

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ  
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья  
УДК 621.892.096:629.3  
DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2024-70-22  
EDN: YHGKWS

**Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых  
быстроходных дизелях полнопоточным фильтрованием и центрифугированием**

Людмила Анатольевна Семенюк<sup>1</sup>, Максим Анатольевич Серебряков<sup>2</sup>,  
Павел Петрович Кича<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, Владивосток,  
Россия

<sup>3</sup> Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
Владивосток, Россия

<sup>1</sup> semenyk@msun.ru, ORCID: 0009-0006-1993-5983

<sup>2</sup> goryn76@yandex.ru

<sup>3</sup> pkich@inbox.ru

**Аннотация.** Моторными испытаниями в судовом форсированном быстроходном дизеле смазочного масла группы Г<sub>2</sub> с композицией присадок II серии ИХП доказана высокая эффективность его полнопоточной, с номинальной тонкостью отсева 30 мкм, очистки фильтрованием и центрифугированием. Проведено сравнение этих методов, показывающее превосходство центрифугирования по интенсивности очистки, а также удалению общих и зольных нерастворимых примесей в 12–20 раз. Достоинство фильтрования выразилось в более надёжной защите дизельных трибосопряжений от абразивного изнашивания на низкотемпературных режимах смазки и переменных работ двигателя, в том числе пусковых. Кроме того, при комплектовании системы смазки фильтром для неё характерна меньшая трудоёмкость обслуживания. Сопоставление эффективности фильтра ФМП-2М, использующего нетканый целлюлозный фильтровальный материал НКФМ-30, и полнопоточной центрифуги МЦН-5НС с реактивным приводом и напорным сливом по влиянию на износ двигателя позволило зафиксировать следующую обобщённую градацию (относительно эффективности штатной системы очистки моторного масла) этого показателя – 100 : 78 : 59. Новизна исследования состоит в выявлении преимуществ и достоинств полнопоточного способа очистки смазочного масла в судовом высокооборотном дизеле по сравнению с наиболее распространённой частичнопоточной схемой его обработки.

**Ключевые слова:** очистка смазочного масла, полнопоточная очистка, моторное масло, фильтрование, центрифугирование, быстроходный дизель, система смазки

**Для цитирования:** Семенюк Л. А., Серебряков М. А., Кича П. П. Повышение эффективности тонкой очистки моторного масла в судовых быстроходных дизелях полнопоточным фильтрованием и центрифугированием // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 70, № 4. С. 214–224.

## SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Original article

### Improving the efficiency of fine cleaning of engine oil in marine high-speed diesels by full-flow filtration and centrifugation

Liudmila A. Semeniuk<sup>1</sup>, Maksim A. Serebryakov<sup>2</sup>, Pavel P. Kicha<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy, Vladivostok, Russia

<sup>3</sup> Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

<sup>1</sup> semenyk@msun.ru, ORCID: 0009-0006-1993-5983

<sup>2</sup> goryn76@yandex.ru

<sup>3</sup> pkicha@inbox.ru

**Abstract.** Motor tests in a marine forced high-speed diesel engine of the G<sub>2</sub> group lubricating oil with a composition of additives of the II series of IHP have proven the high efficiency of its full-flow, with a nominal screening fineness of 30 microns, purification by filtration and centrifugation. A comparison of these methods was carried out, showing the superiority of centrifugation in terms of purification intensity, as well as the removal of common and ash insoluble impurities, by a factor of 12 – 20. The advantage of filtration was expressed in a more reliable protection of diesel tribo-stresses from abrasive wear in low-temperature lubrication modes and engine operating variables, including starting ones. In addition, when completing the lubrication system with a filter, it is characterized by less laborious maintenance. A comparison of the efficiency of the FMP-2M filter using non-woven cellulose filter material NKFM-30 and the full-flow centrifuge MCN-5NS with a jet drive and pressure drain on the effect on engine wear allowed us to fix the following generalized gradation (relative to the efficiency of the standard engine oil purification system) of this indicator - 100 : 78 : 59. The novelty of the study consists in to identify the advantages and disadvantages of a full-flow method for cleaning lubricating oil in a marine high-speed diesel engine in comparison with the most common partial-flow treatment scheme.

**Keywords:** lubricating oil cleaning, full-flow cleaning, engine oil, filtration, centrifugation, high-speed diesel, lubrication system

**For citation:** Semeniuk L. A., Serebryakov M. A., Kicha P. P. Improving the efficiency of fine cleaning of engine oil in marine high-speed diesels by full-flow filtration and centrifugation. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2024; 70(4): 214–224. (In Russ.).

