

# СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-718-726

## THE RESULTS OF OPERATIONAL TESTS OF THE SELF-REGENERATING FILTER IN SHIP DIESELS AS PART OF A COMBINED OIL-CLEANING COMPLEX

**G. P. Kicha, A. V. Nadezkin, S. P. Boyko**

Maritime state university named after adm. G. A. Nevelskoy,  
Vladivostok, Russian Federation

*Automation of ship power plants, the growth of their aggregate power, the use of low-grade fuels and engine oils with a change by the rejection indicators cause the use of oil cleaners with a long battery life. Self-regenerating filter of SRF-60 type has a high maintenance-free service life, up to 5 thousand hours, reliably protects friction pairs (bearings) from abrasive wear, and is capable to process up to 100 m<sup>3</sup>/h of oil in the full-flow circuit. A brief description of its structure and functioning is given. Deep cleaning of oil from the abrasive fine-dispersed ash products is entrusted to a centrifuge with an external jet drive. A scheme for the complete processing of the filter's flushing oil, which contributes to more efficient regeneration of its filtering elements due to the heightened rate of sediment washout by reverse flow, has been proposed. The results of operational tests of the combined oil purification complex, including a self-regenerating filter and a centrifuge, are presented. The combined engine oil purification system, including the self-regenerating module SRF-60 for cleaning the full oil flow and the centrifuge MCN-9NS for cleaning the flushing oil, is tested in the engine lubrication system 6ChN32/35. A comparison of automated and regular cleaning the engine oil is given in terms of effect on its aging and the diesel engine state, which indicates the superiority of this combination over the cleaning system with a full-flow filter of nonwoven materials, manifested in decreasing the wear of the engine main friction units and carbon deposits on the pistons by 30–60% and increasing the service life of the engine oil by 1.5–2.3 times. The experiment have showed that, in a forced engine, the products of oil aging in the form of carbenes and carboids, cemented by asphaltenes with impurities from diesel wear and ash additives actuation, are effectively removed by the proposed combined oil-cleaning complex.*

*Keywords: Self-regenerating filter, filtration, centrifuge, centrifugation, oil purification, combined oil cleaning complex.*

### For citation:

Kicha, Gennadij P., Andrej V. Nadezkin, and Sergey P. Boyko. "The results of operational tests of the self-regenerating filter in ship diesels as part of a combined oil-cleaning complex." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.4 (2019): 718–726. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-718-726.

УДК 621.431.74-729.3

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩЕГОСЯ ФИЛЬТРА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННОГО МАСЛООЧИСТИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

**Г. П. Кича, А. В. Надежкин, С. П. Бойко**

ФГБОУ ВО «Морской государственный университет им. адм. Г. И. Невельского»,  
Владивосток, Российская Федерация

*Отмечается, что автоматизация судовых энергетических установок, рост их агрегатной мощности, использование низкосортных топлив и моторных масел со сменой по браковочным показателям обуславливают применение маслоочистителей с длительным ресурсом автономной работы. Рассмотрен саморегенерирующийся фильтр типа СРФ-60, имеющий высокий ресурс необслуживаемой работы, вплоть*

до 5 тыс. ч, и надежно защищающий пары трения (подшипники) от абразивного изнашивания, способный обрабатывать по полнопоточной схеме до 100 м<sup>3</sup>/ч масла. Приведено краткое описание его устройства и функционирования. При этом глубокая очистка масла от абразивных мелкодисперсных зольных продуктов возложена на центрифугу с наружным реактивным приводом. Предложена схема полной обработки промывочного масла фильтра, что способствует более эффективной регенерации его фильтровальных элементов из-за повышенной скорости смыва отложений обратным потоком. Приведены результаты эксплуатационных испытаний комбинированного маслоочистительного комплекса, включающего саморегенерирующийся фильтр и центрифугу. Отмечается, что комбинированная система очистки моторного масла, включающая саморегенерирующийся модуль СРФ-60 для очистки полного потока масла и центрифугу МЦН-9НС для очистки промывочного масла, испытывалась в системе смазки двигателя 6ЧН32/35. Приведено сравнение автоматизированной и штатной очистки моторного масла по влиянию на его старение и состояние дизеля, которое указывает на превосходство этого сочетания над системой очистки с полнопоточным фильтром из нетканых материалов, выраженное в снижении изнашивания основных трибосопряжений двигателя и нагаролакообразования на поршнях на 30–60 % и увеличении срока службы моторного масла в 1,5–2,3 раза. Эксперимент показал, что в форсированном двигателе продукты старения масла в виде карбенов и карбонидов, сцементированных асфальтенами с примесями от изнашивания дизеля и срабатывания зольных присадок, эффективно удаляются предложенным комбинированным маслоочистительным комплексом.

