

УДК 621.431.74-729.3

Н.Н. Тарашан¹, П.П. Кича²

¹Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского,
690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а

²Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ МОТОРНОГО МАСЛА КОМБИНИРОВАННЫМ ФИЛЬТРОВАНИЕМ В СУДОВЫХ ФОРСИРОВАННЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЯХ

На примере дизеля 6ЧСПН18/22 с высоким наддувом проведено сравнение в эксплуатационных условиях эффективности очистки смазочных материалов полнопоточным и комбинированным фильтрованием по влиянию на старение моторного масла, изнашивание и нагаро- и лакообразование деталей двигателя. Выявлено увеличение интенсивности очистки масла от нерастворимых примесей при комбинированном, по сравнению с полнопоточным, фильтровании в 5–8 раз, что способствует снижению изнашивания и нагарообразования деталей цилиндро-поршневой группы на 35–60 %. Установлено, что срок службы полнопоточных фильтрующих элементов при дополнительной глубокой очистке масла от мелкодисперсной нерастворимой фазы частичнопоточным фильтрованием увеличивается почти в 2 раза.

Ключевые слова: очистка масла, комбинированное фильтрование, фильтрующие элементы, эффективность масляного фильтра.

N.N. Tarashchan, P.P. Kicha

EFFICIENCY OF ENGINE OIL PURIFICATION BY COMBINED FILTERING IN SHIP' SUPER DIESELS ENGINES

Taking a supercharged diesel 6ChSPN18/22 as an example we've compared in operating conditions efficiency of engine oil purification by both full-flow and combined filtering as to the influence on engine oil wear and carbon laquer formation of the working parts. We've found 5–8 times increase of intensification of oil purification from insoluble impurities at combined filtering compared to a full-flow one which results in reduction of wearing and carbon formation of cylinder piston group by 35–60 %. It was established that the service life of full-flow filtering elements at additional deep purification of oil from finely-divided insoluble phase by part-flow filtering is increased twice as much.

Key words: oil purification, combined filtering, filtering elements, oil filter efficiency.

Теория и практика очистки моторного масла в двигателях внутреннего сгорания комбинированным фильтрованием изложена в работах [4–6]. Доказано, что дополнительно к полнопоточной очистка моторного масла (ММ) по байпасной (частичнопоточной) схеме снижает грязевую нагрузку на полнопоточные фильтрующие элементы (ФЭПП) и таким образом облегчает их функционирование в системе смазки ДВС. Срок их службы возрастает значительно. В этом случае они способны длительно надежно защищать пары трения дизеля от попадания в трибосопряжения опасных механических примесей с размерами $d > 15$ мкм, соизмеримыми с толщиной работающего масляного клина в подшипниках. Перепуск циркуляционного холодного масла через предохранительные клапаны фильтра при пуске двигателя практически отсутствует, что благоприятно сказывается на состоянии его деталей трения.

Фильтрующие элементы (ФЭ) комбинированного масляного фильтра (ФМК), функционирующие по частичнопоточной схеме, имеет поровую структуру, обеспечивающую интенсивную очистку ММ от мелкодисперсных нерастворимых примесей (НРП). В результате ин-

тенсивность его старения падает, что способствует снижению нагаро- и лакообразования в двигателе и увеличению срока службы масла [5].

Оптимизация рабочих параметров ФМК [6] показала, что требуемая для эффективной работы ФМК номинальная толщина отсева полнопоточного фильтрования и интенсивность его глубокой очистки частичнопоточными фильтрующими элементами (ФЭЧП) зависят от форсировки дизеля и качества применяемых горюче-смазочных материалов. При комбинированной очистке ММ подбор фильтровальных материалов (ФМ) для ФЭ поверхностного типа в форме многолучевой звезды осуществлен по рекомендациям [6]. Применительно к дизелям, эксплуатируемым на Дальневосточном бассейне, они реализованы в ФЭПП и ФЭЧП типоразмера 6,4 ($D = 150$ мм, $d = 60$ мм, $H = 363$ мм). Использовались ФМК широкой гаммы типоразмеров с числом ФЭ от 3 до 12 (табл. 1).

Таблица 1

Состав и параметры комбинированных фильтров для судовых дизелей

Table 1

Structure and parameters of the combined filters for ship diesels

Дизель	$P_{ен},$ кВт	$n_{дв},$ c^{-1}	Масло	Топливо	Фильтр	Фильтровальный материал	
						ФЭПП	ФЭЧП
ДД105 (6ЧСПН18/22)	165	12,5	М-10-Г ₂ (цс)	Л-0,5-62	ФМК-3/2	БМУ-30	НКФМ-20
ДД103 (8ЧСПН18/22)	230	12,5	М-10-Г ₂ (цс)	Л-0,5-62	ФМК-3/2	БМУ-30	НКФМ-20
ДД112 (6ЧСПН18/22)	440	16,7	М-10-Г ₂ (цс)	Л-0,5-62	ФМК-4/2	БМУ-35	БМУ-15
6VD36/24A.1 (6ЧН24/36)	330	8,3	М-10-Г ₂ (цс)	ТМС	ФМК-4/2	БМ-35	БМУ-15
8ВАН22 (8ЧН22/32)	350	8,3	М-10-Г ₂ (цс)	Ф-5	ФМК-4/2	ДРКБ-40	БМУ-15
5А25 (5ЧН25/30)	680	12,5	М-10-Г ₂ (цс)	ТМС	ФМК-6/3	БМ-35	БМУ-15
625МТВН40 (6ЧН25/40)	390	8,3	М-10-Г ₂ (цс)	Л-0,5-62	ФМК-4/2	БМ-35	НКФМ-20
8Т23НН (8ЧН22,5/30)	735	12,5	М-10-Г ₂ (цс)	ДТ	ФМК-6/3	БМ-35	БМУ-15
4R22В (4ЧН22/24)	530	16,7	М-10-Д ₂ (цл20)	М-40В	ФМК-4/2	ДРКБ-40	КФМ-10
524ТS (5ЧН24/31)	550	12,5	М-14-Д ₂ (цл20)	Ф-12	ФМК-6/3	ДРКБ-40	КФМ-10
Vasa20 (4ЧН20/28)	1000	16,7	М-14-Д ₂ (цл30)	М-100	ФМК-6/3	ДРКБ-40	КФМ-10
Vasa32 (6ЧН32/35)	1850	16,7	М-14-Д ₂ (цл30)	М-100	2ФМК-12/6	БМ-35	КФМ-10
8DS32 (8ЧН32/38)	2200	10	М-14-Д ₂ (цл30)	М-40В	2ФМК-12/8	ДРКБ-40	КФМ-10