### Введение

Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых быстроходных дизелях возможно при переводе их смазочных систем (СС) на полнопоточную тонкую очистку смазочного масла. Её использование обусловлено малыми зазорами и динамическими нагрузками в парах трения этих двигателей. При применении фильтров грубой очистки (ФГО) с номинальной тонкостью отсева 60–90 мкм в их СС наблюдаются случаи проворачивания тонкостенных вкладышей подшипников, повышенный расход моторного масла (ММ) на угар и снижение надёжности работы деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) [1, 2].

Изученность старения ММ при его полнопоточной очистке в судовых дизелях с частотой вращения более 25 с<sup>-1</sup> недостаточна для возможности использования в них рекомендаций,

накопленных в этой области, по среднеоборотным дизелям [3]. Необходим особый подход к подбору параметров полнопоточных маслоочистителей (МО), полностью удовлетворяющих требованиям высокооборотных дизелей по допустимому пропуску в подшипники крупных абразивных частиц загрязнений и глубине очистки ММ от мелкодисперсных нерастворимых продуктов (НРП), обеспечивающих требуемое торможение его старения и периодичность обслуживания МО [4].

Предлагается на примере судового быстроходного малоразмерного дизеля показать по результатам лабораторных моторных испытаний возможности полнопоточных МО при очистке смазочного масла с высокими моюще-диспергирующими свойствами. Одновременно необходимо подобрать фильтровальные материалы (ФМ) с поровой структурой, способные обработать полный поток масла в СС без перепуска на всех температурных режимах пуска двигателя и смазки деталей ЦПГ за срок службы фильтрующих элементов (ФЭ) не менее 200 ч и при такой же периодичности чистки ротора центрифуги [5]. Планируемые исследования по полнопоточной очистке ММ, когда обработке подвергается полностью весь поток масла, поступающего во внутреннюю СС, базируются на основных принципах и методах повышения её эффективности, изложенных в работе [6]. Цель эксперимента состояла в сравнении эффективности тонкой очистки ММ в судовых форсированных быстроходных дизелях полнопоточным фильтрованием и центрифугированием. При этом было важно сопоставить влияние этих принципиально разных по схеме действия МО на состояние двигателя и ММ группы Г<sub>2</sub>, легированного современными многофункциональными присадками [7]. Такое сравнение важно и имеет большое практическое значение, так как дискуссия по этому вопросу ведётся широко [1, 8] и полной ясности, какому методу отдать предпочтение, нет. Поэтому весьма важно провести сравнение эффективности фильтрования и центрифугирования в условиях натурального моторного эксперимента.

### **Объекты и методы исследований**

В качестве объекта испытаний выбран судовой быстроходный дизель К164 (6ЧН 12/14) мощностью 110 кВт при частоте вращения  $25 \text{ с}^{-1}$  со средним эффективным давлением 0,93 МПа. Вместимость картера (по маслу) составляет 20 кг. Пропускная способность внутренней СС равна 1250 кг/ч. Эксперимент осуществлялся на масле ДСп-11 с композицией присадок II серии НХП [9]: 5,4 % БФК, 2,6 % СБ-3, 12 % ИХП – 21, 0,003 % ПМС-200А. При работе дизеля использовалось дизельное топливо марки «Л» (ГОСТ 305-2013) с содержанием серы 0,5 %. Вязкость товарного масла соответствует 11,6 сСт при 100 °С, зольность соответствует 1,1 %, щёлочность – не менее 6,3 мг КОН/г. Нагрузка на дизель осуществлялась гидротормозом. Дизель работал по нагрузочной характеристике со средней эксплуатационной нагрузкой  $0,82 P_{ен}$  (номинальной мощности).

Штатная система (тонкой) очистки (ШСО) масла I (рис. 1) оснащена полнопоточным ФГО с элементами из металлической сетки с квадратными ячейками номинальной толщиной отсева 90 мкм. Тонкую очистку обеспечивает МО центробежный с наружным гидрореактивным приводом третьего типоразмера МЦН-3ЧП (ГОСТ 10556-78), частичнопоточный. Ёмкость его ротора составляет  $660 \text{ см}^3$ , фактор разделения (на среднем радиусе) не менее 1360, индекс производительности равен  $22 \text{ м}^2$ . Центрифуга при давлении в СС 0,6 МПа и температуре 60 °С развивает 6600 об/мин. При этом расход масла через сопла на гидравлический привод составляет 12 кг/мин.