*Ключевые слова:* саморегенерирующийся фильтр, фильтрование, центрифуга, центрифугирование, очистка масла, комбинированный маслоочистительный комплекс.

**Для цитирования:**

Кича Г. П. Результаты эксплуатационных испытаний саморегенерирующегося фильтра в судовых дизелях в составе комбинированного маслоочистительного комплекса / Г. П. Кича, А. В. Надежкин, С. П. Бойко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 718–726. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-718-726.

### **Введение (Introduction)**

Анализ качества очистки моторного масла (ММ) в двигателях внутреннего сгорания показал, что полнопоточные фильтры тонкой очистки, являющиеся основным агрегатом большинства систем смазки судовых дизельных энергетических установках, не обеспечивают эффективное удаление нерастворимых примесей (НРП) [1]. В последнее время, после того как переработка нефти стала более «глубокой», в судовых дизелях средней и повышенной частоты вращения начали применять низкосортное топливо. Сжигание в судовых дизельных энергетических установках низкосортного топлива увеличивает скорость загрязнения моторного масла абразивными НРП вследствие поступления в систему смазки алюмосиликатов и продуктов каталитического крекинга нефтепродуктов [2]. Рост агрегатной мощности двигателя при повышенном наддуве ускоряет интенсивность износа пар трения судовых дизелей, снижая тем самым срок их службы.

Для автоматизированных судовых дизельных энергетических установок комбинированная система тонкой очистки масла (КСТОМ), включающая саморегенерирующийся фильтр (СРФ), является наиболее предпочтительной [3], [4]. В автоматизированных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) для очистки ММ получают распространение саморегенерирующиеся фильтры, которые за счет автоматизированного удаления отложений с фильтрующих элементов (ФЭ) способны в течение длительного времени функционировать без обслуживания [4]. Примером компактной комплектации и работы в непрерывном режиме регенерации может выступать маслоочиститель СРФ-60 конструкции Морского государственного университета им. адм. Г. И. Невельского, который прошел испытания на лабораторном стенде, показав высокую эффективность при работе в комбинации с центрифугой или центробежным сепаратором [3], [5]. Для обеспечения ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых форсированных тронковых дизелях большой интерес представляют результаты эксплуатационных испытаний СРФ-60 в системе смазки дизеля с повышенной частотой вращения, тонкостенные вкладыши подшипников которого очень чувствительны к абразивным частицам механических примесей, образующихся в циркуляционном масле при использовании в двигателе низкосортных топлив.

### Методы и материалы (Methods and materials)

Моторные испытания комбинированного маслоочистительного комплекса, включающего фильтр СРФ-60 и центрифугу с напорным сливом МЦН-9НС (данные приведены в таблице), проводились в дизеле Vasa32 (6ЧН32/35). Мощность двигателя на номинальном режиме его работы ( $n_d = 10 \text{ с}^{-1}$ ) при среднем эффективном давлении газов в цилиндре  $p_{me} = 2,3 \text{ МПа}$  составляла  $P_e = 2425 \text{ кВт}$ . Эксплуатационный эксперимент на судне проводился с использованием моторного масла М-14-Д<sub>2</sub>(цл30) (ГОСТ 12337–84), высокие функциональные характеристики которого обусловлены применением термостойких многофункциональных присадок МАСК и ПМС, не уступающих по эксплуатационным свойствам современным зарубежным аналогам [6], [7]. В качестве топлива применяли топочный мазут 40, IV вида (ГОСТ 10585–99), который содержал 1,7–2 % серы. Угар масла при средней нагрузке на двигатель составил 0,83–0,89 г/(кВт·ч). Чистку ротора центрифуги выполняли через 250 ч работы. Объем масла в сточно-циркуляционной системе составил 1200 дм<sup>3</sup>. Высокий уровень автоматизации системы смазки дизеля достигается применением для очистки масла СРФ [1], [3]. Для рассматриваемого дизеля наиболее приемлемым является маслоочиститель СРФ-60, функционирующий в режиме непрерывной регенерации фильтрующих элементов (ФЭ) [6].

