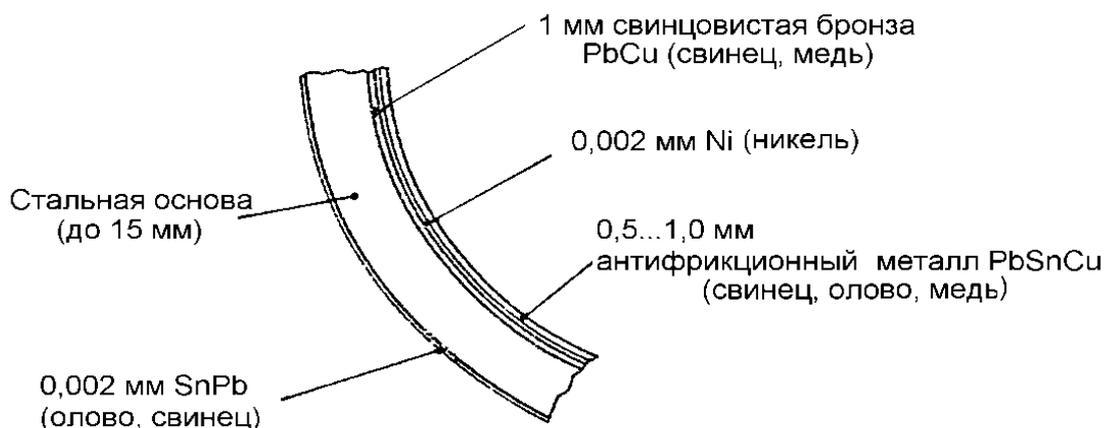


Рис. 1. Схема тонкостенного подшипника скольжения дизеля второго поколения

Тонкостенные вкладыши рамовых подшипников к постелям не подгоняют, а проверяют прилегание постели по спинке вкладыша на краску, которое должно составлять не менее 80 % поверхности постели.

Техническое обслуживание шатунных подшипников проводят через 9 тыс. ч, а рамовых – через 18 тыс. ч, во время которого проверяют состояние поверхности вкладышей визуально, а износ определяют измерением толщины несущей поверхности [8]. Остановка дизеля предотвратила дальнейшее разрушение его деталей.

На других дизелях проворачивание вкладышей рамового подшипника приводило к разрушению фундаментной рамы, цилиндрического блока, шатуна, цилиндрической втулки и повреждению коленчатого вала [1, 2, 6].

Для выявления причины проворачивания тонкостенных вкладышей рамовых подшипников в постелях дизеля были проведены исследования с целью определения характера их повреждений. Исследования показали, что основной причиной проворачивания вкладышей 5-го и 6-го рамовых подшипников является отсутствие натяга вкладышей подшипников [9].

Номинальная высота выступания вкладыша рамового и шатунного подшипников и нагрузка на его торец дизеля 8NVD 48A-2U, согласно техническим условиям на ремонт дизеля 452-233.012 УР приведена в табл. 1, а схема проверки натяга в фальшпостели – на рис. 2 [8].

Таблица 1

Технические условия для вкладыша рамового и шатунного подшипника дизеля 8NVD 48A-2U

Тип подшипника	Диаметр постели	Нагрузка на торец вкладыша, кгс/Н	Высота выступания вкладыша
рамовый	235	2950/28929	0,19–0,22
шатунный	235	2950/28929	0,16–0,19

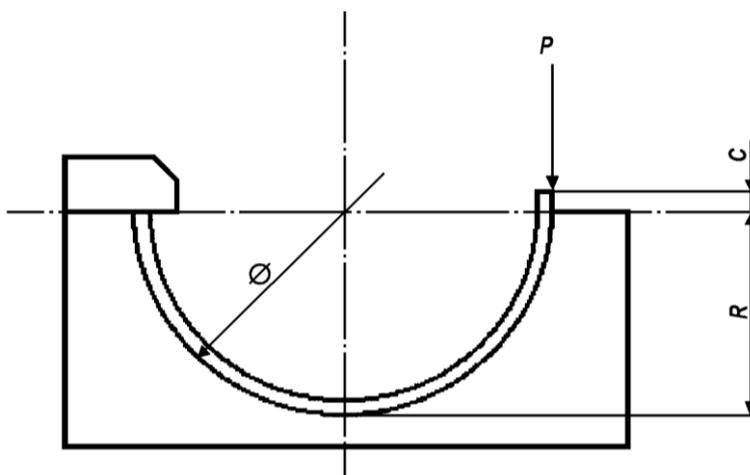


Рис. 2. Проверка натяга вкладыша в фальшпостели

Подтверждением такого заключения явилось отсутствие натягов и у других вкладышей рамовых подшипников за исключением 1-го и 8-го. Это установлено измерением натягов у всех рамовых подшипников коленчатого вала. (Натягом тонкостенных подшипников называют отрицательную разность между внутренним диаметром постели подшипника и наружным диаметром вкладыша подшипника).

Потеря натяга в процессе эксплуатации или установка тонкостенных вкладышей с недостаточным натягом, ведёт к коррозионно-механическому изнашиванию соприкасающихся тел при малых колебательных перемещениях затылочной части вкладыша т. е. к фрейтинг-коррозии (табл. 2) или к проворачиванию в постели.

Дефект тонкостенного вкладыша подшипника коленчатого вала дизеля, вероятная причина и способ его устранения

<p>Фрейтинг-коррозия на затылочной части вкладышей</p> 	<p>Уменьшение натяга вкладышей подшипника. Ослабление крепления крышки подшипника</p>	<p>Проверить затяжку крышки подшипника и величину натяга вкладышей. При отсутствии натяга, вкладыши заменить</p>
--	---	--

Величину выступания двух вкладышей над разъемом постели подшипника непосредственно в дизеле для рамовых подшипников определяют по величине суммарного натяга (зазора) между крышкой и постелью.

В результате был сделан вывод о том, что потеря натяга в подшипниках ГД 8NVD 48A2-U вызвана некачественно выполненным его ремонтом. Кроме того, не была сделана ревизия подшипников коленчатого вала после ходовых испытаний. То есть люди выполнявшие ремонт отнеслись к нему непрофессионально и халатно. Негативно сработал человеческий фактор. В итоге это и привело к аварийной остановке судна.

Список литературы

1. Леонтьев Л. Б. Анализ видов, причин и последствий отказов подшипников коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей / Л. Б. Леонтьев, А. Л. Леонтьев, В. Н. Макаров // *Фундаментальные исследования*. – 2015. – № 12 (часть 2) – С. 283–287.
2. Леонтьев Л. Б. Влияние эксплуатационных факторов на отказы подшипников скольжения коленчатых валов судовых среднеоборотных дизелей и пути повышения их надёжности / Л. Б. Леонтьев, А. Л. Леонтьев, В. Н. Макаров // *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова* : сб. науч. трудов. – 2016. – № 1(35). – С. 129–138.
3. Заворотный А. А. Повышение надёжности работы рамовых подшипников судовых дизелей 8NVD48 / А. А. Заворотный // *Автореферат канд. диссерт.* – Мурманск, 2005. – 18 с.
4. Соболенко А. Н. Исследование причин повреждений рамовых подшипников при вибрации и деформации упругих систем фундаментных рам ВДГ / Соболенко А.Н. // *Научные труды Дальрыбвтуза*. – Владивосток : Дальрыбвтуз. – 2015. – Т. 35. – С. 97–103.
5. Возницкий И. В. Повреждения и поломки дизелей. Примеры и анализ причин / И. В. Возницкий. – М. : Моркнига. 2006. – 166 с.
6. Корнилов Э. В. Аварии и аварийные повреждения судовых дизелей / Э. В. Корнилов, Е. Н. Бойко, Е. Н. Танасов. – Одесса : Экспресс, 2010. – 272 с.

7. Маницын В.В. Технология ремонта судов рыбопромыслового флота / В. В. Маницын. – М. : Колос, 2009. – 536 с.

8. Технические условия на ремонт ГД 8NVD 48A-2U – 452-233.012 УР.

9. Маницын В. В. Анализ повреждений рамовых подшипников двигателей 8NVD48A-2U на промысловых судах / В. В. Маницын, А. Н. Соболенко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова : сб. науч. трудов. – 2016. – Вып. 6 (40). – С. 150–155.

УДК 665.765:621.436:629.5

В.В. Тарасов, Е.П. Патенкова

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РЕГЕНЕРИРОВАННЫХ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В последние годы в мире увеличился парк энергетических установок с использованием двигателей внутреннего сгорания, для эксплуатации которых применяются не только традиционные сорта тяжёлых топлив, но и альтернативные топлива: природный газ, биотоплива и другие. С применением таких топлив ужесточаются требования к свойствам смазочных материалов (СМ), которые насыщаются различными присадками, что приводит к удорожанию производства СМ. При этом прогнозируемая потребность в СМ на 2001 г. составила 4,9 млн т, реально было произведено 2,2 млн. т [1, 3]. Разницу планировалось ликвидировать за счёт импорта СМ или за счёт экономии СМ на различных этапах его использования. Одним из значимых путей экономии СМ в процессе их эксплуатации является повторное использование после соответствующей переработки. Рациональное применение нефтепродуктов и обострившиеся проблемы охраны окружающей среды ставят задачи по вторичному использованию отработанных продуктов нефтяной промышленности. Необходимость регенерации и возвращения в оборот отработанные смазочные материалы (ОСМ) весьма ярко иллюстрирует пример решения этой актуальной задачи.

Сбор и регенерацию ОСМ ведут практически во всех промышленно развитых странах и в большинстве развивающихся стран. Из 10...12 млн. т СМ, ежегодно продаваемых в США, приблизительно половина теряется при эксплуатации. Однако 40 % из них, а это около 5 млн. т, собирается для последующей переработки. В странах ЕЭС ежегодно потребляется более 4,5 млн. т СМ, из которых 50 % расходуется безвозвратно. Остаётся около 2,2 млн. т ОСМ [1, 3]. Таким образом, примерно половина от общего производства масел может быть возвращена на утилизацию. Но это теоретически возможная величина. Она зависит в первую очередь от возможностей организовать сбор ОСМ. В действительности процент сбора масел в различных странах Западной Европы различен. В среднем он составляет лишь половину

теоретически возможного. Передовыми в этом отношении являются Нидерланды и Германия, в которых регенерация составляет соответственно 45 % и 30 % от потребления. В Германии в материальном выражении эта величина составляет 360 тыс. т в год. Во Франции ежегодно регенерируется 230 тыс. т ОСМ, или 25 % от потребления, в Великобритании 18 %, в Бельгии около 12 % [3].

Одним из аспектов ресурсосберегающей эксплуатации судовых дизелей со снижением экологической нагрузки на окружающую среду является регенерация и восстановление химмотологических свойств отработанных моторных масел (ММ). Для оперативного решения этой задачи у потребителя нефтепродуктов на судне предлагается использовать компактную мобильную установку, комплектуемую по модульному принципу в зависимости от требуемой пропускной способности. Характеристики разработанного в Морском государственном университете им. адм. Г.И. Невельского для этих целей регенерационного модуля РУМС-1 приведены в работах [1, 2].

Отработанные ММ можно использовать в элементах судовой энергетической установки (СЭУ) с понижением моторной группы масла, как это показано в исследованиях [4]. Кроме того, их эксплуатационные свойства можно восстанавливать легированием специальными присадками до уровня свежих ММ [5, 6]. Восстановлению подлежат отработанные масла прошедшие регенерацию в результате которой из них полностью удаляются нерастворимые продукты (НРП) внешнего и внутреннего загрязнения, вода и низкотемпературные кипящие фракции, углеводороды, обусловленные поступлением в них топлива. В отработанных маслах содержание НРП может достигать до 6 %, их нормированная вязкость может изменяться как в сторону повышения, так и понижения на 20...40 %, температура вспышки обычно снижается на 30...50 °С [7].

Регенерация отработанных ММ в установке РУМС-1 позволяет снизить концентрацию НРП до 0,05 %, полностью удалить из них воду и топливо. Очистка масла от нерастворимых примесей и воды может осуществляться фильтрованием, циклонированием и сепарированием. Этот процесс может занимать длительное время. Наиболее эффективно его осуществлять сепарированием при нагреве масла до 70...80 °С и выборе оптимальной пропускной способности центробежного сепаратора (ЦС). При этом он обычно функционирует по замкнутому циклу, многократно очищая отработанное загрязнённое масло, находящееся в специальной цистерне. Выбор режимов сепарирования зависит от диспергирующей способности отработанных масел, уровня их загрязнения НРП и водой, состава нерастворимых продуктов дисперсности примесей и глобул воды. Оптимальные режимы сепарирования, в том числе с переменной пропускной способностью ЦС, по мере снижения концентрации в масле НРП и роста дисперсности приведены в работе [7].

Целью данной статьи было обоснование требуемой глубины очистки масла от НРП. Имеются исследования [8, 9], которые показывают, что с позиций износных свойств отработанных ММ, полностью удалять

из них механические примеси нет необходимости. Определяя глубину очистки масла, важно учитывать: абразивность НРП, их дисперсный состав, соотношение сгораемых и минеральных (несгораемых) компонентов нерастворимых примесей. Обоснованных рекомендаций по данному вопросу нет.

Остаточные нерастворимые загрязнения в регенерированном продукте бесспорно будут оказывать влияние на эксплуатационные свойства восстановленного масла. Поставлена задача определить концентрацию НРП в регенерированном масле, которая не оказывает значительного влияния на противоизносные свойства восстановленного масла. Априори можно констатировать, что для ММ групп Г₂, Д₂ концентрация НРП до 0,6 % (в зависимости от уровня диспергирующих свойств масла) не сказывается существенно на срабатывание присадок в восстановленных нефтепродуктах [7]. Расчётами показано, что на их поддержании во взвешенном состоянии при общем загрязнении работающего масла 1,5...3 % будет расходоваться менее 10 % присадок. Это связано с тем, что в восстановленное масло загрязнения вносятся совместно с присадками в остаточной активной форме, которые частично компенсируют их расход на поддержание в высокодисперсном состоянии нерастворимой фазы с повышенной концентрацией НРП.

С целью оценки противоизносных свойств отработанных ММ, загрязненных НРП до уровня 3...5 %, были выбраны масла групп Г₂, Д₂, которые были отбракованы по разным причинам, в том числе по содержанию присадок, уровню загрязнения НРП, попадания воды и топлива. Отработанные масла имели разный уровень остаточной щёлочности, содержание многофункциональных присадок. Уровень диспергирующе-стабилизирующих свойств у них также значительно отличался. Дисперсный состав НРП имел существенную разницу, как по общему составу грубодисперсных механических примесей, так и по содержанию тонкодисперсной нерастворимой фазы и её среднему размеру нерастворимых в масле частиц.

Были подобраны три группы отработанных масел, которые функционировали в судовых дизелях с повышенной частотой вращения ($n = 16,7 \text{ с}^{-1}$) и форсировкой по среднему эффективному давлению $p_{me} = 0,8...2,0 \text{ МПа}$. Масла в исходном состоянии полностью соответствовали продуктам М-14-Г₂(цс), М-14-Д₂(цл20) и М-14-Д₂(цл30) (ГОСТ 12337–84). При их обработке в форсированных дизелях в течение 1,5...2 тыс. ч с использованием соответственно топлив СМТ (ТУ 38.101567–87), М-40В, М-100 (ГОСТ 10585–75) после обработки в плёночно-вакуумном регенераторе для полного удаления воды и топлива представлено в табл. 1.

Представленные отработанные масла подвергали сепарированию с подогревом до $78 \pm 3 \text{ °C}$ при факторе разделения ЦС-1,5 3800, его пропускной способности $0,1...0,6 \text{ м}^2/\text{ч}$ до полного удаления нерастворимых продуктов. Конечная концентрация НРП составляла в зависимости от диспергирующих свойств масла $0,1...0,3 \text{ %}$ и была обусловлена пределом центрифугирования, что позволило достичь уровня регенерации $0,98...1,00$, в дальнейшем эксперименте он был принят за 1.

Таблица 1

Состояние отработанных ММ

Марка масла	Вязкость при 100 °С, сСт	Щёлочность, мг КОН/г	Зольность фугата, %	Концентрация НРП, %
М-14-Г ₂ (цс)	12,3–15,1	3,5–4,3	0,41–0,6	2,2–3,4
М-14-Д ₂ (цл20)	12,8–14,7	4,9–7,1	0,8–1,3	2,8–3,6
М-14-Д ₂ (цл30)	13,2–16,7	9,2–12,8	1,2–1,6	3,2–5,4

Была поставлена задача оценить противоизносные свойства отработанных ММ разного уровня моторных свойств, загрязнённых НРП, содержащих продукты неполного сгорания топлив, износа двигателя, срабатывания присадок, старения (окисления) масел. При этом в масле содержались отдельные крупные частицы механических примесей от внешнего и внутреннего загрязнения масла (частицы кварца, продукты коррозии, спекшиеся конгломераты сажи от неполного сгорания топлива, карбонизации углеводородов масла). Содержание НРП (механических примесей) в отработанных маслах определяли центрифугированием их бензиновых растворов в соответствии с ГОСТ 20684–75.

Противоизносные свойства отработанного масла с разным уровнем остаточного загрязнения НРП, т. е. прошедших частичную или полную очистку с уровнем коэффициента регенерации от 0 до 1, определяли на машине трения СМЦ-2. Режим нагружения машины был выбран для имитации условий работы поршневых колец ДВС при подходе поршня к ВМТ, когда трибосопряжение «поршневое кольцо-втулка» работает в очень жёстких условиях [7, 9]. Лабораторные сравнительные испытания проводили на СМЦ-2 с подвижным роликом диаметром 50 мм и шириной 12 мм из серого чугуна (микротвёрдость $H_{ц} = 2...2,5$ МПа, шероховатость $R_a = 0,15$ мкм). Неподвижный ролик таких же размеров из этого же материала имел хромовое пористое покрытие толщиной 500 мкм с параметрами $H_{ц} = 8$ МПа, $R_a = 0,62$ мкм. Внешняя нагрузка на ролики составляла 30 МПа. Большинство судовых дизелей средней и повышенной частоты вращения имеют вышеназванные детали (поршневые кольца и цилиндрические втулки) с перечисленными характеристиками.

Температура в зоне трения измерялась с помощью термопары, установленной в неподвижных образцах на глубине 1,5...2 мм от поверхности. В экспериментах температура образцов в зоне трения составляла 230...250 °С, что соответствует условиям работы поршневых колец в верхней части цилиндра дизеля со средним эффективным давлением $p_{me} = 1,6...2,0$ МПа.

Смазывание пары трения осуществляли капельным способом с интенсивностью 6...10 капель/мин. Время испытания на каждом цикле с разной смазкой составляло 5 ч. После каждого цикла испытаний машину трения

останавливали и, не снимая хромированного образца, оценивали износ при помощи микроскопа Бринелля, по значению ширины пятна контакта. Далее расчётом определяли глубину лунки и объём изношенного материала.

Износ подвижного образца определяли взвешиванием на электронных весах ВЛА-200 с точностью до 0,3 мг. Перед взвешиванием образцы тщательно промывали и сушили в вакуумном шкафу при температуре 120 °С и вакууме 0,1 МПа в течение 2 ч. Каждый вариант смазки испытывали один раз. В центре плана испытания проводили трижды.

В эксперименте в качестве управляемых факторов были выбраны выше перечисленные отработанные нефтепродукты, закодированные рангом $M = -1$ – масло М-14-Г₂(цс), $M = 0$ – масло М-14-Д₂(цл20) и $M = +1$ – масло М-14-Д₂(цл30). Уровень загрязнения отработанных масел НРП оценивали по коэффициенту регенерации φ_p , который равнялся 0, 0,5 и 1, что соответствовало пробам масла с загрязнением нерастворимыми примесями $c_{(-1)} = 4 \pm 0,4$ % ($x_1 = -1$), $c_{(0)} = 2 \pm 0,2$ % ($x_1 = 0$), $c_{(+1)} = 0,2 \pm 0,05$ % ($x_1 = +1$).

Коэффициент регенерации рассчитывался через соотношение содержания НРП c_x в очищенном, т. е. прошедшем длительное сепарирование, масле и исходной концентрации $c_{(-1)}$ в нефтепродукте, выбранном для сепарирования $\varphi_p = (c_{(-1)} - c_{(i)}) / c_{(-1)}$. Как кодировались факторы видно из табл. 2.

Таблица 2

Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Кодовые обозначения	Интервал варьирования	Уровни факторов		
			нижний -1	основной 0	верхний +1
Коэффициент регенерации ММ по нерастворимым примесям φ_p , отн. ед.	x_1	0,5	0	0,5	1
Качество отработанного масла М, ранг	x_2	1	-1	0	+1

Функция отклика y – это износ (отн. ед), подвижного и неподвижного роликов за цикл (5 ч) испытаний, определяемый относительно результата, полученного в центре факторного пространства ($x_1 = x_2 = 0$). Суммарный износ фиксировался по двум деталям при трёхкратных повторных испытаниях в центре плана с выбранным сочетанием факторов. Весомость износа каждого из роликов при формировании суммарного показателя I принята одинаковой.

Для проведения экспериментов выбран ортогональный центральный композиционный план второго порядка. Достоинство его состоит в малом объёме вычислений, так как все коэффициенты регрессии определяются

независимо друг от друга. Ортогонализация центрального композиционного плана (ЦКП) достигнута выбором «звездного» плана и преобразованием квадратичных членов матрицы планирования по рекомендациям [10].

Матрица планирования ортогонального ЦКП представлена в табл. 3. Величина «звездного» плеча $\alpha = 1$, число опытов в центре плана – 3. Для ортогонализации всех столбцов матрицы осуществлена замена x_1^2 и x_2^2 новой переменной x'_1 и x'_2 [9, 10]:

$$x'_1 = x_1^2 - \frac{2}{3}, \quad x'_2 = x_2^2 - \frac{2}{3}.$$

Таблица 3

Матрица ортогонального центрального композиционного плана второго порядка для факторов φ_p и $M x_1^2(x'_1)$

Содержание плана	№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	$x_1^2(x'_1)$	$x_2^2(x'_2)$	y_j	\hat{y}_j	$(y_j - \hat{y}_j)^2$
План типа 2^2	1	+	+	+	+	+ (+1/3)	+ (+1/3)	87,3	88,2	0,81
	2	+	-	+	-	+ (+1/3)	+ (+1/3)	115,0	114,4	0,36
	3	+	+	-	-	+ (+1/3)	+ (+1/3)	106,1	107,2	1,21
	4	+	-	-	+	+ (+1/3)	+ (+1/3)	178,4	178,2	0,04
«Звездные» точки с плечом $\alpha=1$	5	+	+	0	0	$\alpha^2(+1/3)$	0 (-2/3)	94,2	92,1	4,41
	6	+	-	0	0	$\alpha^2(+1/3)$	0 (-2/3)	140,0	140,7	0,49
	7	+	0	+	0	0 (-2/3)	$\alpha^2(+1/3)$	86,7	86,2	0,25
	8	+	0	-	0	0 (-2/3)	$\alpha^2(+1/3)$	128,5	127,6	0,81
Нулевая точка	9	+	0	0	0	0 (-2/3)	0 (-2/3)	104,2	100	17,64
		98,5	2,25							
		97,8	7,29							
Коэффициенты	y	b'_0 *	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}	$S_E = \sum_{u=1}^3 (y_u - \bar{y}_u)^2 = 27,18;$		
	y	115,1 101,5	-24,1	-19,7	11,12	15,28	5,13	$S_R = \sum_{j=1}^8 (y_j - \hat{y}_j)^2 = 8,38$		

*Значение b'_0 при представлении вместо x_1^2 и x_2^2 преобразованной переменной $x'_1 = x_1^2 - 2/3$, $x'_2 = x_2^2 - 2/3$. Переход к обычной форме записи осуществляется расчетом $b_0 = b'_0 - 2/3(b_{11} + b_{22}) = 115,1 - 2/3(15,28 + 5,13) = 101,5$.

Реализация опытов по приведенной матрице (табл. 3) позволило представить функцию отклика y (предполагаемый далее как износ I , выраженный в относительных единицах) в виде полинома второй степени:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (1)$$

Функцию отклика y (износ I) за цикл испытаний (5 ч) фиксировали по подвижному и неподвижному роликам в безразмерном виде через значение этого показателя при факторах в центре плана. При $x_1 = x_2 = 0$ износ подвижного ролика был равен $\Delta \bar{G}_{Cr(0)} = 36$ мг, неподвижного – $\Delta \bar{V}_{Cr(0)} = 142 \cdot 10^{-3}$ мм³.

Суммарный износ в любом из опытов рассчитывали по формуле

$$N_j = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta G_{\text{сч}(j)}}{\Delta \bar{G}_{\text{сч}(0)}} + \frac{\Delta V_{\text{ср}(j)}}{\Delta \bar{V}_{\text{ср}(0)}} \right) 100 \% .$$

Скорость изнашивания определялась посредством выражения

$$\bar{J}_{\text{сч}(0)} = \frac{\Delta \bar{G}_{\text{сч}(0)}}{\tau} = \frac{36}{5} = 7,2 \text{ мг/ч}; \quad \bar{J}_{\text{ср}(0)} = \frac{\Delta \bar{V}_{\text{ср}(0)}}{\tau} = \frac{142}{5} = 28,4 \cdot 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{ч};$$

$$J_j = \frac{1}{2} \left(\frac{J_{\text{сч}(j)}}{\bar{J}_{\text{сч}(0)}} + \frac{J_{\text{ср}(j)}}{\bar{J}_{\text{ср}(0)}} \right) 100 \% .$$

Благодаря ортогональности матрицы планирования коэффициенты регрессии определялись независимо друг от друга [8]

Коэффициенты модели получили следующие значения: $b_0 = 101,5$; $b_1 = -24,15$; $b_2 = -19,7$; $b_{12} = 11,12$; $b_{11} = 15,28$; $b_{22} = 5,13$.

Дисперсии оценок коэффициентов регрессии:

$$S^2\{b_1\} = S^2\{b_2\} = 0,28;$$

$$S^2\{b_{12}\} = 0,42;$$

$$S^2\{b_{11}\} = S^2\{b_{22}\} = 0,28.$$

Дисперсии коэффициентов не равны, так как сумма квадратов элементов столбцов матрицы $\sum_{j=1}^N x_{ij}$ не равны друг другу.

Средняя квадратичная ошибка в определении коэффициентов уравнения регрессии (1) оказалась следующей: $S\{b_i\} = S\{b_{ii}\} = 0,53$, $S\{b_{il}\} = 0,65$. Доверительный интервал коэффициентов уравнения регрессии определяли с учётом критерия Стьюдента t_s , который при 5 %-ном уровне значимости и числе степеней свободы $f = 5$ равен 2,57 [10]. Следовательно, $\Delta b_i = \Delta b_{ii} = \pm 2,57 \cdot 0,53 = 1,36$; $\Delta b_{il} = 2,57 \cdot 0,65 = 1,67$.

Коэффициенты уравнения регрессии по абсолютной величине оказались больше доверительного интервала, потому их можно признать статистически значимыми.

По результатам опытов в центре плана была вычислена дисперсия S_y^2 воспроизводимости эксперимента, которая составила $S_y^2 = 7,69$.

Найденная дисперсия адекватности составила 1,68 [9, 10].

Проверку адекватности полученной модели проводили по F -критерию Фишера [9, 10]. Для данного случая, при котором $S_{\text{ад}}^2 = 1,68$ и $S_y^2 = 7,69$, значение критерия Фишера $F_p = 0,22$.

При 5 %-ном уровне значимости и числе степеней свободы $f_1 = 2$ и $f_2 = 5$ он оказался ниже табличного ($F_T = 19,3$), поэтому полученная модель адекватно

описывает влияние факторов на износ деталей исследуемого трибосопряжения.

Реализация экспериментов по приведенной матрице планирования (табл. 3) позволило представить функцию отклика через износ I , (выраженный в относительных единицах) в виде полинома второй степени, в следующем виде:

$$y = 101,5 - 24,15x_1 - 19,7x_2 + 11,12x_1x_2 + 15,28x_1^2 + 5,13x_2^2. \quad (2)$$

Анализ коэффициентов уравнения (2) показывает, что наибольшее влияние на изнашивание трибосопряжений оказывает первый фактор x_1 ($b_1 = -24,15$). Таким образом, по мере углубления очистки ММ от НРП при его регенерации абразивность отработанного масла снижается, что проявляется в уменьшении показателя суммарного износа I и скорости изнашивания J обоих роликов по мере увеличения φ_p . Такое явление объясняется уменьшением концентрации абразивно-опасных нерастворимых продуктов в регенерированном масле.

По мере роста показателя x_1 эффект от углубления очистки отработанного масла снижается, так как интенсивность падения скорости изнашивания J замедляется. На этот факт указывает довольно высокое значение коэффициента $b_{11} = 15,28$.

Эффект взаимодействия факторов x_1 и x_2 выражен существенно ($b_{12} = 11,12$), что проявляется в ослаблении роли качества (моторной группы) отработанного масла (при переходе от $M = -1$ к $M = +1$) в снижении скорости изнашивания J по мере роста коэффициента регенерации.

Влияние запаса качества масла, фиксируемого группой моторных свойств (фактор x_2), проявляется аналогично действию показателя φ_p (фактор x_1), но проявляется менее ярко ($b_2 = -19,7$), так как его численное значение b_2 меньше b_1 . При переходе от отработанного масла группы Γ_2 к группе D_2 скорость износа трибосопряжений лабораторной установки падает. Снижение J по мере увеличения x_1 замедлялось при переходе с масла М-14- D_2 (цл20) на М-14- D_2 (цл30) по сравнению с заменой М-14- Γ_2 (цс) на М-14- D_2 (цл20). На этот факт указывает величина и положительное значение коэффициента b_{12} .

Квадратичный эффект от действия фактора x_2 проявляется в наименьшей мере ($b_{22} = 5,15$), но он значим. Положительное значение его, также как и коэффициента b_{11} , указывает на то, что кривизна зависимостей $y(x_1)$ и $y(x_2)$ направлена вниз, соответственно к абсциссам x_1 и x_2 .

Уравнение (2) неудобно для интерпретации полученных результатов исследования, поэтому, используя ресурсы программного комплекса Mathcad 14, для наглядной оценки процесса изнашивания деталей дизеля получили графическое изображение гиперплоскости в 3-х мерном пространстве для кодированных значений управляемых факторов (рис. 1 и 2).

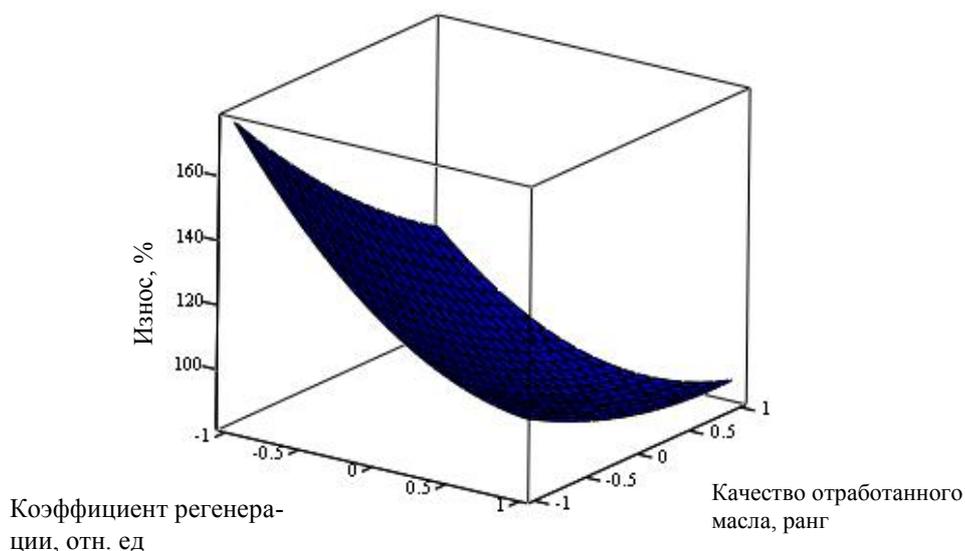


Рис. 1. Гиперплоскость в 3-х мерном пространстве в кодированных значениях факторов, оценивающая зависимость противоизносных свойств РММ через изнашивание судового дизеля, с учётом качества свойств моторной группы масел и коэффициента их регенерации

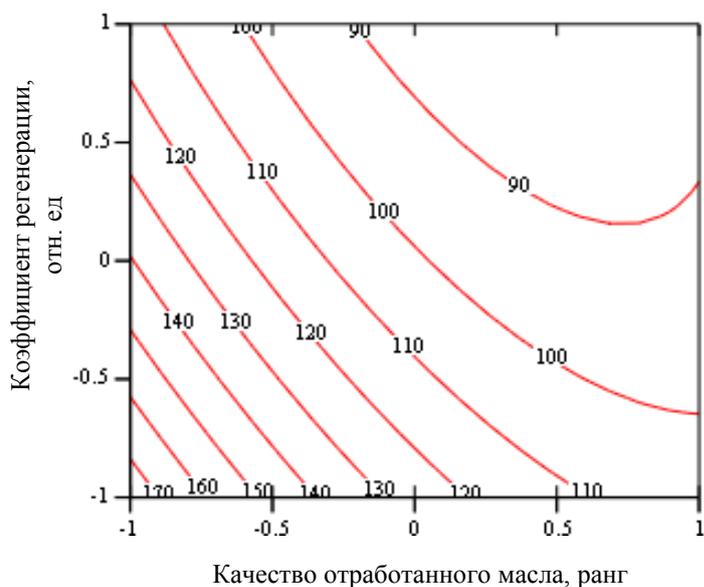


Рис. 2. Двухмерное сечение, характеризующее изнашивание деталей дизеля от коэффициента регенерации и качества свойств моторной группы масел

Применительно к судовым унифицированным свежим ММ, начальные эксплуатационные свойства которых идентифицируются показателем Σ_0 и Σ_m или их совокупностью, уравнение (2), с использованием натуральных величин управляемых факторов, может быть трансформировано в зависимость следующего вида:

$$I = 140,9 - 109,32\varphi_p - 30,9M + 22,24\varphi_p M + 61,12\varphi_p^2 + 5,13M^2. \quad (3)$$

Уравнение (3), для интерпретации полученных результатов исследования в натуральных величинах управляемых факторов, с использованием ресурсов программного комплекса Mathcad 14, для наглядной оценки процесса изнашивания деталей дизеля может быть представлено в графическом изображении, как гиперплоскости в 3-х мерном пространстве (рис. 3 и 4).

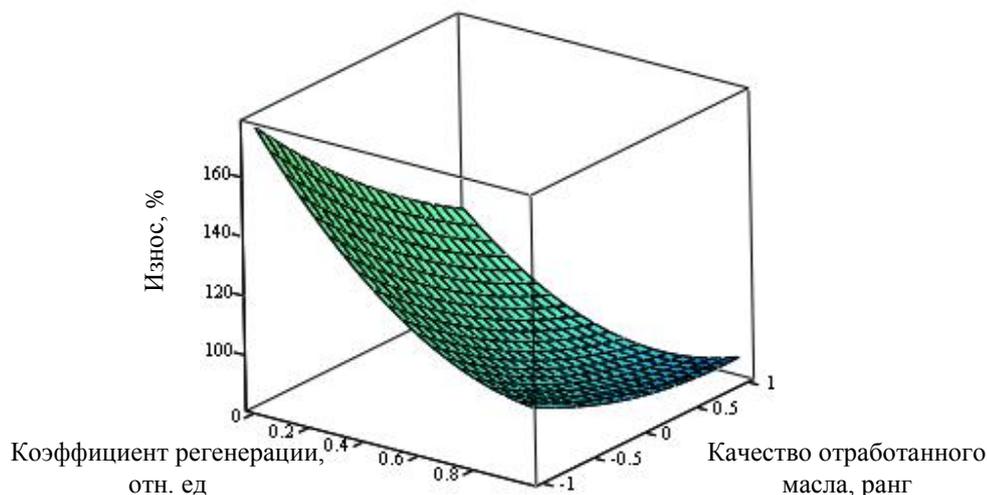


Рис. 3. Гиперплоскость в 3-х мерном пространстве в натуральных величинах управляемых факторов, оценивающая зависимость противоизносных свойств РММ через изнашивание судового дизеля, с учётом качества свойств моторной группы масел и коэффициента их регенерации

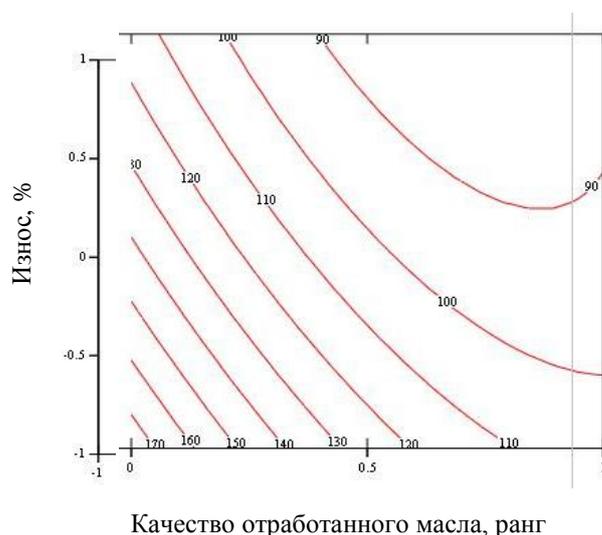


Рис. 4. Двухмерное сечение, характеризующее изнашивание деталей дизеля от коэффициента регенерации и качества свойств моторной группы масел

Полученными зависимостями рекомендуется пользоваться для расчёта параметров глубины очистки от НРП отработанных моторных масел разных моторных групп при их регенерации с доверительной вероятностью 0,95, с целью формирования методики регенерации ОММ в судовых

условиях по авторской схеме с использованием штатного сепарационного оборудования [4, 5, 6, 9].

А также они могут быть использованы для окончательных рекомендаций по обеспечению требуемой глубины очистки отработанных масел в зависимости от их качества. Полученные рекомендации работают не только для масел выделенных групп, но и для всех свежих масел, у которых группа эксплуатационных свойств M может идентифицироваться через зольность фугата (Z_m , %) и щёлочность ($Щ_0$, мг КОН/г) следующими соотношениями [7]:

$$M = \frac{Щ_0 - 20}{10}, \quad M = \frac{Z_m - 3,0}{1,5}.$$

В этом случае ограничения по требуемой глубине очистки отработанных масел рассматриваемых групп Γ_2 и D_2 , задаваемой коэффициентом $\Phi_{p(opt)}$ регенерации могут быть рассчитаны по формулам:

$$\Phi_{p(opt)} = 0,894 - 0,182M; \quad (6)$$

$$\Phi_{p(opt)} = 1,258 - 0,1836Щ_0; \quad (7)$$

$$\Phi_{p(opt)} = 1,258 - 0,1212Z_m. \quad (8)$$

Значение этих коэффициентов регенерации для масел с низким уровнем моюще-диспергирующих свойств близко к 1, что указывает на необходимость полной их очистки от крупнодисперсных НРП вплоть до предела центрифугирования, когда в регенерированном масле остаются дисперсные фазы с размерами частиц менее 0,7 мкм. Остаточное загрязнение НРП отработанных регенерированных масел более высших эксплуатационных групп (например D_2) может быть выше. Этот уровень концентрации мелкодисперсных НРП не окажет заметного влияния на износные свойства регенерированных и восстановленных масел.

Глубокая очистка регенерированных масел до полного удаления НРП, например, применением коагулянтов не способствует улучшению противозносных и моюще-диспергирующих восстановленных на их основе нефтепродуктов. Это обусловлено тем, что полное удаление мелкодисперсной фазы нерастворимых загрязнений из регенерированных масел микрофильтрацией или сепарировании в интенсивном центробежном поле способствует отфуговыванию находящихся в коллоидном состоянии большинства присадок типа МАСК, ППС и некоторых модификаторов трения, что приводит к ухудшению эксплуатационных свойств восстановленных ММ [11]. Остаточная доля многофункциональных присадок в регенерированном масле, если полностью не удалять НРП и соблюдать требования, приведённые в работе [6], в зависимости от группы ММ и условий его использования может составлять 10...35 %. Переходя в восстановленное масло, они полно-

стью компенсируют расходы добавляемых свежих присадок при его легировании на диспергирование и стабилизацию остаточных НРП.