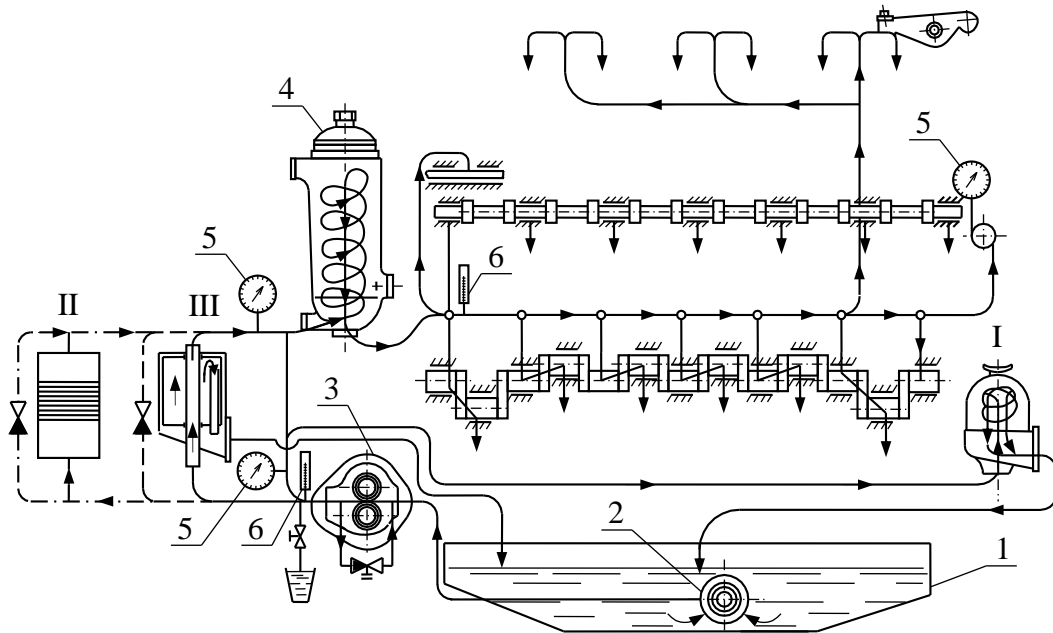


Рис. 1. Схема смазочной системы дизеля 6ЧН 12/14 со штатными (I) и опытными (II, III) средствами тонкой очистки масла: 1 – поддон, 2 – приёмный фильтр, 3 – насос, 4 – холодильник с ФГО, 5 – манометр, 6 – термометр.

I – штатная центрифуга, II – ФТОМП, III – МЦН-5НС. Составлено авторами

Fig. 1. Diagram of the lubrication system of diesel 6CHN 12/14 with standard (I) and experimental (II, III) oil fine cleaning products: 1 – pallet, 2 – intake filter, 3 – pump, 4 – refrigerator with FGO, 5 – pressure gauge, 6 – thermometer.

I – standard centrifuge, II – FTOMP, III – MCN-5NS. Compiled by the authors

В двигателе используется СС с мокрым картером (рис. 1). Основной поток ММ через ФГО и холодильник поступает в главную маслораспределительную магистраль, из которой попадает в подшипники коленчатого вала и разбрызгиванием разносится на детали ЦПГ. В схеме предусмотрены ответвления для смазки распредвала и толкателей клапанов газораспределения. От главной магистрали масло забирается на привод частичнопоточной центрифуги и его очистку со сливом в картер. Давление масла перед МО в пределах 0,6–0,8 МПа регулируется его переключением на масляном насосе. Во внутренней СС поддерживается давление 0,4–0,5 МПа.

Опытные системы очистки II и III (рис. 1) соответственно фильтрованием и центрифугированием устанавливаются на двигателе по полнопоточной схеме. При их применении демонтируется (отключается) частичнопоточная центрифуга I и задействован ФГО. Для реализации варианта II (полнопоточное фильтрование) используется фильтр тонкой очистки масла, полнопоточный (ФТОМП). Далее расположен очиститель ФМП-2М, в котором установлены два ФЭ типа ЭФМ 100/45.200, являющиеся аналогами элемента «Реготмас-631». В используемых элементах применяется ФМ из целлюлозы – аналог материала мокрого формования НКФМ-30 [6, 10]. Номинальная тонкость отсева его составляет 28–30 мкм. Укладка шторы ФМ осуществлена в форме многолучевой звезды.

На этапе III в СС двигателя был установлен маслоочиститель центробежный (полнопоточный) МЦН-5НС (ГОСТ 10556-78) пятого типоразмера с наружным реактивным приводом и напорным сливом (рис. 1). Он имеет ёмкость ротора 1320 см<sup>3</sup>, его фактор разделения равен 2000, индекс производительности соответствует 32 м<sup>2</sup>. Номинальный полностью очищаемый поток масла через центрифугу не превышает 50 дм<sup>3</sup>/мин. Расход масла на привод ротора центрифуги менее 20 дм<sup>3</sup>/мин, грязеёмкость ротора равна 700 см<sup>3</sup>.