#### Эффективность очистки масла М-14-Д<sub>2</sub>(цл30) в дизеле 6ЧН32/35

Показатель	ФТОМП	СРФ-60+ МЦН-9НС
<i>Оценка состояние моторного масла</i>		
Концентрация нерастворимых продуктов, %:		
– общих	3,8±0,3	1,2±0,1
– зольных	0,48±0,07	0,29±0,04
Содержание смол, %	7,2±1,3	6,1±1,1
Степень окисления, %	12,6±1,1	8,0±0,7
Щелочность ММ, мг кон. / г	8,9±0,7	12,7±1,1
Содержание несработавшихся присадок, %	27±2*	39±3
Диспергирующая способность масла, отн. ед.	0,48±0,05	0,56±0,06
Средний угара масла	1460±42	1450±40
<i>Скорость старения масла, г/ч</i>		
Накопление нерастворимых продуктов:		
– общих	61±4	58±3
– зольных	8,2±0,5	7,6±0,5
– окисления	187±12	126±8
– смолообразования	107±8	91±6
Срабатывание присадок по щелочности**, г кон./ч	43,7±6,2	38,1±5,4
<i>Эффективность маслоочистителей</i>		
Интенсивность очистки от нерастворимых продуктов, г/ч:		
– общих	290±15	3270±180
– зольных	170±8	1830±90
Срок службы ФЭ полнопоточного фильтра (периодичность обслуживания СРФ), тыс. ч	0,82±0,1	3,34±0,3
Скорость изнашивания деталей двигателя:		
– поршневых колец, г/1000 ч	9,2±1,3	5,6±0,5
– цилиндровых втулок, мкм/1000 ч	37±1,9	24±1,2
– вкладышей подшипников (мотылевых), г/1000 ч	9±0,16	7±0,12
– шеек (мотылевых) коленчатого вала, мкм/1000 ч	12,6±1,3	8,5±0,9
Нагаро- и лакообразование на поршнях (общая оценка нагара), баллы	26,8±1,8	15,4±1,4
Нагары в поршневых канавках, баллы	5,6±0,7	4,1±0,4

\* За 100 % принята концентрация присадок в свежем масле.

\*\* Для моторного масла с исходной щелочностью 30 мг кон./г.

Модуль саморегенирующегося маслоочистителя СРФ-60 (рис. 1), конструкция которого подробно описана в работах [5], [6], представляет собой корпус 5 прямоугольной формы. Условно его можно разделить на три части. В нижней части корпуса находится полость неочищенной жидкости. Она выполнена в виде пустотелого цилиндра с окнами 2, через которые неочищенная жидкость попадает в фильтровальные камеры. Соосно, внутри цилиндра, расположена отводная труба с патрубками регенирующего устройства 1. Вращаясь внутри цилиндра, регенирующее устройство с помощью патрубков через окна сообщается с фильтровальными камерами. Через регенирующее устройство, при перекрывании его патрубком одного из окон, фильтровальная камера соединяется с зоной низкого давления (атмосферой). В средней части очистителя расположены фильтровальные камеры с ФЭ 3, в верхней части находится полость очищенной жидкости, которая отделяется от фильтровальных камер трубными досками 4, на которых устанавливаются ФЭ. Регенирующее устройство приводится в движение с помощью гидропривода 6.

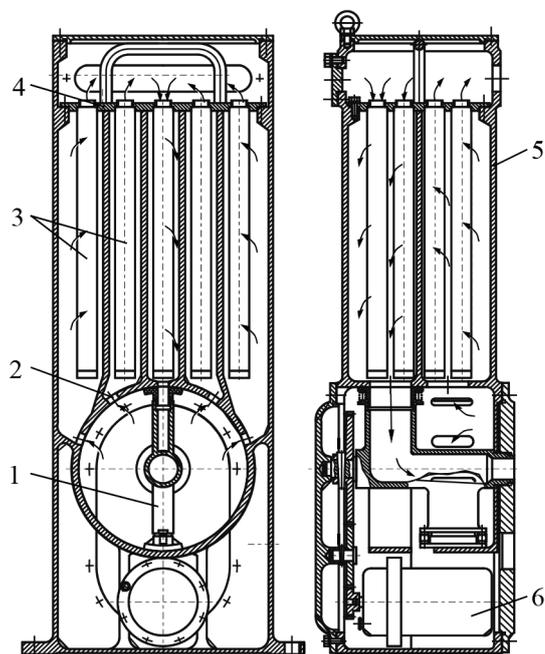


Рис. 1. Базовая модель унифицированного фильтра СРФ-60 с гидравлическим приводом распределительного устройства: 1 — регенирующее устройство; 2 — окна; 3 — ФЭ; 4 — доска; 5 — корпус; 6 — гидропривод