Выводы

1. Испытаниями на машине трения с оценкой противоизносных свойств загрязнённых нерастворимыми примесями отработанных масел доказана рациональность их регенерации с частичным удалением НРП, что на основе критерия изнашивания даёт выражения для расчёта требуемого коэффициента регенерации отработанных масел с допустимой глубиной их очистки от нерастворимых загрязнений. Такие регенерированные моторные масла, эксплуатационные свойства которых восстановлены легированием присадками, будут находиться на уровне характеристик свежего продукта соответствующего качеству моторной группы масел.

2. Эксплуатационными сравнительными испытаниями регенерированных и свежих моторных масел также подтверждено, что использование РММ не ухудшает противоизносные и моюще-диспергирующие свойства восстановленных на их основе моторных масел, так как параметры РММ соответствуют уровню свежих масел соответствующих сравниваемых моторных групп.

3. Предлагаемая глубина очистки отработанных моторных масел от нерастворимых примесей позволяет сохранить мелкодисперсные остаточные НРП вместе с частью нерастворимых многофункциональных присадок находящихся в коллоидном состоянии, что обуславливает их переход в восстановленное моторное масло.

Список литературы

1. Тарасов В. В. Проблемы утилизации и регенерации отработанных смазочных материалов на судах: пути их решения восстановлением моторных свойств и повторным использованием в судовых дизелях / В. В. Тарасов // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010 : сб. науч. тр. конф. – Одесса : Транспорт, 2010. – Т. 1. – С. 65–71.

2. Тарасов В. В. Принципиальная схема установки по регенерации отработанного моторного масла в судовых условиях / В. В. Тарасов, П. В. Кулямов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 2. – С. 175–179.

3. Пиковская Е. В. Регенерация отработанных масел в США / Е. В. Пиковская // Мир нефтепродуктов. – 2000. – № 4. – С. 23–25.

4. Тарасов В. В. Оценка эффективности использования регенерированного моторного масла в судовых дизелях / В. В. Тарасов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2010. – № 2. – С. 146–152.

5. Кича Г. П. Эффективность применения в судовых дизелях регенерированных восстановленных отработанных моторных масел / Г. П. Кича, В. В. Тарасов, Е. М. Деревцов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2016. – № 1, 2. – С. 83–91.

6. Кича Г. П. Регенерация отработанных моторных масел и восстановление их эксплуатационных свойств на судах / Г. П. Кича, В. В. Тарасов, С. В. Глушков // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 3(33), Т. 1. – С. 126–132.

7. Кича Г. П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. В. Надёжкин. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, – 2011. – 372 с.

8. Надёжкин А. В. Имитационная модель трибодиагностики двигателей внутреннего сгорания / А. В. Надёжкин, А. В. Безвербный, Г. П. Кича // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. – № 3. – С. 6–14.

9. Кича Г. П. Триботехнические характеристики нерастворимых продуктов загрязнения моторных масел и их влияние на износ дизеля / Г. П. Кича, Г. М. Липин, С. П. Полоротов // Трение и износ. – 1998. – Т. 7, № 6. – С. 1068–1078.

10. Спиридонов А. А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А. Спиридонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 184 с.

11. Кича Г. П. Имитационное моделирование смазки трибосопряжений и изнашивания основных деталей ДВС / Г. П. Кича, А. В. Надёжкин, Б. Н. Перминов // Транспортное дело России. – 2004. – № 2. – С. 51–53.

УДК 669.018.25:669.248

А. Д. Юзов

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ИЗ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОРОШКОВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

Основными видами материалов, используемых для нанесения покрытий с целью повышения износостойкости или восстановления изношенных поверхностей деталей машин, являются никелевые самофлюсующиеся сплавы, содержащие хром, бор и кремний. Это позволяет существенно улучшить эксплуатационные и прочностные свойства самых разнообразных деталей и изделий.

Одним из наиболее эффективных методов получения покрытий является метод газопламенного напыления порошков с последующим оплавлением. Газопорошковая наплавка получила предпочтительное применение, т. к., во-первых, порошки позволяют в более широких пределах (чем проволока) регулировать состав наносимых покрытий, что способствует повышению прочности их сцепления с основой. Во-вторых, можно упрочнять детали сложной конфигурации слоем минимальной толщины (0,1...0,3 мм).

Газопламенным напылением упрочняют плунжеры, лопатки вентиляторов, лемехи плугов, штампы и т. п. Кроме того, нанесение износостойких порошковых сплавов системы $Ni-Cr-B-Si-C$ является весьма перспек-

тивным для изготовления оснастки оборудования кирпичных заводов (например, керны, сита, пустотообразователи и т. п.), инструмента для обработки абразивных материалов (например, вальцов для прокатки вулканитовых сред) и т. д. Такие изделия работают в условиях значительного абразивного износа, поскольку находятся в контакте с материалами, являющимися абразивами (кварцевый песок, корунд и др.). Поэтому задача выбора материала с высокой износостойкостью для изготовления подобных деталей является весьма актуальной.

Формирование структуры покрытий из порошковых никелевых сплавов системы $Ni-Cr-B-Si-C$ определяется особенностями их химического состава и технологией нанесения.

Порошки данной системы имеют температуру плавления $1020...1080\text{ }^{\circ}\text{C}$ и являются самофлюсующимися, т. к. наличие бора и кремния способствует образованию защитных стеклообразных шлаков и хорошей смачиваемости поверхности. Самофлюсование происходит за счёт раскислителей (бора и кремния), которые при оплавлении связывают кислород, образуя боросиликатные шлаки (B_2O_3 , SiO_2), легко всплывающие на поверхность покрытия.

Процесс напыления с одновременным оплавлением включает в себя нагрев материалов газовым пламенем до жидкого состояния, его распыление газовой струёй и нанесение с большой скоростью на обрабатываемую поверхность. Порошок достаточно прочно соединяется с поверхностью, после чего её разогревают до оплавления, причём не требуется нагревать напылённый материал до полного расплавления, т. к. за счёт эвтектики, имеющейся в структуре этих сплавов, жидкая фаза появляется за $100...150\text{ }^{\circ}\text{C}$ до полного растворения. При этом исходные структурные составляющие: γ -твёрдый раствор и карбиды – остаются в твёрдом состоянии, что обеспечивает сохранение общей целостности покрытия. Возникшая жидкая фаза заполняет образовавшиеся при напылении поры, обеспечивая диффузию элементов и формирование окончательной структуры покрытия. Наличие в оплавленных покрытиях твёрдых карбидов или карборидов и высокая микротвёрдость материала покрытия обуславливают их стойкость к абразивному и эрозийному действиям, высокую износостойкость (примерно в десять раз больше, чем у стали). Нагрузку в покрытии воспринимает, в основном, твёрдая составляющая, а относительно пластичная матрица на основе никеля, с одной стороны, скрепляет и удерживает частицы упрочняющей фазы и препятствует хрупкому разрушению, с другой, сама противостоит изнашивающим нагрузкам.

Наплавку проводят послойно, каждый раз доводя новый слой до состояния оплавления. Общая толщина наплавленного слоя получается в пределах до 3 мм.

Таким образом, износостойкие покрытия из порошковых сплавов системы $Ni-Cr-B-Si-C$, полученные методом газопламенного напыления с после-

дующим оплавлением, имеют своеобразную структуру, состоящую из γ -твёрдого раствора на основе никеля, многокомпонентной эвтектики из боридов никеля NiB , Ni_2B , Ni_3B или карбоборидов $Cr_{23}(C,B)_6$ и γ -твёрдого раствора, боридов CrB , Cr_2B и карбидов хрома Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , $Cr_{23}C_6$. Причём карбиды легированы никелем, бориды – железом и хромом, а γ -твёрдый раствор – кремнием и железом. При этом фазовый состав, структура и свойства покрытий, полученных из порошка одного и того же состава, существенно зависят от способов и режимов нанесения, а также последующей обработки. К тому же напылённые покрытия из самофлюсующихся сплавов являются довольно пористыми: без проведения проплавления их усадка составляет до 20 %. Большое влияние на износостойкость оказывает твёрдость материала покрытия, которая, в свою очередь, определяется структурным состоянием.

Имеющиеся литературные данные не дают достаточной информации о структуре самофлюсующихся материалов. Вопрос о корреляции твёрдости и износостойкости этого класса покрытий в литературе освещён недостаточно. Отсутствует также единый, надёжно обоснованный подход к выбору оптимального состава и структурно-фазового состояния материалов, оптимальных технологических параметров для конкретных условий эксплуатации изделий из таких материалов.

На кафедре материаловедения и термической обработки металлов МГТУ в течение ряда последних лет ведутся исследования структуры и свойств покрытий системы $Ni-Cr-B-Si-C$. Работы проводятся в тесном сотрудничестве с ООО НПФ «Аркас» (г. Магнитогорск), где эти сплавы используются при изготовлении разных деталей и инструментов. Были накоплены многочисленные данные по свойствам покрытий из порошковых самофлюсующихся материалов на основе никеля, которые зачастую либо свидетельствовали о неудовлетворительной воспроизводимости результатов, либо не позволяли достаточно надёжно и достоверно установить корреляции между свойствами, а также их зависимость от условий нанесения покрытий. Поэтому возникла необходимость систематизировать имеющиеся результаты исследований с целью установить взаимосвязь между свойствами покрытий, а также их зависимость от условий нанесения покрытий.

Таблица 1

Химический состав исследуемых самофлюсующихся порошковых сплавов

Марка материала	Химический состав, %					
	Cr	B	Si	Fe	C	Ni
ПГ-12Н-01	8–14	1,7–2,8	1,2–3,2	2–5	0,30–0,60	74,4–86,8
ПГ-12Н-02	10–16	2,0–4,0	3,0–5,0	3–6	0,40–0,80	68,2–81,6
ПР-Н77Х15СЗР2	14–16	1,8–2,3	2,8–3,5	до 5	0,35–0,60	72,6–76,1

Были исследованы структура и свойства покрытий из сплавов марок ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, ПР-Н77Х15СЗР2 (табл. 1), полученных напылением, с последующим оплавлением пламенем газовой горелки. Химический состав порошковых материалов приведён в таблице. Для проверки достоверности полученных данных в работе использованы методы статистического анализа с применением прикладных программ Excel.

На абразивную износостойкость образцы испытывались в соответствии с ГОСТ 23.208–79 в условиях износа об абразивные частицы, подаваемые в зону трения и прижимаемые к образцу вращающимся резиновым роликом. Износ определялся методом сопоставления с износом эталонного образца из стали 45. Причём для имитации изнашивания в условиях эксплуатации проводилось определение износостойкости после послойного (на 0,3...0,5 мм) стачивания нанесенного покрытия. Минимальная толщина составляла около 0,45 мм, что соответствует наименьшим толщинам покрытий, используемых для повышения износостойкости деталей в практике эксплуатации изделий с такими покрытиями.

Металлографический анализ показал, что микроструктура исследованных покрытий состоит из зёрен γ -твёрдого раствора на основе никеля разной степени легированности, боридной (карбоборидной) эвтектики, а также карбидов типа $Me_{23}C_6$, Me_7C_3 и Me_2C_3 . Соотношение разных структурных составляющих в покрытиях из разных сплавов различно (рис. 1).

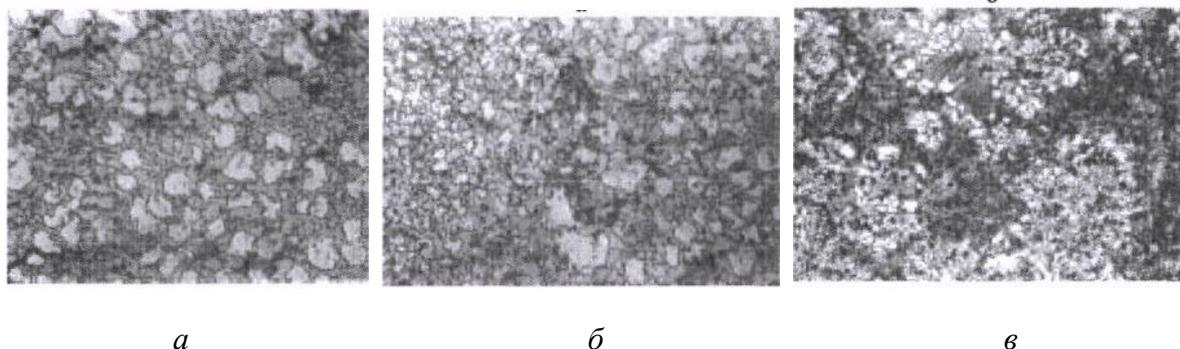


Рис. 1. Микроструктура покрытий из самофлюсующихся сплавов на никелевой основе: марки ПГ-12Н-01 (а), ПГ-12Н-02 (б) и ПР-Н77Х15СЗР2 (в)

Твёрдость на поверхности нанесенных покрытий составляет 45...54 HRC, что примерно соответствует твёрдости закалённой среднеуглеродистой стали, а относительная износостойкость находится в пределах от 2,2 до 8,1. Однако для исследованных марок сплавов системы $Ni-Cr-B-Si-C$ прямой корреляции между твёрдостью и износостойкостью не выявлено. Например, покрытие марки ПГ-12Н-02 имеет твёрдость 52 HRC, марка ПР-Н77Х15СЗР2 – 49 HRC, марка ПГ-12Н-01 – 45 HRC, но их относительная износостойкость составляет 4,8; 8,1 и 2,2, соответственно. Это объясняется особенностями микроструктуры сплавов и, в первую очередь, различными типами твёрдых включений, их морфологией и распределением в матрице. Например, в сплаве марки ПГ-12Н-02 упрочняющие частицы менее дисперсные, эвтектика более грубая,

чем в сплаве марки ПР-Н77Х15С3Р2, что при почти одинаковой твёрдости приводит к снижению износостойкости почти в два раза. Поэтому судить об эксплуатационных свойствах изделий с такими покрытиями только на основании величины твёрдости сплава нельзя.

Твёрдость поверхности покрытия и износостойкость при увеличении толщины нанесенного покрытия меняются по кривой с максимумом (рис. 2, 3). Это связано с особенностями технологии напыления, приводящими к различиям в структуре разных слоёв покрытия.

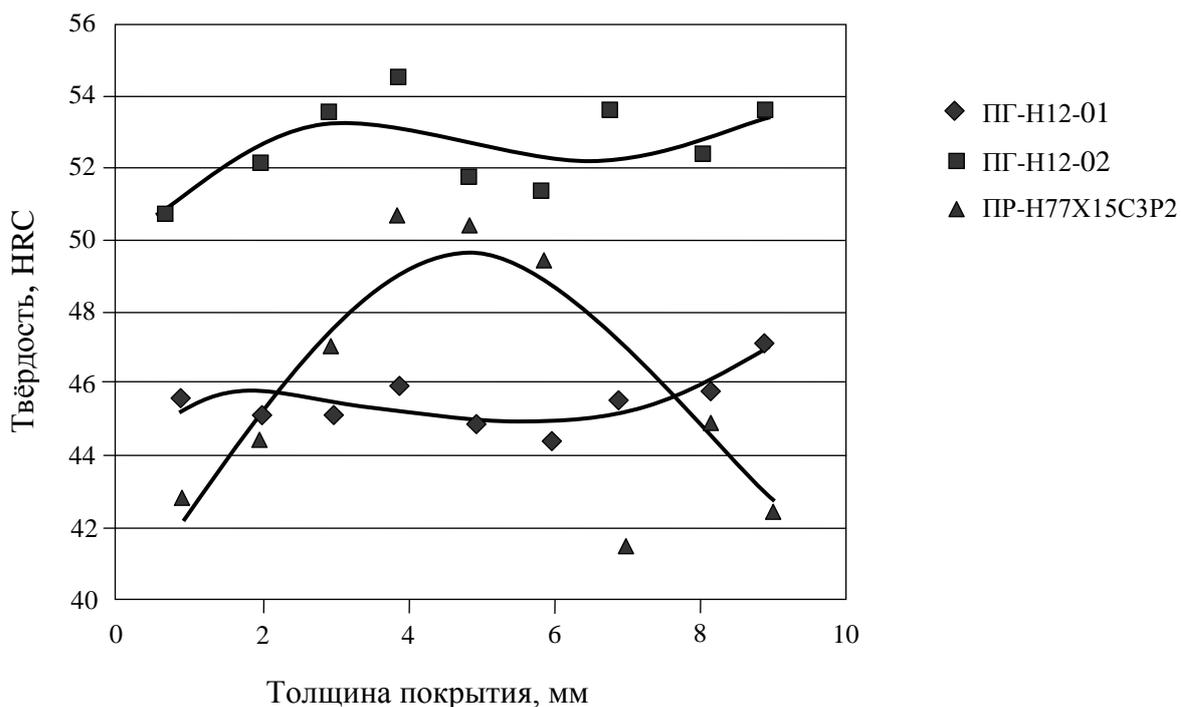


Рис. 2. График зависимости твёрдости от толщины покрытия

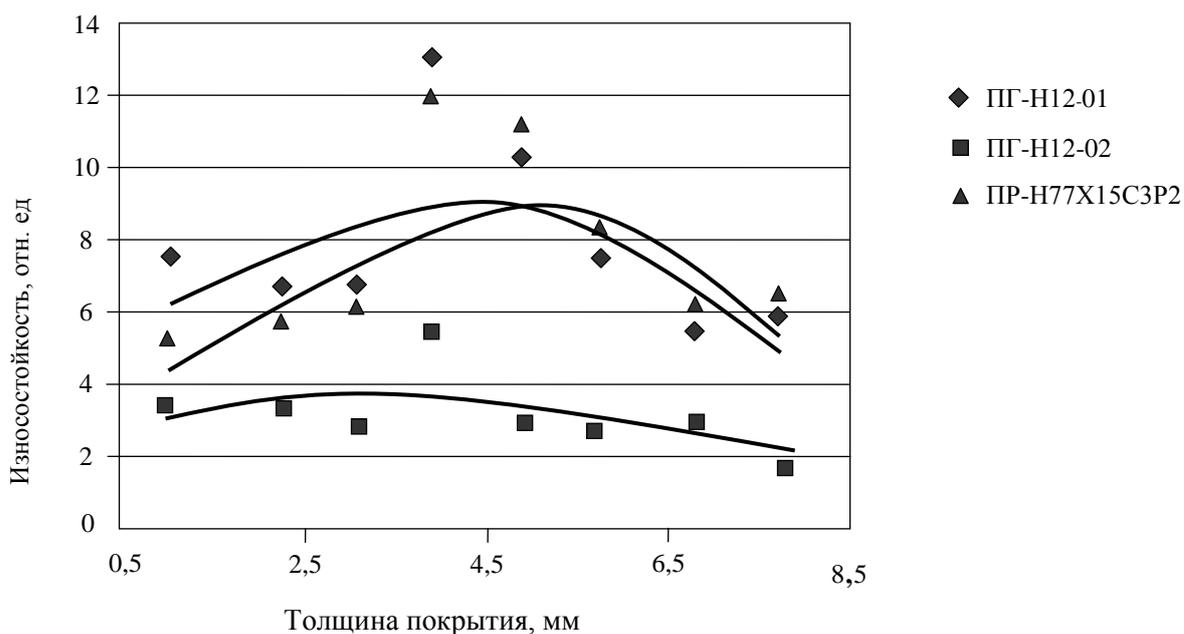


Рис. 3. График зависимости относительной износостойкости от толщины покрытия

Сначала по мере увеличения толщины напылённого слоя эти характеристики возрастают, что можно объяснить более полным проплавлением материала покрытия и, вследствие этого, уменьшением пористости. Затем наблюдается снижение твёрдости и износостойкости, поскольку при получении покрытия большой толщины, когда приходится наносить несколько слоёв, вследствие повторных нагревов формируется более крупнозернистая и менее дисперсная структура и, кроме того, при большой толщине покрытия из-за замедления скорости теплоотвода в поверхностном слое может наблюдаться большее количество выделяющегося γ -твёрдого раствора и меньшее количество дисперсных упрочняющих фаз.

Анализ графиков свидетельствует, что твёрдость и износостойкость покрытия марки ПГ-12Н-01 по толщине слоя меняются незначительно, поэтому при используемой технологии нанесения такое покрытие целесообразно применять при минимально допустимой толщине наплавленного слоя. Покрытия марок ПГ-12Н-02 и ПР-Н77Х15С3Р2 обеспечивают наилучшую износостойкость при толщине покрытия в пределах 1,5...2,0 мм.

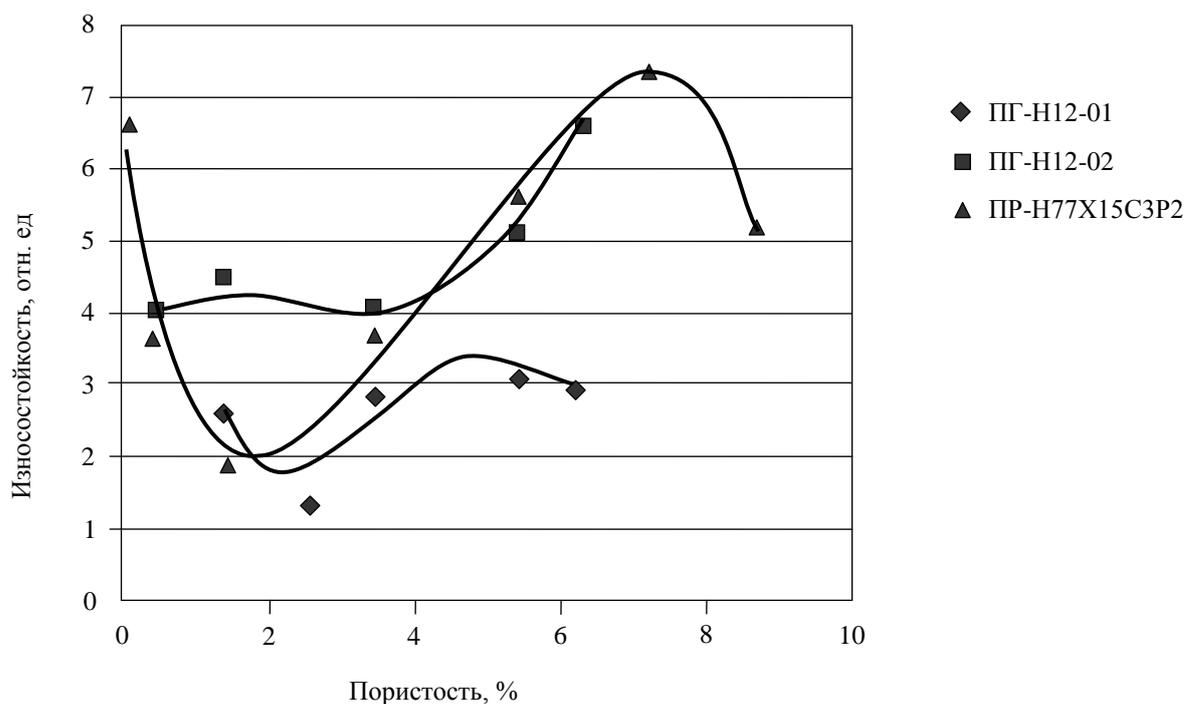


Рис. 4. Зависимость относительной износостойкости от пористости

Для исследуемых марок сплавов ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02 и ПР-Н77Х15С3Р2 системы $Ni-Cr-B-Si-C$ получены новые данные по пористости покрытий. Пористость по мере увеличения толщины нанесённого покрытия сначала возрастает до определенной величины: для ПГ-12Н-01 до 22 %, для ПГ-12Н-02 до 6 %, для ПР-Н77Х15С3Р2 до 16 %, что объясняется увеличением дефектности структуры покрытия. Затем пористость уменьшается, так как при большой толщине нанесённых слоёв оплавление

происходит преимущественно с поверхности, что уменьшает количество пор и мешает проплавлению глубинных слоёв. Полученные экспериментальные результаты подтверждают теоретические данные о характере пористости при наплавке порошковых покрытий.

Установлено (рис. 4), что до определенного значения пористости: для ПГ-12Н-01 – до 2,5 %, для ПГ-12НГ-02 – до 2 %, для ПР-Н77Х15СЗР2 – до 3,5 % – увеличение пористости приводит к уменьшению износостойкости, что объясняется уменьшением когезионного взаимодействия между частицами. При дальнейшем увеличении пористости наблюдается резкое увеличение износостойкости, что объясняется изменением механизма истирания вследствие взаимодействия частиц абразива и поверхностными порами.

Список литературы

1. Фазовые и структурные превращения в сталях / Н. В. Копцева, М. В. Чукин, М. П. Барышников и др. : сб. науч. тр. – М. : МГТУ им. Баумана. – 2002. – Вып 1. – С. 240–248.

2. Юзов А. Д. Исследование влияния плазменных установок и режимов процесса на прочностные свойства покрытий / А. Д. Юзов // Наука морскому флоту на рубеже XXI века : тез. докл. регион. науч.-техн. конф. – Владивосток : ДВГМА им. Г. И. Невельского. – 1998. – С. 114–118.

УДК 621.43:629.5

Н. Н. Таращан, Б. Н. Воробьев, Л. А. Семенюк

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В жёстких, современных условиях активного роста международного судостроения и судоходства ярко обозначается тенденция, которая согласно требованиям Международной Конвенции МАРПОЛ накладывает строгие ограничения на работу судовых энергетических установок в международных портах, в частности, ограничения вредных выбросов, и обязывает стимулировать меры по их повсеместному уменьшению (рис. 1).

Приложение VI МАРПОЛ 73/78					ЕС Директива Совета № 99/32/ЕС	
Район	Год				Год	
	2010	2012	2015	2020	2000	2008
Район контроля выбросов (SECA)	1,0 %	–	0,1 %		0,2 %	0,1 %
Весь мир	4,5 %	3,5 %	1,0 %	0,5 %		

Зона SECA

Период действия	Выброс окислов азота, г/кВтч при номинальной частоте вращения (n), об/мин		
	Меньше 130	130–2000	Больше 2000
Зона NECA 01.01.2000– 01.01.2011 (уровень 1)	17,1	45*n-0,2	9,8
01.01.2011– 01.01.2016 (уровень 2)	14,4	44*n-0,23	7,7
После 01.01.2016* (уровень 3)	3,4	9*n-0,2	2,0

* В зонах контролируемых выбросов

Рис. 1. Требования приложения V1 МАРПОЛ 73/78 по выбросам S и NO_x

В последние годы мировое экологическое сообщество приняло ряд довольно резких и жёстких требований по предельно допустимым концентрациям (ПДК) вредных выбросов с отработавшими газами (ОГ) судовых дизелей.

Соблюдение нормативов по вредным выбросам (ВВ) судовых энергетических установок (СЭУ) является обязательным условием не зависимо от срока и режима эксплуатации судна. Поэтому, для сохранения своей доли в мировом рынке морских грузоперевозок, в том числе и перевозок углеводородного сырья, необходимо соблюдать все требования российских и международных экологических стандартов.

Над решением задач по оптимизации вредных выбросов, по выбору и расчёту новых методов и методик снижения негативного влияния выбросов судовых дизелей работают ведущие мировые судостроительные фирмы и научно-исследовательские институты.

Мировое научное сообщество на основе научно-теоретических и практических исследований на сегодняшний день предлагает целый ряд действенных методик и технологических процедур позволяющих решить эту проблему. Однако степень их эффективности неоднозначна из-за финансовых или технологических противоречий (как правило, финансовых).

В данной статье рассмотрено несколько основных отработанных направлений и технологий, которые содержат рекомендации по уменьшению выбросов вредных веществ работающих судовых двигателей. Их можно сгруппировать по таким направлениям:

1. Повышение качества организации рабочего процесса (РП).
2. Применение судовых моторных топлив и масел с низким содержанием серы, а также повышение качества традиционных видов топлив и масел.
3. Применение на судах многотопливного двигателя с подачей газомоторного топлива.
4. Использование присадок и альтернативных видов топлива.
5. Применение систем очистки выбросов отработанных газов (ОГ) судовых дизелей (каталитических регенераторов):

- системы селективного каталитического снижения (Selective Catalytic Reduction System);
 - системы селективного некаталитического восстановления (Selective Non-Catalytic Reduction System Restore).
6. Применение водотопливных эмульсий (ВТЭ).
 7. Применение непрерывного инжектирования воды.
 8. Применение метода увлажнения надувочного воздуха (Humid Air Motor).
 9. Внедрение конструкционных доработок и нетрадиционных энергетических установок (ЭУ).

Последнее направление рекомендовано для новых проектов и строящихся судов. Модернизация действующего и интенсивно эксплуатирующегося парка морских судов, построенных до 2000-х годов, как правило, экономически нецелесообразна. Другие предложенные технологии могут быть актуальны и жизнеспособны как для настоящего флота, так и для будущего.

К наиболее эффективным и экономичным способам уменьшения вредных выбросов судовых двигателей при работе в различных климатических условиях и различной степени износа машины можно отнести организацию малотоксичного рабочего процесса, который включает:

- регулировку угла опережения подачи топлива;
- корректуру фаз газораспределения;
- изменение степени сжатия;
- изменение давления наддува;
- изменение температуры наддувочного воздуха;
- изменение давления впрыска топлива;
- коррекцию остаточного давления в топливопроводе;
- применение рециркуляции ОГ и двухстадийного смесеобразования.

Изменением угла опережения впрыска топлива можно добиться как снижения токсичности, так и дымности отработанных газов. Применение этого способа весьма эффективно и используется, как правило, при индивидуальном подходе. На эффективность данного процесса влияет типоразмер машины. Проводить регулирование рекомендовано во время стендовых испытаний.

На показатели рабочего процесса весьма эффективно оказывает влияние температура надувочного воздуха. Применение промежуточного охлаждения наддувочного воздуха позволяет снизить расход топлива и в значительной степени уменьшить воздействие работающей судовой машины на экологическую составляющую.

Весьма актуальным аспектом, в процессе снижения вредных выбросов судовых дизелей, является направление изменения давления впрыска топлива. Применение этого подхода позволяет в значительной степени выдерживать требования Международной Конвенции МАРПОЛ по ограничению уровня концентрации окислов азота. Внедрение предложенной

технологии предусматривает понижение уровня его концентрации, а также уменьшение расхода топлива.

Следует заметить, что применение данной методики весьма проблематично, так как влечёт за собой решение сложных технологических и конструкторских проблем.

Эффективным способом снижения токсичности и дымности судовых дизелей является использование альтернативных видов топлив, в том числе и применение природного газа. Внедрением в начале 2000-х годов новых судовых дизельных установок (четырёхтактных и двухтактных), способных работать на газомоторном топливе, мировые производители судовых двигателей MAN и Wartsila открыли неограниченные перспективы и возможности применения и исследования работы газомоторных двигателей на судах с неограниченным районом плавания. Целесообразность предложенной технологии обуславливалась тем, что газомоторное топливо позволяет реально, почти полностью исключить выброс окислов серы и твёрдых частиц, при этом достичь снижения на 90 % выбросов окислов азота и почти на 30 % уменьшить выбросы углекислого газа.

Преимущество применения газомоторного топлива получили судовые четырёхтактные дизельные установки. Для надёжной и бесперебойной работы и качественного воспламенения газового заряда газомоторные двигатели применяли впрыск дизельного топлива (в качестве пилотного) в количестве около 1 %.

Первыми и наиболее распространёнными в применении стали четырёхтактные дизели фирмы Wartsila (модели 20DF, 34DF и 50DF).

В результате проведённого анализа использования газомоторного топлива ведущими зарубежными судоходными компаниями установлено, что действующие и перспективные проекты предполагают использовать газомоторное топливо на пяти типах судовых энергетических установках: дизельных (двухтактных, четырёхтактных и газовых), газовых и паровых турбинах.

Одним из основных вопросов при постройке крупнотоннажных судов, использующих газотопливный двигатель, является выбор места хранения и типа расположения ёмкостей для газомоторного топлива, для которого, как показывает практика необходимо наличие ёмкостей в четыре раза больше обычного. Размещение ёмкостей для газомоторного топлива предлагают в двух вариантах – на открытых палубах и в корпусе судна.

Альтернативное топливо и его применение на флоте в настоящее время мало распространено из-за сложности в эксплуатации и необходимости конструктивных изменений топливной системы и двигателя. Поэтому, в настоящее время, мировые ведущие фирмы занимающиеся постройкой и конструированием современных ДВС предлагают (как один из вариантов) для снижения вредных выбросов судовых машин смешение топлива с водой для получения стабильной водотопливной эмульсии. Этот вариант считается наиболее подходящим для больших 2-тактных судовых двигателей.

С переводом рабочего процесса судовых дизелей на водотопливную эмульсию с водосодержанием 17...20 % расход топлива сокращается на 12 %, эмиссия окислов азота NO_x – на 30...40 %, сернистого ангидрида SO_2 – на 50 %, сероводородов H_2S – на 50 %, несгоревшие углеводороды отсутствуют. С повышением эффективности использования топлива температура уходящих газов снижается на 8...10 °С, соответственно уменьшается теплонапряжённость деталей цилиндра-поршневой группы, расход высоковязкого обезвоженного топлива уменьшается на 5 %.

Повышение эффективности ВТЭ – это очень важная задача в сфере развития СДВС. Но вот каким способом это делать – большой вопрос. Повышение эффективности путём подбора наилучшей концентрации воды в топливе, и в подборе самого топлива, вероятно, исчерпало себя. Одним из перспективных вариантов является создание сверхстойких водотопливных эмульсий. Их главное отличие от обычных ВТЭ в том, что их свойства не теряются на протяжении большого количества времени.

Устройство для получения таких СВТЭ – волновой диспергатор.

Диспергация осуществляется за счёт энергии потока жидкости, принудительно прокачиваемой насосом через аппарат. В аппарате на неподвижной оси установлены два ротора-турбины (активатор и генератор). Ось расположена вертикально, роторы стабилизируются за счёт гироскопического эффекта, поэтому не требуются малые зазоры между осью и ступицами роторов, отпадает необходимость в радиальных подвижных уплотнениях – сальниках, являющимися бичами всех РПА. Турбина-генератор выполнен по принципу Сегнерова колеса. Прокачиваемая жидкость обеспечивает вращение роторов во встречных направлениях. При этом генерируются циклические гидроудары (путём перекрытия генератором выходов вихревых камер активатора). В камерах ротора-активатора возникает и поддерживается процесс образования кавитационных пузырьков, которые в дальнейшем (при повышении гидростатического давления) схлопываются. Схлопывание пузырьков сопровождается интенсивными ударными волновыми процессами с возникновением локальных зон сверхвысоких давлений и температур и кумулятивного (остронаправленного) ударного воздействия на участки жидкости, окружающей зону схлопывания кавитационного пузырька.

Также одним из методов сокращения выбросов NO_x судовыми дизелями является применение технологии селективного каталитического снижения оксидов азота. Одним из основных недостатков этой технологии является её высокая стоимость. Она обуславливается дополнительными затратами, которые необходимо заложить на установку в выпускном трубопроводе судовой машины каталитического регенератора. Примерные дополнительные расходы составляют 40...70 долларов на один кВт мощности судового дизеля. В итоге дополнительные расходы на одно судно с мощностью энергетической установки 5000 кВт составляют плюс 250...350 тыс. долл. Применение данной технологии позволяет получить высокую степень очистки газов (до 90 %) от NO_x .

Технология селективного некаталитического восстановления также обладает существенным недостатком, который ограничивает область её применения на морских судах. Этот недостаток в первую очередь связан с довольно узким температурным интервалом 900...1200 °С, а во вторых, имеет опасную технологию применения. Аммиак NH_3 , который является восстановителем, обладает высокой токсичностью, пожаро- и взрывоопасностью и требует принятия специальных мер при его хранении и транспортировке к реактору нейтрализатора.

Системы селективного каталитического снижения (Selective Catalytic Reduction System) и селективного некаталитического восстановления (Selective Non-Catalytic Reduction System Restore) оксидов азота имеют самую высокую стоимость из вышеперечисленных технологий. Применением этих технологий можно добиться почти полного сокращения выбросов NO_x . Эти технологии идеально подходят для судов, действующих в регионах, где имеются жёсткие экологические требования.

Список литературы

1. Новиков Л. А. Контроль выбросов двигателей, установленных на объектах применения / Л. А. Новиков // Двигателестроение. – 2007. – № 2. – С. 19–23.
2. Янкевич Н. С. Снижение содержания вредных примесей в отработавших газах ДВС / Н. С. Янкевич, Л. С. Кравчук // Двигателестроение. – 2005. – № 2. – С. 35–37.
3. Раевски П. Снижение уровня эмиссии оксидов серы на судах морского флота / П. Раевски // Двигателестроение. – 2007. – № 1. – С. 43–45.
4. Мельник Г. В. Новые требования и технологии для снижения выбросов дизелей / Г. В. Мельник // Двигателестроение. – 2008. – № 4. – С. 45–51.
5. Кича Г. П. Результаты эксплуатационных испытаний в судовых тронковых дизелях комбинированного фильтра тонкой очистки масла / Г. П. Кича, Н. Н. Таращан // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – №4. – С. 129–136.

Н. Н. Таращан, М. И. Тарасов, Л. А. Семенюк

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ СЕРИИ ME
(на примере двигателя 7S60 ME-C)

Главная особенность и отличие судового двигателя внутреннего сгорания серии ME, является замена механического привода, который осуществлялся с помощью распределительного вала на электронно-гидравлический механизм управления работы двигателя.

Мотивацией внедрения двигателей с электронным управлением является несколько независимых друг от друга факторов.

1. Применение двигателей с электронным управлением позволяет добиться более низкого расхода топлива на эксплуатационных режимах работы, особенно в диапазоне мощности от 50 до 85 % от максимальной длительной мощности.

2. Внедрение машин серии ME позволило добиться минимального удельного расхода топлива и достичь предельной величины – 155 г/(кВт·ч).

3. Внедрение на современных морских судах машин серии ME позволило в значительной степени сократить габаритные и весовые параметры судовой машины. Попросту двигатель серии ME стал намного легче своего предшественника.

4. Применение двигателей с электронным управлением позволяет добиться более низкого расхода дорогого цилиндрического масла. Эта функция в двигателях ME решается компьютером с использованием лубрикатора специальной конструкции типа Alpha. По данным фирмы MAN, оснащение двигателя ME такими лубрикаторами приводит к значительному снижению затрат на цилиндрическое масло (примерно на 20 %).

5. Одним из важных специфицируемых параметров главного судового двигателя является минимально-устойчивая частота вращения коленчатого вала. Двигатель ME с электронным управлением обеспечивает достаточно интенсивное впрыскивание топлива в цилиндр двигателя и стабильную регулировку цикловой подачи независимо от скоростного режима работы двигателя. Благодаря этому двигатель устойчиво работает при частоте вращения коленчатого вала, которая составляет всего лишь 10...12 % от номинальной частоты вращения.

6. Двигатель ME имеет значительно лучшие свойства приемистости. Гибкое управление фазой открытия выпускных клапанов позволяет интенсивней разгонять ротор турбокомпрессора, тем самым повышая давление продувочного воздуха. Это, в свою очередь, позволяет более динамично увеличивать подачу топлива в цилиндры двигателя. Возможность динамической нагрузки двигателя особенно важна при выполнении маневренных операций.

7. Система управления интеллектуальным двигателем ME включает в себя систему предупреждения перегрузки двигателя, что позволяет в значительной степени повысить надёжность эксплуатации двигателя в целом.

8. Работа машин серии ME позволяет решить немаловажную проблему вредных выбросов в окружающую среду, что особенно важно при эксплуатации судов в экологически чистых «зеленых» зонах, когда требуется удовлетворять жёсткие требования MARPOL 73/78.

Чтобы добиться вышеперечисленных аспектов, необходима замена на судовом двигателе стандартной комплектации механического привода газораспределения, который осуществлялся с помощью распределительного вала на электронно-гидравлический механизм управления работы двигателя.