Эксперименты проводились этапами по 200 ч. Долив масла для восполнения его угара осуществлялся через каждые 12,5 ч. Пробы масла на анализ отбирались через 25 ч работы двигателя. Нагрузка дизеля в каждом цикле протяжённостью 12,5 ч варьировалась через  $0,25P_{ен}$  в диапазоне от холостого хода до номинальной мощности с работой при десятипроцентной перегрузке в течение часа [9]. Средняя нагрузка за цикл и, следовательно, этап испытаний составляли 82 %  $P_{ен}$  (номинальной мощности).

Вся программа моторных испытаний (этапы I, II и III) проводилась на основных деталях одной комплектации, использовалось топливо одной партии выработки. Контроль за состоянием дизеля проводился согласно инструкции его завода-изготовителя. Смена масла при переходе на новый этап испытаний осуществлялась после промывки картера и СС двигателя дизельным топливом.

Подготовка дизеля к испытаниям состояла в очистке деталей ЦПГ от отложений с нарезанием с помощью прибора УПОИ-6 на трёх цилиндрических втулках в пяти поясах каждой по восьми образующим лунок. Длину их измеряли после обкатки двигателя и на каждом этапе испытаний (до и после эксперимента с заменой МО). Износ поршневых колец и вкладышей шатунных подшипников определяли их взвешиванием по той же схеме – до и после этапа испытаний. Для этого использовались лабораторные весы ВЛА-200 [11]. Нагарообразование в цилиндрах ДВС контролировали с использованием методики ЦНИДИ 344Т [11]. В балльной системе через измерение толщины, площади и твёрдости углеродистых отложений, подвижности поршневых колец оценивали состояние поршней по нагарам.

Старение ММ в процессе его работы в дизеле определяли по современным методикам [9]. Концентрацию общих НРП фиксировали центрифугированием бензиновых растворов отработанного масла (ГОСТ 20684-95). Щёлочность и кислотность ММ измеряли согласно ГОСТ 11302-96). Групповой анализ ММ, в том числе контроль содержания таких продуктов окисления нефтепродуктов, как смолы, карбены и карбоиды, проводили методом диализа и хроматографии [12]. По этой же схеме определяли концентрацию рассматриваемых компонентов старения масла в отложениях МО.

### Результаты моторного эксперимента и их обсуждение

Общая оценка условий работы смазочного масла с позиций влияния на его старение показала, что они были примерно одинаковы на всех этапах моторных испытаний (табл. 1). Наиболее высокий маслообмен в дизеле наблюдали при очистке ММ полнопоточным фильтром (этап 2), когда его угар составлял 2,8 г/(кВт·ч). При работе СС со ШСО и полнопоточной центрифугой МЦН-5НС угар был несколько ниже и составлял 2,5–2,6 г/(кВт·ч), что привело к более жёстким условиям использования ММ на этапах 1 и 3. По скорости загрязнения НРП в наиболее лёгких условиях функционировала СС со ШСО масла. На этапе 1 работы двигателя этот показатель соответствовал 3,6, в то время как на этапах 2 и 3 он был несколько выше – 3,9 и 4,2 г/ч.

Таблица 1

### Характеристика старения моторного масла и работы очистителей в СС быстроходного дизеля

Table 1

### Characteristics of the aging of engine oil and the operation of cleaners in high-speed diesel СС

Показатель	ШСО	ФТОМП	МЦН-5НС
Скорость угара масла, г/ч	274	310	280
Скорость загрязнения НРП, г/ч	3,6	3,9	4,2
Содержание продуктов старения в конечных пробах отработанных ММ, %:			

общих нерастворимых примесей	0,99	0,92	0,73
зольных нерастворимых примесей	0,14	0,28	0,12
смола	10,3	11,0	11,0
асфальтенов	2,5	0,15	0,76
карбенов и карбоидов	0,10	0,03	0,10
Щёлочность масла, мг КОН/г	4,1	3,7	2,9
Общее количество отложений в МО, г	105	320	505
Содержание в отложениях, %			
общих нерастворимых примесей	66,4	9,0	54,5
зольных нерастворимых примесей	33,6	2,1	11,7
смола	17,6	23,4	10,8
асфальтенов	2,0	0,7	2,1
карбенов и карбоидов	24,9	1,4	17,0
Коэффициент очистки, %:			
по общим НРП	31,8	6,4	65,7
по зольным НРП	62,2	18,2	78,1
Интенсивность очистки, г/ч:			
по общим НРП	38	26	306
по зольным НРП	148	17	246