Сравнительные моторные испытания рассматриваемого комбинированного маслоочистительного комплекса (КМОК) и штатной системы очистки вели попеременно на одном и том же двигателе этапами по 2 тыс. ч. Средняя нагрузка на двигатель (математическое ожидание  $m_p$ ) в обоих сравниваемых вариантах была одинаковая и составляла 70 % от его номинальной мощности. Среднее квадратичное ее отклонение от математического ожидания нагрузки составило 0,23–0,26  $m_p$ . В качестве штатного в системе смазки использовали фильтр тонкой очистки масла полнопоточный (ФТОМП) типа ФМП-М с ФЭ Н-20, «фильтрующая штора» которых имеет в форму многолучевой звезды [1]. Тонкость отсева (номинальная) используемого в ФЭ нетканого материала составила 40–45 мкм.

Эксплуатационные моторные испытания СРФ-60 велись по ОСТ 24.060.09–89. Старение ММ оценивали по методике [8]. Износ цилиндрических втулок двигателя оценивали методом искусственных баз с использованием прибора УПОИ-6, вкладышей мотылевых подшипников и поршневых колец взвешиванием до и после опытов на аналитических весах ВЛА-200. Перед взвешиванием детали очищали от нагаров и лаковых отложений по опробованной ранее методике [1]. Нагарообразование оценивали по методу 344Т [1].

### Результаты испытаний (Test result)

Результаты испытаний комбинированного маслоочистительного комплекса, включающего полнопоточный саморегенерирующий фильтр СРФ-60 и центрифугу МНЦ-9НС, а также штатный полнопоточный фильтр ФМП-М приведены в таблице (с. 720). Кинетика старения масла М-14-Д<sub>2</sub>(цл30) на обоих этапах испытаний со штатной и опытной системами его очистки приведена на рис 2. Если рассматривать загрязнения масла НРП, выделяемые центрифугированием его навески в бензиновом растворе (ГОСТ 20684–75), то явно видны преимущества очистки комбинацией СРФ-60 и центробежного очистителя (ЦО). Накопление НРП в обоих случаях проходит по экспонентам (см. рис. 2), и к моменту отработки маслом 2 тыс. ч составляло по общему загрязнению 3,8 и 1,2 %, соответственно, при его очистке штатными и новыми агрегатами. По зольным НРП соотношение загрязнений в сравниваемых системах составляло 0,48 и 0,29 %. Высокая эффективность КСТОМ обусловлена тем, что интенсивность очистки ММ при приведенной ранее комбинации МО была в 11,3 (по общим) и 10,8 раза (зольным) НРП выше по сравнению с его очисткой ФМП-М [1], [4], [5].

В сравниваемых вариантах интенсивность очистки соответствовала 290 и 3270 г/ч по общему загрязнению НРП и 170 и 1830 г/ч — по зольным нерастворимым продуктам. Можно сделать вывод о том, что применение СРФ-60 с глубокой очисткой промывочного масла центрифугированием позволяет интенсифицировать этот процесс в 11–12 раз, что приводит к снижению уровня максимальной концентрации общих и зольных НРП, соответственно, в 3,16 и 1,65 раза (см. табличные данные на с. 720). Более эффективное удаление зольных продуктов центрифугированием сказывается на снижении их концентрации (кон.).

На рис. 2 видно замедление падения щелочности и менее интенсивный рост степени окисления при переходе от штатной к опытной системе очистки масла вследствие более интенсивного выделения с помощью ЦО из масла продуктов срабатывания присадок и частиц, образовавшихся в результате изнашивания двигателя и являющихся катализаторами окисления масла. В числовом выражении это привело к падению щелочности масла при его отработке 2 тыс. ч до значений 8,9 при штатной очистке и 12,7 мг кон./г, когда использовалась КСТОМ. Эффект снижения скорости срабатывания присадок выражен в повышении показателя щелочности в пробах масла в 1,43 раза после 2 тыс. ч работы.