С этой заменой произошли некоторые изменения, и добавилось следующее.

Hydraulic Cylinder Unit (HCU)

HCU состоит из облегченной консоли на которой закреплен распределительный блок. На этом блоке вмонтирован топливный насос высокого давления (ТНВД), привод выпускного клапана и FIVE пропорциональный клапан для электронного контроля. Также на распределительном блоке установлены аккумуляторы для надёжности, в случае превышения давления гидравлики в системе.

Электронный контроль (управление) топливной системы обеспечивает двигателю очень гибкую систему регулировки топливоподачи. Задача электронного контроля системы привода выпускных клапанов заключается в том, чтобы обеспечить широкий диапазон открытий и закрытий выхлопных клапанов в процессе работы двигателя. Hydraulic Cylinder Unit представлен на рис. 1.



Рис. 1. Гидравлический цилиндр

HPS Unit обеспечивает подачу гидравлического масла в HCU. HPS Unit может быть установлена, как на самом двигателе, так и отдельно от него.

HPS Unit состоит из следующих основных составляющих:

- автоматический главный фильтр и один вспомогательный, который работает в параллели;
- два гидравлических электроприводных насоса;
- три гидравлических насоса приводимых самим главным двигателем;
- аккумуляторный блок.

Некоторые блоки управления представлены на рис. 2.



Рис. 2. Блоки управления главного двигателя

Также ME engines характеризуются следующими особенностями:

- электронный контроль вспомогательных воздуходувок;
- электронный контроль пусковых клапанов;
- электронное индицирование цилиндров и вывод данных на компьютер, а также их распечатка с помощью PMI OFFLINE SYSTEM (PMI)
- местные панели управления (расположены по каютам механиков).

Гидравлическая система или Hydraulic Servo System (HSS) (рис. 3) предназначена для обеспечения гидравлической энергией ТНВД (Hydraulic Injection Booster Pumps), привода выпускных клапанов (Exhaust Valve Actuators), а так же привода лубрикаторов (Alpha Lubricators).

Сердцем HSS является гидросиловая установка или **Hydraulic Power Supply (HPS) Unit**, которая состоит из трёх гидравлических насосов (рис. 3) приводимых самим главным двигателем (ГД) и два электроприводных насоса (рис. 4).

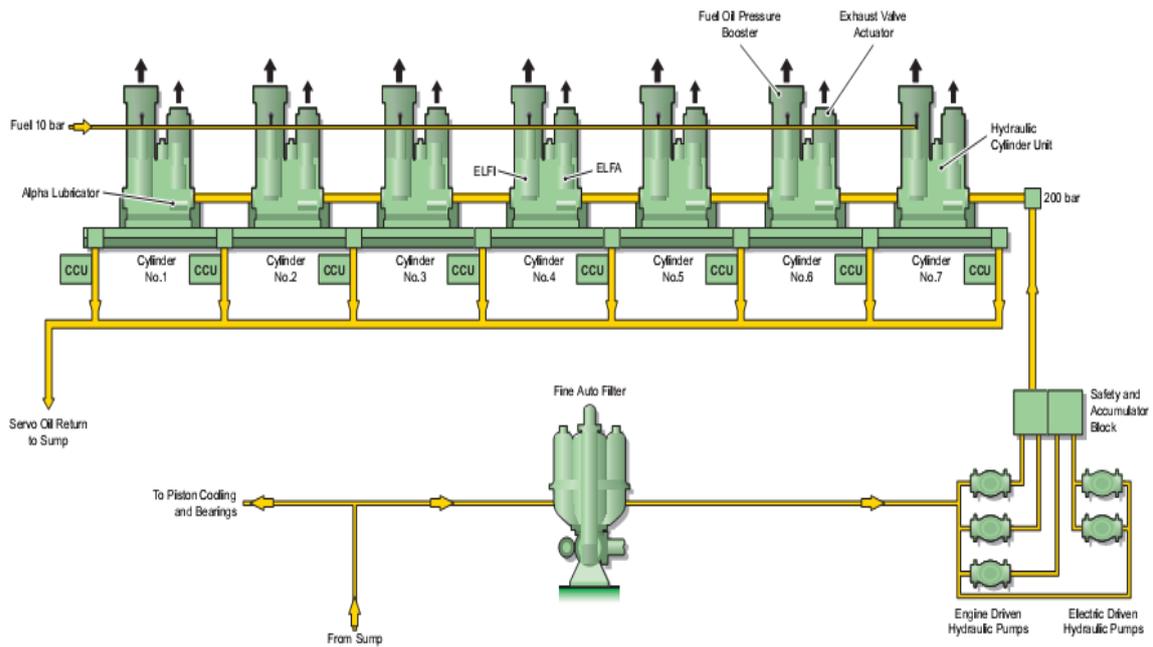


Рис. 3. Гидравлическая система или Hydraulic Servo System

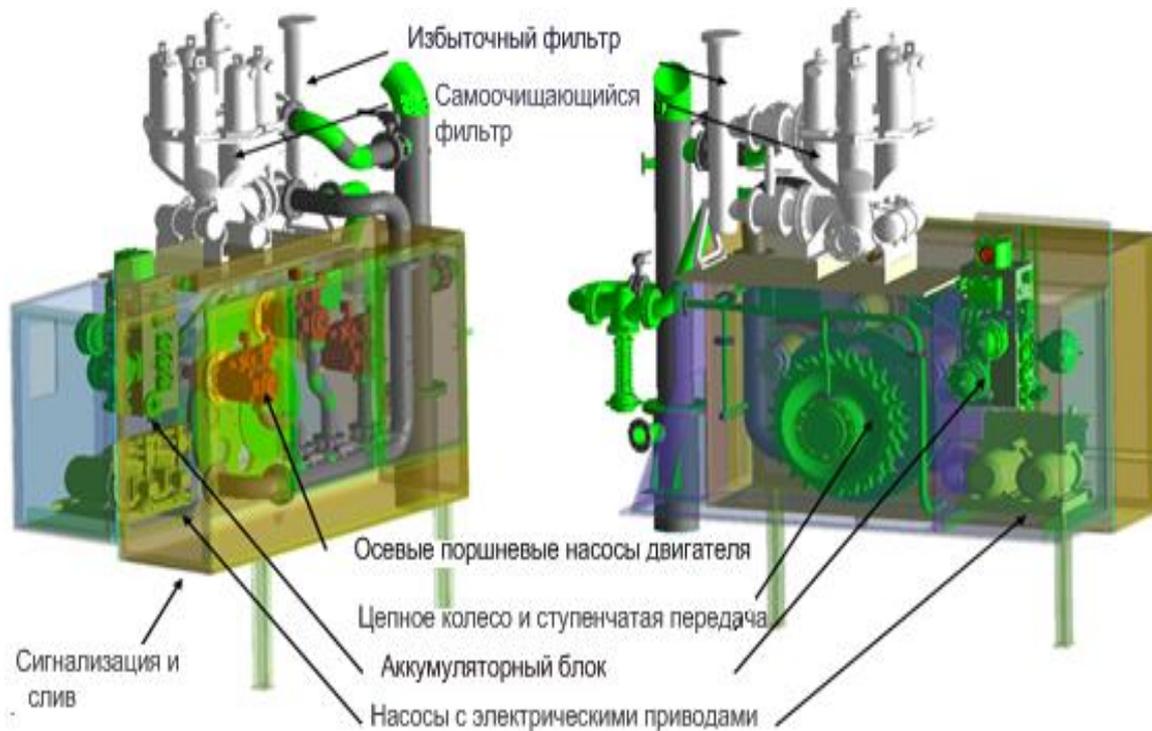


Рис. 4. Электроприводные насосы Hydraulic Servo System

Эти насосы берут всасывание из фильтра (рис. 4) и нагнетают гидравлическое масло, которое так же является и циркуляционным маслом, в аккумуляторные блоки, а далее распределяется по каналам Hydraulic Cylinder Units (HCU) (рис. 1). HCU установлены на каждый цилиндр.

Гидравлические насосы приводятся ГД от коленчатого вала через повышающую шестерёнчатую передачу и являются аксиально-поршневого типа. Они обеспечивают НСУ гидравлическим маслом и поднимают давление в системе $P = 160 \dots 200 \text{ кг/см}^2$.

Электроприводные гидравлические насосы работают в период подготовки ГД к пуску, начальный период работы ГД. Они останавливаются автоматически в тот момент, когда насосы, приводимые ГД, смогут развить давление 160 кг/см^2 . Так же электроприводные насосы работают в течении маневров, при продувке или наполнении гидравлической системы ГД гидравлическим маслом.

HPS unit обеспечивает гидравлическим маслом все семь НСУ. НСУ состоит из поддерживающей консоли на которой и смонтированы распределительные блоки. На каждый блок смонтированы ТНВД, лубрикатор, клапан подачи гидравлики на привод ТНВД или Electronic Fuel Injection valve (FIVA valve), клапан подачи гидравлики на привод выпускного клапана или Exhaust Valve Actuator (ELVA valve).

Перемещением плунжера ТНВД и выхлопного клапана управляют быстродействующие пропорциональные клапана FIVA и ELVA (рис. 5), они в свою очередь управляются линейным электромотором, который получает управляющий сигнал от микропроцессорной системы управления, как показано на рис. 6.

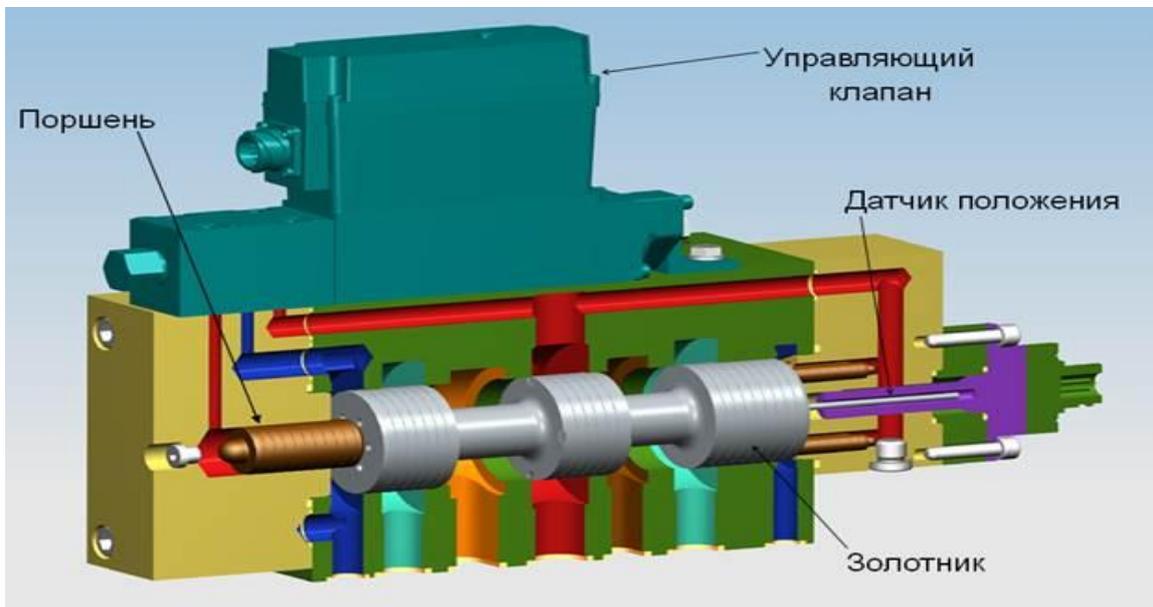


Рис. 5. Быстродействующий пропорциональный клапан

Так же плунжер ТНВД оборудован модифицированным уплотнением типа «зонтик» для предотвращения попадания тяжёлого топлива в масляную систему. Подачу гидравлики на привод Alpha Lubricators тоже осуществляют

соленоидные клапана. Сигналы на соленоидные клапана поступают от системы управления двигателем или Engine Control System (ECS).

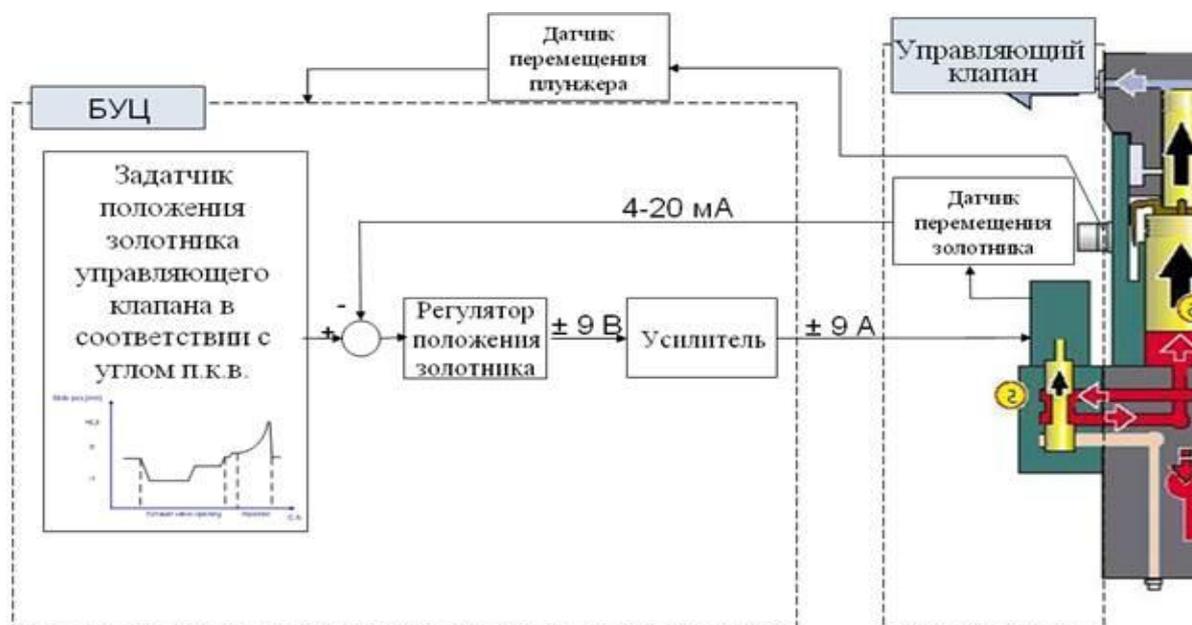


Рис. 6. Система управления пропорциональным быстродействующим клапаном (FIVA)

Электронное управление подачей топлива и работой выхлопного клапана имеет ряд преимуществ:

- благодаря возможности изменения момента начала подачи топлива и времени закрытия выхлопного клапана, значительно расширился диапазон нагрузок, при которых значение давления сгорания поддерживается постоянным, что приводит к уменьшению удельного расхода топлива. При этом двигатель не перегружается;
- характеристики подачи топлива могут быть оптимизированы для работы на различных рабочих режимах, в то время как характеристика традиционных дизелей оптимизирована под один режим;
- контроль индикаторного процесса в режиме реального времени позволяет поддерживать равномерное распределение нагрузки по цилиндрам и эффективность двигателя в течение всего срока его эксплуатации;
- более быстрый выход на заданный режим, так как давление продувочного воздуха увеличивается быстрее из-за более раннего открытия выхлопного клапана в момент разгона;
- улучшена работа при минимальной частоте вращения: минимальная частота вращения значительно ниже традиционных дизелей, работа дизеля намного равномернее, а также улучшено сгорание топлива, за счет оптимизации подачи топлива;

– система управления двигателем включает в себя систему предотвращения перегрузки (СПП), которая обеспечивает работу двигателя по нагрузочной характеристике, предотвращая работу в области «тяжёлого винта».

В двигателях ME предусматривается непрерывный мониторинг цилиндров двигателя и автоматическое поддержание одинаковой нагрузки по всем цилиндрам. Это повышает надёжность работы двигателя в целом и увеличивает периоды между осмотрами цилиндров.

В конструкции двигателя в связи с отсутствием распределительного вала для обеспечения впрыскивания топлива и подъёма выпускных клапанов используется гидравлический контур масла, находящийся под давлением 200 бар. Контур содержит отфильтрованное масло из циркуляционной системы главного двигателя. Также применена система цилиндрической смазки типа Alpha, играющая большую роль в реализации задач экологической безопасности.

Наряду с электронной системой топливоподачи и газораспределения другим преимуществом двигателя ME является экологический аспект его эксплуатации.

Во-первых, в отличие от двигателей серии MC двигатель ME за счёт гибкого регулирования топливной аппаратуры и системы газораспределения может настраиваться на различные «низко-эмиссионные режимы», при которых эмиссия может быть существенно ниже. Это особенно важно при эксплуатации судов в экологически чистых «зелёных» зонах, когда требуется удовлетворять более жёстким нормам, чем нормы ИМО, оговариваемым местным законодательством.

Во-вторых, в настоящее время рассматривается проект по включению в требования MARPOL 73/78 контроля эмиссии твёрдых частиц (что пока не предусмотрено в нормах ИМО). Как известно, на эмиссию частиц в значительной степени влияет величина подачи цилиндрического масла.

Испытания показывают, что при снижении величины подачи цилиндрического масла эмиссия частиц также снижается. Однако процесс износа цилиндрической втулки и поршневых колец также зависит от расхода цилиндрического масла. Необходимо выбирать и поддерживать оптимальную для каждого режима работы (включая переходные режимы) величину подачи масла, минимизирующую как эмиссию частиц, так и динамику износа цилиндропоршневой группы.

При выборе величины подачи масла также должно приниматься во внимание содержание серы в топливе. Эта функция в двигателях ME решается компьютером с использованием лубрикатора специальной конструкции типа Alpha.

По данным фирмы MAN, оснащение двигателя ME такими лубрикаторами наряду с улучшением экологических показателей двигателя приводит к значительному снижению затрат на цилиндрическое масло (примерно на 20 %).

Одним из важных специфицируемых параметров главного судового двигателя является минимально-устойчивая частота вращения коленчатого вала.

Так же двигатель ME с электронным управлением обеспечивает достаточно интенсивное впрыскивание топлива в цилиндр двигателя и стабильную регулировку цикловой подачи независимо от скоростного режима работы двигателя. Благодаря этому двигатель устойчиво работает при частоте вращения коленчатого вала, которая составляет всего лишь 10...12 % от номинальной частоты вращения.

Двигатель ME имеет значительно лучшие свойства приемистости. Гибкое управление фазой открытия выпускных клапанов позволяет интенсивней разгонять ротор турбокомпрессора, тем самым повышая давление продувочного воздуха. Это, в свою очередь, позволяет более динамично увеличивать подачу топлива в цилиндры двигателя.

Возможность динамической нагрузки двигателя важна при выполнении маневренных операций. Система управления интеллектуальным двигателем ME включает в себя систему предупреждения перегрузки двигателя, что повышает надёжность эксплуатации двигателя.

Еще одним преимуществом является то, что двигатель серии ME становится намного легче своего предшественника.

Список литература

1. Возницкий И. В. Современные малооборотные двухтактные двигатели : учебное пособие / И. В. Возницкий. – СПб. :ЛКИ, 2006. – 121 с.
2. HYUNDAI. Engine & machinery [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.hyundai-engine.com. – Заглавие с экрана.
3. HYUNDAI. Heavy industries [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.hhi.co.kr>. – Заглавие с экрана.
4. Официальный сайт WARTSILA [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.wartsila.com . – Заглавие с экрана.

УДК 665.765:629.503

В. В. Тарасов, П. В. Кулямов

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО МАСЛА, СПОСОБЫ И ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ИХ РЕАЛИЗАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТАТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ СЭУ

Известно, что все жидкости нефтяного происхождения являются химически устойчивыми компонентами. Смазочные масла – производный продукт процесса переработки нефти, которая содержит углерода *C* (84...87 %); водорода *H* (12... 14 %); то есть в общей массе это 96...98 % углеводородных компонентов и плюс 2...4 % сернистых, кислородных и азотистых соединений [1, 3, 12].

В процессе использования в двигателях моторные масла (ММ) подвергаются глубоким физико-химическим изменениям. При этом происходит

их загрязнение: внешними инородными (механическими) примесями и водой; продуктами износа деталей машин и сгорания топлива; продуктами термического разложения, окисления и полимеризации углеводородной основы масла и т. д. Несмотря на глубокие изменения, происходящие в масле в процессе эксплуатации, его основной углеводородный состав меняется незначительно. Если из отработанного моторного масла (ОММ) удалить все инородные примеси и продукты окисления, общее количество которых не превышает 4...6 %, дополнить его недостающими компонентами, в частности, присадками и компаундированием минеральными маслами равными по составу товарному маслу надлежащего качества, то можно получить продукт близкий или равный свежему маслу [3, 4, 5, 6].

Так, физико-химические свойства ММ характеризуются такими основными показателями, как: плотность, вязкость, температура вспышки и застывания, щелочное и кислотное число, наличие механических примесей и воды. Изменение этих показателей свыше допустимых норм (ГОСТ Р51634–2000) ведёт к ограничению использования масел или к необходимости корректировки показателей качества, а в случае невозможности доведения их до норм такие масла следует выбраковывать [1, 4, 6, 9, 12].

В зависимости от последующего назначения переработка отработанных минеральных моторных масел может проводиться по нескольким направлениям: наиболее распространенным является очистка масла от нерастворимых примесей, воды и лёгких топливных фракций. После этого, такие регенерированные моторные масла (РММ) имеют недостаточную область повторного использования в неотвественных узлах и системах судовых дизелей, а с целью использования РММ в полной мере в двигателях СЭУ необходимо улучшение их основных химико-физических свойств.

С целью улучшения переработки этих масел и возможности применения их по прямому назначению необходима разработка прогрессивных способов и технических средств, которые позволяли бы не только удалять сработавшиеся углеводороды, потерявшие свои свойства присадки, но и восстанавливать сработавшиеся элементы (присадки) и по возможности, стабилизировать восстановленные эксплуатационные свойства с целью продления сроков их использования [2, 5, 6, 12].

Известны различные способы очистки и восстановления отработанных моторных минеральных масел основанные на физических, физико-химических, химических и других процессах, заключающихся в удалении из масел нерастворимых примесей, топливных фракций и воды, продуктов старения и разложения масла [1, 5, 4, 8, 11].

Для решения данной задачи нужен надёжный и простой способ очистки отработанных моторных минеральных масел от инородных примесей с соответствующими технологическими операциями по доведению этих масел до уровня товарных. Именно на этом принципе базируется предлагаемый многоступенчатый способ очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел

в судовых условиях с использованием штатного очистительного оборудования систем СЭУ.

Практическая реализация предлагаемых способов позволит повторно использовать на первом этапе до 50 % отработанных масел, снизить общую потребность в свежих товарных маслах до 40 %, увеличить работоспособность и надёжность используемых технических средств в различных отраслях производства.

После реализации простого и доступного для любого вида структурного подразделения водного транспорта, способа очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанного масла его показатели могут быть восстановлены на 80...90 % от уровня товарных масел, что позволит вторично использовать эти масла в малоответственных узлах и системах судовых ДВС.

О качестве масла, как при производстве, так и в условиях эксплуатации, можно судить по показателям их физико-химических и эксплуатационных свойств. Значения этих показателей являются основным критерием для определения срока смены масла, а также для восстановления эксплуатационных свойств моторных масел при их регенерации.

Физико-химические свойства моторных масел составляют основу стандартов и технических условий на масло. С их помощью с достаточной степенью надёжности удаётся контролировать идентичность различных партий масла в процессе его производства, транспортировки, хранения и эксплуатации [1, 8, 11].

Так, физико-химические свойства характеризуются такими основными показателями, как: плотность, вязкость, температура, вспышки и застывания, щелочное и кислотное число, наличие механических примесей и воды. Изменение этих показателей свыше допустимых норм (ГОСТ Р51634–2000) ведёт к ограничению использования масел или к необходимости корректировки показателей качества, а в случае невозможности доведения их до норм такие масла следует выбраковывать [1, 5, 11].

Известны различные способы очистки и восстановления ОММ основанные на физических, физико-химических, химических и других процессах, заключающихся в удалении из масел нерастворимых примесей, топливных фракций и воды, продуктов старения и разложения масла [1, 5, 7, 8, 11].

Наиболее широко применяются и освоены методы очистки масел в силовом поле с использованием гравитационных, центробежных, электрических, магнитных и вибрационных сил, а также водной промывкой, выпариванием и вакуумной дистилляцией (рис. 1). К этим методам можно отнести и различные массо- и теплообменные аппараты [8, 12].

Технологическая схема очистки и частичного восстановления ОММ (рис. 1) включает в себя следующие операции: нагрев ОММ для удаления легкокипящих топливных фракций и воды; отстой с целью удаления крупных нерастворимых примесей; очистку от нерастворимых примесей в гидроциклоне; центрифугирование – для удаления взвешенных и тонкодисперсных

нерастворимых примесей и продуктов разложения масла; магнитную очистку от металлических примесей и продуктов износа деталей двигателя; фильтрацию – для удаления мелкодисперсных примесей, продуктов разложения и окисления отработанного масла; слив очищенного масла в резервуар для товарного масла; повторное использование ОММ без восстановления – в менее ответственных узлах и агрегатах; компаундирование ОММ с минеральными добавками и повторное использование в трансмиссиях тракторов и автомобилей. На каждом этапе производства отбирают пробы для контроля и корректировки процесса очистки ОММ.

Предлагаемая технологическая схема отличается от существующих применением набора технических средств для очистки и частичного восстановления: гидроциклона, центрифуги, магнитного очистителя, фильтра, ёмкости с мешалкой для компаундирования с минеральной добавкой, позволяющей получить необходимую степень очистки ОММ и частичное его восстановление до определенных эксплуатационных свойств.

Естественный гравитационный метод очистки масел от загрязняющих примесей и воды (это отстаивание масел при обычных температурах) прост, но малоэффективен и длителен. Степень очистки примесей составляет не более 20...80 мкм при обычных температурах, а при минусовых он вообще не эффективен. Также эффективность отстаивания снижают присутствующие в маслах моющие и диспергирующие присадки, которые препятствуют агрегированию частиц загрязнений и коагуляции микрокапель воды.

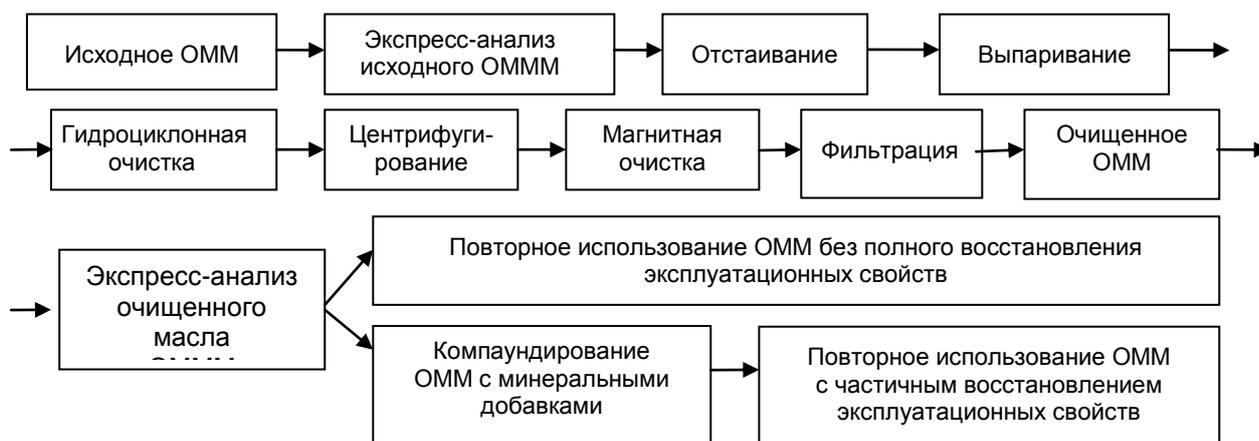


Рис. 1. Технологическая схема регенерации ОММ в судовых условиях (очистка и частичное восстановления свойств РММ)

Процесс отстаивания зависит от плотности, вязкости и степени загрязнённости масел и не обеспечивает необходимой чистоты масла. Поэтому этот метод применяют чаще всего для предварительной очистки.

Продолжительность очистки масел от различных инородных примесей значительно сокращается при использовании центробежных сил путём

вращательного движения масла в неподвижных аппаратах (гидроциклонах) и подачи масла во вращающиеся аппараты (центрифуги, сепараторы).

В настоящее время наиболее широко используются центрифуги с электрическим, механическим и гидравлическим приводом. Гидравлический привод осуществляется с помощью реактивного соплового устройства, использующего энергию потока отчищаемого масла. Конструкции этих устройств отличаются способом подачи масла, и по частоте вращения ротора подразделяются на низко- и высокочастотные.

Используемые магнитные очистители эффективно удаляют образующиеся в результате износа деталей машин ферромагнитные частицы, при этом под действием сил электрического поля происходит частичное обезвоживание масла.

Для ускорения очистки загрязнённых масел используют вибрационные очистители. В таких установках загрязнённые масла, находясь в поле упругих колебаний, более динамично освобождаются от твёрдых частиц за счёт их коагуляций.

Одним из способов очистки является водная промывка, позволяющая удалять из масел водорастворимые низкомолекулярные кислоты, соли органических кислот и некоторую долю сработавшихся углеводородных соединений.

Выпаривание (при $t = 80...110$ °С) масел обеспечивает обезвоживание и удаление из них легкокипящих топливных фракций. Этот процесс весьма энергоёмок и продолжителен, реализуется при давлении 25...30 кПа и требует специальных нагревателей и вакуумных устройств. Также из физических методов наиболее широко используется фильтрование масел. Метод фильтрования заключается в пропускании масла через пористые перегородки изготовленные из бумаги, спецтканей или всевозможных набивок из различных материалов и др. Фильтрование обеспечивает тонкость фильтрации при грубой очистке – 70...100 мкм, средней 20...70 мкм, тонкой 1...20 мкм, ультрафильтрация – менее 0,1 мкм. Недостаток метода – большой расход эксплуатационных материалов, необходимость утилизации отработанных фильтрующих элементов, уменьшение эффективности очистки при снижении пропускной способности фильтра (по времени функционирования). В последнее время ведутся работы по внедрению полупроницаемых мембран (очистка до 0,1 мкм и выше), они экономически просты, но требуют периодической промывки.

Комбинированные способы очистки основаны на одновременном использовании нескольких методов, например, центробежной и магнитной очистки и фильтрования [2, 9, 12].

Физико-химические методы: адсорбционный, ионообменный и селективный дают довольно высокое качество очистки, но требуют сложного оборудования, дорогостоящих адсорбентов, кислот, растворителей и других технических компонентов.

Химические методы очистки основаны на взаимодействии веществ загрязняющих отработанные масла и вводимых в эти масла реагентов.

В результате химических реакций образуются соединения, легко удаляемые из масел. Наиболее предпочтительными являются: кислотная и щелочная очистка, гидрогенизация, очистка от загрязнений с помощью оксидов, карбидов и гидридов металлов [1, 2, 4, 6, 12].

Таким образом, для очистки отработанных масел и частичного восстановления их физико-химических показателей могут применяться различные способы, методы и технические средства (рис. 1).

При этом предпочтительны физические способы очистки, позволяющие удалить из масла твёрдые загрязнения, воду и лёгкие топливные фракции. Анализ способов очистки масел показал, что наиболее широко используется центробежная очистка [7, 9, 11, 12].

Опыт использования центробежных очистителей показал следующее:

1. Центробежные очистители (центрифуги) имеют высокую сепарирующую способность; эти устройства качественно работают в широком диапазоне рабочих температур масла; их рабочие характеристики в процессе эксплуатации остаются постоянными.

2. Центробежные очистители имеют практически неограниченный срок работы; их ресурс значительно выше других; по объёму грязеемкости они превосходят лучшие объёмные фильтры.

3. Центрифуги обладают большой избирательной способностью к загрязнителям; они просты в эксплуатации и обслуживании.

Таким образом, для очистки отработанных масел и частичного восстановления их физико-химических показателей могут применяться различные способы, методы и технические средства. При этом предпочтительны физические способы очистки, позволяющие удалить из масла твёрдые загрязнения, воду и лёгкие топливные фракции.

Восстановление эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел до уровня товарных масел может быть осуществлено добавлением присадок или компаундированием минеральными добавками в виде товарных масел.

Таким образом, разработка простой, доступной широкому потребителю схемы и набора способов очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел является актуальной задачей и может принести значительный экономический эффект.

Предлагается технологическая схема очистки отработанных моторных масел в судовых условиях с набором основных способов регенерации ОММ в виде модульной установки для очистки и частичного восстановления эксплуатационных свойств ОММ от загрязнителей (нерастворимых примесей (НРП), воды и топливных фракций (ВТФ)).

Модульный принцип установки обеспечивает быстро перенастраиваемый управляемый комплекс очистки масел, преимуществами которого являются не только многофункциональность, но и разнообразие технологических режимов, возможность вариации степенями очистки в зависимости от исходных параметров очищаемого масла. Также в комплект модульной

установки входит ёмкость с мешалкой (на рис. 1 не показан), предназначенная для компаундирования очищенного РММ минеральными свежими маслами или добавками – регламентируемыми присадками, путём введения и смешивания с целью частичного восстановления эксплуатационных свойств РММ. Вторым существенным преимуществом является возможность дальнейшей модификации отдельных элементов и технических средств установки очистки (любой ступени), не затрагивая другие. По предлагаемой технологической схеме предлагается модульная установка, включающая в себя шесть ступеней очистки и одну ступень частичного восстановления эксплуатационных свойств очищенных ОММ: гравитационное отстаивание, выпаривание топливных фракций и воды, гидроциклонная очистка, центрифугирование, магнитная очистка, фильтрация и компаундирование введением минеральной добавки в виде товарного масла (рис. 1).

Программа экспериментальных исследований включает технологический процесс подготовки установки к работе, технологический процесс очистки и частичного восстановления ОММ на разработанной установке с установлением конструктивных и режимных параметров ступеней очистки. Технологический процесс компаундирования очищенного РММ осуществляется путём введения в него минеральной добавки в виде масла МС-20П или присадок МАСК, ПСМ и ВНИИНП 324.

Лабораторные исследования по определению эксплуатационных показателей (кинематическая вязкость, содержание воды, нерастворимых примесей и продуктов износа по железу, температура вспышки, кислотное и щёлочное число) очищенных и частично восстановленных РММ осуществляются в соответствии с ГОСТ.

Конструктивные и рекомендованные режимные параметры установки, определенные на основе технологического набора модулей (рис.1) по очистке ОММ, представлены на рис.2.

Выводы

1. Анализ результатов исследований и разработок по очистке и восстановлению эксплуатационных свойств отработанных моторных минеральных масел показывает, что при удалении из отработанных моторных масел продуктов окисления и загрязнений возможно их повторное применение. Для использования во вспомогательных механизмах и системах или по прямому назначению в той же эксплуатационной группе необходимо восстановление эксплуатационных свойств до уровня товарных масел.

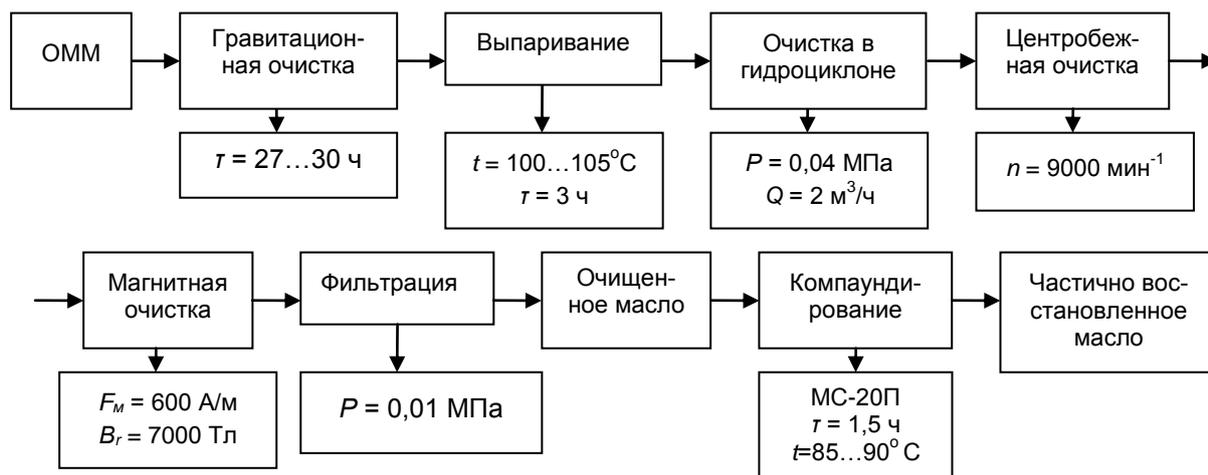


Рис. 2. Схема регенерации ОММ с рекомендованными конструктивными и режимными параметрами для судовых условий (очистка и частичное восстановление свойств РММ)

2. Наиболее перспективным и рациональным направлением очистки отработанных моторных минеральных масел является многоступенчатая очистка с получением масел, сохранивших часть присадок, пригодных к повторному использованию в качестве моторных масел главных и вспомогательных дизелей судовых энергетических установок, а также в качестве промышленных, гидравлических и трансмиссионных масел систем определенных функциональных направлений. Для этого необходимо восстановление способом ввода определенных присадок или компаундирование минеральными добавками в виде свежих товарных масел, имеющих более высокие эксплуатационные показатели.

Список литературы

1. Шашкин П. И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П. И. Шашкин, И. В. Брай. – М. : Химия, 1970. – 304 с.
2. Чуржуков Е. С. Современные способы и средства регенерации отработанных масел : обзорная информация. – Миннефтехим СССР.
3. Сафонов А. С. Химмотология горюче-смазочных материалов / А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. В. Гришин. – СПб. : НПКИЦ, 2007.
4. Ставицкий Н. М. Регенерация отработанных масел / Н. П. Ставицкий // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 9. – С. 56–59.
5. В. В. Тарасов. Научные ответы на вызовы современности: техника и технологии : монография / В. В. Тарасов, Г. П. Кича и др. – Одесса, 2016. – 177 с.
6. Кича Г. П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: монография / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. В. Надёжкин. – Владивосток : Мор. гос. ун-та, 2011. – 372 с.
7. Тарасов В. В. Принципиальная схема установки по регенерации отработанного моторного масла в судовых условиях / В. В. Тарасов, П. В. Кулямов //

Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 2. – С. 175–179.

8. Большаков Г. Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г. Ф. Большаков. – Л. : Недра, Ленинградское отделение, 1982. – 350 с.

9. Рыбаков К. В. Сбор и очистка отработанных масел : обзорная информация. Госагропром СССР / К. В. Рыбаков и др. – М. : АгроНИИТИИТО, 1988. – 13 с.

11. Замальдинов М. М. Очистка отработанных минеральных моторных масел центрифугированием / М. М. Замальдинов // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2011. – № 1. – С. 93–98.

12. Лышко Г. П. Рациональное использование топлива и смазочных материалов для сельскохозяйственной техники / Г. П. Лышко. – Кишинев, 1986. – 280 с.

УДК 621.89:621.431-729.3

Р. Р. Симашов, Д. К. Глазюк, В. В. Маницын

КОМПЛЕКСНОЕ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМАЗОЧНЫХ СИТЕМ ДИЗЕЛЕЙ – РАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОНОМИИ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ФЛОТЕ

На ресурсосберегающие и экономические характеристики дизеля существенным образом влияет его смазочная система. Надёжность работы дизеля [1] находится в крайней зависимости от используемого в ней моторного масла (ММ) и от эффективности данной системы. Важными компонентами технико-экономических характеристик двигателей внутреннего сгорания (ДВС) являются показатели расхода масла на слив и угар. В следствии этого возрастает роль смазочной системы в ресурсосберегающей эксплуатации ДВС [2].