Содержание продуктов старения в последних (200 ч работы двигателя) пробах масла (см. табл. 1) показало преимущество очистителя МЦН-5НС по удалению нерастворимых примесей (общих и зольных). Это хорошо иллюстрируется не только низкими концентрациями в масле этих продуктов в конечных отборах, но и высоким количеством отложений в центробежном МО. В центрифуге за этап испытаний накапливалось 505 г отложений, в то время как при использовании центрифуги МЦН-3ЧП и фильтра ФМП-2М отложений было, соответственно, в 4,8 и 1,6 раза меньше – 105 и 320 г. Поэтому и коэффициенты очистки\* (см. табл. 1) у рассматриваемых МО на этапах 1, 2 и 3 находились в пропорции: по общим НРП 100 : 20 : 207, по зольным 100 : 29 : 126. Примерно такой же расклад был и по интенсивности очистки.

Подводя некоторый промежуточный итог работы МО в СС форсированного тронкового дизеля, можно отметить более высокую эффективность центрифуг в удалении из масла НРП. Поэтому основное преимущество наблюдается у МЦН-5НС, так как у этих МО самый высокий фактор разделения. Частичнопоточная центрифуга побеждает в накоплении крупных механических примесей, так как в отложениях её ротора содержится больше всего общих (66,4) и зольных (33,6 %) НРП. У полнопоточной центрифуги эти показатели гораздо ниже – 54,5 и 11,7 % соответственно, но её позиция более выигрышна из-за большей массы накапливаемых отложений. Такое несоответствие в анализируемых показателях объясняется более высоким фактором разделения и индекса производительности у полнопоточной центрифуги с напорным сливом. Центрифуга МЦН-3ЧП, уступая ей в этих параметрах, имеет более эффективную гидродинамику – низкие осевые скорости потока суспензии из-за малой прокачки масла через неё, что позволяет выборочно удалять наиболее опасные (крупные и тяжёлые) частицы механических примесей. На это указывают довольно высокие значения коэффициентов очистки по зольным нерастворимым примесям у центрифуг (см. табл. 1). У частичнопоточного центробежного очистителя такое явление обусловлено хорошей гидродинамикой осевого потока из-

\*Коэффициент очистки по любому виду загрязнений представляет собой отношение массы этого продукта старения ММ, накопленного МО за этап испытаний, к суммарному количеству этих веществ, находящихся в масле и в очистителе

за его ограниченности, у полнопоточного – высоким фактором разделения и индексом производительности.

Достоинства ФТОМП видны при сравнении МО по содержанию в масле асфальтенов, карбенов и карбоидов (см. табл. 1). По групповому составу отработанного в течение 200 ч масла можно заключить, что смол в нём содержится одинаковое количество на всех этапах испытаний. Больше всего этих продуктов старения ММ (смол) накапливалось в отложениях фильтра. Их концентрация 23,4 % была наибольшей в отложениях этого МО, что в 1,3 и 2,2 раза больше, чем у центрифуг на этапах 1 и 3.

Срабатывание присадок, оцениваемое по щёлочности, показывает превосходство использования ШСО. Щёлочность масла на этом этапе за 200 ч работы понизилась с 6,3 до 4,1 мг КОН/г. Повышение эффективности очистки ММ новыми (полнопоточными) МО привело к более интенсивному падению его щёлочности. В конечных пробах масла на этапах 2 и 3 она была на 10 и 36 % ниже, чем при частичнопоточном центрифугировании масла. Падение щёлочности до 2,9 мг КОН/г при обработке ММ полнопоточной центрифугой указывает на повышенное отфуговывание присадок, что приводит к некоторой потере им стабилизирующих свойств.

Показатели капельной пробы, определяемой по методике [3, 11], в конечных отборах этапов испытаний 1–3 находились на уровне 0,46, 0,7 и 0,5. Кислотность ММ этих же отборов стабилизировалась, соответственно, на величинах 1,4, 1,5 и 2 мг КОН/г, что не приводит к значительным коррозионным повреждениям деталей двигателя.

Кинетика старения смазочного масла при использовании разных МО (см. рис. 1, 2) по наиболее важным направлениям показывает строгое следование их экспоненциальным зависимостям. По НРП до 50 ч работы двигателя расхождения в старении ММ по всем этапам испытаний не наблюдалось. Далее для этого направления старения характерно резкое повышение концентрации как общих  $c$ , так и зольных  $c_z$  нерастворимых примесей со стабилизацией их после 100 ч работы на минимальном уровне при очистке масла МЦН-5НС. Установившаяся концентрация НРП была ниже на других этапах функционирования масла по сравнению с этапом 3 в 1,1–1,9 раза. Анализ старения ММ по их загрязнению нерастворимыми примесями показывает наилучшее его состояние при очистке полнопоточной центрифугой. Самое высокое накопление общих нерастворимых загрязнений наблюдалось при включении в СС МЦН-3ЧП, зольных – фильтра ФМП-2М (см. рис. 1). Такая расстановка показателей старения позволяет предполагать повышенный износ деталей ЦПГ при очистке масла фильтрованием и интенсификацию нагарообразования, когда используется частичнопоточная схема обработки ММ.