Степень окисления СО масла определялось по содержанию в нем карбонильной группы ( $\nu = 1550\text{--}1850\text{ см}^{-1}$ ). Методика ее идентификации состояла в нахождении методом НК-спектроскопии отношения интегральной интенсивности полосы поглощения карбонилсодержащих соединений к интегральной интенсивности полосы поглощения группы  $-\text{C} = \text{C}$ -ароматических ядер ( $\nu = 1550 - 1650\text{ см}^{-1}$ ) [1], [8]. Степень окисления масла в конечных пробах сравниваемых вариантов упала с 12,6 до 8 %, что указывает на существенное влияние эффективности очистки на это направление старения ММ. Комбинированная очистка масла на основе СРФ-60 и МЦН-9НС уменьшает глубину его окисления, как это видно по уменьшению показателя СО в сравнении с очисткой масла только фильтрованием (фильтром ФМП-М) в 1,57 раза.

Исследование термоокислительной деструкции структурных преобразований углеводов, обусловленных изменением его группового состава, проводилось с помощью применения адсорбционного хроматографического разделения [3]. Зафиксировать значительные изменения термоокислительной деструкции масла М-14-Д<sub>2</sub>(цл30) при его очистке штатными и опытными средствами не удалось. ИК-спектр работавшего масла, исследованный в области поглощения групп  $-\text{C} = \text{C}$ -ароматических ядер, показал раздвоение полосы поглощения, что, по всей вероятности, связано с преобразованием моноциклических молекул ароматических углеводов в би- и полициклические группы. Однако количественно оценить разницу в этих процессах для первого и второго этапов испытаний на основе полученных данных не удалось.

Для оценки содержания смолообразования (см.) высокополимеризованных продуктов окисления, растворимых в масле (типа смолистых соединений), использовался экспресс-метод, основанный на различной адсорбционной активности отдельных групп углеводов и разности

отношений их к селективным растворителям. На основе диализа отработанного масла было выявлено незначительное снижение смолообразования при комбинированной очистке масла по сравнению со штатной. Концентрация смол (см.) к моменту обработки маслом 2 тыс. ч составила 7,2 % при его штатной очистке и 6,1 % — при комбинировании фильтрования и центрифугирования. Процесс смолообразования на обоих этапах испытаний, как и по другим направлениям старения масла, аппроксимируется экспонентами. Это обусловлено массообменными процессами, связанными с компенсацией угорающего масла доливом свежего нефтепродукта. Динамика их в функции от  $\tau$  обусловлена скоростью накопления НРП, срабатывания присадок и окисления рабочего тела, функционирующего в СС дизеля. На скорость основных направлений старения, кроме смолообразования и термоокислительной деструкции, эффективность очистки масла оказала, как видно из рис. 2, значительное влияние.