В настоящий момент главной целью мирового научно-технического прогресса является поиск более совершенного использования материалов, природных ресурсов, топлива и энергии на всех этапах – от добычи и полной переработки сырья до выпуска и применения полученной продукции. Тем более это насущно для транспортной энергетики в виду того, что она является ведущим потребителем смазочных материалов и топлив. Использование и последующее улучшение двигателей внутреннего сгорания (ДВС) как в России, так и в других государствах доказывают, что в ближайшем будущем они сохранят свой статус основы мобильной энергетики множества секторов экономики и продолжат оказывать влияние на развитие транспортной отрасли. По результатам исследований видно, что ДВС в перспективе будет широко использоваться в народном хозяйстве и останется основным типом привода для транспортных установок.

Увы, природные запасы нефти ограничены, однако, они продолжают играть самую важную роль в энергетическом потенциале государства. Вследствие постоянно растущего потребления и увеличения стоимости

продуктов крайне весомый смысл обретают экономия и рациональное применение в технике горюче-смазочных материалов (ГСМ) [3]. В тесной связке находятся мероприятия по улучшению качества и повышению эффективности очистки при использовании моторного масла (ММ) в ДВС и сокращение расхода. Увеличение концентрации в топливах продуктов вторичных процессов неотвратимо связано с углублением переработки нефти. В упомянутых продуктах присутствуют в большом количестве нежелательные соединения, оказывающие отрицательное влияние на эксплуатацию дизельных двигателей. Для топлив, получаемых из альтернативного сырья, так же свойственен данный недостаток. Важной задачей является адаптация двигателей к эксплуатации их на топливах низкого качества с одновременным повышением экономичности и их надёжности. При её решении необходимо учитывать возможные экологические последствия.

Большую роль в рациональном использовании энергоресурсов, повышении надёжности и долговечности транспортной техники, увеличении ресурса ДВС, экономии металла, топлив и масел, снижении трудозатрат на техническое обслуживание играет новое научное направление – химмотология. В ближайшие годы в связи с необходимостью экономии и рационального использования топливно-энергетических ресурсов, широким применением продуктов глубокой переработки нефти и альтернативного сырья роль химмотологии в повышении эффективности функционирования ДВС возрастёт.

В условиях перехода страны к высокоэффективной экономике необходимо решать многие проблемы народного хозяйства на основе обобщения отечественного и мирового опыта. Отрицательно сказывается на разработке перспективных методов сокращения расхода ГСМ и повышения ресурсных показателей ДВС отсутствие долгосрочного межотраслевого планирования, должной координации исследований и слабая специализация в области топливоиспользования и очистки масел.

Потери в результате недооценки роли смазки, недостаточного качества ММ и низкой эффективности его очистки, по мнению автора работы [2], ежегодно составляют 10 млрд. руб. В результате изнашивания ДВС из-за плохой смазки суммарная потеря их мощности достигается 10...15 % или более 100 млн. кВт. Многообразие процессов изнашивания и их тесная взаимосвязь с эффективностью системы маслоочистки и в целом ДВС обуславливает необходимость комплексного подхода к борьбе с трением, коррозией и износом. Подсчитано, что каждый вложенный в эти направления рубль даёт экономический эффект до 100 руб. В области применения триботехнических знаний, как отмечено в докладе П. Джоста [4] возможна ежегодная экономия в размере 468...700 млн. фунтов стерлингов, причём на транспорт приходится 56 % от этой суммы.

Прямым и косвенным потерям энергии, вызываемым трением и износом, а также экономии материалов пока ещё не уделялось должного внимания, по крайней мере до 1977 г., когда в США был финансируван план,

обеспечивающий ежегодную экономию в размере 16,25 млрд. долларов при использовании накопленных знаний в области химмотологии [4]. При общих мировых потерях от коррозии и коррозионно-механического изнашивания порядка 200...250 млрд. долларов в год более 25 % приходится на ДВС [5].

Значительный ущерб технике, особенно в условиях эксплуатации при низких температурах, наносит водородное изнашивание [5, 6]. Оно происходит в результате проникновения в металл водорода при разложении воды и окисления топлив и смазочных материалов. Наличие в ММ воды не только усиливает водородное изнашивание, но и значительно интенсифицирует электрохимическую коррозию вкладышей подшипников, способствует развитию усталостного изнашивания, питтинга и фреттинг-коррозии.

Трение и коррозия наносят огромный материальный ущерб. Потери от них доходят до 10 % совокупного национального дохода развитых стран [5]. Технические проблемы уменьшения износа сложны и многогранны. Эти проблемы должны рассматриваться на всех стадиях разработки транспортной техники, её эксплуатации, техническом обслуживании и ремонтах. Необходимость комплексного решения проблемы уменьшения трения, коррозии и изнашивания обусловлена развитием двигателестроения, повышением экономичности и ресурса транспортных средств.

Важнейшие задачи химмотологии на ближайшие годы связаны с углублением переработки нефти получением синтетических топлив и повышением качества ГСМ. Решение поставленных проблем должно способствовать сокращению расхода топлив и масел, повышению надёжности эксплуатации тепловых двигателей на альтернативных и нефтяных топливах, включающих компоненты вторичных процессов.

Современные нефтяные топлива для судовых энергетических установок (СЭУ) представляют, как правило, смеси дистиллятных (дизельных) фракций с остаточными продуктами (мазутами) нефтепереработки. Для удовлетворения потребностей флот вынужден переходить на продукты глубокой переработки нефти, получаемые при каталитическом и термическом крекинге. Углубление переработки нефти вызывает, в свою очередь, ухудшение качества мазутов из-за увеличения содержания асфальтосмолистых веществ, агрессивных металлов и золы.

В последние годы разработан ассортимент специальных топлив судового назначения: дистиллятное ТМС (ТУ38.101567–87), остаточные СВТ, СВЛ, СВС (ТУ 38.101314–90). Они рекомендованы к использованию наравне с моторными ДТ и ДМ (ГОСТ 1667–68), флотскими Ф-6 и Ф-12 и топочными М40, М40В и М100 (ГОСТ 10585–75) мазутами. При их применении пришлось решать проблему повышения самовоспламеняемости топлив, нестабильности их хранения, взаимной несовместимости, присутствия в топливе каталитической «мелочи».

В настоящее время ведутся работы по созданию альтернативных топлив. Это природный газ, продукты переработки каменного и бурого углей, горючих сланцев и битуминозных песков, попутных нефтяных газов. Планируется использование в качестве топлива водорода, метанола, эфиров и смесей последних с нефтяными топливами. Планируется товарное производство синтетических жидких топлив, не уступающих по качеству продуктам нефтяного происхождения. Возможность варьирования их качеством выгодно отличает топлива, получаемые сжижением угля от других нетрадиционных видов горючего. Большие перспективы имеют водотопливные эмульсии. Их применение в ДВС позволяет экономить до 6 % топлива.

Для создания перспективных ММ необходимы высококачественные базовые углеводородные или синтетические основы, новые присадки и их композиции. Необходимо значительно улучшить вязкостно-температурные характеристики масел, чтобы повысить их пусковые свойства. Предстоит расширить ассортимент присадок, повысить их термическую стабильность, детергентные свойства. Для топливосберегающих масел важна способность кратковременно снизить вязкость при повышенной температуре и высоких скоростях сдвига. Эти свойства желательны для ММ, включающих антифрикционные присадки в виде беззольных органических соединений и маслорастворимых ПАВ, содержащих молибден, медь, никель, кобальт, хром. При использовании модификаторов трения, благодаря малому усилию тангенциального сдвига в плёнке, имеющей структуру «сэндвича», экономится 3...8 % топлива.

Авторами работ [7, 8] проведён цикл исследований по конвертированию судовых дизелей на низкосортные топлива. Проведённые мероприятия позволили полностью нейтрализовать последствия сжигания топлив глубокой переработки нефти и альтернативных. При этом были обеспечены высокая экономичность и ресурс конвертируемых на них ДВС. Комплексное повышение эффективности смазочных и топливных систем СЭУ предусматривало гомогенизацию и фильтрование топлив, комбинированную очистку ММ, применение унифицированных судовых масел с многофункциональными присадками с добавками дисульфида молибдена [9]. Композиции присадок позволили достичь синергетического эффекта и были составлены с превалированием антикоррозийного и моюще-диспергирующего действия за счёт использования присадок МАСК и ПМС.

В большинстве двигателей сжигали водотопливные эмульсии с добавками воды 12...15 %. В отдельных случаях модернизации подвергались поршневая группа, системы топливоподготовки и смазки. Использовались маслосъёмные кольца новых модификаций, обеспечивающие в дизелях средней и повышенной оборотности угар масла 1,2...1,8 г/(кВт·ч). Для комбинированных систем тонкой очистки ММ дизелей были разработаны полнопоточные фильтры со сменными фильтрующими элементами (ФЭ) и самоочищающегося типа [7, 10]. Для глубокой очистки масла от продуктов, катализирующих окисление ММ использовали центрифуги и центробежные сепараторы.

На основе системного подхода осуществлено имитационное моделирование комплекса «дизель – эксплуатация – топливо – масло – очистка» (ДЭТМО), дающее возможность сбалансировать работу его звеньев и повысить эффективность ДЭТМО в целом. Результаты моделирования и моторный эксперимент показали, что комбинированная очистка ММ за счёт полнопоточного фильтрования надёжно защищает пары трения ДВС от частиц загрязнения, вызывающих изнашивание и задир. Дополнительное центрифугирование или частично-поточное фильтрование обеспечивает очистку масла от продуктов, интенсифицирующих его старение и срабатывание присадок.

Комбинированная очистка стабилизирует моюще-диспергирующие свойства ММ на высоком уровне, длительно сохраняет его солубилизирующую способность, ускоряет перевод промежуточных продуктов окисления в карбены и карбоиды, которые легко отфильтровываются и отфуговываются. Применение комбинированных маслоочистительных комплексов (МОК) в 1,2...1,7 раза замедляет старение масла по основным направлениям и в среднем на 45 % уменьшает загрязнение двигателя углеродистыми отложениями.

Выводы

1. Применение в ДВС моторного масла последнего поколения, новых маслоочистительных комплексов и эффективных систем топливоподготовки позволило [7–10]:

- полностью нейтрализовать отрицательные последствия сжигания низкосортных топлив и обеспечить экономичную ресурсосохраняющую эксплуатацию ДВС;

- увеличить ресурс двигателей между моточистками и до капитального ремонта не менее чем на 20 %;

- сократить в сочетании с конструктивными мероприятиями расход топлив на 2...6 % и ММ на 15...60 %;

- уменьшить затраты на сменно-запасные части и трудоёмкость обслуживания ДВС на 10...30 %, увеличить срок службы ФЭ в 1,5...2 раза;

- понизить трудоёмкость обслуживания системы очистки масла в 7...30 раз и довести до уровня 0,5...4 чел.·ч. на 1000 ч. работы

2. Проблемы качества и рационального использования ГСМ приобрели межотраслевое значение, поскольку возросла роль их качества в вопросах увеличения надёжности, долговечности и экономичности техники, в том числе транспорта. Прикладной отраслью науки, призванной решать теоретические и практические значения в области ГСМ, является химмотология – теория и практика рационального их использования в технике. Возможности судовой химмотологии показаны на приведённых примерах [8, 9].

3. Сегодня все транспортные проблемы необходимо решать с учётом экологических последствий. Для охраны окружающей среды нужно строго ограничить в составе отработанных газов содержание токсичных и канцерогенных соединений, что в значительной степени связано с качеством применяемых ГСМ.

4. Большие перспективы в прогнозировании возможностей различных топлив, масел и комплексной оценки их эффективности на транспорте имеет разработанная в работе [7] модель ДЭТМО, позволяющая исследовать численными методами функционирование звеньев рассматриваемой системы. Основные разработки по комплексному повышению эффективности смазочных систем судовых дизелей включают унификацию моторных масел, создание комбинированных комплексов для очистки ГСМ, разработку мероприятия по сокращению расхода ММ на угар [7, 10].

Список литературы

1. Маницын В. В. Анализ повреждений рамовых подшипников двигателей 8NVD48A-2U на промысловых судах / В. В. Маницын, А. Н. Соболенко // Вестник ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова. – 2016. – Выпуск 6(40). – С. 150–155.
2. Гурьев А. А. Состояние и перспективы развития химмотологии / А. А. Гурьев // Химия и технология топлив и масел. – 1988. – № 5. – С. 22–24.
3. Соболенко А. Н. Определение расхода топлива и моторного масла судовыми дизелями с учётом изменений внешних условий эксплуатации / А. Н. Соболенко, Р. Р. Симашов, Д. К. Глазюк, В. В. Маницын // Вестник АГТУ. Сер. : Морская техника и технологии. – 2017. – № 3. – С. 62–73.
4. Джост П. Экономия энергии и помощью трибологии: технико-экономическое исследование / П. Джост, Дж. Шофилд // Трение и износ. – 1982. – Т. 3, № 2. – С. 356–366.
5. Радченко Е. Д. Роль химмотологии и триботехники в создании современных смазочных материалов и снижении износа металлоизделий / Е. Д. Радченко, Ю. Н. Шехтер // Химия и технология топлив и масел. – 1987. – № 4. – С. 31–33.
6. Гаркунов Д. Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. – М. : Машиностроение, 1985. – 424 с.
7. Кича Г. П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях: монография / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. В. Надёжкин. – Владивосток : Мор. гос. ун-т., 2011. – 372 с.
8. Кича Г. П. Триботехнические характеристики нерастворимых продуктов загрязнения моторных масел и их влияние на износ двигателя / Г. П. Кича, Г. М. Липин, С. П. Полоротов // Трение и износ. – 1986. – Т. 7, № 6. – С. 1068–1078.
9. Таращан Н. Н. Новые энерго- и ресурсосберегающие экологически безопасные технологии эксплуатации дизелей на судах дальневосточного бассейна / Н. Н. Таращан, Л. А. Семенюк, С. А. Хмелевский // Научные труды SWorld. – Иваново : Научный мир, 2016. – Вып. 1(42). – Т. 1. – С. 91–100.
10. Кича Г. П. Эффективная очистка моторного масла – основа экономичной ресурсосохраняющей эксплуатации судовых ДВС / Г. П. Кича // Двигателестроение. – 1985. – № 7. – С. 6–10.

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СУДОВЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

На сегодняшний день существует ряд работ [1, 2, 3, 4] в которых рассматривается влияние изменения отдельных геометрических и физических параметров на параметры рабочего процесса двигателя и устанавливаются связи между ними [5], но для разработки системы технического диагностирования газотурбинного двигателя (ГТД) необходим системный подход. То есть для конкретного типа ГТД необходимо определить полный перечень параметров, которые изменяются в процессе эксплуатации и установить математические зависимости между этими параметрами и параметрами рабочего процесса, которые можно использовать при разработке математической модели, описывающей двигатель как объект диагностирования.

Особенностью эксплуатации судовых ГТД является наличие в воздухе, поступающем в проточную часть солей натрия и калия. При эксплуатации судов в зоне крупных мегаполисов в проточную часть попадают промышленные загрязнения. Под влиянием указанных факторов ухудшается техническое состояние элементов проточной части двигателей. Для решения задач диагностирования ГТД по термогазодинамическим параметрам необходимо, прежде всего, определить перечень параметров (геометрических, физических), которые изменяются под влиянием эксплуатационных факторов.

В настоящий момент наиболее распространенным типом судовых ГТД является двухкомпрессорные двигатели с силовой (свободной) турбиной, поэтому остановимся на рассмотрении влияния эксплуатационных факторов на параметры ГТД указанного типа. Анализ литературных источников [1–5] позволяет сделать вывод, что в процессе эксплуатации двухкомпрессорных судовых ГТД меняются следующие параметры: коэффициент полезного действия компрессоров высокого $\eta_{\text{КВ}}^*$ и низкого давления $\eta_{\text{КН}}^*$, турбин высокого $\eta_{\text{ТВ}}^*$, низкого давления $\eta_{\text{ТН}}^*$ и силовой $\eta_{\text{СТ}}^*$; коэффициент полноты сгорания $\eta_{\text{Г}}^*$; площади сопловых аппаратов турбин $F_{\text{САТВ}}$, $F_{\text{САТН}}$, $F_{\text{САСТ}}$; коэффициенты сохранения полного давления в камере сгорания $\sigma_{\text{КЗ}}$, в сопловых аппаратах турбин высокого $\sigma_{\text{САТВ}}$, низкого $\sigma_{\text{САТН}}$ и силовой $\sigma_{\text{САСТ}}$.

В табл. 1 приведены связи между определенными эксплуатационными факторами и выше указанными параметрами рабочего процесса.

Солевой занос компрессора и турбин, как и загрязнение их проточной части, приводит к увеличению шероховатости лопаток, увеличению радиального зазора в компрессорах, изменению геометрии проточной части, в первую очередь меняются площади проходных сечений сопловых аппаратов турбин.

Таблица 1

Эксплуатационные факторы и параметры рабочего процесса
двухкомпрессорных судовых ГТД

Эксплуатационные факторы	Параметры												
	$\eta_{КВ}^*$	$\eta_{КН}^*$	$\eta_{ТВ}^*$	$\eta_{ТН}^*$	$\eta_{СТ}^*$	$\eta_{Г}^*$	$F_{САТВ}$	$F_{САТН}$	$F_{САСТ}$	$\sigma_{КЗ}$	$\sigma_{САТВ}$	$\sigma_{САТН}$	$\sigma_{САСТ}$
Солевой занос компрессора и турбин	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
Загрязнение проточной части компрессоров и турбин	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+
Наличие солей натрия или калия в воздухе и топливе	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Износ радиальных уплотнений в компрессорах (увеличение радиальных зазоров) и турбинах	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Коррозионные повреждения элементов горячей части	-	-	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	-

Солевые отложения на поверхности лопаток компрессора имеют вид сплошного налёта с жёсткой поверхностью, над которой выступают бугорки высотой до 1 мм. Толщина отложений со временем увеличивается. Для определения влияния изменения шероховатости и радиальных зазоров на КПД каскадов компрессоров воспользуемся зависимостями, приведенными в работе [3]:

$$\delta\eta_{КН}^* = -\frac{2,8K_1Z_{КН}}{K_1 \cdot \eta_{СТ0}^*} (\bar{\sigma}_p - 0,01) - \frac{K_1Z_{КН}}{K_2 \cdot (K_3)_{КН}} \sigma \xi_{Тррк}; \quad (1)$$

$$\delta\eta_{КВ}^* = -\frac{2,8K_yZ_{КВ}}{K_5 \cdot \eta_{СТ0}^*} (\bar{\sigma}_p - 0,01) - \frac{K_4Z_{КВ}}{K_5 \cdot (K_3)_{КВ}} \sigma \xi_{Тррк};$$

где $K_1 = 1 + \left[\frac{\eta_{СТКНО}^*}{(\pi_{СТКНО}^{*0,286} - 1)} \right]$; $K_2 = 1 + \left[\frac{\eta_{КНО}^*}{(\pi_{КНО}^{*0,286} - 1)} \right]^{-1}$; $K_3 = 1 + \frac{2L_{СТ}}{\xi_{Тррк} W_1^2}$;

$$K_4 = 1 + \left[\frac{\eta_{КВО}^*}{(\pi_{КВО}^{*0,286} - 1)} \right]^{-1}; \quad K_5 = 1 + \left[\frac{\eta_{СТКВО}^*}{(\pi_{СТКВО}^{*0,286} - 1)} \right];$$

$\eta_{КНО}^*$; $\eta_{КВО}^*$; $\eta_{СТКНО}^*$; $\eta_{СТКВО}^*$ – соответственно расчётные значения КПД компрессоров низкого и высокого давления и их отдельных ступеней;

$\pi_{КНО}^*$; $\pi_{КВО}^*$; $\pi_{СТКНО}^*$; $\pi_{СТКВО}^*$ – расчётные значения степеней повышения давления в каскадах компрессора и их степенях;

- $Z_{кн} ; Z_{кв}$ – количество ступеней в каскадах компрессора;
 $\bar{\sigma}_p = \frac{\sigma}{\sigma_p}$ – относительный радиальный зазор;
 W_1 – относительная скорость воздушного потока на входе в рабочее колесо ступени;
 $\sigma\xi_{тррк}; \xi_{тррко}$ – относительное отклонение коэффициента потерь в ступени за счёт увеличения шероховатости поверхностей лопаток и его расчётная величина.

Величина $\sigma\xi_{тррк}$ связана с величиной относительной шероховатости поверхностей лопаток следующим соотношением [3]:

$$\sigma\xi_{тррк} = \frac{(0,05-0,08)\varepsilon^{0,25}\left(\frac{B}{A}\right)}{\xi_{тррко}} - 1, \quad (2)$$

где B – хорда лопатки; A – ширина межлопаточного канала.

Для оценки величины ε при длительной эксплуатации ГТД целесообразно воспользоваться статистически установленной связью:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon_{max} \left(\frac{\tau}{T}\right)^m; \quad (3)$$

где ε_0 – значение относительной шероховатости поверхностей лопаток в начале эксплуатации, которое обеспечивает технология производства или ремонта;

$\Delta\varepsilon_{max}$ – максимальное отклонение относительной шероховатости поверхностей лопаток за межремонтный ресурс T ;

τ – наработка двигателя;

m – показатель степени, характеризующий темп увеличения шероховатости поверхностей лопаток.

Для решения задач прогноза технического состояния ГТД, которое крайне важно для судовых двигателей при долгосрочном прогнозе (на рейс), величина относительного радиального зазора может быть определена из корреляционного уравнения износа:

$$\bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_{po} + \left[(\bar{\sigma}_1 + h) 10^{\frac{\tau - \tau_1}{\beta}} - h \right], \quad (4)$$

где $\bar{\sigma}_{po}$ – величина относительного радиального зазора в начале эксплуатации или после капитального ремонта;

$\bar{\sigma}_1$ – средняя величина износа после наработки;

τ – текущая наработка;

τ_1 – наработка, при которой осуществляется осмотр проточной части компрессора объективными средствами контроля (бароскопами, эндоскопами);

β, h – постоянные, которые определяются на основе анализа процесса износа за период $\tau_2 - \tau_1$:

$$\beta = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}; h = \frac{\bar{\sigma}_2 - \bar{\sigma}_1 \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}{\frac{\sigma_2}{\sigma_1} - 1},$$

где $\bar{\sigma}_2$ – средний износ после наработки τ_2 ;
 σ_1 и σ_2 – средние квадратические отклонения после наработки τ_1 и τ_2 .

Для конкретного типа двигателя и определённой наработки величины КПД каскадов компрессора определяются из уравнений (1), а изменения величины потерь и относительных радиальных зазоров, соответственно, из уравнений (2–4), то есть:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{кн}}^* &= \eta_{\text{кно}}^* \{1 - [K_6(\sigma - 0,01) + K_7\sigma\xi_{\text{тррк}}]\}; \\ \eta_{\text{кв}}^* &= \eta_{\text{кво}}^* \{1 - [K_8(\bar{\sigma}_p - 0,01) + K_9\sigma\xi_{\text{тррк}}]\}, \end{aligned} \quad (5)$$

где $K_6 = \frac{2,8K_1Z_{\text{кн}}}{K_2 \cdot \eta_{\text{сто}}^*}$; $K_7 = \frac{K_1Z_{\text{кн}}}{K_2 \cdot (K_3)_{K_4}}$; $K_8 = \frac{2,8K_4Z_{\text{кв}}}{K_5 \cdot \eta_{\text{сто}}^*}$; $K_9 = \frac{K_4Z_{\text{кв}}}{K_5 \cdot (K_3)_{K_8}}$.

Доминирующим фактором в уменьшении КПД турбин является рост шероховатости поверхностей лопаток. Связь между величиной КПД ступени турбины и относительной шероховатостью поверхностей лопаток устанавливает следующее уравнение:

$$\eta_{\text{ст}}^* = \eta_{\text{сто}}^* - \left[(0,05 - 0,08) \varepsilon^{0,25} \left(\frac{B}{A} \right) - \xi_0 \right],$$

где $\eta_{\text{сто}}^*$, ξ_0 – соответственно, расчётные значения КПД ступени турбины и коэффициента потерь.

Величины шероховатости поверхностей лопаток, ширины каналов сопловых аппаратов радиальных зазоров позволяют определить автоматизированные системы технического зрения (АСТЗ). АСТЗ имеет две автономные подсистемы, одна из которых обеспечивает получение телевизионного изображения элементов проточной части двигателя на экран контроля, а другая обеспечивает автоматизированную обработку видео изображения с целью выявления дефектов и количественной оценки величин указанных параметров [6]. Для размещения датчиков системы технологического зрения используют конструктивно предусмотренные технологические отверстия для осмотра проточной части конкретного типа ГТД. Связь между КПД многоступенчатой турбины (каскада турбины) и относительным изменением КПД отдельных ступеней описывает уравнение, приведенное в работе [4]:

$$\eta_{\text{т}}^* = \eta_{\text{то}}^* - \frac{\eta_{\text{то}}^*}{K_{10}} \sum_{i=1}^Z K_{11i} \sigma \eta_{\text{сти}}^*, \quad (6)$$

где $K_9 = \left[\frac{1}{\eta_{\text{то}}^* (1 - \Pi_{\text{то}}^{*-0,25})} - 1 \right]^{-1}$; $K_{11i} = \left[\frac{1}{\eta_{\text{сто}}^* (1 - \Pi_{\text{то}i}^{*-0,25})} - 1 \right]^{-1}$; $\delta \eta_{\text{сти}}^* = \frac{\eta_{\text{сти}}^* - \eta_{\text{ст.0}i}^*}{\eta_{\text{ст.0}i}^*}$,

$\eta_{\text{то}}^*$ – расчётное значение КПД турбины (каскада турбины);
 $\Pi_{\text{то}}^*$, $\Pi_{\text{то}i}^*$ – расчётные значения степеней расширения в турбине и её отдельной ступени.

Площади сечений сопловых аппаратов первых ступеней турбин F_{CA} в зависимости от типа ГТД могут в процессе эксплуатации как увеличиваться, так и уменьшаться. Согласно исследованиям проведенным авторами, величины F_{CA} связаны с наработкой ГТД следующим соотношением:

$$F_{CA} = F_{CA0} - K_{12}(\lg\tau)^2, \quad (7)$$

где F_{CA0} – величина площади соплового аппарата, указанная в формуляре или в деле ремонта конкретного двигателя;

K_{12} – постоянная величина, которая рассчитывается путём обработки статистических данных для конкретного типа двигателей.

Величину коэффициента полноты сгорания для ГТД с трубчато-кольцевой камерой сгорания в зависимости от наработки определяют по формуле, приведенной в работе [15].

$$\eta_{\Gamma} = \eta_{\Gamma 0} - \eta_{\Gamma 0} \left(0,275 \varepsilon^{\frac{-0,859}{\tau}} 10^3 + \frac{455 - 0,0014\tau}{172,9} + 0,805 \sigma \eta_{\Gamma}^* \right), \quad (8)$$

где η_{Γ} – расчётная величина коэффициента полноты сгорания;

$\sigma \eta_{\Gamma}^* = \sigma \eta_{\Gamma KH}^* + \sigma \eta_{\Gamma KB}^*$ – относительное изменение КПД двухкаскадного компрессора.

Для судовых ГТД авиационного (лёгкого) типа величина коэффициента сохранения полного давления в камере сгорания может быть определена по статистической зависимости:

$$\sigma_{\text{кз}} = \sigma_{\text{кз0}} \left\{ 1 + \left[0,1069 + 0,0172 \left(\frac{\tau}{T} \right) - 1,2931 \left(\frac{\tau}{T} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \right\}, \quad (9)$$

где $\sigma_{\text{кз0}}$ – расчётное значение коэффициента сохранения полного давления в камере сгорания.

Получение статических зависимостей коэффициента полноты сгорания от наработки для других типов камер сгорания требует проведения дополнительных исследований.

Выводы

Оценка технического состояния ГТД в условиях эксплуатации осуществляется по ограниченному количеству контролируемых параметров. Поэтому при формализованном описании двигателей как объектов диагностирования с использованием математических моделей рабочего процесса для устранения несоответствия количества неизвестных количеству уравнений модели целесообразно использовать уравнения (2–6).

Список литературы

1. Багерман А. З. Параметрическая диагностика газотурбинных двигателей / А. З. Багерман. – СПб. : ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2012. – 94 с.
2. Багерман А. З. Обеспечение надёжной эксплуатации газотурбинных двигателей в морских условиях / А. З. Багерман. – СПб. : ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2010. – 132 с.

3. Багерман А. З. Закономерности изменения характеристик осевых компрессоров под влиянием солевых обложений / А. З. Багерман, И. П. Леонова, А. А. Берденников // Турбины и компрессоры. – 2004. – № 3, 4. – С. 36–38.

4. Панин В. В. Анализ корреляционных связей термодинамических и геометрических параметров ГТД / В. В. Панин, О. И. Чумак, В. В. Ратынский, М. А. Шевченко // Авиационно-космическая техника и технология : научно-технический журнал. – 2009. – № 9. – 45 с.

5. Семенюк А. В. Эксплуатационные режимы паротурбинной установки морского газовоза / А. В. Семенюк, С. А. Гармаш, Л. А. Семенюк // Морские интеллектуальные технологии. – 2013. – № 1. – С. 45–47.

6. Семенюк А. В. Влияние внешних факторов на характеристики паротурбинного агрегата танкера-газовоза / А. В. Семенюк, С. А. Гармаш, Л. А. Семенюк // Вестник морского государственного университета. – Владивосток : МГУ. – 2013. – Вып. 60. – С. 17–26.

УДК 621.43.013:629.3

Г. П. Кича, Л. А. Семенюк, О. В. Осипов

КОМПЛЕКСНОЕ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Необходимость подбора и испытаний отечественных моторных масел с высокими эксплуатационными свойствами и запасом качества, достаточным для долговременной работы, была вызвана установкой на современных судах дизелей иностранных фирм с высокой тепловой и механической напряжённостью. Совершенствование же агрегатов тонкой очистки масла диктовалось тем, что большинство из них из-за трудностей с поставками фильтрующих элементов зарубежного производства было оборудовано только маслоочистителями грубой очистки.

Применяемые фильтры грубой очистки (ФГО) оказались недостаточно эффективны. Расчёт же на использование сепараторов не оправдался. Возможности их применения для вспомогательных судовых дизелей ограничены, так как ёмкости барабанов сепараторов и подключающих маслопроводов сопоставимы с объёмами масел, циркулирующих в системах смазки.

На новых теплоходах в качестве главных и вспомогательных двигателей широко применяются высокофорсированные среднеоборотные дизели 5 и 6 AL25 (5 и 6 ЧН25/30) фирмы «Зульцер» ($p_e = 0,9 \div 1,5$ МПа), 5–824TS (5÷8 ЧН24/31) фирмы «Вяртсиля» ($p_e = 1,28$ МПа), 8 DSN-32 (8 ЧН32/38) и 6 DS-18 (6 ЧН18/23) фирмы «Дайхацу» (p_e соответственно равно 1,84 и 1,47 МПа).

При переводе их на использование наиболее распространённого на флоте отечественного масла М-10-В₂ (ГОСТ 17479.1–85) снизилась надёжность и долговечность дизелей, возросла трудоёмкость их обслуживания,

увеличился расход сменно-запасных деталей и горюче-смазочных материалов, сократился срок службы дизелей между моточистками и до капитального ремонта, возросли эксплуатационные расходы.

Литературный обзор [1, 2, 3], теоретический анализ, а также данные лабораторных моторных и безмоторных испытаний показали, что наиболее надёжно пары трения двигателя защищаются от попадания абразивных частиц при установке на полном потоке фильтра со сменными фильтрующими элементами гофрированного типа из специальных нетканых материалов и включением в систему смазки на ответвлении центробежных маслоочистителей с реактивным приводом (РМЦ).

Первый этап исследований предусматривал разработку комбинированной системы тонкой очистки масла. Особенностью созданных конструкций полнопоточных масляных фильтрующих элементов является то, что они удовлетворительно работают при высоких скоростях фильтрации и при использовании в дизелях масел с диспергирующими свойствами среднего уровня. Хорошие результаты были получены также при очистке масел, работающих в условиях интенсивного старения. Названные выше качества достигаются применением специальной фильтровальной бумаги с регулярной поровой структурой. Введение в композицию материала повышенной концентрации волокна нитрон уменьшает осмоление и асфальтизацию фильтрующей шторы и увеличивает срок службы элементов.

В одной из модификаций элементов использовался разработанный ВНИИБом сравнительно дешёвый и недефицитный нетканый материал мокрого формирования БМ-120. Применение в фильтроматериалах поливинилспиртовых волокон с последующей термообработкой позволило полностью отказаться от гребенчатых вставок и поперечных складок при формировании фильтрующей перегородки.

Разработанные на кафедре СДВС МГУ им. адм. Г. И. Невельского элементы «Восток-6» и «Восток-6А» имеют фильтрующую штору в виде многолучевой звезды. Они полностью взаимозаменяемы с зарубежными элементами, выпускаемыми фирмой «Манн энд Гуммель», что позволяет использовать их в масляных фильтрах двигателей иностранной постройки. От существующих отечественных элементов типа «Нарва-6» они отличаются параметрами шторы, а также применяемыми фильтроматериалами, что позволяет использовать их при повышенных скоростях фильтрации 1,5...5 м/ч. Наиболее рационально применение масляных элементов типа «Восток-6» при работе дизелей на тяжёлых сортах топлива, когда скорость загрязнения масла продуктами неполного сгорания более высокая [4]. Также желательно их использовать в двигателях с усиленным смолообразованием и повышенной карбонизацией масла. Такие условия характерны для дизелей, имеющих малый угар масла.

Стендовые моторные испытания и эксперимент на судах показали, что для большинства среднеоборотных и быстроходных форсированных дизелей при условии комбинированной очистки масла фильтрованием

и центрифугированием оптимальной тонкостью отсева для применяемых фильтроматериалов следует считать 30...50 мкм. Рекомендуемый диапазон тонкости отсева фильтровальных материалов приводит к оптимальному перераспределению «нагрузки» между агрегатами очистки, что позволяет полнопоточному масляному фильтру длительно работать без открытия перепускного клапана. Это надёжно защищает пары трения от попадания в них крупных абразивных частиц. Испытания показали, что наиболее приемлемым является такое сочетание маслоочистителей, когда центрифугированием удаляется в 4...12 раз больше нерастворимых продуктов, чем фильтрованием [1, 3, 4].

Кроме того, разработан типоразмерный ряд конструкций частичнопоточных центробежных маслоочистителей с внешним реактивным приводом для дизелей мощностью от 50 до 3000 кВт. В основу его положен ГОСТ 10556–78 на маслоочистители центробежные с гидроприводом ротора, который регламентирует некоторые их параметры. Для практического использования предложено восемь типоразмеров центрифуг с ёмкостью ротора от $5,6 \cdot 10^{-4}$ до $8 \cdot 10^{-3}$ м³. Конструкции центрифуг технологичны, просты, имеют низкую трудоёмкость обслуживания. Поток масла внутри ротора организован так, что отсутствуют завихрения и застойные зоны. Масло очищается качественно, так как обеспечивается его отвод из зон, находящихся вблизи от оси ротора. Из-за наличия разделяющей диафрагмы при истечении из сопел и разбрызгивании масла торможение ротора не происходит. Наклон осей сопел на 10°, благодаря направленному вниз винтовому движению истекающего масла, обеспечивает лучшие условия для удаления масла из зоны вращения ротора. Центрифуги имеют высокий фактор разделения и индекс производительности. Эффективность их использования особенно высока при давлении масла в системе смазки перед холодильником, превышающем 0,3...0,4 МПа. Центрифуги хорошо удаляют из масла не только частицы износа, но и мелкодисперстные конгломераты углерода с зольными продуктами срабатывания присадок, которые плохо улавливаются полнопоточными фильтрами.

Использование комбинированных систем очистки масла в дизелях с высоким наддувом против лучших существующих образцов ФТОМП (фильтров тонкой очистки масла, полнопоточных) с элементами типа «Нарва-6» позволяет увеличить в 3...6 раз интенсивность очистки масла от продуктов его загрязнения, что даёт возможность поддерживать концентрацию нерастворимых в бензине примесей на уровне 0,4...1,2 (общих) и 0,1...0,3 % (зольных). Полное удаление некоторых продуктов износа и срабатывание присадок, являющихся катализаторами окисления масла, замедляют старение масла. Скорость изнашивания основных деталей при использовании предложенной системы очистки по сравнению со штатными маслоочистителями (ФГО с тонкостью очистки 63...180 мкм) уменьшается в 1,4...3 раза. Нагаро-лакообразование в среднем снижается

на 30 %. Хотя в отдельных случаях, когда используется масла с низкими моюще-диспергирующими свойствами, комбинированная очистка уменьшает нагаро-лакообразование почти на 100 %. При этом создаются благоприятные предпосылки для увеличения срока службы масла [5].

Общие рекомендации по подбору оптимальных маслоочистителей к системам смазки дизелей с наддувом выражаются в следующем:

а) поверхность фильтрования полнопоточных маслоочистителей должна выбираться из условия $0,01 \dots 0,03 \text{ м}^2/\text{кВт}$;

б) ёмкость роторов центрифуг должна быть таковой, чтобы на единицу мощности (кВт) приходилось $(2 \div 7) \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ объёма;

в) индекс производительности центрифуг должен соответствовать $0,05 \dots 0,18 \text{ м}^2/\text{кВт}$.

Нижние пределы приведённых показателей маслоочистителей соответствуют условиям получения наиболее компактной системы очистки масла, имеющей наименьшие массо-габаритные показатели, но с повышенными затратами и трудоёмкостью обслуживания. Верхние соответствуют условиям получения минимальных значений последних параметров, а также для дизелей малых агрегатных мощностей.

Однако хорошая система тонкой очистки масла ещё не решает полностью всей проблемы повышения надёжности и долговечности дизелей с высоким наддувом. Без применения соответствующего масла, имеющего достаточно высокий уровень моторных свойств, достичь высоких показателей по параметрам надёжности и ресурсу невозможно. К системе смазки необходим комплексный подход.

Ниже, на примере дизеля 8 ЧН24/31 (824 TS) финской фирмы «Вяртсиля» ($N_e = 950 \text{ кВт}$), показаны результаты комплексного совершенствования его системы смазки. Эксперимент проводился на ледоколах Дальневосточного пароходства «Адмирал Макаров» и «Ермак», по методике с использованием ОСТ 24.060.09. Двигатели работали на дизельном топливе Л-0,5 ГОСТ 305–82. Смена масла осуществлялась по браковочным критериям.

В табл. 1 представлены усреднённые показатели по трём группам дизелей, работающих с разными системами очистки масла. Испытания велись на масле М-10-В₂ по МРТУ 38-101-278–72. Так как при использовании этого масла наблюдается агрегатизация нерастворимых продуктов загрязнения с образованием мицелл, то создаются наиболее тяжёлые условия для работы полнопоточного фильтра тонкой очистки. Фильтрующая штора может быстро «забиваться» отложениями и элемент имеет малый срок службы.

Из представленных результатов видно, что комбинированная система очистки, включающая ФТОМП с четырьмя элементами «Восток-6А» и двумя центрифугами РМЦ-5Ч, самая эффективная. По сравнению с фильтром грубой очистки масла её интенсивность в 25 раз выше общих нерастворимых продуктов. По зольной их части эффективность ещё выше – в 86 раз. Установка только одного опытного полнопоточного фильтра тонкой очистки значительно улучшает очистку масла от крупных частиц,

но является недостаточно эффективной в удалении из масла зольных нерастворимых продуктов. Дополнительное подключение центрифуги увеличивает скорость удаления из масла этих продуктов загрязнения в 3,5 раза [2, 4].