Анализ срабатывания щёлочности Щ (рис. 2) показывает наиболее значительную её убыль при полнопоточном центрифугировании масла. «Просадка» в содержании присадок в ММ на этапе 3 проявляется уже после 75 ч работы двигателя и стабильно держится ниже, по сравнению с другими этапами, если анализировать это явление по щёлочности, на 10–23 %. Состояние смазочного масла по щёлочности при его обработке ШСО и фильтровании практически одинаковое. На первой половине этапов испытаний присадки срабатываются более интенсивно при центрифугировании масла, на второй – при фильтровании.

Анализ влияния средств тонкой очистки ММ показал существенное преимущество в использовании в СС полнопоточных агрегатов. Наименьший износ основных деталей двигателя 6ЧН 12/14 за этап испытаний наблюдался при очистке масла центрифугой МЦН-5НС. На этапе с этим МО по сравнению с ШСО износ уменьшился в 1,32–1,53 раза (табл. 2). Наименьшее снижение износа наблюдалось у компрессионных поршневых колец, наибольшее – у нижних вкладышей шатунных подшипников. По последнему показателю наибольшее преимущество наблюдалось у ФТОМП, когда полнопоточное фильтрование масла по сравнению с его ча-

стичнопоточным центрифугированием привело к снижению износа нижних слабонагруженных вкладышей шатунного подшипника в 1,92 раза. Такое явление при полнопоточной очистке рабочего тела СС указывает на надёжную защиту от абразивного изнашивания деталей с высокой циркуляцией смазочного масла.

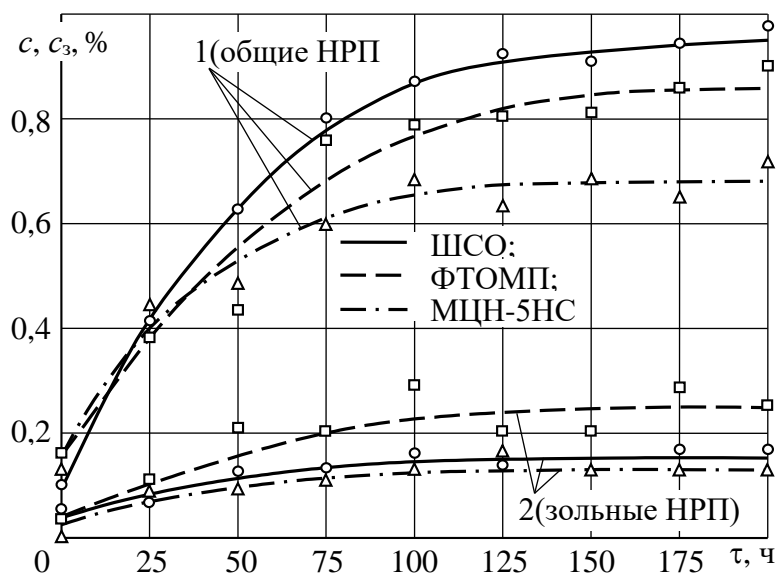


Рис. 2. Влияние средств очистки на накопление нерастворимых примесей в смазочном масле. Составлено авторами

Fig. 2. The effect of cleaning agents on the accumulation of insoluble impurities in lubricating oil. Compiled by the authors

Очиститель МЦН-5НС при пуске двигателя медленно развивает полную частоту вращения до достижения специфической для него номинальной тонкости отсева. Поэтому он способен пропускать опасные частицы механических примесей во внутреннюю СС двигателя. В этом аспекте защиты трибосопряжений дизеля от абразивного изнашивания полнопоточное центрифугирование масла уступает его фильтрованию с использованием очистителя ФМП-2М.

Сравнение МО по влиянию на состояние дизеля показало следующее обобщенное их ранжирование с явным преимуществом полнопоточной центрифуги по влиянию на износ трибосопряжений двигателя. При использовании ШСО, ФТОМП, МЦН-5НС износ ранжируется в пропорции 100 : 78 : 59. Фильтрование явно уступает центрифугированию масел в форсированном судовом дизеле при поступлении в его СС «тяжёлых» и абразивных механических примесей. Применение низкосортных топлив ведёт к повышенному поступлению в СС дизеля как крупно-, так и мелкодисперсных НРП и нарушает диспропорцию рассматриваемого показателя. В этих условиях старения ММ прогнозируется преимущество комбинированной очистки масла путём полнопоточного фильтрования и частичнопоточного центрифугирования. Рост доли низкотемпературных режимов работы двигателей, повышение числа его пусков, работа в условиях запылённого воздуха увеличивают достоинства полнопоточного фильтрования ММ.