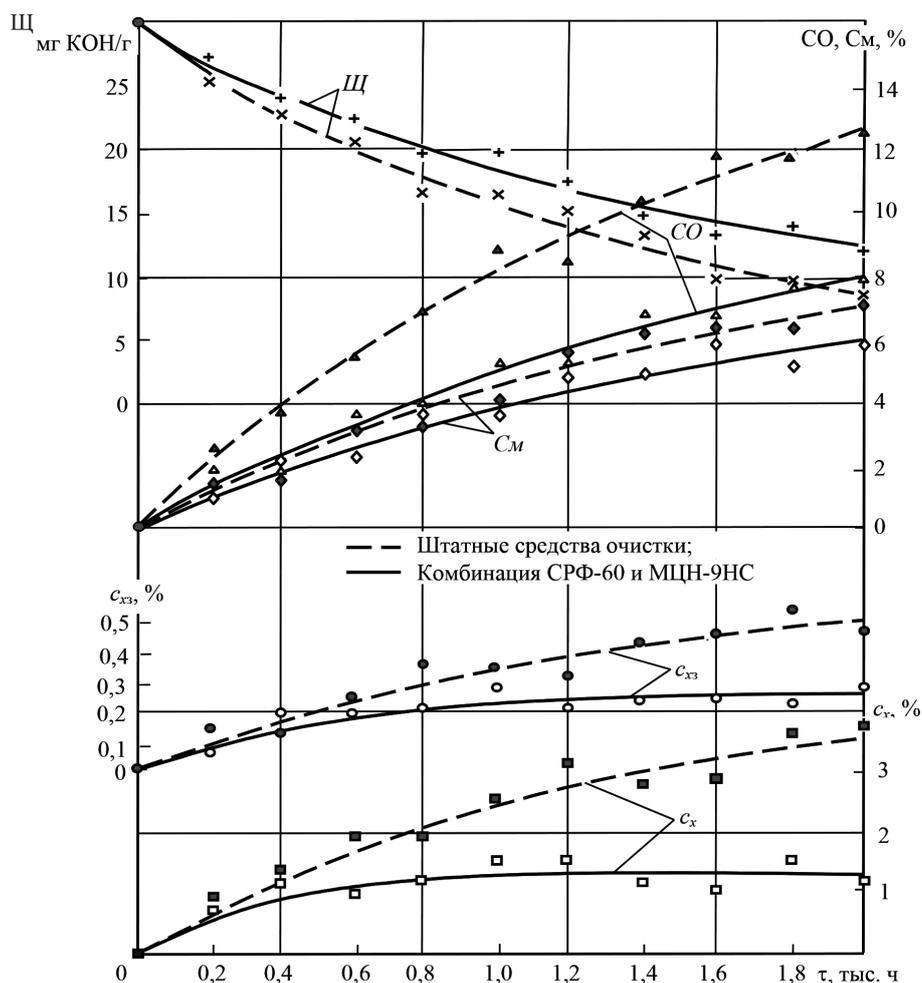


Рис. 2 Кинетика старения масла М-14-Д<sub>2</sub>(цл30) в дизеле 6ЧН32/35

Воздействие более эффективной очистки масла комбинированной системой на состояние дизеля проявилось в снижении скорости изнашивания комплекта поршневых колец с 9,2 до 5,6 г/1000 ч, т. е. при модернизации СТМ она уменьшилась в 1,64 раза. Эффект от перехода со штатной на комбинированную очистку ММ в снижении скорости изнашивания цилиндрических втулок также велик, она упала в 1,6 раза — с 37 до 24 мкм/1000 ч. Снижение скорости изнашивания деталей кривошипно-шатунного механизма, в частности вкладышей подшипников, при переходе со штатной системы очистки на КСТМ, изменилось незначительно — всего в 1,3 раза (с 9 до 7 г/1000 ч работы). Такое явление объясняется тем, что на полном потоке в сравниваемых вариантах были установлены МО, имеющие примерно одинаковую (40–45 мкм) номинальную тонкость отсева.

Поскольку по глубине очистки ММ от тонкодиспергируемых НРП рассматриваемые СТОМ имеют существенные различия, это проявилось в значительном отличии нагаро- и лакообразования деталей ДВС при работе с ФТОМП и КМОК. Комбинированная очистка масла по сравнению со штатной снизила нагаро- и лакообразование при общей его оценке с 26,8 до 15,4 баллов. Полностью закоксованных колец на первом этапе работы не наблюдалось. Однако по твердости и толщине нагаров на поршнях отличие по сравнению со вторым этапом испытания было значительное. При штатной очистке масла по сравнению с комбинированной шлама в картере и в полостях коленчатого вала двигателя наблюдалось в 1,2–1,4 раза больше. По общей оценке нагаров, эффект в снижении нагарообразования при переходе со штатной к комбинированной очистке составил 42,5 %, т. е. состояние дизеля по углеродистым отложениям на деталях улучшилось почти в 1,8 раза. Бесспорно, значительное влияние на этот процесс оказало коагуляционное укрупнение дисперсной фазы на СРФ, которое способствовало эффективному ее удалению центрифугой при очистке промывочного масла. Эксперимент показал, что совершенствованием режимов работы регенерационного устройства можно значительно увеличить автономность работы СРФ-60 без обслуживания и довести ее до 5 тыс. ч даже в условиях применения низкосортных топлив и масла с высокосольными термостойкими присадками [9]. Эффективность этого направления повышения эффективности КМОК показана в работах [1], [10], [11].

По данным эксплуатационных испытаний, можно заключить, что фильтр СРФ-60 успешно выполняет функции защиты пар трения (подшипники) двигателя от абразивного изнашивания. Роль ЦО состоит в глубокой очистке ММ от мелкозернистых НРП, способствующих старению масла. Интенсификация этого процесса способствует увеличению срока службы масла. При этом важно подобрать к СРФ-60 такой ЦО, при котором скорость центрифугируемого промывного масла будет достаточной для достижения высоких значений коэффициента регенерации.