Таблица 1

Эффективность маслоочистителей в системе смазки дизеля
8 ЧН24/31 (824 TS) при использовании масла М-10-В₂

Показатели оценки	Маслоочистители		
	Штатный ФГО	ФТОМП	ФТОМП + 2РМЦ-5Ч
Скорость накопления отложений в агрегатах очистки, г/ч	0,38	4,81	<u>3,26</u> 6,50
Скорость удаления агрегатами очистки нерастворимых в бензине продуктов, г/ч			
общие	0,25	1,27	<u>0,75</u> 3,54
зольные	0,05	0,61	<u>0,44</u> 1,72
Коэффициент очистки по нерастворимым в бензине продуктам к моменту отработки 2000 ч, %			
общие	5,7	26,9	<u>11,2</u> 50,8
зольные	4,4	39,6	<u>9,4</u> 70,5
Интенсивность очистки масла от нерастворимых в бензине продуктов, г/ч			
общие	30	180	<u>130</u> 610
зольные	21	320	<u>210</u> 1590
Периодичность обслуживания маслоочистителя, ч	210	380	<u>540</u> 250
Трудоёмкость обслуживания агрегатов очистки масла, чел. ч/1000 ч	3,8	0,5	<u>0,4</u> 1, 2

Комбинированная система очистки обеспечивает очень высокие значения коэффициентов очистки*, доходящих до 62...80 %. Этот показатель в табл. 1 приводится к моменту отработки маслом 2000 ч. По этому показателю данная система очистки превосходит систему, использующую ФГО, в 11...18 раз, а систему тонкой очистки, где применяется только полнопоточный фильтр тонкой очистки, – в 2...2,3 раза. Трудоёмкость же обслуживания опытных маслоочистителей ниже трудоёмкости обслуживания ФГО в 2...7,6 раза. Дополнительное центрифугирование масла М-10-В₂ увеличивает срок службы элементов «Восток-6А» в 1,4 раза. При тех же условиях

испытаний серийно выпускаемые элементы «Нарва-6А» из материала БФМ имеют средний срок службы соответственно 196 и 272 ч.

(Коэффициент очистки* – это отношение массы общих нерастворимых в бензине продуктов, задержанных фильтром за рассматриваемый период, к суммарному их количеству, содержащемуся в масле и на элементах).

В табл. 2 показано как влияет маслоочиститель на скорость изнашивания основных деталей дизеля и нагаро-лакообразование.

Таблица 2

Влияние маслоочистителей на скорость изнашивания основных деталей и нагаро-лакообразование в дизеле 8 ЧН24/31 при использовании масла М-10-В₂

Параметры сравнения	Маслоочистители		
	Штатный ФГО	ФТОМП	ФТОМП+ +2РМЦ-5Ч
<i>Скорость изнашивания</i>			
Комплект поршневых колец, г/1000 ч	9,71	7,47	5,48
Цилиндровая втулка (на сторону) среднее значение, мкм/1000 ч	16,8	12,6	8,9
Мотылевые шейки коленчатого вала, мкм/1000 ч	10,3	5,1	4,3
Вкладыши шатунного подшипника, г/1000 ч	1,63	0,88	0,72
<i>Нагаро-лакообразование</i>			
Подвижность поршневых колец, балл	3,4	2,1	1,7
Состояние днища поршня, балл	2,2	2,3	2,2
головки поршня	6,9	3,7	3,8
перемычек	2,4	2,0	1,8
канавок	7,8	4,5	4,0
юбки поршня	5,2	1,9	2,1
Общая оценка нагаров, балл (без отложений на днище поршня)	22,3	12,1	11,7

Максимальный эффект достигнут при применении комбинированной системы очистки, хотя её роль в уменьшении износа шеек коленчатого вала и мотылевых подшипников менее заметна в сравнении с ФТОМП [3, 5]. Если дополнительная установка центрифуги к полнопоточному фильтру тонкой очистки масла снижает скорость изнашивания маслосъёмных колец и цилиндрической втулки в 1,3...1,5 раза, то для указанных выше деталей она уменьшается лишь в 1,2 раза. При использовании системы очистки масла с ФГО скорость изнашивания уменьшается в 1,6...2,4 раза.

После проверки эффективности маслоочистителей был произведен подбор масла. Кроме М-10-В₂ испытывали следующие масла: универсальное судовое М-10-Г₂(цс) (ГОСТ 17479.1–85), опытное М-10-Г₂ с композицией

присадок БФК (5,4 %), СБ-3 (2,6 %), ИХП-21 (1,2 %), ПМА-Д (0,3 %), ПМС-200А (0,005 %) и зарубежное Ward 10T SAE-30 финской фирмы «Тобил», соответствующее также маслам группы Г. Испытания велись с использованием комбинированной системы тонкой очистки масла. Из всех отечественных опытное масло имело самую высокую термоокислительную стабильность.

Из табл. 3 видно, что указанные масла группы Г обладают очень высокими моюще-диспергирующими свойствами. Это повышает срок службы полнопоточных масляных фильтрующих элементов в 2,3...3,4 раза. При этом периодичность обслуживания центробежных маслоочистителей возрастает с 250 до 500 ч. В общем итоге использование масел группы Г снижает трудоёмкость обслуживания системы смазки в 1,1...2,3 раза.

Таблица 3

Роль масла в комплексном повышении эффективности
масляной системы дизеля 8 ЧН24/31

Параметры сравнения	Масла			
	М-10-В ₂	М-10-Г ₂ (цс)	Опытное М-10Г ₂	Ward 10T SAE-30
<i>Эффективность маслоочистителей</i>				
Интенсивность очистки масла от нерастворимых в бензине продуктов, г/ч общие	$\frac{130}{610}$ 740*	$\frac{41}{342}$ 383	$\frac{32}{210}$ 242	$\frac{20}{170}$ 190
<i>Состояние дизеля</i>				
Скорость изнашивания комплекта				
поршневых колец, г/1000 ч	5,48	5,02	3,76	3,24
цилиндровой втулки, мкм/1000 ч	8,9	6,3	5,2	4,9
вкладышей шатунного подшипника, г/1000 ч	0,72	0,80	0,68	0,71
мотылевых шеек коленчатого вала, мкм/1000 ч	4,3	4,1	3,8	3,6
Подвижность поршневых колец, балл	1,7	0,4	0	0
Нагаро-парообразование на поршнях, балл				
днище поршня	2,2	1,8	1,7	2,1
головка поршня	3,8	1,6	1,3	1,3
перемычки	1,8	0,4	0,5	0,2
канавки	4,0	0,9	0,5	0,4
юбка поршня	2,1	0,8	0,6	0,7
Общая оценка, бал	11,7	3,7	2,9	2,6

*В числителе приведены показатели для фильтра, в знаменателе – для центрифуг. Справа указано суммарное значение рассматриваемого параметра.

Интенсивность очистки отечественных масел с хорошими моторными свойствами выше импортного в 1,3...2 раза, что связано с разными соотношениями солубилизирующего и моющего действия присадок в них. Термоокислительная стабильность масла М-10-Г₂ (цс) несколько ниже, чем у остальных, что вызывает образование в масле больших количеств продуктов окисления и несколько повышает «нагрузку» на очистители. Применение современных масел снижает скорость изнашивания основных деталей дизеля 8 ЧН24/31 в 1,2...1,8 раза. Но особенно высокий эффект был получен в снижении нагаро-шлакообразования. Полностью прекратилось закоксовывание и потеря подвижности поршневых колец. Состояние канавок на поршнях улучшилось значительно, нагаров в них стало меньше в 7 раз.

Комплексное повышение эффективности системы смазки дизеля 8 ЧН24/31 улучшило его технико-экономические показатели. Показатели технического уровня, надёжности, долговечности значительно повысились. Некоторые из них приведены в табл. 4.

Статистическая обработка результатов испытаний на судах, наблюдение и проведённые замеры показали, что при модернизации системы очистки масла и использовании рекомендуемых в данной статье отечественных масел в эксплуатации можно полностью реализовать заложенные в двигатель показатели качества. При этом достигается и длительно поддерживается высокая его работоспособность [1].

Комбинированная система тонкой очистки масла в форсированных дизелях имеет очень высокую эффективность. Сочетание полнопоточных фильтров и частично-поточных центрифуг надёжно защищает пары трения двигателей от попадания крупных частиц механических примесей и поддерживает низким общий уровень загрязнения масла общими и особенно зольными нерастворимыми продуктами. Это, по сравнению с очисткой масла ФГО, снижает скорость изнашивания основных деталей двигателей в 1,4...3, а нагаро-лакообразование – в 1,3...2 раза.

Использование фильтрующих элементов типа «Восток-6» в сочетании с центрифугами с внешним реактивным приводом обеспечивает при малых эксплуатационных расходах качественную очистку масел как со средними, так и с высокими моюще-диспергирующими свойствами. В дизелях с высоким наддувом при скоростях фильтрации 1,5...3 м/ч срок службы масляных элементов при использовании масел групп В и Г составляет 540...1230 ч, а периодичность обслуживания центробежные маслоочистителей равна 250...500 ч.

Для судовых условий эксплуатации в комбинированных системах наиболее оптимально сочетание таких маслоочистителей, когда интенсивность очистки масла от общих нерастворимых продуктов центрифугированием выше, чем при фильтровании, в 5...8 раз. При соблюдении данного соотношения, а также при условии, что тонкость отсева при полнопоточном фильтровании масла равна 30...50 мкм, а поверхность фильтрации элементов и индекс производительности центрифуг соответственно не ниже

0,01 и 0,05 м²/кВт, экономическая эффективность системы очистки масла достигает максимума.

Таблица 4

Основные результаты комплексного совершенствования
 масляной системы дизеля 8 ЧН24/31

Показатели	Штатные маслоочистители, масло М-10В ₂	Комбинированная система очистки, опытное масло
Скорость изнашивания основных деталей, %	100	29–48
Подвижность поршневых колец, балл	34	0
Нагаро-лакообразование на поршнях, балл	22,3	2,9
Срок службы масла, ч	500–2000	3000–8000
Скорость угара масла, г/кВт ч	0,9–1,3	0,7–0,8
Ресурс работы до первой переработки, ч	4000	8000
Ресурс непрерывной работы по системе смазки, ч	500	1000
Наработка на отказ деталей цилиндрико-поршневой группы, тыс. ч	2,7	6,8
Ограничительные критерии ресурса до первой переборки	Повышенный угар масла, резкое ухудшение параметров рабочего процесса, падение мощности дизеля, увеличение расхода топлива, затруднение пуска холодного дизеля, вызываемое пригоранием колец, повышенными износами деталей ЦПГ	Незначительное ухудшение параметров рабочего процесса, вызываемое нарушениями в работе выпускных клапанов

Сравнение на примере дизеля 8 ЧН24/31 моторных свойств отечественных и импортного масел показало, что опытом масло М-10-Г₂(цс) с присадками ИХП по большинству показателей не уступает зарубежному маслу Ward 10T SAE-30. У судового масла М-10-Г₂ (цс) моюще-диспергирующее и термоокислительные свойства более низкие. Масла группы Г при применении в рассматриваемых двигателях могут быть долгороботающими. Их смену необходимо производить по действующим в системе ММФ браковочным параметрам. Опыт эксплуатации показал, что такая

необходимость возникает только при сильном их обводнении или разжижении топливом.

Использование в иностранных дизелях с высоким наддувом типа 5 824TS отечественных масел М-10-Г₂ (цс) и М-10-Г₂, (опытное) совместно с комбинированными системами маслоочистки позволяет полностью реализовать заложенные в них ресурсные показатели и показатели надёжности.

Список литературы

1. Кича Г. П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. В. Надёжкин. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2011. – 372 с.

2. Кича Г. П. Перспективы развития систем и агрегатов тонкой очистки масла среднеоборотных дизелей / Г. П. Кича // Двигателестроение. – 1979 – № 7. – С. 43–45.

3. Кича Г. П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием / Г. П. Кича, Н. Н. Таращан, А. В. Надёжкин. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2015. – 175 с.

4. Кича Г. П. Тонкая очистка масла в ДВС комбинированным фильтрованием: результаты исследований и перспективного развития / Г. П. Кича, Н. М. Свистунов // Двигателестроение. – 1981. – № 12. – С. 17–23.

5. Надёжкин А. В. Оптимизация режимов комбинированной очистки моторного масла в судовых дизелях методами вариационного исчисления / А. В. Надёжкин, Г. П. Кича, Л. А. Семенюк // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 3. – С. 93–101.

УДК 621.436.72

О. В. Осипов

ПРИНЦИПЫ ОСНАЩЕНИЯ АГРЕГАТАМИ ОЧИСТКИ СИСТЕМ СМАЗКИ СУДОВЫХ ТРОНКОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА РАЗЛИЧНЫХ ПО КАЧЕСТВУ СОРТАХ ТОПЛИВ

Широкое применение тронковых дизелей в судовой энергетике объясняется их высокими технико-экономическими и массогабаритными показателями, а также высокой надёжностью и достаточно большим ресурсом. При этом современный тронковый двигатель практически не уступает по экономичности крейцкопфному и способен работать на тяжёлых топливах. Перевод судовых дизелей этого типа на тяжёлое (низкосортное) топливо позволяет отказаться от применения дорогостоящего дистиллятного и получить экономию на снижении эксплуатационных расходов.

Но увеличение плотности используемого топлива сопровождается изменением характера распыливания и диаметром капель топлива, ухудшением смесеобразования и полноты его сгорания в рабочем цилиндре дизеля. Ухудшение моторных свойств, применяемых топлив, также связано

с увеличением их коксуемости, содержания серы и золы. Образующиеся при сгорании топлива серные соединения оказывают коррозионное воздействие на детали цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и наряду с зольными продуктами сгорания способствуют увеличению количества и твёрдости нагаров на деталях движения.

Использование топлив с низкими моторными свойствами сопровождается также интенсивным образованием лаков и нагаров на деталях двигателя, что является одной из главных причин нарушения работы отдельных узлов. В состав нагара, образующегося при контакте деталей с топливом, входят смолистые вещества, а также карбены и карбоиды. Соединения серы, зола и механические примеси неорганического происхождения распределяются равномерно по всей толщине слоя нагара. Все это оказывает влияние на техническое состояние деталей двигателя, снижает его эксплуатационную надежность.

Большое влияние сорт применяемого топлива оказывает на процесс изменения параметров состояния моторного масла (ММ). Наличие асфальтосмолистых веществ (свыше 10 %) в сжигаемых топливах тормозит окисление их при высокой температуре и значительно удлиняет процесс самовоспламенения и затягивает процесс сгорания.

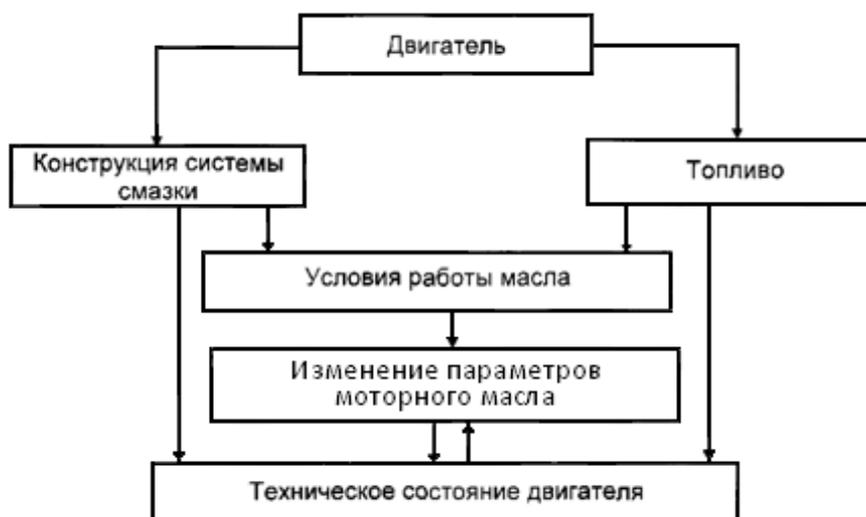


Рис. 1. Взаимосвязь элементов системы двигатель – топливо – масло

Ухудшение смесеобразования, снижение скорости сгорания топлива и высокие температуры деталей приводят к интенсивному поступлению в масло продуктов окисления и неполного сгорания топлива. А это вызывает значительное ускорение старения масла по основным направлениям (окисление, загрязнение, коллоидное старение, термоокислительное разложение и срабатывание присадок). Масло, как элемент конструкции двигателя, теряет свои моторные свойства, снижается срок его службы. И все это сопровождается повышением скорости изнашивания деталей

двигателя (имеет место абразивный и коррозионный износ), снижается его надёжность и моторесурс (рис. 1).

Оснащение систем смазки тронковых дизелей высокоэффективными агрегатами очистки ММ позволяет значительно уменьшить негативное влияние на работу масла и двигателя низкокачественного высокосернистого топлива, стабилизировать при этом физико-химические показатели и моторные свойства масла, продлить срок его службы и улучшить триботехнические характеристики системы смазки.

Средства очистки масла в системах смазки судовых дизелей должны удовлетворять следующим требованиям:

- защищать вкладыши подшипниковых узлов от попадания крупных, соизмеримых с толщиной масляного клина, частиц механических загрязнений;
- удалять из масла мелкодиспергированные частицы загрязнений определённого размера, как органического происхождения (продукты окисления масла и топлива), так и минеральные (частицы износа и продукты срабатывания присадок), вызывающие механический износ деталей двигателя, промотирующие окисление самого масла и образование нагара;
- обеспечивать при функционировании минимальные расход фильтровального материала и комплектующих деталей;
- иметь «лёгкую» приспособляемость к конструкции двигателя и соизмеримые с ним массогабаритные показатели;
- являться средством индикации качества состояния моторного масла и износных процессов, происходящих в двигателе.

Для решения проблемы оснащения систем смазки необходимыми средствами очистки моторного масла использовались результаты моделирования процессов изменения параметров его состояния с учётом его очистки и масло-дисперсного обмена в системе смазки. Это создало теоретическую основу (методику) для осуществления аппаратного оформления маслоочистителей заданной эффективности, обеспечивающих требуемую чистоту и срок службы ММ при минимальной скорости изнашивания деталей ДВС. Использование при этом моделей очистки ММ дало возможность численными экспериментами обосновать новые проектные решения по агрегатам очистки различной физической природы действия.

Комплексное повышение эффективности средств обработки ММ в судовых дизелях предусматривает создание новых средств очистки (СО) масла, маслоочистителей (МО) и фильтрующих элементов (ФЭ). Очистка масла фильтрованием и центрифугированием является одним из наиболее эффективных методов стабилизации физико-химических и моторных свойств ММ на доброкачественном уровне и защиты двигателя от абразивного и коррозионного износа.

В дальнейшем полная обработка моторного масла в системе смазки (СС) будет включать элементы регенерации рабочей среды как углеводородной основы, так и легирующих её присадок. Для современных и перспективных судовых тронковых дизелей высокоэффективные фильтры

(в том числе самоочищающиеся – СОФ) и центрифуги (сепараторы) автоматической выгрузки останутся самыми действенными агрегатами СС, обеспечивающими ресурсосохраняющую эксплуатацию форсированных ДВС на тяжёлых топливах.

Удовлетворение возросших требований к параметрам моторного масла и износным характеристикам деталей ДВС возможно при использовании в системах смазки комбинированных средств очистки (КСО), разработанных на основе принципов:

- разграничение функций агрегатов очистки для наиболее полной реализации преимуществ полнопоточного тонкого фильтрования для защиты узлов трения дизеля от крупных абразивных частиц и центрифугирования для глубокой очистки масла от тонкодиспергированных, особенно зольных примесей;

- последовательного включения агрегатов КСО в СС дизелей и оптимизации их параметров для полного использования возможностей каждого из очистителей, что достигается уменьшением массы полнопоточно фильтруемого масла (холодного) за счёт применения устройства автоматического его распределения при пуске ДВС;

- поддержание высокой интенсивности обработки масла на всех скоростных режимах работы двигателя путём включения в СС агрегатов центробежной очистки (сепараторы или центрифуги – ЦМО), имеющих автономный привод.

При этом дальнейшее повышение тонкой очистки масла в ДВС сопровождалось совершенствованием фильтров, элементов, оптимизацией схем включения очистителей различного принципа действия в систему смазки.

Большое внимание уделено созданию новых фильтровальных материалов (ФМ) – фильтровальных бумаг (ФБ), фильтровальных штор и фильтрующих элементов (ФЭ), а также проверка их эффективности. Эти элементы для полнопоточного тонкого фильтрования масла изготавливаются из листового волокнистого нетканого материала толщиной 0,4...2 мм с хаотическим расположением волокон, сравнительно крупнопористой структуры. При этом используются бумаги различной толщины, плотности и тонкости отсева.

Для увеличения поверхности фильтрования в единице объёма ФЭ бумага гофрируется в виде многолучевой звезды. Теснение и рифление ФБ придаёт фильтровальной шторе достаточную жёсткость, прочность и улучшает гидравлические свойства элементов. В этом случае загрязнение шторы происходит в основном на поверхности ФМ без закупоривания пор, что значительно увеличивает срок службы ФЭ.

Параметры отечественных бумаг для фильтров тонкой очистки (ФТО) близки к лучшим зарубежным образцам: пористость превышает 80 %, удельная пропускная способность более 100 м/ч. Наравне с увеличением пористости, повышение эффективности ФБ результативно за счёт улучшения однородности её структуры и получения при этом развитой поровой

структуры с минимальным количеством наполнителя и связывающего вещества, что увеличивает проницаемость и грязеемкость бумаги. Дальнейшее повышение очистительной способности ФБ целесообразно направить на создание переменных по толщине фильтровальных структур.

Ведётся большая работа по совершенствованию и оптимизации геометрических и эксплуатационных параметров сменных бумажных ФЭ для очистки ММ фильтрованием. Наиболее результативным направлением в этой области является разработка и изготовление фильтрующих элементов, являющихся аналогами зарубежных. Предлагаемые типоразмерные ряды ФЭ также перекрывают потребность в сменных элементах для полнопоточных фильтров дизелей отечественного производства.

Разработанные ФЭ обладают повышенной пропускной и очистительной способностями. Такими элементами комплектуются созданные типоразмерные ряды фильтров ФМП-М, способных с тонкостью отсева не выше 45 мкм фильтровать 10...120 м³/ч. Изменение пропускной способности унифицированного корпуса фильтров ФМП обеспечивается изменением количества ФЭ, размещённых в его корпусе. При этом ограничивающим фактором является максимально допустимая скорость фильтрации ММ, влияющая на очистку масла от мелкодисперсных НРП, основным механизмом задержания которых на ФП являются диффузия и адгезионный захват.

Следующая степень повышения эффективности обработки масла в СС тронковых дизелей – это совершенствование комбинаций МО различного принципа действия (фильтрования и центрифугирования) и новые способы включения их в систему смазки. Необходимо отметить, что при использовании в судовых тронковых ДВС топлив вязкостью более 20 сСт при $t = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и повышенным содержанием серы комбинированные средства очистки обязательны. При этом в комбинированных агрегатах очистки ММ использовались как полно-, так и частичнопоточные средства очистки.

Комбинации полнопоточных фильтров и центробежных маслоочистителей (рис. 2) продолжают широко использоваться в СС тронковых дизелей всего диапазона мощностей и работающих на топливах различной вязкости и качества. При этом в зависимости от мощности и размерности ДВС, сорта применяемого топлива и масла, показателей СС могут быть задействованы, как полнопоточные фильтры со сменными бумажными ФЭ, так и самоочищающиеся фильтры с большим периодом необслуживаемой работы. Центрифуги с гидравлическим приводом подключаются на отвлении от основного масляного потока.

Для СС дизелей мощность не выше 1000 кВт созданы типоразмерные ряды частичнопоточных центрифуг МЦН-Н, способных в комбинации с полнопоточными фильтрами типа ФМП-М и фактором разделения более 3000 центрифугировать 2...12 м³/ч ММ.

В качестве сменных фильтрующих патронов в ФМП-М применены элементы типа «Нарва 6», «Восток-3» и «Восток-6» серийного производства и взаимозаменяемые с элементами фирмы «Mann Hummel». Улучшение

скоростных характеристик центрифуг и, следовательно, повышение их очистительной способности достигнуто с помощью «всплывающего ротора» и разделительных диафрагм для предотвращения торможения ротора из-за разбрызгивания масла.

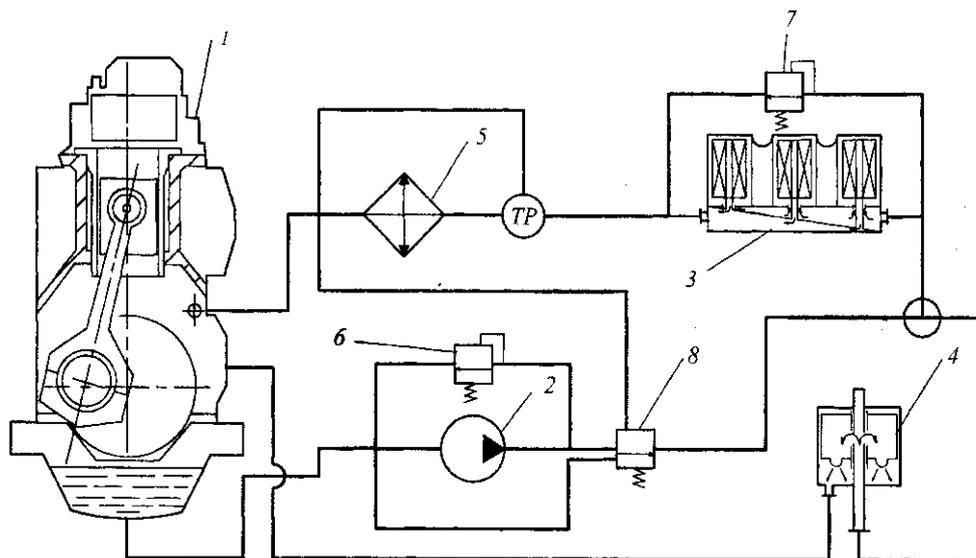


Рис. 2. Система комбинированной очистки масла
 полнопоточным фильтрованием и частичнопоточным центрифугированием:
 1 – двигатель; 2 – насос; 3 – полнопоточный фильтр; 5 – охладитель масла;
 6, 7 – предохранительный, перепускной клапан; 8 – дроссельный распределитель

Но комбинация фильтр – центрифуга малоэффективна в дизелях, работающих с изменением скоростного режима. В этом случае возможна установка вместо центробежного маслоочистителя частичнопоточного фильтра с тонкостью отсева 5...15 мкм.

С увеличением агрегатной мощности ДВС (750 кВт и выше) и объёма масла в СС фильтры со сменными ФЭ по многим показателям уступают самоочищающимся фильтрам как непрерывного (СОФ-Н), так периодического (СОФ-П) режима регенерации. Первые функционируют при периодическом включении регенерирующего устройства (РУ), вторые – при непрерывном. При этом промывной поток дополнительно центрифугируется, циклонизируется или фильтруется. Рационально применение СОФ для полнопоточной очистки с тонкостью отсева 30...50 мкм при прокачке масла через дизель выше 25...30 м³/ч. Для тяжёлых условий работы масла (высокая форсировка и низкое качество топлива) необходимо сочетание СОФ и МЦН или с частичнопоточным фильтром глубокой очистки, использующим ФЭ объёмного и поверхностного типа (рис. 3).

СОФ, имеющие режим непрерывной регенерации ФЭ, конструктивно просты, надёжны и не требуют сложной аппаратуры управления. По массогабаритным показателям и эксплуатационным расходам они предпочтительнее ФМП, но эффективно работают только в комбинации с агрегатами глубокой очистки ММ, осуществляющими фильтрование или центрифугирование

промывного потока. СОФ-Н выгодны по многим показателям и способны вытеснить в ДВС (мощностью более 750 кВт) полнопоточные фильтры со сменными ФЭ.

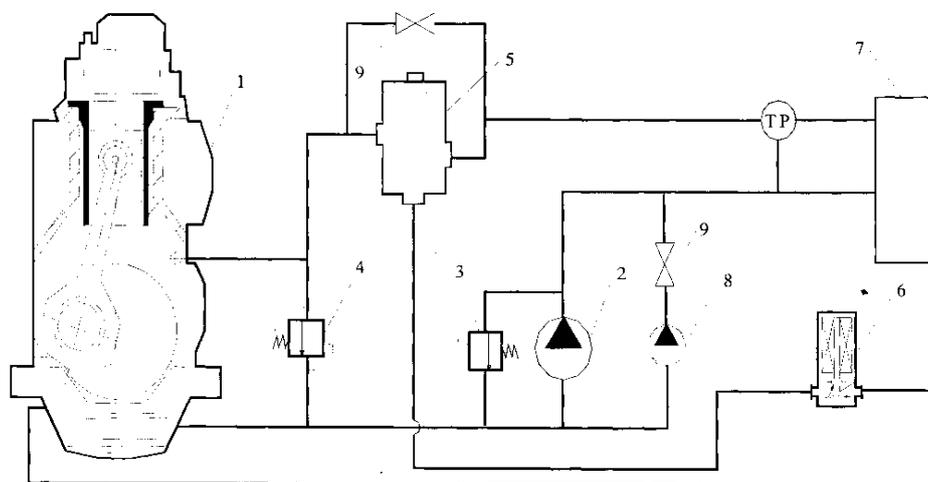


Рис. 3. Комбинированная система очистки масла с СОФ непрерывной регенерации:

1 – двигатель; 2, 8 – насос смазки; 3, 4, 9 – предохранительный, перепускной, запорный клапан; 5 – СОФ-Н; 6 – фильтр грязесборник; 7 – маслоохладитель

Широкое использование в судовых тронковых дизелях средней размерности ($D_u < 0,4$ м) высоковязких топлив (до 280 сСт при 50 °С) вызывает необходимость усложнения системы очистки. В систему смазки в этом случае включен последовательно СОФ-Н полнопоточный фильтр тонкой очистки со сменными ФЭ (рис. 4). Подача на полнопоточный фильтр предварительно обработанного масла в самоочищающемся фильтре увеличивает продолжительность работы ФЭ без закупорки пор. Перераспределение «грязевой» нагрузки между СОФ-Н и ФМП способствует росту срока службы ФЭ и ММ.

Очистка масла в системах смазки дизелей большой размерности ($D_u = 0,4...0,5$ м) и агрегатной мощности 3...10 тыс. кВт, работающих на топливах вязкостью 40...360 сСт, возможна за счёт установки в них самоочищающегося фильтра периодического режима регенерации (СОФ-П) и дополнительным центрифугированием масла, забираемого из картера или сточной циркуляционной цистерны двигателя (рис. 5). Для контроля качества очистки масла СОФ-П в систему смазки перед двигателем включён индикаторный (технологический) фильтр, содержащий цилиндрические сетчатые элементы с тонкостью отсева 50...60 мкм. Рост перепада давления на этом фильтре свидетельствует о снижении эффективности работы основного МО.

Полная поверхность фильтрования в СОФ образуется за счёт применения большого количества, установленных внутри корпуса фильтра, фильтрующих элементов особой конструкции. Наиболее перспективной конструкцией

ФЭ является элемент высокой жёсткости в форме свечи. В качестве фильтровального материала в нём используется металлическая или синтетическая фильтровая сетка. Элемент способен функционировать при больших скоростях фильтрации и эффективно регенерируется при высокой адгезии отложений. В условиях тяжёлого функционирования достигнут срок необслуживаемой работы СОФ до 2 тыс. ч. На повышение качества очистки работает также байпасно подключенный к картеру двигателя сепаратор.

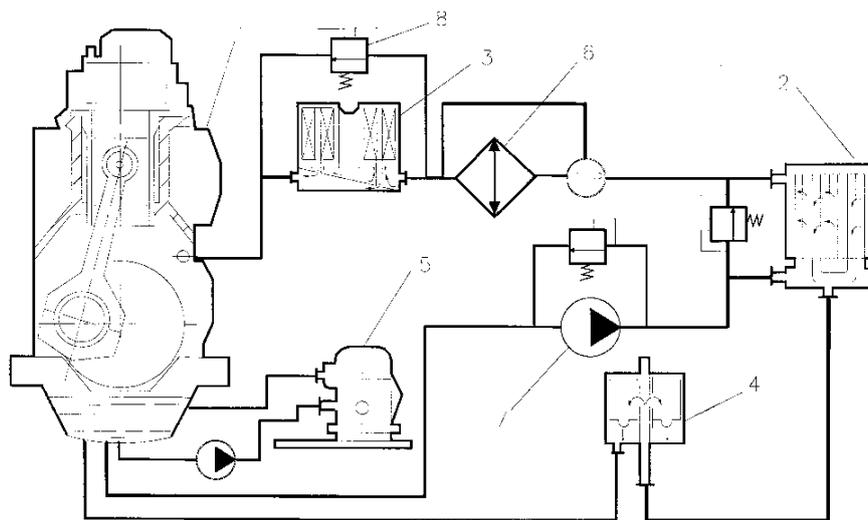


Рис. 4. Комбинированная система очистки масла для дизелей с $D_u < 0,4$ м, использующие высоковязкие топлива (до 280 сСт при 50 °С):
1 – дизель; 2 – СОФ-Н; 3 – ФМП; 4 – МЦО; 5 – сепаратор;
6 – маслоохладитель; 7 – насос; 8 – перепускной клапан

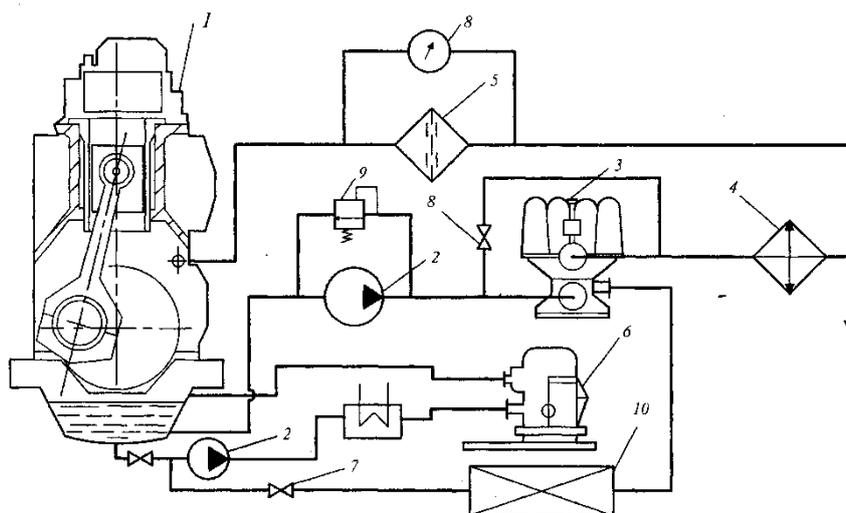


Рис. 5. Система смазки тронковых дизелей с $D_u = 0,4 \dots 0,5$ м, работающих на топливах с вязкостью до 360 сСт при 50 °С:
1 – двигатель; 2 – насос; 3 – СОФ-П; 4 – охладитель масла; 5 – индикаторный фильтр; 6 – сепаратор; 7, 8, 9 – запорный, предохранительный клапан;
10 – грязевая цистерна

Перспективной СОМ для СТД мощностью 10...15 тыс. кВт при использовании сверхтяжёлых топлив вязкостью до 700 сСт при 50 °С будет являться система смазки, где возможно сочетание двух СОФ с периодическим и непрерывным режимом регенерации и дополнительным центрифугированием масла сепаратором с автономным электрическим приводом (рис. 6). Такая комбинация позволяет удерживать параметры состояния ММ на добраковочном уровне в течение длительного времени (15...20 тыс.ч) в условиях поступления в масло большого количества продуктов неполного сгорания топлива. В этом случае промывной поток СОФ-П обрабатывается бумажным фильтром ФЭ установленным в грязесборнике, а поток СОФ-Н – подвергается очистке центрифугой со сбросом масла в картер ДВС. Масло промывного потока СОФ-П может также накапливаться в грязевой цистерне и затем очищаться сепаратором.

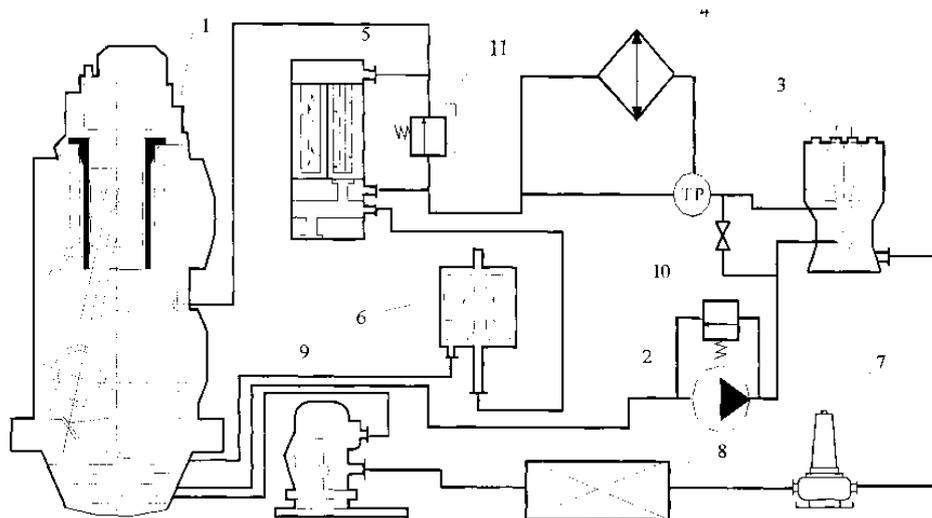


Рис. 6. Перспективная система очистки моторного масла мощных тронковых дизелей, работающих на супертяжёлых высокосернистых топливах:

- 1 – двигатель; 2 – насос; 3 – СОФ-П; 5 – СОФ-Н; 6 – МЦН;
- 7 – фильтр-грязесборник; 8 – грязевая цистерна; 9 – сепаратор;
- 10, 11 – предохранительный, перепускной клапан

На основании выше изложенного можно сделать вывод, что оптимизированные комбинированные системы очистки ММ, рекомендованные для современных форсированных дизелей различного типоразмера, форсировки и мощности позволяют значительно уменьшить негативное влияние используемых в них низкосортных топлив, повысить надёжность и ресурсные показатели ДВС.

М. И. Тарасов, Л. А. Семенюк, Н. Н. Таращан
**СОСТАВЛЯЮЩИЕ РАСХОДА МАСЛА НА УГАР
 В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ**

Одним из важнейших показателей экономичности, прогрессивности и конкурентной способности дизелей является величина расхода масла, которая складывается из расхода масла на угар и расхода масла на слив при замене. Учитывая, что соотношение этих составляющих обычно находится в пределах (4–8):1, а также то, что часть отработавшего слитого моторного масла может быть регенерирована или утилизирована, главным фактором, определяющим экономичность двигателя по маслу, является удельный расход масла на угар. Ежегодный рост выпуска дизелей различного назначения и дизельного парка страны приводит к увеличению объёма потребления дефицитных и дорогих моторных масел, поэтому задачу снижения удельных расходов масла на угар следует считать перспективным решением части проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов страны.

В общем виде потери смазочного масла в двигателе внутреннего сгорания (ДВС) можно представить следующим выражением:

$$C = C_{\text{уг}} + C_{\text{сл}} + \Delta C,$$

- где C – суммарный расход масла в двигателе;
 $C_{\text{уг}}$ – расход масла на угар;
 $C_{\text{сл}}$ – расход масла на слив при замене;
 ΔC – потеря масла через неплотности в смазочной системе при смене фильтрующих элементов, на пробы для физико-химических анализов и др.

В свою очередь, выражение для величины расхода масла на угар $C_{\text{уг}}$ для дизелей с газотурбинным наддувом (рис. 1) можно записать в виде

$$C_{\text{уг}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4,$$

- где C_1 – поток масла в надпоршневое пространство через зазоры между деталями цилиндра-поршневой группы;
 C_2 – попадание масла в камеру сгорания через зазоры штока клапана – втулка клапана (зазоры в клапанном механизме);
 C_3 – проникновение масла в камеру сгорания вместе с надувочным воздухом, в который масла поступает через уплотнение турбокомпрессора;
 C_4 – вынос масла через систему вентиляции на всасывание или в атмосферу.

Для выбора направлений дальнейшего повышения экономичности двигателя по расходу масла на угар, обеспечивающих получение наибольшего эффекта, необходимо знать и количественно определить статьи C_1 – C_4 расхода масла.