Состояние поршней по нагарообразованию было хорошее. Закоксованных или потерявших подвижность колец не наблюдалось. Общая оценка нагаров находилась в диапазоне 2,62–2,89 баллов. Лучшее состояние поршневой группы было при очистке смазочного масла полнопоточной центрифугой. Лакообразование на юбке поршней на всех этапах было практически одинаково.

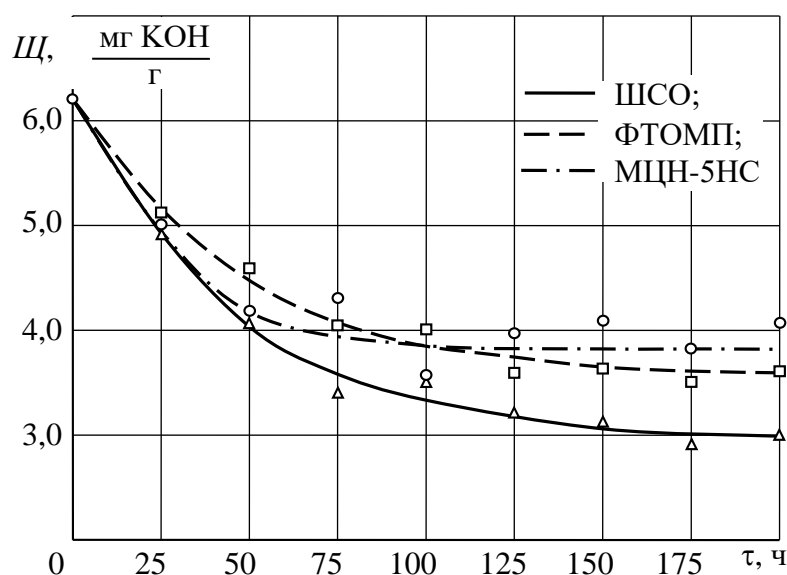


Рис. 3. Срабатывание щёлочности масла при его штатной и полнопоточной очистке.

Составлено авторами

Fig. 3. Activation of the alkalinity of the oil during its regular and full-flow cleaning.

Compiled by the authors

Наибольшее различие в нагарообразовании наблюдалось на перемычках и в канавках поршней. В первом случае (табл. 2) балльная оценка нагаров поэтапно распределялась в пропорции 100 : 79 : 58, во втором наблюдалось следующее соотношение: 100 : 72 : 85. Преимущество по загрязнению перемычек поршней было зафиксировано у МЦН-5НС, а по нагарообразованию канавок выявлено незначительное превосходство использования ФТОМП.

Таблица 2

**Влияние средств тонкой очистки смазочного масла на износ и нагарообразование дизеля 6ЧН 12/14**

Table 2

**The effect of lubricating oil fine cleaning agents on the wear and carbon formation of diesel 6CHN 12/14**

Показатель	ШСО	ФТОМП	МЦН-5НС
Износ деталей двигателя			
Комплект поршневых колец, мг:			
компрессионных	416,8	388,2	316,3
маслосъёмных	149,4	130,5	81,5
Втулки цилиндра, мкм:			
верхний пояс	2,5	1,9	1,4
средний по втулке	2,2	1,7	1,2
Шатунный подшипник, мг:			
верхний вкладыш	30,3	25,7	17,9
нижний вкладыш	11,9	6,2	6,5
Нагарообразование на поршнях, балл:			
над верхним кольцом	1,64	1,73	1,60
на перемычках	0,29	0,23	0,17
в канавках	0,61	0,44	0,52
на юбке	0,35	0,30	0,33
общая оценка	2,89	2,7	2,62

Подводя некоторые итоги результатам моторных испытаний форсированного быстроходного дизеля, СС которого комплектовалась МО разного принципа действия и интенсивности очистки от НРП, можно отметить полное соответствие масла II серии с присадками НХП (группы Г<sub>2</sub>) условиям его использования и старения. Названное ММ может при угаре 2–3 г/(кВт·ч) использоваться без смены в течение 200 ч. Запас его антиокислительных и моюще-диспергирующих свойств достаточен для увеличения срока службы масла при работе дизеля 6ЧН 12/14 на малосернистом топливе до 300 ч. При среднем размере дисперсной фазы загрязнений 0,5–0,6 мкм и зольности 1,1 %, характерных для масла этой группы, предпочтение следует отдать использованию в СС полнопоточной центрифуги.