Использованием в дизеле 6ЧН32/35 комбинации СРФ-60 с МЦН-9НС достигнута оптимизация по методике [12] такого состояния дисперсной фазы загрязнения масла, при котором его срок службы и период необслуживаемой работы автоматизированного фильтра могут превышать 3 тыс. ч. Судовой эксперимент подтвердил возможность с использованием фильтра СРФ-60 реализации ресурсосберегающего маслоиспользования при работе форсированных средне- и повышенной частоты вращения дизелей на топочных мазутах.

### Выводы (Summary)

1. Эксплуатационные испытания автоматизированной КСТОМ на основе фильтра СРФ-60 и центрифуги МЦН-9НС в дизеле 6ЧН32/35 показали высокую ее эффективность. Применение КМОК замедляет старение масла в 1,2–1,8 раз. При этом в течение длительного периода времени на высоком уровне сохраняются его противоизносные и моюще-диспергирующие свойства. Комбинированная очистка замедляет старение масла по основным направлениям в 1,2–1,8 раза, создает условия для увеличения его срока службы и автономности работы СРФ-60 до 3 и более тыс. ч, снижает на 30–60 % скорость изнашивания основных деталей двигателя и нагаро- и лакообразование на поршнях.

2. Полнопоточная очистка масла СРФ-60 надежно защищает пары трения ДВС от абразивных крупнодисперсных частиц механических примесей, вызывающих интенсивное изнашивание трибосопряжений. Дополнительное центрифугирование промывочного (циркуляционного) масла самоочищающегося фильтра способствует глубокой его очистке от продуктов, катализирующих окисление (старение масла) и ускоряющих срабатывание присадок.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Орешенков А. В. Трибологические характеристики горюче-смазочных материалов / А. В. Орешенков, Н. Н. Гришин, С. Е. Степанова // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. — 2017. — № 2. — С. 23–25.
3. Кича Г. П. Зарубежные автоматические фильтры тонкой очистки масла и топлива судовых энергетических установок / Г. П. Кича, С. П. Полоротов // Судостроение за рубежом. — 1982. — № 3. — С. 58–73.
4. Lennartz R. Full flow filtration in lubricating oil systems / R. Lennartz // Second World Filtration Congress, Proc. — London, 1979. — Pp. 541–548.
5. Кича Г. П. Новые инженерные решения в конструкциях саморегенерирующихся фильтров для очистки топлив и смазочных материалов на судах / Г. П. Кича, Н. К. Пак // Морские интеллектуальные технологии. — 2013. — № 1 (19). — С. 54–59.
6. Цветков О. Н. Моторные масла для судовых дизелей / О. Н. Цветков / Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. — 2015. — № 10. — С. 17–20.
7. Yao J.B. Recent development of antiwear and extreme pressure-resistant additives for lubricating oils and greases / J.B. Yao // Lubricating Oil. — 2006. — № 21(3). — Pp. 29–37.
8. Никифоров О. А. Рациональное использование моторных масел в судовых дизелях / О. А. Никифоров, Е. В. Данилова. — Л.: Судостроение, 1986. — 96 с.
9. Кича Г. П. Экспериментальное моделирование эффективности процесса регенерации самоочищающихся фильтров, функционирующих в системах смазки судовых дизелей / Г. П. Кича, С. П. Бойко // Морские интеллектуальные технологии. — 2015. — № 1-3(29). — С. 95–99.
10. Rixen F. Filtertechnische Aufbereitung von schweren Kraftstoffen mit Boll-Filtratoren / F. Rixen, H.L. Schwarz // Hansa. — 1979. — Bd 116. — H. 22. — Pp. 1725–1728.
11. Основные тенденции и приоритеты развития мирового двигателестроения (материалы конгресса CIMAC-2016) // Двигателестроение. — 2016. — № 4 (266). — С. 35–60.
12. Кича Г. П. Оптимизация работы маслоочистительного комплекса судовых двигателей внутреннего сгорания на основе вариационного исчисления / Г. П. Кича, А. В. Надежкин, Н. К. Пак // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. — 2012. — № 3 (12). — С. 9–19.