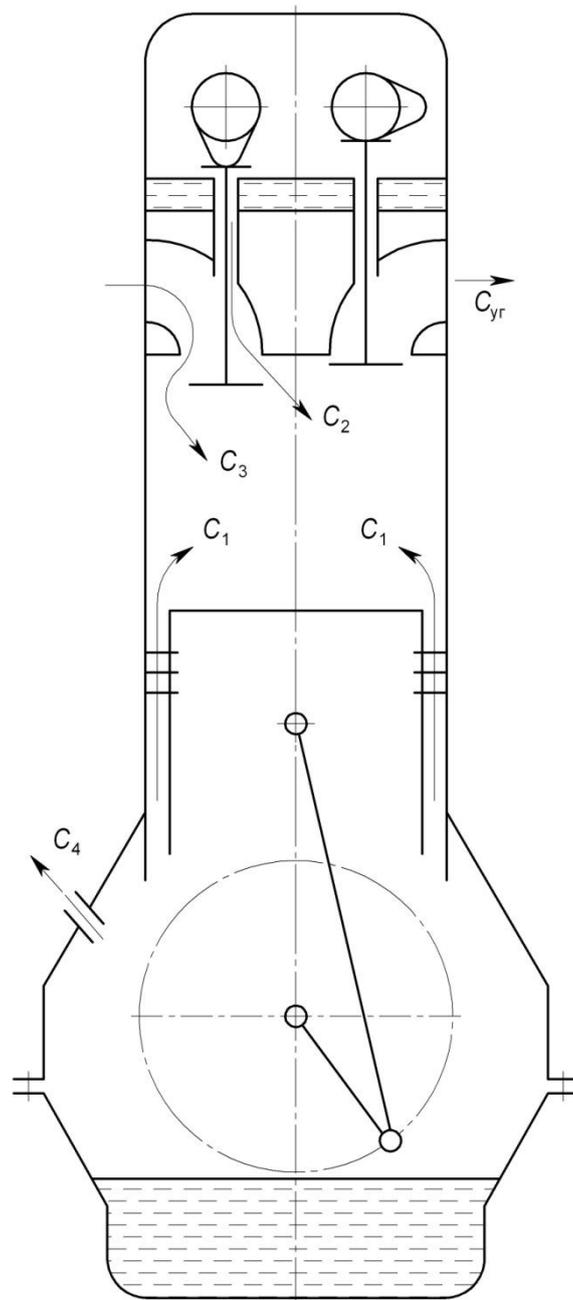


Рис. 1. Составляющие расхода масла на угар в дизелях

В настоящее время общепринятым способом определения составляющих расхода масла на угар C_1 , C_2 и C_3 является метод автоматизации потребителей (узлов трения) и измерения расхода масла, проходящего через цилиндро-поршневую группу, клапанный механизм и турбокомпрессор. Составляющую C_4 обычно определяют улавливанием паров и капелек масла в маслоотделителе, установленном на пути выходящей через сапун смеси газов и паров масла.

На рис. 2. показан общий вид схемы автоматизации потребителей смазочного масла для оценки составляющих C_1 , C_2 и C_3 в V-образных дизелях. Расход масла из картера C_1 определялся по убыли масла из бачка 8, в который с помощью реверсивного насоса 7 накачивается масло из картера.

Расходы масла через клапанный механизм C_2 и турбокомпрессор 4 C_3 оценивались отдельно по уменьшению массы масла в дополнительных циркуляционных бачках 2 и 6, забор масла из которых осуществлялся отдельными постоянно работающими насосами 3 и 5, а слив масла из узлов трения – самотёком или под небольшим остаточным давлением.

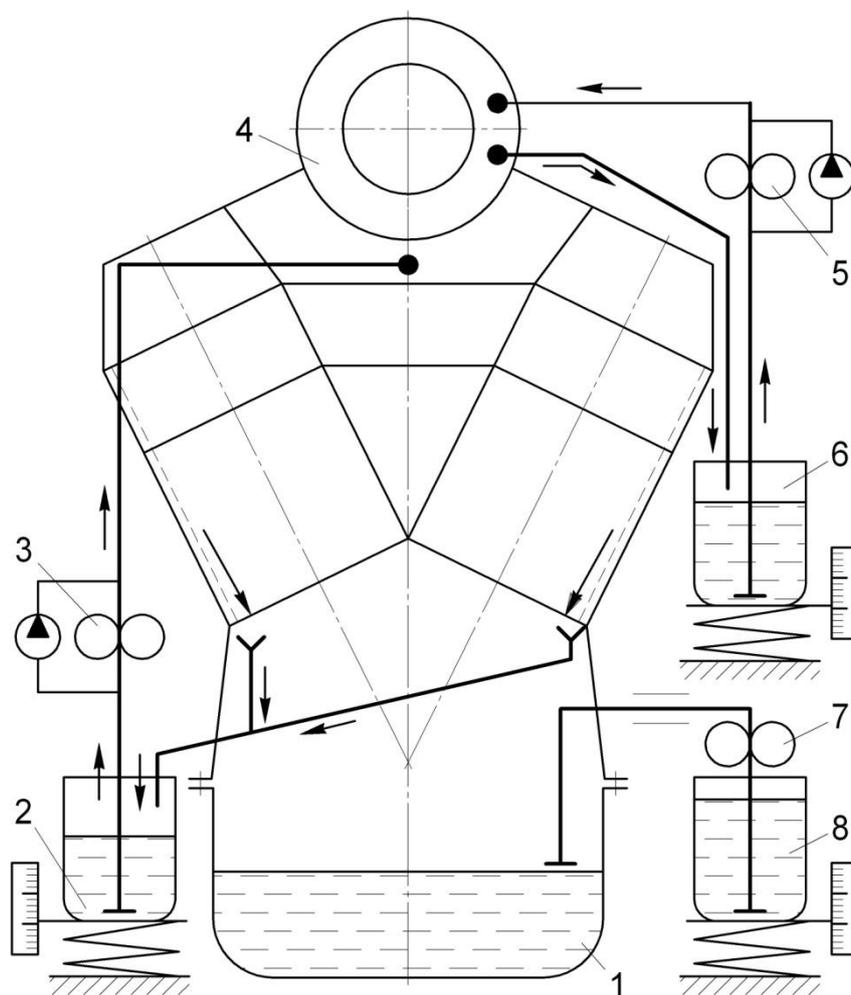


Рис. 2. Схема замера составляющих расхода смазочного масла в дизеле

Недостатком представленной схемы измерения является наличие трёх устройств для определения расхода масла, поэтому она была модернизирована за счёт устранения несоизмеримых устройств в контурах автономной смазки турбокомпрессора и клапанного механизма. В таком виде принцип измерения составляющих C_1 , C_2 и C_3 основан на поочередном отключении из общей смазочной системы какого-нибудь узла трения и определении изменения расхода моторного масла в основной системе.

Метод поочередного отключения от общей смазочной системы турбокомпрессора или клапанного механизма был опробован на стенде завода «Дальдизель» с дизелем типа ЧН18/22, при этом с помощью одного устройства для измерения удалось получить надёжные данные по составляющим расхода масла C_1 , C_2 , C_3 и общему угару $C_{\text{уг}}$.

Исследования по определению численных значений составляющих расхода производилась при работе этого дизеля на номинальной и частичной нагрузках. При испытаниях использовали моторное масло марки М-12-В₂(с) (ГОСТ 17479/1–2015) и дизельное топливо с содержанием серы 0,15 %. Длительность цикла измерений составляли не более 5 ч, погрешность измерений не превышала 5 %.

Результаты измерений и расчёта расхода масла из основной смазочной системы при работе дизеля типа ЧН18/22 на номинальной и частичной нагрузках представлены на рис. 3.

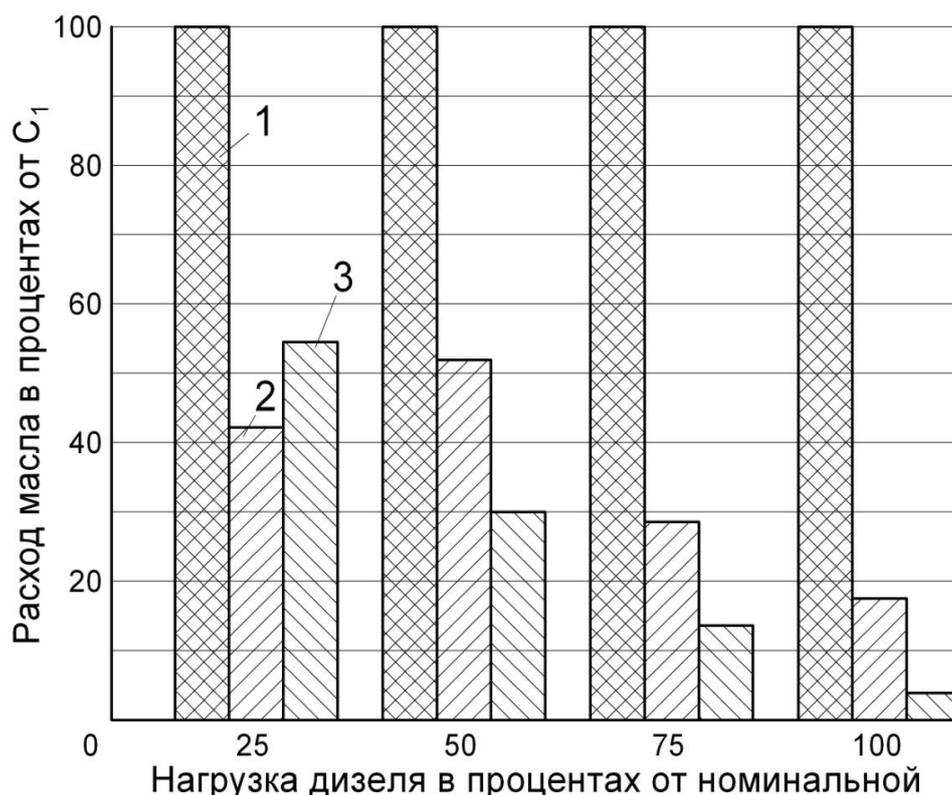


Рис. 3. Соотношения составляющих расхода смазочного масла в дизеле типа ЧН15/18: 1, 2, 3 – составляющие C_1 , C_2 , C_3 , соответственно

Анализ приведенных данных позволяет сделать следующие выводы:

- наибольший расход масла (52...84 %) происходит через зазоры в цилиндро-поршневой группе, при этом проток масла увеличивается с ростом нагрузки;

- расход масла через турбокомпрессор при номинальной мощности не превышает 3 % от общего расхода масла на угар, но при снижении мощности до 25 % номинальная доля расхода увеличивается до 27 %. Главными причинами увеличения протока масла при снижении нагрузки является, по-видимому, падение противодействия воздуха в полости компрессора и снижение с уменьшением частоты времени ротора эффективности уплотнительных лабиринтных устройств;

– расход масла через клапанный механизм дизеля, клапаны которого имеют контактные уплотнительные кольца, составляет 14...28 % от общего расхода на угар, причем меньшие относительные потери наблюдаются при полной нагрузке, что связано с увеличением давления в выпускном и впускном коллекторах.

Потери C_4 моторного масла из картера или циркуляционной бачка через систему вентиляции зависят от объёма и температуры масла в смазочной системе, фракционного состава и склонности масла к пенообразованию, конструктивного исполнения картера и кратности циркуляции, однако по абсолютной величине эти потери незначительны. Стендовые испытания дизеля 2Ч10,5/13 ($N_e = 12,5$ кВт) с установленным на сапун маслоуловителем (эффективность маслоуловителя проверялась по отсутствию замасливания фильтровальной бумаги, установленной в струе выходящих газов) показали, что за 200 ч работы вынос масла через систему естественной вентиляции составлял 136 г. Учитывая, что средний расход масла на угар за период испытаний составлял 4 г/(кВт·ч), можно подсчитать для дизеля типа 2Ч10,5/13 $C_4 = 1,3$ %. При снижении удельного расхода масла на угар или при использовании суфлирования (эжекции) картера относительный унос масла может увеличиваться до 3...4 %.

Аналогичные эксперименты по определению составляющих расхода масла на угар были выполнены на дизеле с повышенным наддувом 6ЧН18/22 ($N_e = 440$ кВт). Для каждого типа дизеля C_1 , C_2 , C_3 колеблется в значительных пределах, однако в качестве средних значений для высоко- и среднеоборотных дизелей можно принять, что на номинальной мощности количество масла, попадающего в камеру сгорания через цилиндропоршневую группу, составляет 80...86 % общего расхода на угар; через клапанный механизм – 10...16 %; через систему вентиляции и турбокомпрессор – 4...8 %.

Получение достоверных и сравнимых результатов измерения как отдельных составляющих, так и общей величины угара масла на $C_{уг}$ в значительной мере зависит от применяемых устройств и способов оценки расхода масла на угар в двигателе.

Список литературы

1. Кича Г. П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях : монография / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. В. Надёжкин. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2011. – 372 с.
2. Кича Г. П. Конструктивные и эксплуатационные методы снижения угара моторного масла в судовых дизелях / Г. П. Кича, М. И. Тарасов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3–4. – С. 138–143.
3. Тарасов М. И. Исследование влияния угара масла на его старение и состояние малоразмерного дизеля / М. И. Тарасов, Г. П. Кича // Научные

проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3–4. – С. 143–147.

4. Кича Г. П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием: монография / Г. П. Кича, Н. Н. Таращан, А. В. Надёжкин. – Владивосток : МГУ им. Г. И. Невельского, 2015. – 175 с.

5. Кича Г. П. Комплексное системное решение проблемы ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых дизелях / Г. П. Кича, А. В. Надёжкин, С. В. Глушков // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 3(33). – Т.1. – С. 118–126.

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

УДК 621.43

М. И. Тарасов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА МАСЛА НА УГАР В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ

В настоящее время двигателестроительные заводы, научно-исследовательские и эксплуатационные организации пользуются самыми различными методами и устройствами для измерения расхода масла на угар, отличающиеся способами замера и требующимся оборудованием, длительностью испытания и достигнутой точностью измерения. Многообразие применяемых методов измерения и различие требований к выходным характеристикам устройств значительно усложняют проблему поддержания единства измерений, без которого невозможны не только общность выводов об экономичности дизелей по расходу масла на угар, но и надёжность, достоверность и сопоставляемость полученных результатов измерения.

Совершенствование измерительных устройств и способов замера расхода масла, направленное на унификацию методов и повышение точности измерения, позволит максимально автоматизировать управление процессами измерения, интенсифицировать их производство и в результате приведёт к значительной экономии горючесмазочных материалов.

Наибольшее распространение для оценки расхода масла на угар получили объёмный и массовый способы, заключающиеся в измерении тем или иным методом изменения уровня (объёма) масла в двигателе или в измерении изменения его массы за время испытаний, а так же комбинированный объёмно-массовый способ.

Предварительно проведенный анализ литературных данных, опыта завода «Дальдизель» и других дизелестроительных заводов показал, что погрешность определения расхода моторного масла на угар может быть снижена за счёт повышения точности отдельных замеров или увеличения их числа и последующего определения средневзвешенного значения измеряемой величины.

При использовании объёмного способа измерения расхода масла снижение погрешности индикации уровня масла достигается применением масломерных трубок большего диаметра (уменьшение влияния мениска), снижением пульсации уровня масла и количества пены в месте замера уровня, уменьшением площади масляного зеркала в месте замера, поддержанием температуры масла в системе на выбранном уровне с точностью $\pm 0,5^\circ$, а так же за счёт других мероприятий. При однократном определении расхода масла на угар массовым способом точность измерения уменьшения массы масла, циркулирующего в смазочной системе, может быть повышена за счёт уменьшения массы масла, сливаемого при взвешивании.

Наилучшие результаты получаются при взвешивании лишь части циркуляционного масла, сравнимой с величиной ожидаемого расхода масла за период измерений. Комбинированные способы измерения заключаются в фиксировании строго определенного и неизменного в процессе испытаний уровня (объёма) масла, остающегося в смазочной системе работающего двигателя, непрерывном или периодическом многократном взвешивании (определения массы) откачиваемого масла, определенного по результатам взвешивания изменения массы масла в системе и расчёте удельного расхода масла на угар.

Сопоставление различных способов определения расхода масла по точности измерения, продолжительности работы двигателя при замерах, используемому оборудованию и безопасности обслуживания позволило заводу «Дальдизель» разработать устройство и метод измерения, которые могут быть применены для измерения расхода масла на угар в судовых, тепловозных, стационарных, передвижных и других тронковых двигателях (полноразмерных и отсеках).

Метод заключается в поддержании в процессе измерения неизменного количества масла, циркулирующего в смазочной системе работающего двигателя (но достигается это за счёт использования двух насосов различной объёмной подачи), и непрерывной автоматической регистрации уменьшения массы масла, находящегося в смазочной системе сверх фиксированного для данного измерения объёма масла.

Схема устройства для автоматической регистрации расхода масла на угар в ДВС представлена на рис. 1. Двигатель 1 с «мокрым» картером или с циркуляционным смазочным баком снабжён дополнительной ёмкостью, из которой масло постоянно откачивается насосом 2 в мерную ёмкость 7, установленную на чашке приспособления 6, выполненного в виде подвешенного на опоре кольца с тензодатчиками.

Кроме того, устройство включает насос 3, электродвигатель 4 для одновременного привода насосов 2 и 3, самопишущий прибор 5 для регистрации изменения объёма масла в мерной ёмкости 7 за период измерения и приспособление (на схеме не показано) для пополнения системы маслом после завершения цикла измерения. Предварительно выполненные эксперименты показали, что для стабильного поддержания уровня K масла

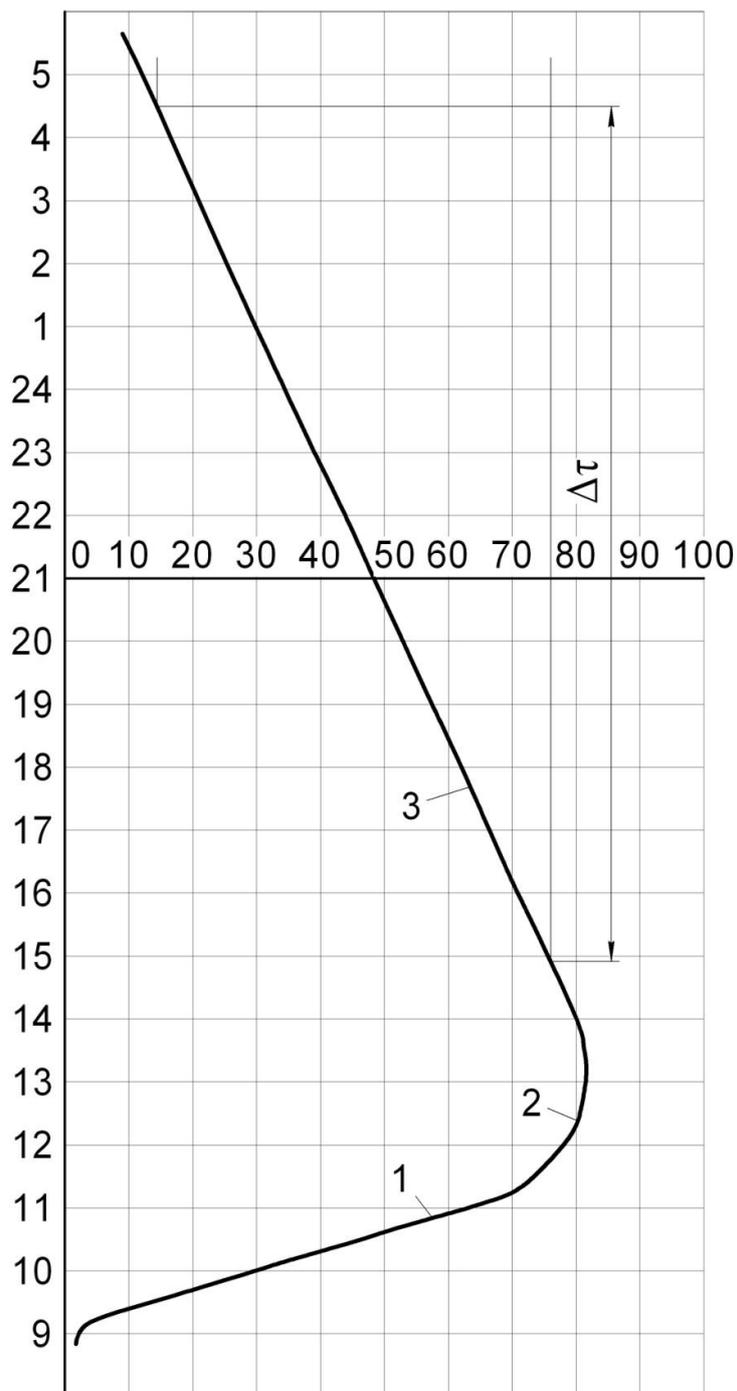


Рис. 2. Кривая изменения массы масла в мерной ёмкости

Применяемые в практике исследований методы и устройства для измерения расхода масла на угар не ограничиваются только описанными выше. Например, известны способы расчёта расхода масла по результатам анализа проб отработавших газов, определения угара по изменению величины гидростатического давления масла на дно расходного бака и др. Выполненные на заводе «Дальдизель» сравнительные испытания различных устройств показали, что наименее трудоёмким в реализации и достаточно точен объёмно-массовый метод измерения.

Список литературы

1. Кича Г. П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях : монография / Г. П. Кича, Б. Н. Перминов, А. В. Надёжкин. – Владивосток : Мор. гос. ун-т., 2011. – 372 с.
2. Кича Г. П. Конструктивные и эксплуатационные методы снижения угара моторного масла в судовых дизелях / Г. П. Кича, М. И. Тарасов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3–4. – С. 138–143.
3. Тарасов М. И. Исследование влияния угара масла на его старение и состояние малоразмерного дизеля / М. И. Тарасов, Г. П. Кича // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3–4. – С. 143–147.
4. Кича Г. П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых тронковых дизелях комбинированным фильтрованием: монография / Г. П. Кича, Н. Н. Таращан, А. В. Надёжкин. – Владивосток : МГУ им. Г.И. Невельского, 2015. – 175 с.
5. Кича Г. П. Комплексное системное решение проблемы ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых дизелях / Г. П. Кича, А. В. Надёжкин, С. В. Глушков // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 3(33). – Т.1. – С. 118–126.
6. Кича Г. П. Экономичная эксплуатация дизелей // Морской флот. – 1984. – № 11. – С. 47–49.

УДК 621.431.74

А. Н. Соболенко

АНАЛИЗ ОПЫТА СОЗДАНИЯ ГАЗОМОТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Использование газового топлива в дизелях началось ещё в прошлом веке. Но тогда это была необходимость, вызванная спецификой использования дизелей на газовых объектах. В России выпуск разработки и серийный выпуск дизелей на газовом топливе также производились ещё в прошлом веке.

Первые газовые двигатели в отличие от дизелей работали на газообразном топливе с воспламенением газозоудной рабочей смеси от искры запальной свечи. В основе процесса сгорания таких дизелей лежит изохорный цикл [1].

В газодизелях для воспламенения газозоудной рабочей смеси используется впрыск небольшого количества запального дизельного топлива. Они могут работать и на одном дизельном топливе как дизели. Процесс сгорания в таких дизелях осуществляется по смешанному циклу (изохорно-изобарному) [1]. Следует отметить, что двигатели, работающие на газовом топливе, не проектировались специально для этого, а существующие двигатели приспособлялись для этого. С этой целью добавлялся ряд

новых элементов. Прежде всего, система питания газовым топливом и специальная система управления подачей газа и искрового воспламенения или подача запальной порции топлива.

Газовый дизель 6ГЧ12/14 (К-762) представляет собой модификацию дизеля 6Ч12/14 (К-457) с полуразделённой камерой в поршне [2].

Газовый двигатель 6ГЧ12/14 отличается от дизельного двигателя 6Ч12/14 следующими узлами и системами:

1. Изменена конструкция головок цилиндров и поршней за счёт механической обработки этих деталей. При этом степень сжатия газового двигателя уменьшена.

2. Газопитающая система дизеля состоит из газового редуктора типа РД, снижающего давление газа в газопроводе до 0,55 МПа; подогревателя газа, установленного на выхлопном коллекторе; мембранного вентиля; металлокерамических фильтров для очистки газа; двухступенчатого редуктора; газового ресивера и общего на все цилиндры двигателя газоздушного смесителя с регулирующим органом золотникового типа, из которого смесь поступает в цилиндры двигателя.

3. На двигателе установлен серийный регулятор РПМ прямого действия дизельного типа с небольшими переделками, состоящими в изменении тяги, передающей усилие измерителя к приводу регулирующего органа смесителя, увеличения диаметра поршня и жёсткости пружины упруго присоединённого катаракта.

4. Питание системы зажигания газового двигателя производится от аккумуляторной батареи типа СТ-25 с понижением напряжения добавочным сопротивлением.

Газовый двигатель 6ГЧ36/45 (Г071) является модификацией двигателя 6Ч36/45 и отличается от дизельного прототипа следующими новыми узлами и системами: изменённой крышкой цилиндра снижающей степень сжатия дизеля и снабжённой газовыми клапанами и двумя штуцерами для свечей зажигания; газоздушной системой; системой поцилиндрового регулирования с регулятором непрямого действия; аппаратурой зажигания [2].

Газоздушная и регулирующая системы состоят из следующих узлов: регулятора давления газа диафрагменного типа для редуцирования давления газа; газового ресивера для гашения колебания давления газа; газового трубопровода для подачи газа во впускной коллектор; воздушного фильтра; впускного газоздушного коллектора, имеющего отдельную газовую и воздушную полости; регулирующих коробок дросселей, установленных на каждом цилиндре, для автоматического количественного регулирования воздуха, газа и качественной ручной регулировки смеси.

Коробка дросселей представляет собой чугунный корпус с двумя разделёнными каналами для газа и воздуха, величина проходных сечений которых регулируются дросселями. Дроссели всех коробок через общий вал соединены с регулятором.

Аппаратура зажигания состоит из проводов высокого напряжения, двух магнето высокого напряжения и двух свечей зажигания на каждый цилиндр.

Привод обоих магнето осуществляется от одного распределительного вала.

Газовый двигатель 10ГД20,7/2×25,4 – двухтактный с противоположно движущимися поршнями, прямоточно-щелевой продувкой и искровым форкамерно-факельным зажиганием [2].

Газовая аппаратура и система зажигания газового двигателя состоит из следующих элементов:

- дозирующего газ дроссельного органа, осуществляющего качественное регулирование рабочей смеси, поступающей в цилиндры двигателя;
- газовых каналов, размещённых на каждом цилиндре и служащих для ввода газа в цилиндры.

В цилиндрах двигателя вместо одной группы дизельных форсунок (у этих дизелей установлено по две форсунки на один цилиндр) установлены форкамеры, в которых размещены свечи зажигания и автоматический клапан для подачи газа в форкамеру. От искры свечи зажигания осуществляется первоначальное зажигание небольшой порции газа, поступившего в форкамеру.

Система зажигания имеет аккумуляторную батарею 24 В, прерыватель – распределитель, 10 индукционных катушек на каждый цилиндр двигателя и свечи зажигания с гасительными сопротивлениями.

Степень сжатия газовых двигателей снижена до 12,5 посредством уменьшения толщины регулировочных прокладок между днищами поршней и вставками. Это привело к тому, что фазы газораспределения изменились на 2...3° ПКВ.

В газовых двигателях с качественным регулированием и внутренним смесеобразованием устойчивая работа на природном газе возможна только при нагрузках свыше 55 % от номинальной мощности [2, 3]. Поэтому для расширения рабочего диапазона устойчивой работы применяется форкамерно-факельное зажигание рабочей смеси.

При форкамерно-факельном зажигании небольшая порция обогащённой смеси воспламеняется от искры в специальной дополнительной камере малого объёма (форкамере). Возникшее пламя с большой скоростью выбрасывается в виде факела через сопло дополнительной камеры в основную камеру сгорания. Факел служит многоочаговым источником воспламенения и турбулизации основной порции горючей смеси в надпоршневом пространстве, что обуславливает сгорание обеднённых смесей.

Повышая экономичность двигателя на частичных нагрузках, форкамерно-факельное зажигание допускает повышение степени сжатия при использовании искрового зажигания до значения близкого или равного степеням сжатия дизелей [2].

На рис. 1 приведена схема системы питания природным газом двигателя KV-G3 фирмы Rolls-Royce с форкамерно-факельным зажиганием и подачей газа перед впускным клапаном двигателя [4].

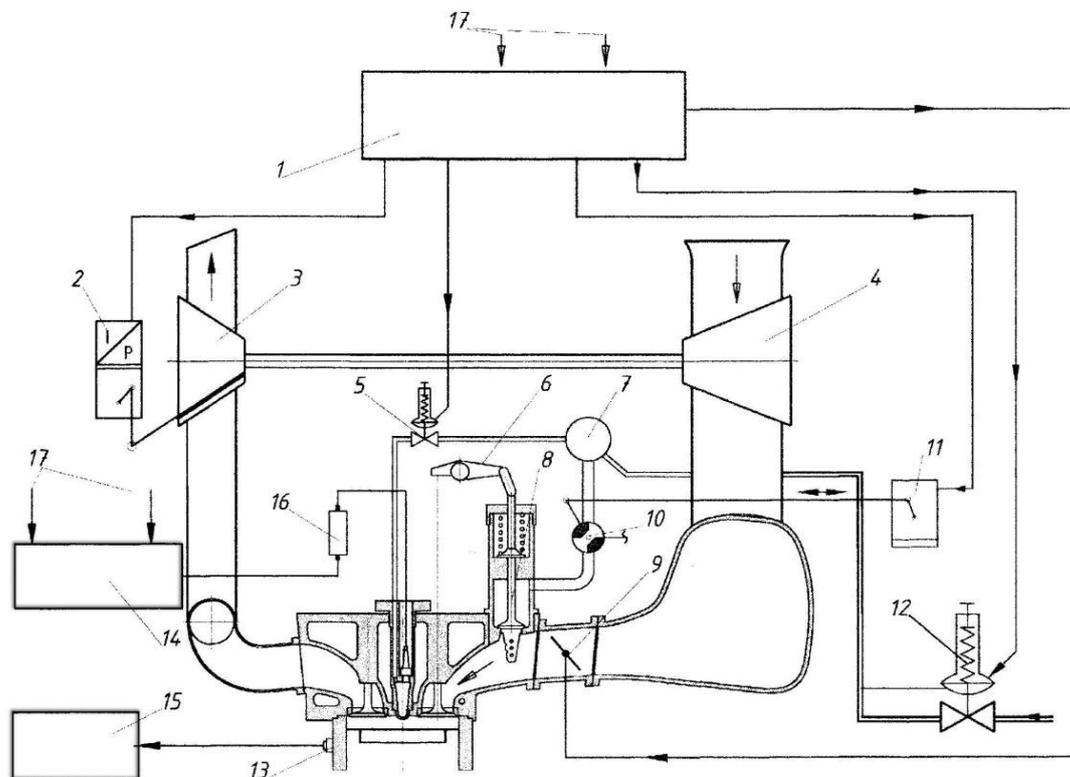


Рис. 1. Схема газовой системы питания двигателя KV-G3 фирмы Rolls-Royce с форкамерно-факельным зажиганием:

- 1 – блок управления двигателем; 2 – сервопривод управления направляющим аппаратом турбины турбокомпрессора; 3 – турбина; 4 – компрессор;
- 5 – регулятор давления в контуре газоснабжения форкамеры;
- 6 – привод газового клапана; 7 – газовый коллектор; 8 – газовый клапана;
- 9 – воздушная заслонка; 10 – изменяемый дроссель регулирования подачи газа в двигатель; 11 – сервопривод дросселя регулирования подачи газа в двигатель;
- 12 – регулятор давления в контуре газоснабжения рабочего цилиндра;
- 13 – датчик детонации; 14 – блок управления искровым зажиганием;
- 15 – блок обработки данных с датчика детонации; 16 – катушка зажигания;
- 17 – входы с датчика частоты вращения, положения коленчатого вала, температуры воздуха на входе и т. д.

Четырёхтактные двухтопливные газодизели семейства ЯМЗ производятся с газотурбинным наддувом, с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, с числом цилиндров 4 и 6, с рядным расположением цилиндров, жидкостной системой охлаждения. Для подачи топлива используется аккумуляторная система [5].

Газодизели 12ГЖЧ15/18 могут работать как на природном или попутном газе с присадкой запального дизельного топлива, так и только на дизельном

топливе, допуская переключение с одного топлива на другое во время работы двигателей без остановки [2].

Для работы на газе дизели снабжены следующими элементами:

– установлены два редуктора для снижения давления газа и общие на все цилиндры двигателя смесительно-регулирующие устройства;

– установлен всережимный, центробежный, непрямого действия, с гидросилителем регулятор газодизеля, который связан передачей с регулирующими органами смесителя и топливным насосом;

– на корпусе регулятора частоты вращения установлен автоматический переводчик «дизель – газодизель», осуществляющий перевод двигателя с газового топлива на жидкое;

– для обеспечения малых подач запального дизельного топлива топливный насос снабжён корректирующими нагнетательными клапанами.

Газодизели фирмы SEMT – «Пилстик» выпускаются с газотурбинным наддувом, с числом цилиндров 8...18, в V-образном исполнении. При конвертировании дизеля для работы по газожидкостному циклу степень сжатия снижается с 13 до 10,7 путём изменения головки поршня.

При работе дизеля на природном газе давление газа перед впускными клапанами должно быть около 0,15 МПа. Если теплота сгорания газа ниже 37011 кДж/м³ (при 0 °С и 760 мм рт. ст.), то давление должно быть увеличено.

Газодизель C7V40/60DG фирмы MAN четырёхтактный с газотурбинным наддувом. На двигатель дополнительно установлены газовпускные клапаны с приводом от кулачкового вала и рычажного механизма.

Судовые газодизели фирмы Зульцер 9RNDM90 предназначены для установки на танкерах, перевозящих сжиженный газ. В двигателях Зульцер подача жидкого топлива не превышает 5...8 % от его расхода при работе двигателя только на жидком топливе.

После того как дизелестроительные фирмы организовали производство двухтопливных ДВС, работающих на природном газе по циклу Дизеля с воспламенением топлива в цилиндре от сжатия, этот тип двигателя стал получать все большее распространение на судах-газовозах, а затем – и на судах других типов, использующих газ в качестве топлива. Существенным преимуществом газодизельного цикла является то, что мощность источника зажигания в нём значительно больше, чем в двигателе с искровым зажиганием, кроме того, рабочая смесь поджигается не в одной точке у холодной стенки, а в центре заряда [6]. Благодаря этому одной из важных особенностей газодизельного процесса является возможность надёжной работы двигателя на обеднённой рабочей смеси. При таком способе сохраняется возможность быстрого перехода с газового топлива на дизельное и обратно. У быстроходных дизельных двигателей расход жидкого топлива, используемого для воспламенения и полного сгорания газозооной смеси, составляет 10...20 % количества, расходуемого при обычном дизельном процессе. В средне- и малооборотных двигателях требуется лишь 5...8 % дизельного топлива для воспламенения. В настоящее время

уже есть опытные модели двигателей, использующие 1 % пилотного топлива, и ведутся работы по дальнейшему уменьшению его количества. Именно такой способ воспламенения реализован фирмой Wärtsilä в двухтопливном двигателе 20DF. Газодизельный процесс при внутреннем смеесеобразовании с непосредственным впрыском газа в цилиндр реализован фирмой MAN в двигателе L51/60DF. В конструкции двигателя L51/60DF предусмотрен впрыск в цилиндр газового топлива и жидкого дизельного топлива, причём минимальное необходимое количество жидкого топлива зажигания (пилотного) уменьшено до 1 % от общего потребления. Помимо экономии жидкого топлива уменьшение пилотного топлива очень важно для уменьшения выбросов NO_x . Так, при работе на газовом топливе двигатель L51/60DF выделяет всего 1,5 г/(кВт·ч) NO_x , что полностью соответствует требованиям Приложения VI к МК МАРПОЛ 73/78 (уровень Tier III) для особых районов контроля выбросов NO_x . Аналогичный показатель для двигателей с 6 % пилотного топлива составляет 14 г/(кВт·ч) NO_x .

Четырёхтактный двухтопливный дизель MAN 51/60DF. При работе в дизельном режиме впрыск топлива под давлением вместе с тонким распылением обеспечивает оптимальное сгорание топлива самого низкого качества, которое только приемлемо по спецификации производителя дизельного двигателя. При работе в газовом режиме запальное топливо впрыскивается через аккумуляторную систему (Common Rail). Цилиндровая мощность при 500 мин⁻¹ – 975 кВт. Система турбонаддува изобарная, двухступенчатая. Удельный расход газа 7848+5 % кДж/(кВт·ч), удельный расход жидкого топлива 7965+5 % кДж/(кВт·ч). Среднее эффективное давление $p_e = 1,91$ МПа.

Четырёхтактный двухтопливный дизель Watsila 50DF (ЧН 50/58) имеет цилиндрическую мощность 950 кВт при $p_e = 2,0$ МПа, при частоте вращения 500 мин⁻¹. Переход на газ осуществляется при нагрузке 80 %. При работе на газе в дизель поступает запального топлива в количестве менее 1 % от расхода при полной нагрузке [7].

Главным достижением при создании новой модификации двигателя **Watsila 50DF** является разработка передовой топливной системы. Она была разделена на три составляющих: одна для природного газа, вторая для резервного топлива, третья – для запального топлива. Отдельная система обеспечивает возможность его подачи независимо от того, работает ли двигатель на природном газе, дизельном топливе или тяжёлом топливе.

Подача газа. Природный газ подаётся в двигатель через блок регулирования (GRU – gas regulating unit) (рис. 2). Прежде всего, газ проходит очистку, при этом давление газа, которое зависит от нагрузки двигателя, контролируется с помощью клапана GRU. При полной нагрузке давление газа с низшей теплотворной способностью $Q_H = 36$ МДж/м³ на входе в двигатель должно быть 0,39 МПа. При более низких значениях Q_H давление газа должно быть увеличено. В состав GRU входят также отсечный и выпускной клапаны для обеспечения безопасной и надёжной подачи топливного газа.

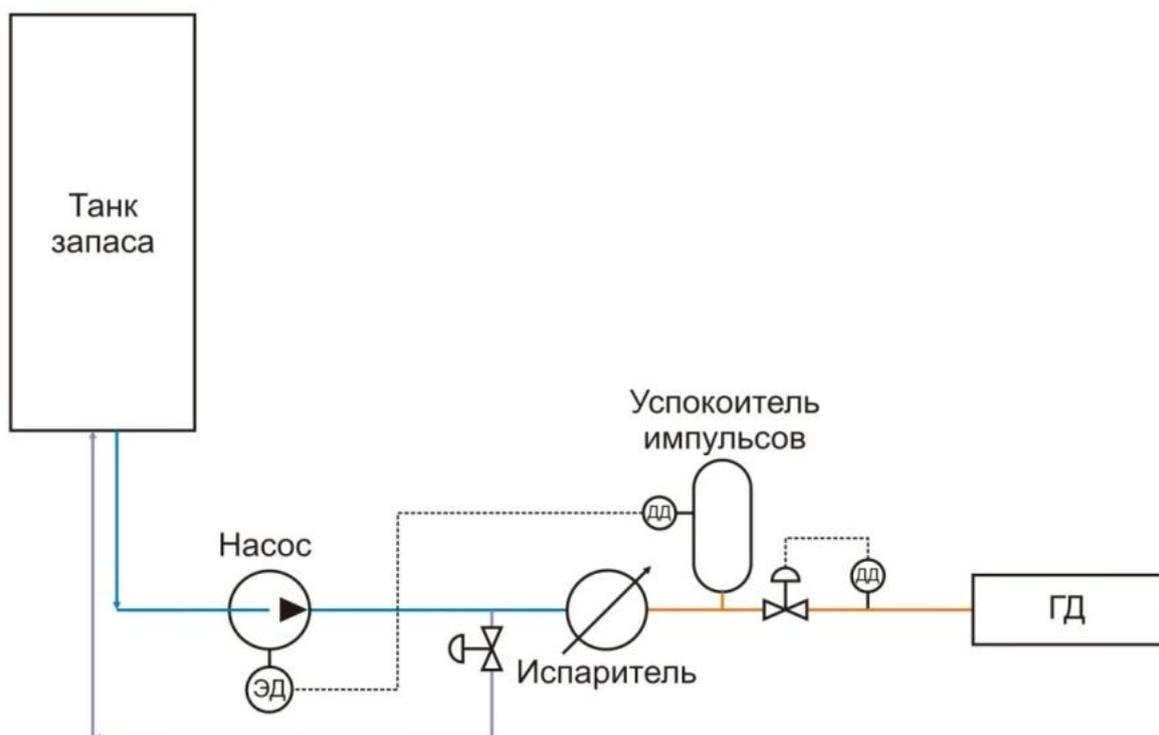


Рис. 2. Принципиальная схема газовой топливной системы:
 ЭД – электродвигатель переменной частоты вращения; ДД – датчик давления;
 ГД – главный двигатель

На двигателе топливный газ подаётся по трубной обвязке системы «common rail», расположенной вдоль двигателя. Каждый цилиндр имеет индивидуальный подвод газа к клапану, расположенному на головке цилиндра. Трубная обвязка изготавливается в двухстеночном (с защитным кожухом) исполнении.