### Заключение

1. Сравнительные моторные испытания смазочного масла группы Г<sub>2</sub> в СС, оснащённой разными по принципу действия МО, в судовых быстроходных дизелях с уровнем форсировки по среднему эффективному давлению 0,8–1,2 МПа при работе на дистиллятных топливах с содержанием серы до 0,5 % показали преимущество использования полнопоточной центрифуги с напорным сливом. Износ основных деталей двигателя за двухсотчасовой этап для вышеназванных условий работы при комплектации его СС частичнопоточной центрифугой с ФГО, ФТОМП и МЦН-5НС находится в пропорции 100 : 78 : 59. Результаты эксперимента в дизеле 6ЧН 12/14 показали преимущество полнопоточной системы тонкой очистки ММ как центрифугированием, так и фильтрованием над частичнопоточной в снижении износа поршневых колец, цилиндрических втулок и вкладышей подшипников в 1,32–1,83 раза. Интенсификация очистки смазочного масла полнопоточными средствами не оказала значительного влияния на снижение нагарообразования дизеля в условиях использования масла группы Г<sub>2</sub> и малосернистого дизельного топлива.

2. Исследование схем включения, состава и рабочих параметров МО разного принципа действия привело к заключению, что при ужесточении условий работы быстроходного дизеля по его форсировке, снижению качества сжигаемого топлива, увеличении моторных свойств смазочного масла самым надёжным маслоочистительным комплексом по результатам выполненных экспериментов прогнозируется использование комбинации полнопоточного фильтра и частичнопоточной центрифуги. Такая схема очистки универсальна и способна обеспечить ресурсосберегающее маслоиспользование для разных условий эксплуатации судовых быстроходных дизелей.

### Список источников

1. Кича Г. П., Перминов Б. Н., Надежкин А. В. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях : монография. Владивосток : Изд-во Мор. гос. ун-та, 2011. 372 с.
2. Григорьев М. А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания. М. : Машиностроение, 1983. 136 с.
3. Кича Г. П. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания // Химия и технология топлив и масел. 1985. № 2. С. 28–30.
4. Кича Г. П., Семенюк Л. А. Полнопоточная комбинированная фильтрованием и центрифугированием тонкая очистка моторного масла в судовых дизелях // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2018. № 2. С. 62–69.
5. Кича Г. П., Надежкин А. В., Пак Н. К. Саморегенерирующийся фильтр новой конструкции для очистки топлив и смазочных масел на судах // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2013. № 1. С. 203–207.

6. Кича Г. П. Решение проблемы высокоэффективной очистки моторного масла в судовых дизелях : автореф. дис. ... доктора технических наук: 05.08.05 / Кича Геннадий Петрович. Владивосток, 1992. 46 с.
7. Дерябин А. А. Смазка и износ дизелей. Л. : Машиностроение, 1974. 184 с.
8. Кича Г. П., Семенюк Л. А., Тарасов М. И. Стохастическая ячеистая модель очистки моторного масла от механических примесей объемным фильтрованием // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 2, № 1(47). С. 105–112.
9. Никифоров О. А., Данилова Е. В. Рациональное использование моторных масел в судовых дизелях. Л. : Судостроение, 1986. 96 с.
10. Кича Г. П., Тарасов М. И. Конструктивные и эксплуатационные методы снижения угара моторного масла в судовых дизелях // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2017. № 3–4. С. 138–143.
11. ОСТ 24.6009-79. Методика оценки моторных и физико-химических свойств масел при их стендовых испытаниях. М. : ЦНИИТЭИТяжмаш, 1980. 56 с.
12. Данилова Е. В., Никифоров О. А., Турбина А. Н., Сомов В. А. Комплекс методов исследования процесса старения масла в дизелях // Химия и технология топлив и масел. 1976. № 5. С. 45–48.

#### **Сведения об авторах**

- Л. А. Семенюк – старший преподаватель кафедры эксплуатации автоматизированных судовых энергетических установок.
- М. А. Серебряков – аспирант кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания.
- П. П. Кича – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры судовых энергетических установок.

#### **Information about the authors**

- L. A. Semenyuk – Senior Lecturer of the Department of Operation of Automated Marine Power Plants.
- M. A. Serebryakov – Postgraduate student of the Department of Marine Internal Combustion Engines.
- P. P. Kicha – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants.

Статья поступила в редакцию 21.11.2024; одобрена после рецензирования 26.11.2024; принята к публикации 26.11.2024.

The article was submitted 21.11.2024; approved after reviewing 26.11.2024; accepted for publication 26.11.2024.