## REFERENCES

1. Kicha, G. P., B. N. Perminov, and A. V. Nadezhkin. *Resursosberegayushchee masloispol'zovanie v sudovyh dizelyah*. Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2011.
2. Oreshenkov, A. V., N. N. Grishin, and S. E. Stepanova. "Tribological characteristics fuels and lubricating materials." *World of Oil Products. The Oil Companies' Bulletin* 2 (2017): 23–25.
3. Kicha, G. P., and S. P. Polorotov. "Zarubezhnye avtomaticheskie fil'try tonkoj ochistki masla i topliva sudovyh energeticheskikh ustanovok." *Sudostroenie za rubezhom* 3 (1982): 58–73.
4. Lennartz, R. "Full flow filtration in lubricating oil systems." *Second World Filtration Congress, Proc.* London, 1979. 541–548.
5. Kicha, G. P., and N. K. Pak. "Novye inzhenernye resheniya v konstrukciyah samoregeneriruyushchihsya fil'trov dlya ochistki topliv i smazochnyh materialov na sudah." *Morskie intellektual'nye tekhnologii* 1(19) (2013): 54–59.
6. Tsvetkov, O. N. "Marine diesel engine oils." *World of Oil Products. The Oil Companies' Bulletin* 10 (2015): 17–20.
7. Yao, J. B. "Recent development of antiwear and extreme pressure-resistant additives for lubricating oils and greases." *Lubricating Oil* 21(3) (2006): 29–37.
8. Nikiforov, O. A., and E. V. Danilova. *Racional'noe ispol'zovanie motornyh masel v sudovyh dizelyah*. L.: Sudostroenie, 1986.
9. Kicha, G. P., and S. P. Bojko. "Eksperimental'noe modelirovanie effektivnosti processa regeneracii samoochishchayushchihsya fil'trov, funkcioniruyushchih v sistemah smazki sudovyh dizelej." *Morskie intellektual'nye tekhnologii* 1-3(29) (2015): 95–99.
10. Rixen, F., and H.L. Schwarz. "Filtertechnische Aufbereitung von schweren Kraftstoffen mit Boll-Filtratoren." *Hansa* 116.22 (1979): 1725–1728.
11. "Osnovnye tendencii i priority razvitiya mirovogo dvigatelestroeniya (materialy kongressa CIMAC-2016)." *Dvigatelestroenie* 4(266) (2016): 35–60.
12. Kicha, Gennady P., Andrew V. Nadezkin, and Nicholas K. Pak. "The optimisation of the oil cleaning complex of marine internal combustion engines on the basis of the variational calculus." *The Far Eastern Federal University: School of Engineering Bulletin* 3(12) (2012): 9–19.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Кича Геннадий Петрович —**

доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Морской государственный  
университет им. адм. Г. И. Невельского»  
690059, Российская Федерация, г. Владивосток,  
ул. Верхнепортовая, 50а.  
e-mail: [nadezkin@msun.ru](mailto:nadezkin@msun.ru)

**Надежкин Андрей Вениаминович —**

доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Морской государственный  
университет им. адм. Г. И. Невельского»  
690059, Российская Федерация, г. Владивосток,  
ул. Верхнепортовая, 50а.  
e-mail: [nadezkin@msun.ru](mailto:nadezkin@msun.ru)

**Бойко Сергей Петрович —**

кандидат технических наук  
ФГБОУ ВО «Морской государственный  
университет им. адм. Г. И. Невельского»  
690059, Российская Федерация, г. Владивосток,  
ул. Верхнепортовая, 50а.  
e-mail: [nadezkin@msun.ru](mailto:nadezkin@msun.ru)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Kicha, Gennadij P. —**

Dr. of Technical Sciences, professor  
Maritime state university named after adm.  
G. A. Nevelskoy  
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059,  
Russian Federation  
e-mail: [nadezkin@msun.ru](mailto:nadezkin@msun.ru)

**Nadezkin, Andrej V. —**

Dr. of Technical Sciences, professor  
Maritime state university named  
after adm. G. A. Nevelskoy  
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059,  
Russian Federation  
e-mail: [nadezkin@msun.ru](mailto:nadezkin@msun.ru)

**Boyko, Sergey P. —**

PhD  
Maritime state university named  
after adm. G. A. Nevelskoy  
50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690059,  
Russian Federation  
e-mail: [nadezkin@msun.ru](mailto:nadezkin@msun.ru)

*Статья поступила в редакцию 22 мая 2019 г.*

*Received: May 22, 2019.*