Система подачи газа к двигателю состоит из криогенного танка запаса, поршневого насоса высокого давления, успокоителя пульсации, испарителя и системы контроля протока и давления газа (рис. 2).

Подача дизельного топлива. Система подачи дизельного топлива разделена на две отдельные системы: одна для подачи запального топлива, другая – для резервного (рис. 3).

Необходимое давление топлива обеспечивается специальным насосным агрегатом, в состав которого входят двойные фильтры, регулятор давления топлива и радиальный поршневой насос приводом от двигателя. Запальное топливо высокого давления подаётся по трубной обвязке «common rail» форсункам каждого из цилиндров и впрыскивается при давлении 90 МПа. Синхронизация и контроль длительности впрысков осуществляется автоматически. Система подачи резервного топлива имеет отдельную подводку к двигателю. Топливо подаётся в стандартный насосный агрегат с приводом от распределительного (кулачкового) вала. Затем под высоким давлением оно подаётся на топливную форсунку стандартной конструкции.

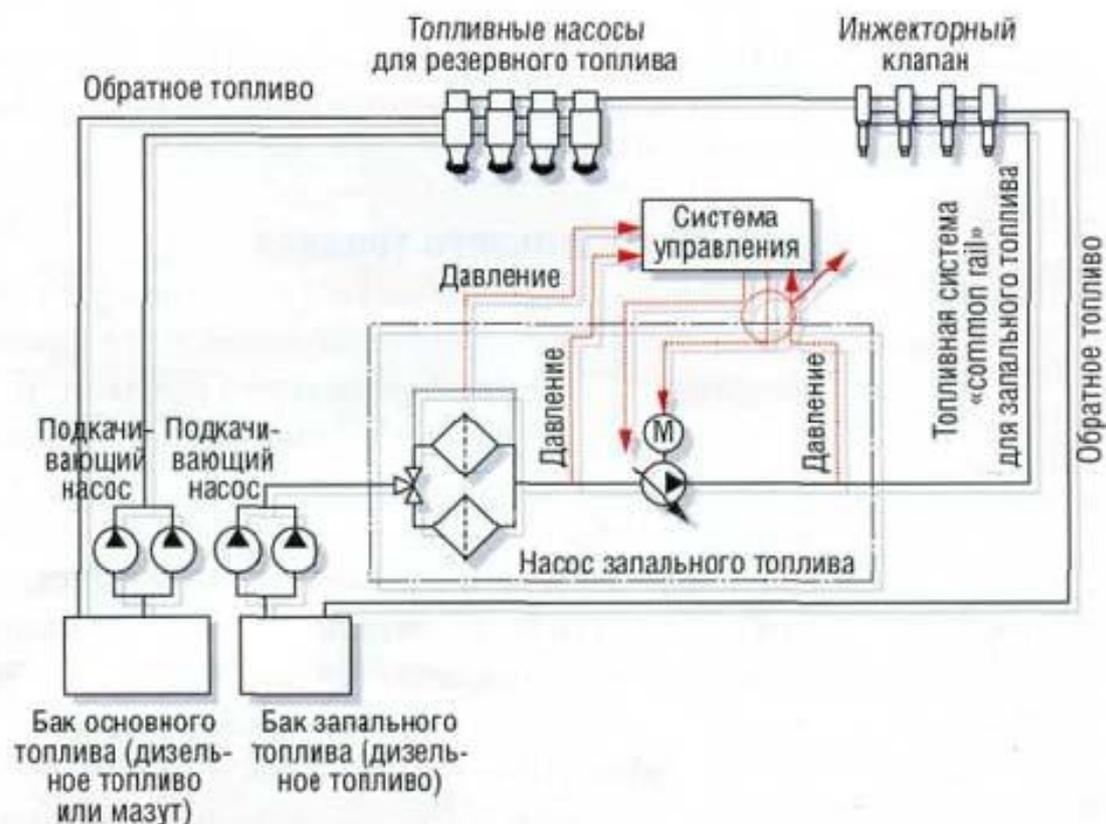


Рис. 3. Система подачи жидкого топлива двигателя Watsila 50DF

Топливные форсунки. Двигатели Watsila 50DF оснащены двухигльчатými форсунками. Для работы на дизельном топливе или мазуте используются игльчатые форсунки большого размера, для запального топлива – меньшего размера. Контроль подачи запального топлива осуществляется электронной системой управления, основного дизельного топлива – гидравлически. Электромагнитные клапаны обеспечивают синхронизацию и оптимальную продолжительность впрыска запального топлива для каждого цилиндра. Образование выбросов NO_x в значительной степени зависит от количества впрыскиваемого запального топлива. Данная конструкция топливной системы обеспечивает низкие уровни выбросов NO_x , а также стабильную и надёжную подачу газа в камеру сгорания.

Двухтактные двухтопливные судовые малооборотные дизели типа SME-GI фирмы MANDiesel&Turbo. Для возможности осуществления возможности работы на жидком и на газовом топливе выполнена модификация цилиндровой крышки, выхлопного ресивера и гидроблока цилиндра. Появились такие элементы как газовые трубы, аккумулятор большого объёма, газовые форсунки, блок газовых клапанов, ELGI-клапан (управление впрыском газа) [8].

Помимо выше указанных модификаций, для обеспечения работы двигателя, установлены дополнительные вспомогательные механизмы и системы, наиболее важные из которых:

- Газовый компрессор высокого давления и обеспечивающая система, а также система управления компрессором. Используется для повышения давления газа до давления 250...300 бар, требуемого на входе в двигатель.
- Буферный танк. Используется для гашения пульсации давления и отделения сконденсировавшегося газа.
- Вентиляционная система. Используется для вентиляции межтрубного пространства в двустенных газовых трубах.
- Система безопасности. Включает в себя анализатор содержания углеродородов в воздухе из межтрубного пространства.
- Система уплотнительного масла, подающая уплотняющее масло к газовым форсункам для разделения газа и контрольного масла.
- Система инертного газа. Используется для продувки газовой системы двигателя инертным газом.
- Компоновка топливных и газовых форсунок показана ниже на рис. 4.

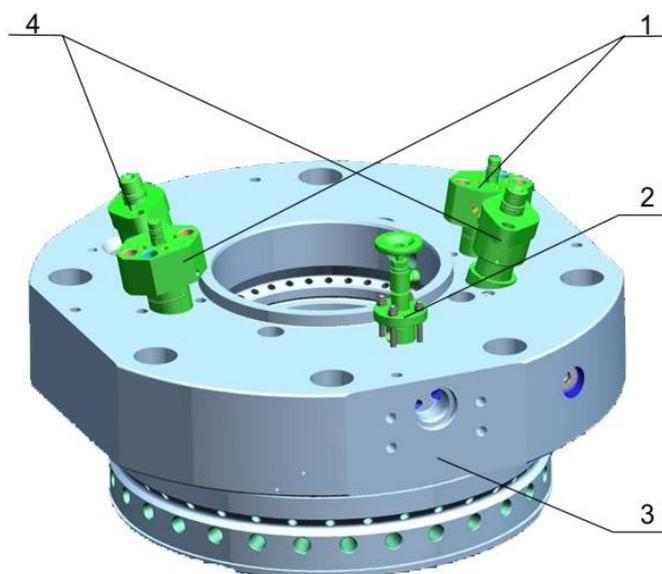


Рис. 4. Компоновка цилиндрической крышки ME-GI:
 1 – газовые форсунки; 2 – индикаторный клапан;
 3 – посадочное место под блок газовых клапанов;
 4 – топливные форсунки

Основные параметры дизелей работающих на газомоторном топливе приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что первые газовые двигатели имели довольно низкие параметры рабочего процесса (среднее эффективное давление $p_e = 0,48...0,53$ МПа) и могли работать только на одном виде топлива – газе. При этом зажигание осуществлялось электрической искрой от специальной свечи.

Таблица 1

Параметры дизелей работающих на газомоторном топливе

Тип двигателя	6Ч12/14	6Ч36/45	10Д20,7/2х25,4	12ЧН15/18	ЯМЗ ЧН10,5/12,8	DF50/58 ЧН50/58	6S50ME-C-GI 6ДКРН50/200
Мощность номинальная, кВт	80	550	1500	450	110–211	950	8100
Частота вращения, мин ⁻¹	1500	375	750	1600	2300	500	108
Степень сжатия	11–11,5	8	12,5	–	12	–	–
Среднее эффективное давление, МПа	0,503	0,48	0,532	0,65	1,3	2,0	1,91
Максимальное давление сгорания, МПа	5,0	4,0	5,8–6,2	–	–	–	17,0
Температура выпускных газов, °С	600	520	420	–	–	–	–
Удельный расход газового топлива, м ³ /(кВт·ч)	0,315	0,325	0,310	0,238	0,209–0,252	–	0,194
Удельный расход запального дизельного топлива, г/(кВт·ч)	–	–	–	34	–	–	6,1

Современные судовые дизели, работающие на газомоторном топливе могут работать на газе с поджиганием от запальной доли дизельного топлива, либо чисто на дизельном или тяжёлом топливе. Параметры рабочего процесса этих дизелей довольно высокие, среднее эффективное давление $p_e = 1,9...2,0$ МПа, максимальное давление сгорания достигает $p_z = 17,0$ МПа. Удельный эффективный расход газа, выраженный в м³/(кВт·ч) находится на уровне расхода жидкого топлива, выраженного в г/(кВт·ч). По сравнению с первыми моделями газовых двигателей их топливная экономичность почти на 40 % лучше.

Выводы

1. Конвертирование дизелей в двигатели с внешним смесеобразованием и искровым зажиганием – наиболее простой способ перевода дизеля на газовое топливо. К его преимуществам относятся:

– упрощение конструкции (при отсутствии необходимости сохранения двухтопливности можно полностью отказаться от системы впрыска жидкого топлива, заменив её на более простые: систему смешивания воздуха с газом и систему искрового зажигания);

– работа системы питания при низких давлениях, что снижает требования к обеспечению безопасности при эксплуатации таких систем.

К недостаткам таких систем относят:

- потеря возможности работы на жидком топливе;
- снижение литровой мощности, связанной с уменьшением весового наполнения цилиндров;
- при степенях сжатия, характерных для дизельных двигателей, в широком диапазоне нагрузок отмечается появление детонации.

2. Выполненный анализ дизелей, работающих на газовом топливе, показал, что первоначально создавались двигатели работающие исключительно на газе. Впоследствии из-за проблем обеспечения работы в широком диапазоне нагрузок и обеспечения требований безопасности стали создавать конструкции двухтопливных и даже трёхтопливных дизелей. Трёхтопливные двигатели работающие на газе, либо дизельном топливе, либо на тяжёлом топливе получили название гибкотопливные двигатели [9].

3. Основной проблемой при создании газожидкостных двигателей является предупреждение детонационного сгорания газозооушной смеси, особенно опасного для цилиндров малых размеров. Устранить опасность детонации возможно за счёт снижения степени сжатия, улучшения продувки цилиндров, охлаждения продувочного воздуха и стенок камеры сгорания.

4. Опыты, проведённые на двигателе RD76, показали, что температура отработавших газов при работе на природном газе на 50° ниже, чем при работе на дизельном топливе, что является результатом более низких температур в цилиндре двигателя. Это позволяет отказаться от применения специального термостойкого цилиндрического масла.

5. Выполненные в последние годы исследования работы дизеля на сжиженном газе выявили возможность осуществления подачи в цилиндр газа в сжиженном состоянии. В этом случае топливоподающая система дизеля сохраняется без изменения. Для достижения устойчивого самовоспламенения газа в цилиндре к топливному насосу подводится смесь сжиженного газа и 10...15 % по весу дизельного топлива. Примесь дизельного топлива необходима для повышения цетанового числа смеси паров жидкого топлива и газа [10].

Список литературы

1. Соболенко А. Н. Некоторые результаты расчётных исследований конвертирования четырёхтактного дизеля на газомоторное топливо / А. Н. Соболенко / Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов мирового океана // Материалы V Международной научно-технической конференции (Владивосток, 22–24 мая 2018). Часть I. – Владивосток : Дальрыбвтуз, 2018. – С. 290–293.

2. Дизели. Справочник / Под ред. В. А. Ваншейдта, Н. Н. Иванченко, Л. К. Коллерова. – Л. : Машиностроение. 1977. – 480 с.

3. Соболенко А. Н. Проблемы внедрения газомоторного топлива в судовых дизелях / А. Н. Соболенко, Б. Н. Воробьев // Научные труды Дальрыбвтуза. – Владивосток : Дальрыбвтуз. – 2018. – № 1 (т. 44). – С. 73–78.

4. Белоусов Е. В. Топливные системы современных судовых дизелей : учебное пособие / Е. В. Белоусов. – СПб.–М.–Краснодар : Лань, 2016. – 256 с.
5. ЯМЗ-53644. 6-цилиндровый газовый двигатель. – Режим доступа : <http://www.ymzmotor.ru/catalog/dvigateli/ymz-530/yamz-530-cng/ymz-53644/> – Заглавие с экрана.
6. Дорохов А. Ф. Особенности применения газообразных топлив в судовых энергетических установках / А. Ф. Дорохов, И. А. Апкаров, Х. К. Лыонг // Вестник АГТУ Морская техника и технология. – 2012. – № 2. – С.70–75.
7. Пипченко А. Н. Техническая эксплуатация одно- и двухтопливных двигателей Wartsila-Sulzer : учебное пособие / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, В. А. Шевченко, И. Н. Табулинский. – Одесса : ТЭС, 2017. – 338 с.
8. MAN B&W 70-60 ME-GI/-C-GI-TII Type Engines Engine Selection Guide, 1st Edition, June 2010, MAN Diesel & Turbo, branch of MAN Diesel & Turbo SE, Germany.
9. Епифанов В. С. Эксплуатация судовых энергетических установок на природном газе / В. С. Епифанов. – М. : Транслит, 2010. – 214 с.
10. В движении. Судовые двигатель внутреннего сгорания. Топлива и масла для двигателей. – Режим доступа : <http://vdvzhke.ru/sudovye-dvigateli-vnutrennego-sgoraniya/topliva-i-masla-dlja-dvigatelej/2016-01-16-09-03-16.html>. – Заглавие с экрана.

УДК 621.436:629.5

Г. В. Кузьменко, А. А. Панасенко

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ НАГРУЗКИ СУДОВЫХ МАЛООБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

На диаграмме нагрузок судовых МОД типа МС фирмы MAN Diesel&Turbo, представленной на рис. 1, линия 1 – стендовая винтовая характеристика $Ne=C_0 \cdot n^3$ делит всё поле нагрузок на две части. Режимные точки Ne , n (Pe , n или $M_{кр}$, n), расположенные правее линии 1, соответствуют режимам, которые фирма обозначает как режимы «steady». На экранах мониторов такие точки окрашены зелёным цветом. Определение «steady» можно перевести как режимы устойчивые, равномерные, уравновешенные, спокойные. При таких режимах обеспечивается прочность деталей, ограничивающих рабочую полость цилиндров, т. к. суммарные тепловые и механические напряжения не превышают тех значений, которые были определены во время стендовых испытаний и оценены как предельно-допустимые для длительной эксплуатации без каких-либо ограничений по времени при полной осадке судна, с допустимой степенью обрастания корпуса и винта, при умеренно утяжелённых внешних условиях плавания, которые были учтены при оценке проектной степени гидродинамического облегчения винта по частоте вращения (LR) и запасов по мощности

на компенсацию утяжеления морских условий плавания (sea margin) и старение двигателя (engine margin) на стадии проектирования судна (рис. 2).

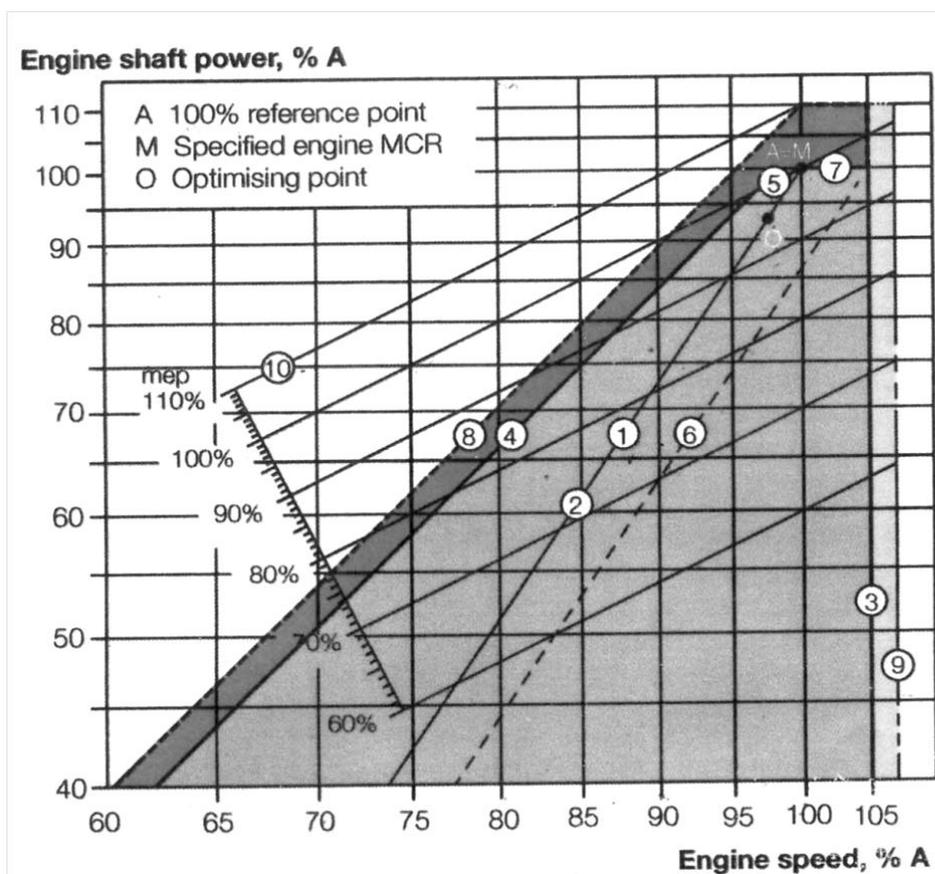


Рис. 1. Диаграмма нагрузок двигателя

Если режимные точки N_e, n располагаются левее стендовой винтовой характеристики (ВХ), то такие режимы фирма обозначает термином «unsteady» и на экранах мониторов такие точки обозначаются красным цветом как сигналом о том, что двигатель перегружен относительно стендовой ВХ. Если режимные точки не выходят за пределы ограничительных линий 4 и 5, то такая перегрузка допускается без формального ограничения по времени в условиях тяжёлой штормовой погоды, при чрезмерном обрастании корпуса и винта или их повреждении, при буксировках объектов, в ледовых условиях плавания, на мелководье. Хотя ограничить время таких режимов конкретно практически невозможно, учитывая морские условия плавания, однако в инструкциях по эксплуатации двигателей содержится предупреждение о том, что при длительной и чрезмерной перегрузке возможно появление характерных отказов в деталях, ограничивающих рабочую полость цилиндров, из-за повышенных тепловых и механических напряжений.

Оценка степени перегрузки двигателя и вероятности появления таких отказов является обязанностью старших механиков и должна учитываться также капитанами. Должны быть приняты специальные меры по предупреждению таких отказов, снижению вероятности их появления,

т. к. в тяжёлых случаях они могут привести к вынужденной остановке ГД в море, создать угрозу безопасности судна.

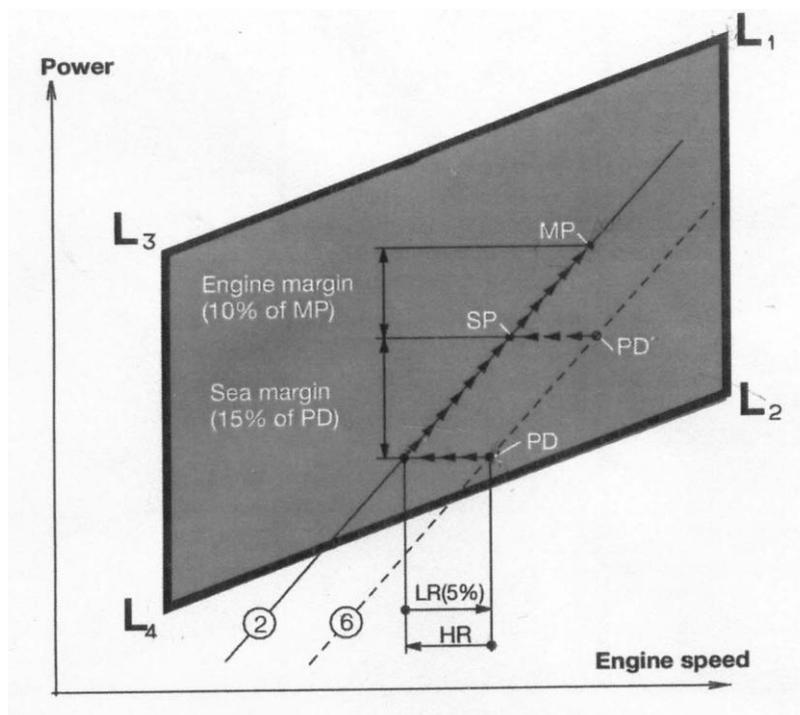


Рис. 2. Диаграмма для планирования нагрузки двигателя

Оперативно в первом приближении можно оценить степень перегрузки ГД по величине «коэффициента относительной нагрузки пропульсивного комплекса k_N », который рассчитывается по формуле

$$k_N = \left(\frac{Ne}{Ne_{MR}} \right) \cdot \left(\frac{n_{MR}}{n} \right)^3 = \left(\frac{Pe}{Pe_{MR}} \right) \cdot \left(\frac{n_{MR}}{n} \right)^2,$$

где Ne, n – фактическая мощность и частота вращения;

Ne_{MR}, n_{MR} – мощность и частота вращения двигателя при полной нагрузке на стенде (т. А на диаграмме рис. 1).

При $k_N = 1,0$ – режимная точка Ne, n расположена на стендовой ВХ (линия 1). Нагрузка на пределе.

При $k_N < 1,0$ – режимная точка Ne, n расположена правее стендовой ВХ. Режим спокойный.

При $k_N > 1,0$ – режимная точка Ne, n расположена левее стендовой ВХ. Двигатель перегружен.

Если, например, $k_N = 1,15$, то фактическая мощность на 15 % больше мощности, соответствующей стендовой ВХ при данной фактической частоте вращения. Соответственно, увеличена цикловая подача топлива. Тепловые и механические напряжения в деталях превышают их значения, полученные во время стендовых испытаний. Вероятность появления характерных отказов повышена. Нужны меры по их предупреждению.

Дополнительно необходимо учесть важнейшие параметры рабочего процесса двигателя (ПРП), которые непосредственно влияют на тепловую и механическую напряжённость деталей двигателя, а также учесть степень приближения режимной точки N_e, n к ограничительным линиям 4, 5, 7 (рис. 1) и время работы двигателя с такой перегрузкой.

Опыт аттестации судовых механиков в МКК п. Владивосток, опыт их обучения на курсах повышения квалификации в МГУ имени адмирала Г. И. Невельского показывает, что многие механики имеют слабые знания по вопросам, имеющим прямое отношение к оценке характера нагрузки судовых МОД, по таким как: методы определения мощности двигателя; принцип взаимодействия корпуса судна, винта и ГД в составе единого пропульсивного комплекса и гидродинамические характеристики такого взаимодействия; принципы построения диаграмм нагрузок судовых МОД и умение их использовать на практике.

Аналогичные недостатки по этим вопросам имеют и судоводители. В ряде случаев осложняются по этим причинам взаимоотношения между механиками и судоводителями при оценке характера нагрузки судовых МОД и опасности чрезмерной перегрузки двигателей, когда капитаны настаивают на увеличении скорости судна, руководствуясь в основном коммерческими кратковременными интересами, пренебрегают вопросами безопасности, а механики не могут аргументировано обосновать опасность чрезмерной перегрузки ГД, оценить риски.

При чрезмерной длительной перегрузке МОД наиболее вероятным видом отказа в работе деталей ЦПГ прежде всего необходимо отметить нарушение нормального функционирования поршневых колец и их коллапс. Как отмечается в инструкции по эксплуатации двигателей типа МС фирмы MAN Diesel&Turbo, явление коллапса поршневых колец связано с медленным нарастанием давления газов в закольцевом пространстве канавок в головке поршней во время резкого нарастания давления в камере сгорания после начала горения топлива. При повышении температуры головки поршня после увеличения нагрузки двигателя постепенно увеличивается количество загустевших продуктов окисления цилиндрического масла и нагара, которые заполняют зазор между поршневым кольцом и канавкой, вследствие чего газы медленно поступают в закольцевое пространство. Соответственно медленно увеличивается их давление на кольцо, которое должно обеспечить увеличение силы, прижимающей кольцо к поверхности втулки, медленно нарастает давление в плёнке масла, разделяющей поверхность кольца и зеркало цилиндрической втулки. Давление газов из камеры сгорания в это время увеличивается значительно быстрее и газы могут пройти через зазор между кольцом и зеркалом цилиндрической втулки, разрушив плёнку масла. По периметру кольца эти газы могут сжимать кольцо, утапливая его в канавке. Зазор в стыке кольца при этом уменьшается. В дальнейшем, когда давление в закольцевом пространстве достигнет достаточной величины, кольцо под действием этого давления вновь будет

прижато к зеркалу цилиндровой втулки, хотя плёнка масла будет к этому моменту уже нарушена. Возможно сближение поверхности трения кольца и зеркала цилиндровой втулки, увеличение силы трения между ними, повышение температуры на поверхности трения. Пульсацию поршневого кольца фирма обозначает как его коллапс, который может привести к повышенным износам и поломкам колец, прорыву газов в подпоршневые полости. В тяжёлых случаях возможны задиры цилиндрических втулок и поршней, трещины на поверхностях трения, которые могут привести к вынужденной остановке двигателя в море и создать угрозу безопасности судна, к пожарам в подпоршневых полостях.

Поэтому при чрезмерной длительной перегрузке ГД необходимо внимательно следить за повышением температуры на поверхностях трения, своевременно повышать подачу цилиндрического масла и снижать нагрузку до безопасного уровня. При первой возможности производить осмотр поверхностей трения втулок и поршневых колец, заменять поломанные кольца.

Важным условием обеспечения безопасного состояния цилиндров является правильная организация контроля за характером нагрузки двигателя и за дозировкой цилиндрического масла с учётом качества применяемого топлива и масла. Необходимо оценивать скорость износа поверхностей трения на основе регулярного анализа пробы масла из подпоршневых полостей по показателю PPM, который не должен превышать значений 150...200 мг Fe на 1 кг масла. Необходимо контролировать остаточную щёлочность пробы масла по показателю TBN мг КОН/г масла, который должен находиться в пределах BN 15...25.

При чрезмерной и длительной перегрузке ГД возможны и другие отказы деталей, ограничивающих рабочую полость цилиндров.

Чрезмерное снижение нагрузки МОД на длительный период может также привести к серьёзным негативным последствиям. Эта проблема особенно обострилась в связи со стремлением судовладельцев длительно эксплуатировать судовые МОД на малых и супермалых нагрузках с целью снизить расход дорогостоящего топлива.

В двигателях нового поколения типа ME S и G Mk8.2 и более поздних с электронными системами управления процессами регулирования, включая и дозировку масла, проявился ряд характерных отказов, из которых фирма MAN Diesel&Turbo особо выделяет проблему так называемой «холодной коррозии» цилиндрических втулок при работе на топливе с высоким содержанием серы, а также прогары выхлопных клапанов, повреждения антифрикционного сплава в головных подшипниках и другие отказы.

В связи с феноменом "холодной коррозии" цилиндрических втулок фирма разработала новые рекомендации по дозировке цилиндрического масла в двигателях ME, которые изложены в сервисном письме SL2014-587/JAP от марта 2014 г., заменившие рекомендации письма SL2013-571. Для двигателей с механическими лубрикаторами фирма сохраняет рекомендации по дозировке цилиндрического масла, изложенные в сервисных письмах SL2000-385 и SL2012-553.

Список литературы

1. Кацман Ф. М. Теория и устройство судов : учебник для вузов / Ф. М. Кацман, Д. В. Дорогостайский, А. В. Коннов и др. ; под. общ. ред. Ф. М. Кацмана. – Л. : Судостроение, 1991. – 416 с.
2. Кацман Ф. М. Эксплуатация пропульсивного комплекса морского судна / Ф. М. Кацман. – М. : Транспорт, 1987. – 223 с.
3. Инструкция для дизелей типа 50-98 МС. Эксплуатация. (V, VI). – Копенгаген, Дания : Издание 40 С MAN B&W Diesel A/S, 1995.– 341 с.
5. Basic Principles of Ship Propulsion. – Режим доступа : <https://marine.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/propeller-aftship/basic-principles-of-propulsion.pdf> . – Заглавие с экрана.

УДК 621.22

В. И. Эйдук

*Федеральное государственное унитарное предприятие
«Крыловский государственный научный центр» (Санкт-Петербург)*

И. Б. Друзь

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЛАМИНАРИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЯ В ПРИСТЕННОЙ ОБЛАСТИ ОБЪЕКТА

Современное состояние техники ставит перед человечеством задачи по совершенствованию технических решений в области гидрогазодинамики подвижных объектов. Таким образом, с целью развития совокупности принципов, предназначенных для обеспечения хороших мореходных качеств исследуемого объекта, например, морского судна, корабля и других объектов, а также увеличения скорости и продолжительности движения, в области гидрогазодинамики исследователи все больше внимания уделяют теории пограничного слоя (рис. 1).

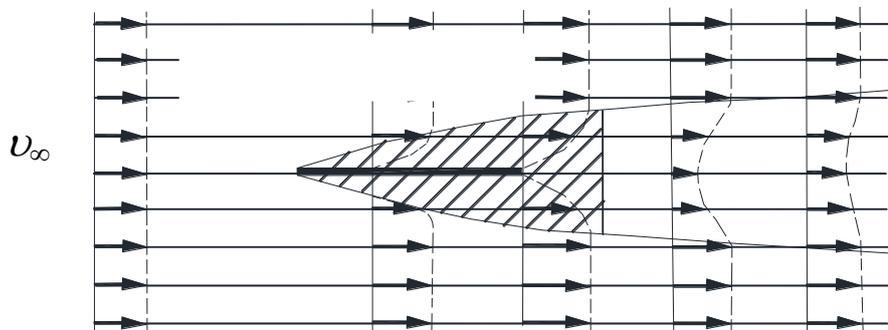


Рис. 1. Образование пограничного слоя при продольном обтекании плоской пластины (v_∞ – скорость потока)

Теория пограничного слоя широко используется при решении важных проблем в различных областях техники, где присутствуют процессы обтекания поверхностей. Корабле-, самолето-, ракето-, автомобиле-, энергомашиностроение – эти и многие другие направления инженерной деятельности в значительной мере обязаны своим прогрессом использованию модели пограничного слоя [1]. Кроме того, терминология пограничного слоя раскрывает возможность формирования мировоззренческих взглядов и в других областях науки, таких, например, как биотехнология, кибернетика и геофизика.

Непрерывный рост уровня техники предъявляет высокие требования, в том числе, и к корпусу морского судна. При обтекании текучей средой на корпусе возникают потери на трение в области пограничного слоя. Соответствующий тип пограничного слоя существенно влияет на сопротивление и связанные с этим потери на трение. При образовании турбулентного пограничного слоя относительные скорости текучей среды велики, в результате возникают соответствующие высокие силы трения.

В процессе эволюции развитие ламинаризованной формы средств движения в воде связаны с устойчивостью ламинарного пограничного слоя, формируемого на поверхности данных средств при движении в вязкой жидкости. Ламинарное движение жидкости может быть как установившимся, так и неустановившимся. Ламинарный пограничный слой считается устойчивым, если возникающие в нем местные возмущения поля скоростей и давлением с течением времени затухают после прекращения воздействия причин, вызвавших эти возмущения. В противном случае происходит потеря устойчивости ламинарного режима течения и его переход в турбулентный. Турбулентное движение по своей природе всегда неустановившееся. Большинство течений в задачах гидрогазодинамики исследуемых гидроаэродинамических объектов являются турбулентными.

Необходимо отметить, что теория пограничного слоя стимулировала дальнейшие значительные исследования пристенных течений теоретического и экспериментального характера. При всем многообразии изысканий в приложении к теории пограничного слоя неизменными на сегодняшний день являются два направления. Первое научное направление ставит перед собой задачу исследования пограничного слоя посредством математического и компьютерного моделирования. Второе же направление имеет больше прикладной или практический характер, позволяющий раскрывать и совершенствовать различные методы и способы управления пограничного слоя направленные на ламинаризацию текучей среды вблизи поверхности исследуемого объекта. Ламинаризация течения в пристенной области объекта связана с необходимостью уменьшить турбулентные пульсации и снизить турбулентный перенос в пограничном слое. Таким образом, ламинаризация пограничного слоя при обтекании текучей средой гидроаэродинамической поверхности объектов является результатом воздействия на пристенную турбулентность.

Технические решения ламинаризации течения в пристенной области объекта можно разделить на две группы, а именно: требующие энергетических затрат; и не требующие энергетических затрат. При этом важно уточнить, что такой объект как морское судно имеет как гидродинамические поверхности – контактирующие с водной средой, так и поверхности аэродинамические – контактирующие с воздушным пространством.

В результате, одним из технических решений ламинаризации пограничного слоя вблизи поверхности объекта является отсос текучей среды из пограничного слоя (рис. 2). Идея использования отсоса для устранения отрыва потока была высказана Прандтлем. Принцип отсоса заключается в удалении из пограничного слоя насосом частиц жидкости, заторможенных в области возрастания давления, прежде чем они успеют оторваться от поверхности корабля. При этом обеспечивается устойчивость ламинарного режима обтекания и его переход в турбулентную форму как бы отодвигается в область больших скоростей.

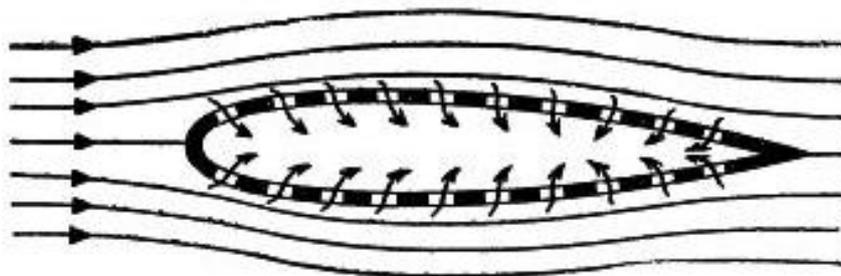


Рис. 2. Обтекание движущегося тела жидкостью

Существует мнение, что отсос можно использовать и для того, чтобы значительно сократить удлинение корпуса судна с целью снижения его сопротивления за счёт уменьшения смоченной поверхности. В этом случае удастся избежать интенсивного вихреобразования и отрыва пограничного слоя даже за кормой короткого корпуса с тупыми обводами, а значит, и возрастания сопротивления формы.

Достоинством отсоса является снижение гидродинамического шума, вызываемого турбулентным режимом обтекания. Несмотря на кажущуюся простоту сложностей в реализации идеи более чем достаточно. Количество отсасываемой воды должно иметь рациональные пределы. При чрезмерном отсосе пограничный слой станет настолько тонким, что выступающие из ламинарного слоя шероховатости на корпусе судна будут турбулизировать поток, нарушая ламинарный режим течения, а при недостаточном отсосе ламинарный режим просто не будет достигнут. Как следствие в зависимости от условий жидкой среды и от скорости движения объекта интенсивностью отсоса придется управлять. При этом закон регулирования будет весьма сложным. Одной из серьёзных проблем станет обеспечение проходимости узких щелей (см. рис. 2), через которые будет происходить отсос, из-за находящихся, к примеру, в заборной воде планктона

и морских обитателей или микроорганизмов в целом, не говоря уже о механических примесях.

Отсасывание жидкости из пограничного слоя представляет наибольший практический интерес как средство задержания и предотвращения отрыва пограничного слоя, а также как средство стабилизации ламинарного течения в пристенной области объекта, т. е. в пограничном слое [2].

Следующим возможным техническим решением ламинаризации течения вблизи поверхности исследуемого объекта является создание воздушной прослойки или «воздушной смазки» между корпусом и забортной текучей средой (рис. 3). Суть идеи состоит в создании между обшивкой корпуса и текучей средой тонкой воздушной прослойки с замкнутой циркуляцией воздуха. За головной частью корпуса через щель отсасывается вода, чтобы не допустить формирование турбулентного пограничного слоя. Через следующую щель подаётся воздух для образования воздушной прослойки. Этой же цели служат и щели, расположенные на днище. Внутри прослойки воздух перемещается вверх, что влечет за собой неравномерное распределение толщины прослойки по обводам корпуса. Чтобы помешать перетеканию воздуха, на боковой поверхности имеются выступы, не соприкасающиеся с водой.

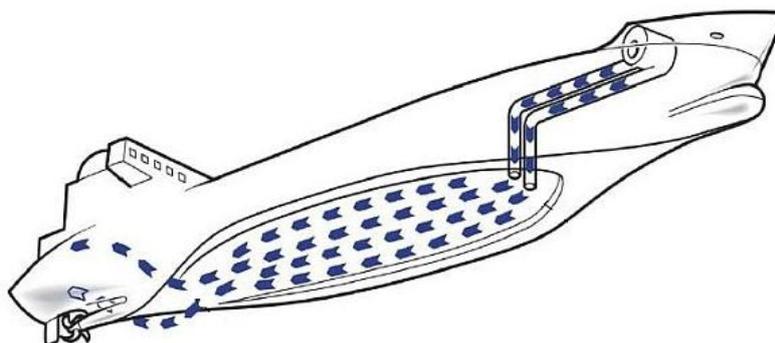


Рис. 3. Создание «воздушной прослойки» между корпусом и забортной текучей средой

Таким образом, вся средняя часть корпуса обтекается тонким слоем. При этом рой пузырьков быстро поступает из небольших отверстий в днище судна, образуется слой толщиной 1...2 см, покрывающий днище (см. рис. 3), что снижает сопротивление, поскольку воздух обладает в 850 раз меньшей плотностью в сравнении с водой

Данное решение ламинаризации является очень сложным, так как прослойка воздуха должна измеряться долями миллиметра. Кроме того, искусственно вентилируемые полости подобного типа при движении пульсируют и деформируются. Для устранения данных явлений потребуются дополнительные, возможно, весьма сложные технические решения.

Учёные также интересуются техническим решением ламинаризации с помощью управления пограничным слоем посредством так называемых

ньютоновских жидкостей. Причиной послужил следующий факт: в некоторых районах морей с большими скоплениями планктона животного и растительного происхождения у судов при неизменной мощности энергетической установки, вдруг возрастала скорость, а затем по прошествии некоторого времени становилась прежней. Подобная картина наблюдалась в опытных бассейнах при испытании моделей, когда через некоторый промежуток времени при повторном испытании одной и той же модели ее сопротивление значительно изменялось

В результате данных опытов удавалось снижать сопротивление трения в турбулентном потоке до 50 %. Механизм явления получил название «эффект Томса» [3, 4]. Благодаря данному эффекту установили причину резкого возрастания скорости судов в районах с большим содержанием планктона. Оказалось, что морские водоросли и микроорганизмы в процессе жизнедеятельности выделяют высокомолекулярные соединения, которые даже при незначительном содержании в воде существенно снижают сопротивление движущегося в ней объекта.

Известно, что некоторые инженерно-физические задачи нередко лучше всего решаются в живой природе. Вот почему в поисках путей преодоления «барьера трения», стоящего на пути повышения скоростей исследуемого объекта, ученые гидроаэродинамики принялись разгадывать некоторые «биологические секреты». Считается, что отдельные разновидности дельфинов могут развивать скорость до 45 км/час, а меч-рыба – до 90 км/час. Здесь дело обстоит не только в абсолютных величинах скоростей. Ученые установили, что сопротивление дельфина, рассчитанное обычным для кораблестроения способом, оказывается примерно в 8...10 раз больше того, которое способна преодолевать мышечная система животного. Данное несоответствие, получившее название «парадокса Грея», объясняется по-разному.

В частности, некоторые исследователи считают, что кожный покров дельфина благодаря своей гладкости и эластичности, обусловленным свойствами не только самой кожи, но и толстого жирового подслоя, гасит или демпфирует возмущения в потоке воды, которые могли бы срывать ламинарный режим течения вблизи тела дельфина и переводить его в турбулентный. При ламинарном движении жидкости отдельные струйки – слои воды – текут параллельно, обтекая препятствие равномерными слоями, в отличие от турбулентного – вихревого, хаотичного движения. Таким образом, ученые считают вполне вероятным, что при обтекании кожи дельфина такие условия как раз и существуют [5].

Современным техническим решением управления пограничным слоем является вдув газообразной струи вдоль обтекаемой поверхности движущегося объекта. В частности, с помощью модели турбулентности учёными были выполнены численные исследования пограничного слоя на проницаемой поверхности при вдуве газа (гелия, воздуха, углекислого газа, фреона) в поток нагретого воздуха. В итоге, исследователи В. Г. Луцник и А. Е. Якубенко выработали методику влияния вдуваемого газа и газа

набегающего потока на зависимость трения и теплообмена от параметров вдува [6]. Данная методика может быть использована для расчёта пористого охлаждения теплонапряженных элементов конструкций.

Рассмотренные выше технические решения ламинаризации течения в пристенной области исследуемого объекта не являются единственными, ведь данному направлению уделяет внимание многие ученые в области гидрогазодинамики. При этом следует отметить что в настоящее время перспективными являются технические решения, направленные на конструктивные особенности объекта, так как они являются наименее энергозатратными в процессе эксплуатации исследуемого объекта. К таким решениям можно отнести применение проницаемых и полупроницаемых с демпфирующим эффектом поверхностей.

Хотя прошло более ста лет со времени создания Людвигом Прандтлем физической и математической моделей пограничного слоя, интерес к исследованию течений в пограничных слоях не угасает и поныне в концепции развития принципов ламинаризации потока в пристенной области твердой поверхности интересующих объектов. На время опубликования Л. Прандтлем модели пограничного слоя были известны и уравнения идеального движения Эйлера, и уравнения Навье-Стокса для описания динамики вязких течений, однако уравнения пограничного слоя Прандтля оказались вехой в механике жидкости и газа. При этом в то время теория пограничного слоя разделялась на две самостоятельные ветви науки – теоретическую, основанную на модели невязкого течения Эйлера, и экспериментальную гидродинамику и аэродинамику. Математическая теория невязкого течения, хотя и давала достоверную картину для отдельных типов течений, но не могла ответить на важные для практики вопросы – о сопротивлении тела при движении в жидкости, о теплопередаче между телом и движущейся жидкостью, о потерях давления при движении жидкости или газа в трубах или каналах. Теория пограничного слоя, методы которой нашли широкое применение в инженерной практике и решении многих прикладных задач ламинаризации течения в пристенной области объекта, представляет не столько рациональную систему знаний, сколько набор эмпирических фактов. Модель Прандтля объединила два самостоятельно развивавшихся раздела науки в единую науку. В итоге она позволила объяснить влияние трения на развитие течения и понять суть явления отрыва.

Необходимо отметить, что модель пограничного слоя стимулировала дальнейшие значительные исследования технических решений в области пристенных течений теоретического и экспериментального характера.

Таким образом, возникает необходимость развить акцентуальную базу исследовательских познаний в развитии новых технических решений направленных на исследование инновационных решений в области ламинаризации течений в области пристенных течений твердых гидроаэродинамических поверхностей с использованием теории пограничного слоя.

Список литературы

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. – М. : Наука, 1974. – 731 с.
2. Рманенко П. Н. Тепломассообмен и трение при градиентном течении жидкостей / П. Н. Рманенко. – М. : Энергия, 1971. – 568 с.
3. Денисов С. Указатель физических явлений и процессов: справочное пособие / С. Денисов. – М. : Машиностроение, 1979. – 128 с.
4. Шапиро Л. С. В разных направлениях / Л. С. Шапиро. – Л. : Судостроение, 1990. – 142 с.
5. Жуков В. Н. Физика в бою / В. Н. Жуков. – М. : Военное изд-во, 1967. – 142 с.
6. Лущик В. Г. Трение и теплообмен в пограничном слое на проникаемой поверхности при вдуве инородного газа / В. Г. Лущик, А. Е. Якубенко // Теплофизика высоких температур – Т. 43. – Вып. 6. – М. : РАН, 2005. – С. 880–887.

УДК 621.22

В. И. Эйдук

*Федеральное государственное унитарное предприятие
«Крыловский государственный научный центр» (Санкт-Петербург)*

И. Б. Друзь

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВРЕМЕННЫХ ПРИНЦИПОВ ЛАМИНАРИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЯ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ОБЪЕКТОВ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время вопросы, связанные с ламинаризацией течения вблизи твердых гидроаэродинамических поверхностей носят актуальный характер. Данное обстоятельство связано с необходимостью уменьшения сопротивления трения, которое способствует увеличению скорости движения объекта.

Современные представления о механизме сопротивления при движении текучей среды вдоль исследуемой поверхности основываются на теории пограничного слоя [1–5].

Более 100 лет назад Людвиг Прандтль положил начало теории, указав путь, сделавший доступным аналитическому исследованию течения среды с очень малой вязкостью, из которых наиболее важными в техническом отношении являются вода и воздух [6]. В итоге стало возможным учитывать действие вязкости только там, где оно проявляется существенным образом, а именно в тонком «пограничном слое» вблизи обтекаемой жидкостью и газом пристенной поверхности исследуемого объекта. Идея Людвиг Прандтля сделала доступными для исследования вопросы, связанные с сопротивлением, возникающим при обтекании жидкостью и газом твердых

поверхностей объектов военного назначения. На величину сопротивления существенное влияние оказывает силы трения в окрестности пристенной поверхности объекта связанные с наличием вязкости.

При движении объекта в водной и газообразной средах вблизи твердой поверхности характер пристенного течения меняется и становится турбулентным. Турбулентность потока приводит к увеличению сопротивления движения объекта и необходимости уменьшить коэффициент сопротивления поверхностного трения. Режим течения в пограничном слое существенно влияет на сопротивление трения. Определяющее влияние на снижение сопротивления трения оказывает пристенная турбулентность.

В результате с целью уменьшения сопротивления трения исследователи уделяют пристальное внимание пристенной турбулентности [7–9]. Известно, что кинетическая энергия турбулентного движения мала по сравнению с кинетической энергией осредненного движения потоков текучей среды в целом, поэтому воздействие на пристенную турбулентность требует небольших, по сравнению с воздействием на течение в целом, энергетических затрат. В итоге, снижение сопротивления потока на гидроаэродинамических поверхностях, за счет воздействия на пристенную турбулентность с целью ламинаризации течения является весьма эффективным.

В работе В. И. Корнилова [10] представлен аналитический обзор проблемы снижения турбулентного трения. В работе указано, что один из путей уменьшения составляющей сил трения базируется на совершенствовании формы объекта и улучшении качества отделки поверхности. Второй путь основан на использовании искусственных гидрогазодинамических принципах управления структурой пристенной турбулентности.

М. В. Устинов [11, 12] указывает на то, что предотвратить ламинарно-турбулентный переход можно двумя гидрогазодинамическими принципами ламинаризации течения вблизи поверхности объекта: активным, который позволяет изменить течение в пограничном слое; и пассивным, который основан на воздействии непосредственно на неустойчивые возмущения течения. При этом автор информирует, что некоторые исследователи называют пассивными гидрогазодинамическими принципами ламинаризации течения вблизи поверхности объекта, не требующие энергетических затрат, а активные – требующие их.

Иерархию управления турбулентным сдвиговым потоком с целью ламинаризации течения пограничного слоя вблизи гидроаэродинамической поверхности объекта можно увидеть на схеме (рисунок 1), заимствованной из работы ученых Lofdahl и Gad-el-Hak [13].



Рис. 1. Схема, иллюстрирующая иерархию управления турбулентным сдвиговым потоком

Из данной схемы (рисунок 1) следует, что наибольшее развитие получили активные принципы ламинаризации пограничного слоя в окрестности твердых поверхностей объектов военного назначения с целью управления ламинарно-турбулентным переходом, в основе которых в большинстве случаев лежит или система, отвечающая на какие-либо действия, или система с обратной связью, или наиболее совершенная – самонастраивающаяся система.

Активный принцип ламинаризации позволяет осуществить управление ламинарно-турбулентным переходом с помощью эффективных способов генерации возмущений в пограничном слое, а также умения правильно прогнозировать поведение возмущений.

В настоящее время разработано много различных способов подавления и усиления собственных возмущений потока, к которым относятся: организация вдува-отсоса на поверхности через отверстия или щели [14, 15]; генерация возмущений в потоке с помощью вибрирующей ленты (метод Шубауэра и Скрамстеда [16]); вибрация небольших участков поверхности мембранами [17, 18], системой нагревательных элементов [19–21]. Активное управление ламинаризацией потока возможно также с помощью применения микродатчиков и микроустройств при малых скоростях потока [22–24].

Однако и пассивные принципы ламинаризации не потеряли своего значения в основном по той причине, что при их использовании не требуется вкладывать энергию для достижения эффекта уменьшения сопротивления трения и интенсивности диссипации энергии в потоке жидкости и газа. Рабочая стоимость таких способов управления пограничным слоем много меньше, чем активных. К пассивным принципам ламинаризации потока вблизи поверхности объекта относятся способы создания таких условий в формировании среднего течения в пограничном слое, при которых возмущения затухают из-за большой устойчивости течения. Устойчивость течения определяется профилем скорости и её производных. Изменяя эпюры скорости, становится возможным пассивно влиять на устойчивость течения.

Пассивные способы управления пограничным слоем включают: влияние градиента давления на характер течения в пограничном слое; отсасывание пограничного слоя [25]; влияние центробежных сил, теплопередачи и шероховатости (применение риблетной поверхности [26 27]); использование реологических свойств жидкости в пограничном слое (применение высокомолекулярных полимерных добавок [28]), поверхности с хаотической микроструктурой [29], гибких поверхностей и пористых покрытий.

В результате все гидрогазодинамические принципы ламинаризации течения вблизи поверхностей объектов военного назначения можно разделить на две группы: воздействующие на среднее течение и воздействующие на возмущения потока. Кроме того, разработаны и специфические методы воздействия на поток пограничного слоя, которые могут иметь в том числе комбинацию ранее известных. Метод поглощения акустических возмущений звукопоглощающим покрытием один из таких методов [30], а также метод применения перфорированной поверхности с отверстиями одинаковой геометрической формы на поверхности обтекаемой жидкостью и газом вблизи окрестности гидродинамической и аэродинамической поверхностей.

В технической литературе наиболее хорошо исследована ламинаризация стационарных и нестационарных пристеночных слоев пограничного слоя под воздействием отрицательного продольного градиента давления, которая сопровождается значительным (до 50 ... 70%) снижением интенсивности теплоотдачи при одновременном возрастании, по сравнению с безградиентным течением, коэффициента сопротивления трения. Так в научных трудах Ковальногова Н. Н. и Хахалевой Л. В. экспериментально обнаружено существенное (до 35%) снижение коэффициента сопротивления трения в перфорированной трубе с глухими демпфирующими полостями, которое объяснили ламинаризацией пограничного слоя. При этом прямого измерения турбулентных характеристик потока в указанных работах не приводится.

Работы Калугина В.Т., Епихина А.С. и Чернухи П.А. по исследованию влияния перфорации для снижения пульсационных нагрузок на поверхно-

сти объекта показали, что использование перфорированной поверхности, представленной отверстиями в виде окружности способствуют уменьшению турбулентных пульсаций на 40 % при степени перфорации 30% [31]. Данные результаты свидетельствуют о том, что применение перфорации снижает динамическую нагрузку на поверхности объекта.

Изыскания в области создания перфорированной поверхности показали, что задача о воздействии на пристенную турбулентность решена не полностью. В частности, перфорированные отверстия одинаковой формы на исследуемой поверхности не значительно способствуют снижению коэффициента сопротивления трения и интенсивности диссипации энергии в потоке жидкости или газа. Решить данную проблему может задача создания перфорированной поверхности с отверстиями комбинированной геометрии и глухой демпфирующей полостью под ними (рисунок 2).

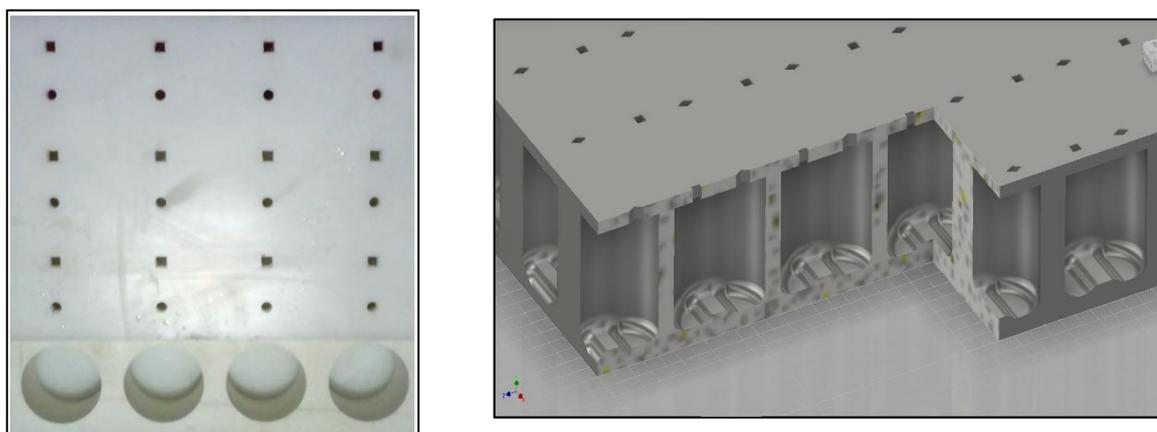


Рис. 2. Перфорированная гидроаэродинамическая поверхность с отверстиями комбинированной геометрии и глухой демпфирующей полостью под ними

Исследование и анализ влияния состояния пограничного слоя объекта военного назначения, на гидродинамические и аэродинамические характеристики среды при решении технических задач существенным образом упрощает задачу подбора высокоэффективного гидрогазодинамического принципа ламинаризации течения вблизи поверхности объектов с целью управления пограничным слоем потока, а также позволяют осуществить разработку моделей направленных на совершенствование известных технических решений.

В связи со всем вышесказанным представляется актуальным решить проблему целесообразности сочетания отверстий разной геометрической формы на перфорированной поверхности и расположенной ниже глухой демпфирующей полостью для уменьшения сопротивления трения и интенсивности диссипации энергии в потоке жидкости и газа. Также необходимо рассмотреть пространственную ориентацию комбинированных отверстий на поверхности объекта.

В работах [32–34] авторы уделяют внимание решению указанных выше задач. Результаты свидетельствуют о целесообразности применения перфорированной поверхности, представленной комбинированными по форме геометрическими отверстиями с расположенной ниже демпфирующей полостью, с целью ламинаризации течения вблизи гидроаэродинамических поверхностей объектов военного назначения.

Подводя окончательный итог, отметим, что в настоящее время прогресс в области развития кораблестроения и авиационного развития летательных аппаратов, одной из главных целей которой является уменьшение сопротивления трения вблизи гидроаэродинамических поверхностей, и как следствие увеличение маневренности и улучшение гидроаэродинамических характеристик объектов военного назначения, а именно, скорости и продолжительности движения, связывают с решением нескольких физических проблем, а именно: ламинаризацией течения при обтекании пристенной области гидроаэродинамической поверхности объекта; пониманием возможности управления отрывом потока на обтекаемой поверхности; управлением структурой турбулентного течения различными гидрогазодинамическими принципами ламинаризации течения вблизи исследуемой поверхности объекта. Данные вопросы могут быть решены, в том числе, и с помощью перфорационно-демпфирационного принципа ламинаризации течения при обтекании средой гидроаэродинамических поверхностей объектов военного назначения ВМФ РФ.

Список литературы

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: изд-во «Наука», 1974. – 800 с.
2. Чжен П. Отрывные течения. – Т. 1. – М.: МИР, 1972. – 300 с.
3. Чжен П. Отрывные течения. – Т. 2. – М.: МИР, 1973. – 281 с.
4. Чжен П. Отрывные течения. – Т. 3. – М.: МИР, 1973. – 334 с.
5. Плоткина В. А. Отчет НИР № 633/2015–2017 «Исследование влияния состояния пограничного слоя объекта на гидродинамические и аэродинамические характеристики среды при решении технических задач» / Карасев В. В., Стародубцев П. А. // ФГБОУ ВПО «Дальрыбвтуз» – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017. – 99 с.
6. Плоткина В. А., Стародубцев П. А. История развития теории пограничного слоя (XIX – XX века) // История науки и техники. – М.: Изд-во «Научтехлитиздат», 2014. – № 4. – С. 3–12.
7. Кутателадзе С. С. Пристенная турбулентность – Новосибирск: Наука, 1973. – 227 с.
8. Джорогова Е.В. Исследование пристенной турбулентной струи и турбулентного течения в криволинейном канале по обобщенной теории Кармана: автореф. к. физ.-мат. н. – Ленинград, 1984. – 106 с.

9. Рошкеттаев А. П. Исследование нелинейных механизмов порождения турбулентности в переходном пограничном слое. Возможность создания детерминированной пристенной турбулентности: дис. к. физ.-мат. н. – Новосибирск: РАН СО ИТиПМ, 2005. – 232 с.
10. Корнилов В. И. Проблемы снижения турбулентного трения активными и пассивными методами (обзор) // Теплофизика и аэромеханика – Т. 12. – № 2. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2005. – С. 183–208.
11. Устинов М. В. Ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое (обзор). Часть 1. Основные виды ламинарно-турбулентного перехода на стреловидном крыле // Ученые записки ЦАГИ – Т. XLIV. – № 1. – Жуковский: ЦАГИ, 2013. – С. 3–43.
12. Устинов М. В. Ламинарно-турбулентный переход в пограничном слое (обзор). Часть 2. Расчет положения перехода и методы ламинаризации обтекания крыла // Ученые записки ЦАГИ – Т. XLV. – № 6. – Жуковский: ЦАГИ, 2014. – С. 3–27.
13. Lofdahl L., Gad-el-Hak M. MEMS applications in turbulence and flow control // Progress in Aerospace Sci, 1999. – V. 35. – P. 101–203.
14. Biringen S. Active control of transition by periodic suction blowing // Phys. Fluids, 1984. – V. 27. – № 6. – P. 1345–1355.
15. Danabasoglu G., Biringen S., Streett C. L. Spatial simulation of instability control by periodic suction blowing // Phys. Fluids A., 1991. – Vol. 3 – № 9 – P. 2138-2147.
16. Schubauer G. B., Skramstad H. K. Laminar-boundary layer oscillations and transition on a flat plate // NACA TN 909, 1948.
17. Milling R. W. Tollmien-Schlichting wave cancellation // Phys. – V. 24. – № 5. – Fluids, 1981. – P. 979–981.
18. Thomas A. S. W. The control of boundary-layer transition using a wave-superposition principle – V. 137. – J. Fluid Mech, 1983. – P. 233–250.
19. Bayliss A., Maestrello L., Parikh P., Turkel E. Numerical simulation of boundary-layer excitation by surface heating/cooling // AIAA. – V. 24. – J., 1986. – P. 1095–1101.
20. Liepmann H. W., Brown G. L., Nosenchuk D. M. Control of laminar instability waves using a new technique – V. 118. – J. Fluid Mech, 1982. – P. 187–200.
21. Liepmann H. W., Nosenchuk D. M. Active control of laminar-turbulent transition – V. 118. – J. Fluid Mech, 1982. – P. 201–204.
22. Ho C.-M. Interaction between fluid dynamics and new technology // 1-st Internat. Conf. Flow Interaction cum Exhibition/Lectures on Interaction of Science & Art (SCART'94) / Ed. by N. W. M. Ko, H. E. Fiedler, B. H. K. Lee. – Hong Kong, 1994. – P. 1–8.
23. Ho C.-M., Tai Y.-C. MEMS: Science and technology // Application of Microfabrication to Fluid Mechanics / Ed. By P. R. Bandyopadhyay, K. S. Breuer, C. J. Blechinger: V. FED-197. – ASME, 1994. – P. 39–48.

24. Ho C.-M., Tai Y.-C. Micro-electro-mechanical systems (MEMS) and fluid flows // *Ann. Rev.* – V. 30. – Fluid Mech, 1998. – P. 579–612.

25. Бойко А. В., Грек Г. Р., Довгаль А. В., Козлов В. В. Возникновение турбулентности в пристенных течениях – Новосибирск: Наука Сиб. предприятие РАН, 1999. – 328 с.

26. Samira Sayad Saravi, PhD Kai Cheng. A review of drag reduction by riblets and micro-textures in turbulent boundary layers // *European Scientific Journal* November 2013 edition. – V. 9. – № 33 – ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857-7431. – P. 62–81.

27. Чернорай В. Г., Литвиненко Ю. А., Козлов В. В., Лефдаль Л., Грек Г. Р., Чун Х. Х. Управление трансформацией А-структуры в турбулентное пятно с помощью риблет. – Т. 12. – № 4. – Новосибирск: Теплофизика и аэромеханика, 2005. – С. 575–585.

28. Воропаев Г. А. Структура турбулентного пограничного слоя при совместном использовании деформирующейся поверхности и полимерных добавок слабой консистенции / Н. Ф. Димитриева, Я. Ф. Загуменный – Т. 15. – № 2. — Киев: Прикладная гидромеханика, 2013. – С. 3–12.

29. Брутян М. А. Влияние фрактальной микроструктуры обтекаемой поверхности на характеристики турбулентного пограничного слоя / В. П. Будаев, А. В. Волков, А. М. Житлухин, А. В. Карпов, Н. С. Климов, И. С. Меньшов, В. Л. Подковыров, А. Ю. Урусов, А. А. Успенский, М. В. Устинов // *Ученые записки ЦАГИ* – Т. XLIV. – № 4. – Жуковский: изд. Центральный аэрогидродинамический институт им. профессора Н. Е. Жуковского, 2013. – С. 15–30.

30. Кириловский С. В. Управление возмущениями гиперзвукового вязкого ударного слоя с учетом реальных свойств газа: дис. к. физ.-мат. н. [Текст]. – Новосибирск, 2014. – 115 с.

31. Плоткина В. А. Расчетно-экспериментальное исследование сопротивления трения аэродинамической поверхности летательного аппарата / П. А. Стародубцев, Е. Н. Бакланов // *Журнал «Двойные технологии»* – № 4(84). – Юбилейный, 2018. – С. 47–52.

32. Плоткина В. А. Модельные исследования технологии создания перфорированной конструкции обшивки летательного аппарата / П. А. Стародубцев, Р. Н. Алферов // *Научный журнал СФУ. Техника и технологии.* – Т. 1. – № 2. – Красноярск, 2018. – С. 198–212.

33. Плоткина В. А. Математическая формулировка задачи моделирования перфорированной поверхности с комбинированными отверстиями и расположенной ниже демпфирующей полостью / П. А. Стародубцев, Е. Н. Бакланов // *Журнал «Двойные технологии»* – № 2(83). – Юбилейный, 2018. – С. 17–24

34. Плоткина В. А. Исследование влияния шероховатости трех видов поверхности на параметры течения в турбулентном пограничном слое / П. А. Стародубцев // *«Труды военно-космической академии имени А. Ф. Можайского».* – Вып. 660. – СПб, 2018. – С. 225–233.

РЕФЕРАТЫ

УДК 004:378:629.5.083.5

Использование системы электронного обучения «КУРС» в преподавании дисциплин «Технология судоремонта» и «Технология технического обслуживания и ремонта судов» / С. В. Ворохобин // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Рассматриваются вопросы электронного обучения (e-learning) и использование системы электронного обучения в преподавании дисциплин «Технология судоремонта» и «Технология технического обслуживания и ремонта судов» в Морском государственном университете им. адм. Г. И. Невельского.

Библиогр.4, ил. 4

УДК 621.879:629.5.083.5

Опорное устройство крана / А. В. Арон, В. А. Васильченко // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Предложена конструкция крана с поворотной платформой, предназначенного для выполнения грузовых работ в доке с винто-рулевым комплексом судна. Преимущество предлагаемой конструкции позволяет работать крану в стесненных условиях дока и обеспечивает его всепогодность и экономичность использования.

Библиогр.3, ил. 1.

УДК 62-121 : 621.316.7

Система учёта данных о расходе топлива / И. И. Кулешов, И. И. Чернаткин // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

В работе приведено описание устанавливаемых в настоящий момент систем учёта данных о расходе топлива на судах. Данные системы устанавливаются в обязательном порядке на судах валовой вместимостью более 5000 в целях соответствия судна правилу 22А Приложения VI МК МАРПОЛ, введённому резолюцией МЕРС.278(70). Данная система является комплексом для сбора данных об обороте топлива на судне и учёте его количества, которое должно отражаться во второй части плана управления энергоэффективностью судна.

Библиогр.5, ил. 6.

УДК 621.43:004.62

Оценка эффективности способов очистки деталей топливной аппаратуры судовых ДВС / А. В. Ходаковская // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Приведены результаты исследования по оценке эффективности способов очистки деталей топливной аппаратуры судовых ДВС. Сделан вывод, что наилучшая очистка образца от загрязнений тяжёлым топливом достигается при его мойке в растворе технического средства «РИК-М» в ультразвуковой ванне.

Библиогр. 2.

УДК 621.899:621.436

Моделирование влияния параметров запаса качества масла по моторной группе и глубине очистки от нерастворимых примесей при его регенерации на изнашивание деталей дизеля / В. В. Тарасов, Е. П. Патенкова // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Разработаны математические модели влияния на износ дизеля с учётом параметров щёлочности и зольности масел. Даны рекомендации по обеспечению требуемой глубины очистки отработанных моторных масел от механических примесей в зависимости от их качества (моторной группы) с целью сохранения присадок в остаточной активной форме, которые частично компенсируют их расход на поддержание в высокодисперсном состоянии нерастворимой фазы с повышенной концентрацией мелкодисперсных механических примесей.

Библиогр. 10, ил. 10.

УДК 629.5.035

Влияние человеческого фактора на качество ремонта и надёжность работы тонкостенных подшипников дизеля // А. Н. Соболенко, В. В. Маницын // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Рассмотрена аварийная ситуация из-за отказов рамовых подшипников дизеля 8NVD 48A2-U сразу же после ремонта. Как было установлено произошла потеря натяга в подшипниках дизеля, вызванная некачественно выполненным его ремонтом. Кроме того, не была сделана ревизия подшипников коленчатого вала после ходовых испытаний. То есть люди выполнявшие ремонт отнеслись к нему непрофессионально и халатно. Негативно сработал человеческий фактор.

Библиогр. 9, ил. 2.

УДК 665.765:621.436:629.5

Оценка адекватности эксплуатационных свойств регенерированных отработанных моторных масел при их использовании в судовых дизелях на основе экспериментально-статистического моделирования / В. В. Тарасов, Е. П. Патенкова // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Приведены результаты износных испытаний на машине трения СМЦ-2 загрязнённых нерастворимыми продуктами регенерированных отработанных моторных масел. Экспериментальным моделированием получена зависимость износных свойств отработанных масел от уровня их регенерации по нерастворимым механическим примесям и исходных эксплуатационных свойств, заданных моторной группой.

Библиогр. 11, ил. 4.

УДК 669.018.25:669.248

Исследование структуры и свойств износостойких покрытий из самофлюсующихся порошковых сплавов на основе никеля / А.Д. Юзов //

Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

В статье проанализированы результаты исследований структуры и свойств износостойких покрытий из самофлюсующихся порошковых сплавов на основе никеля марок ПГ-12Н-01, ПГ-12Н-02, ПР-Н77Х15СЗР2.

Библиогр. 2, ил. 4.

УДК 621.43:629.5

Технологические решения и методы оптимизации вредных выбросов судовых двигателей внутреннего сгорания / Н. Н. Таращан, Б. Н. Воробьев, Л. А. Семенюк // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Требования Международной Конвенции МАРПОЛ 73/78 устанавливают жёсткие, строго регламентируемые требования к мировым судоходным компаниям и предписывают повсеместно рассматривать и оптимизировать пути уменьшения вредных выбросов в окружающую среду при сжигании различных судовых топлив.

Библиогр. 5, ил. 1.

УДК 621.43:629.5

Особенности организации рабочего процесса главного судового двигателя серии ME (на примере двигателя 7S60 ME-C) / Н. Н. Таращан, М. И. Тарасов, Л. А. Семенюк // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Современные условия эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания устанавливают жёсткие требования по снижению выбросов окислов азота и сернистых соединений в отработанных газах. Одним из способов решения этой проблемы является применения на судах морского и речного флота судовых двигателей с электронным управлением.

Библиогр. 4, ил. 9.

УДК 665.765:629.5.03

Основные направления регенерации отработанного моторного масла, способы и параметры процесса их реализации с использованием штатного оборудования систем СЭУ / В. В. Тарасов, П.В. Кулямов // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Несмотря на достаточное количество производимых моторных минеральных масел, потребители постоянно испытывают в них недостаток. Это является следствием высокой стоимости моторных масел и направленного их использования в жёстких эксплуатационных условиях высокофорсированных дизелей. Минеральные моторные масла имеют высокую стабильность по основным физико-химическим показателям, а также некоторую устойчивость по углеводородному составу, что позволяет их регенерировать до уровня свежих товарных масел.

Библиогр. 12, ил. 2.

УДК 621.89:621.431-729.3

Комплексное повышение эффективности смазочных систем дизелей – рациональный метод использования и экономии горюче-смазочных материалов на флоте/ Р. Р. Симашов, Д. К. Глазюк, В. В. Маницын // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Показаны пути совершенствования топливо- и маслоиспользования на судах. Представлено комплексное повышение эффективности смазочных систем судовых дизелей за счёт улучшения эксплуатационных свойств моторных масел и комбинированной очистки фильтрованием и центрифугированием.

Библиогр. 10.

УДК 621.125.001.4

Влияние эксплуатационных факторов на параметры рабочего процесса судовых газотурбинных двигателей / [А. В. Семенюк, Л. А. Семенюк, Н. Н. Таращан // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Проведено исследование по определению перечня эксплуатационных факторов, влияющих на параметры рабочего процесса судовых газотурбинных двигателей. Установлена связь между изменением этих параметров и изменением параметров рабочего процесса двигателей.

Библиогр. 6.

УДК 621.43.013:629.3

Комплексное повышение эффективности системы смазки судовых вспомогательных дизелей иностранного производства / Г. П. Кича, Л. А. Семенюк, О. В. Осипов // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Рассмотрено комплексное совершенствование масляных систем судовых среднеоборотных дизелей средней мощности с высоким наддувом с целью сохранить их ресурсные показатели и показатели надёжности на уровне, характерном для использования лучших образцов зарубежных масел и самых современных маслоочистителей. Проведён анализ работы созданной системы тонкой очистки масла, которая эффективно работает в самых тяжёлых условиях, характерных для условий эксплуатации при использовании в форсированных дизелях масел группы В.

Библиогр. 5.

УДК 621.436.72

Принципы оснащения агрегатами очистки систем смазки судовых тронковых дизелей, работающих на различных по качеству сортах топлив / О. В. Осипов // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

В излагаемом материале представлены системы и средства очистки моторного масла в системах смазки судовых тронковых дизелей повышенной мощности, работающих

на высоковязких низкосортных топливах. Использование высокоэффективных систем очистки позволяет невелировать негативное влияние использования топлив такого качества на моторесурс и надёжность судовых дизелей.

Ил. 6.

УДК 621.43

Составляющие расхода масла на угар в судовых дизелях / М. И. Тарасов, Л. А. Семенюк, Н. Н. Таращан // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Приведен метод расчёта потерь смазочного масла на угар в двигателе в общем виде, а так же его составляющие. Приведена схема автоматизации потребителей смазочного масла для оценки составляющих в V-образных двигателях. Выведены средние значения каждой из составляющих потерь смазочного масла на угар для высоко- и среднеоборотных дизелей.

Библ. 6, ил. 3.

УДК 621.43

Определение расхода масла на угар в судовых дизелях / М. И. Тарасов // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Приведены методы измерения потерь смазочного масла на угар в судовом двигателе внутреннего сгорания. Проведено сравнение методов определения расхода масла на угар. Приведено описание устройства и метод измерения расхода масла на угар в судовых и других тронковых двигателях.

Библ. 6, ил. 2.

УДК 621.431.74

Анализ опыта создания газомоторных двигателей / А. Н. Соболенко // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

Рассмотрены созданные двигатели, работающие на газомоторном топливе с внешним смесеобразованием и внутренним смесеобразованием. Описаны двигатели, работающие на основном газовом топливе с форкамерно-факельным воспламенением от искры, а также от запального жидкого топлива. Рассмотрены системы питания двигателей с форкамерно-факельным зажиганием, а также двухтопливных двигателей.

Библ. 10, ил. 4.

УДК 621.436:629.5

К вопросу об оценке нагрузки судовых малооборотных дизелей / Г. В. Кузьменко, А. А. Панасенко // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

В статье показана необходимость периодической оценки нагрузки двигателя для предупреждения вероятности появления отказов. Также уделяется внимание в отношении правильной организации контроля за характером нагрузки двигателя и за дозировкой цилиндрического масла с учётом качества применяемого топлива и масла.

Даны рекомендации по оценке скорости износа поверхностей трения по показателю PPM, и рекомендации по контролю остаточной щёлочности пробы масла по показателю TBN.

Библ. 5, ил. 2.

УДК 621.22

Технические решения ламинаризации течения в пристенной области объекта / В. И. Эйдук, И.Б. Друзь // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

В статье рассматриваются современные достижения, состояние и перспективы исследований по проблеме снижения турбулентного трения. Особое внимание уделяется техническим решениям ламинаризации течения в пристенной области исследуемого объекта. Показывается необходимость совершенствования принципов ламинаризации течения в приложении теории пограничного слоя.

Библ. 6, ил. 3.

УДК 621.22

Теоретические основы современных принципов ламинаризации течения вблизи поверхности объектов военного назначения / В. И. Эйдук, И.Б. Друзь // Вестник Морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2018. – Вып. 83/2018.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с ламинаризацией течения вблизи твердых гидроаэродинамических поверхностей. Представления о механизме сопротивления при движении текучей среды вдоль исследуемой поверхности основываются на теории пограничного слоя. Гидрогазодинамические принципы ламинаризации течения вблизи поверхностей объектов военного назначения делятся на две группы: воздействующие на среднее течение и воздействующие на возмущения потока. Прогресс в области развития кораблестроения и авиационного развития летательных аппаратов связывают с решением ламинаризацией течения при обтекании пристенной области гидроаэродинамической поверхности объекта; пониманием возможности управления отрывом потока на обтекаемой поверхности; управлением структурой турбулентного течения различными гидрогазодинамическими принципами.

Библ. 34, ил. 2.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ворохобин С. В.</i> Использование системы электронного обучения «КУРС» в преподавании дисциплин «Технология судоремонта» и «Технология технического обслуживания и ремонта судов».....	3
<i>Арон А. В., Васильченко В. А.</i> Опорное устройство крана.....	9
<i>Кулешов И. И., Чернаткин И. И.</i> Система учёта данных о расходе топлива	12
<i>Ходаковская А. В.</i> Оценка эффективности способов очистки деталей топливной аппаратуры судовых ДВС.....	20
<i>Тарасов В. В., Патенкова Е. П.</i> Моделирование влияния параметров запаса качества масла по моторной группе и глубине очистки от нерастворимых примесей при его регенерации на изнашивание деталей дизеля.....	22
<i>Соболенко А. Н., Маницын В. В.</i> Влияние человеческого фактора на качество ремонта и надёжность работы тонкостенных подшипников дизеля.....	35
<i>Тарасов В. В., Патенкова Е. П.</i> Оценка адекватности эксплуатационных свойств регенерированных отработанных моторных масел при их использовании в судовых дизелях на основе экспериментально-статистического моделирования.....	39
<i>Юзов А. Д.</i> Исследование структуры и свойств износостойких покрытий из самофлюсующихся порошковых сплавов на основе никеля.....	51
<i>Таращан Н. Н., Воробьев Б. Н., Семенюк Л. А.</i> Технологические решения и методы оптимизация вредных выбросов судовых двигателей внутреннего сгорания.....	57
<i>Таращан Н. Н., Тарасов М. И., Семенюк Л. А.</i> Особенности организации рабочего процесса главного судового двигателя серии ME (на примере двигателя 7S60 ME-C).....	63
<i>Тарасов В. В., Кулямов П. В.</i> Основные направления регенерации отработанного моторного масла, способы и параметры процесса их реализации с использованием штатного оборудования систем СЭУ.....	70

<i>Симашов Р. Р., Глазюк Д. К., Маницын В. В.</i> Комплексное повышение эффективности смазочных систем дизелей – рациональный метод использования и экономии горюче-смазочных материалов на флоте.....	78
<i>Семенюк А. В.</i> , <i>Семенюк Л. А., Таращан Н. Н.</i> Влияние эксплуатационных факторов на параметры рабочего процесса судовых газотурбинных двигателей.....	84
<i>Кича Г. П., Семенюк Л. А., Осипов О. В.</i> Комплексное повышение эффективности системы смазки судовых вспомогательных дизелей иностранного производства.....	89
<i>Осипов О. В.</i> Принципы оснащения агрегатами очистки систем смазки судовых тронковых дизелей, работающих на различных по качеству сортах топлив.....	98
<i>Тарасов М. И., Семенюк Л. А., Таращан Н. Н.</i> Составляющие расхода масла на угар в судовых дизелях.....	107
<i>Тарасов М. И.</i> Определение расхода масла на угар в судовых дизелях	112
<i>Соболенко А. Н.</i> Анализ опыта создания газомоторных двигателей..	116
<i>Кузьменко Г. В., Панасенко А. А.</i> К вопросу об оценке нагрузки судовых малооборотных дизелей.....	127
<i>Эйдук В. И., Друзь И. Б.</i> Технические решения ламинаризации течения в пристенной области объекта.....	132
<i>Эйдук В. И., Друзь И. Б.</i> Теоретические основы современных принципов ламинаризации течения вблизи поверхности объектов военного назначения	138
Рефераты.....	139

Научное издание

ВЕСТНИК МОРСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Серия СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ
Вып. 83 / 2018

8,813 уч.-изд. л.
Тираж экз.

Формат 60 × 84 ¹/₁₆
Заказ № 036

Отпечатано в типографии ИПК МГУ имени адмирала Г. И. Невельского
Владивосток, 59, ул. Верхнепортовая, 50а