Оценка эффективности ФМК-4/2 проводилась в дизеле ДД112 (6ЧСПН18/22) с высоким наддувом ($p_{me} = 1,7$ МПа). Использовалось масло М-10-Г₂(цс) (ГОСТ 12337-84) и дизельное топливо Л-0,5-62 (ГОСТ 305-76). Его система смазки оснащалась комбинированным фильтром с ФЭПП-6,4 и ФЭЧП-6,4, фильтрующие шторы которых изготавливались соответственно из материалов БМ-35 и БМУ-15. Характеристики ФМ приведены в работе [4]. Штатный вариант очистки ММ осуществлялся полнопоточным фильтром ФМП-3 с ФЭ «Нарва-6», фильтрующая штора которых была сформирована в виде многолучевой звезды с поперечными складками из материала ДРКБ (номинальная толщина отсева $\Delta_n = 45$ мкм).

Судовой эксперимент проводился с соблюдением ОСТ 24.060.09-89 [3]. Пробы масла на анализ отбирались через 200 ч работы дизеля. С такой же периодичностью осуществляли его долив для компенсации угара. Оценка износа деталей дизеля (цилиндровых втулок и шеек коленчатого вала) производили с использованием метода искусственных баз (приборы УПОИ-6 и УПОИВ-2). Износ поршневых колец и вкладышей мотылевых подшипников контролировали их взвешиванием на аналитических весах ВЛ-200 до и после испытаний на каж-

дом этапе. Нагаро- и лакообразование ДВС оценивали согласно [3] в балльной системе 344Т измерением площади, твердости и толщины нагаров, отложившихся на поршнях.

Физико-химические показатели ММ и их старение оценивали на основе методик [2]. Загрязнение масла контролировали по содержанию с НРП, определяемых методом центрифугирования (ГОСТ 20684-75). Щелочность $Щ$ проб масла оценивали по ГОСТ 11362-76. Степень (глубину) окисления $СО$ масла определяли через отношение интегральной интенсивности поглощения карбонилсодержащих соединений $-C = 0$ к группе $-C = C-$ ароматических ядер. Содержание смол $См$ находили методом диализа и хроматографии. Срабатывание присадок $П$ контролировали сопоставлением щелочности фугата и диализата свежего и работающего масла.

Наблюдение за работой фильтров осуществляли по рекомендациям [1]. Контроль режимов работы и технического состояния дизелей осуществляли согласно правилам технической эксплуатации. Эксперимент велся этапами по 2 тыс. ч. Испытания вышеуказанного объекта вели так, чтобы нагрузочные режимы дизелей были одинаковыми как при работе со штатными, так и опытными фильтрами. Угар масла в период эксплуатационных испытаний на номинальном режиме работы двигателя составлял 1,2–1,6 г/(кВт·ч).

Расчет интенсивности (скорости) a_i старения ММ по любому направлению, при условии равенства концентрации $c_{ид}$ рассматриваемого компонента в доливаемом масле его содержанию c_{io} в свежем продукте, вели по результатам анализа взятых проб

$$a_i = K_y Q_y \frac{\sum_{j=1}^n (c_{ij} - c_{io})}{\sum_{j=1}^n \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{K_y Q_y + (Q_{\phi} \phi_{\phi})_i}{G_0} \tau_j \right] \right\}},$$

где c_{ij} – содержание i -го компонента в масле за период τ_j его работы; $K_y Q_y$, $Q_{\phi} \phi_{\phi}$ – интенсивность удаления НРП при угаре и фильтровании масла; G_0 – вместимость системы смазки.

Условия эксплуатации дизелей ДД112 были не столь жесткими, так как он работал на дизельном топливе, поэтому скорость загрязнения масла НРП была сравнительно невелика. На обоих этапах испытаний она была одинакова и в среднем составляла 8,4–8,6 г/ч (табл. 2).

Таблица 2

Моторная эффективность фильтрования в судовом дизеле ДД112 (6ЧСПН18/22)

Table 2

Motor efficiency of filtering in the ship diesel DD112 (6ChSPN18/22)

Показатель	ФМП-3	ФМК-4/2
1	2	3
<i>Состояние моторного масла:</i>		
Концентрация НРП, %		
общих	1,7 ± 0,3	1,2 ± 0,2
зольных	0,34 ± 0,06	0,25 ± 0,04
Щелочность масла, мг КОН/г	2,4 ± 0,5	3,9 ± 0,5
Степень окисления, %	10,0 ± 12	6,6 ± 0,8
Содержание смол, %	12,8 ± 1,4	8,5 ± 0,9
Содержание присадок, отн. ед.	100	66 ± 7
Диспергирующая способность, отн. ед.	0,51 ± 0,06	0,62 ± 0,07

Окончание табл. 2

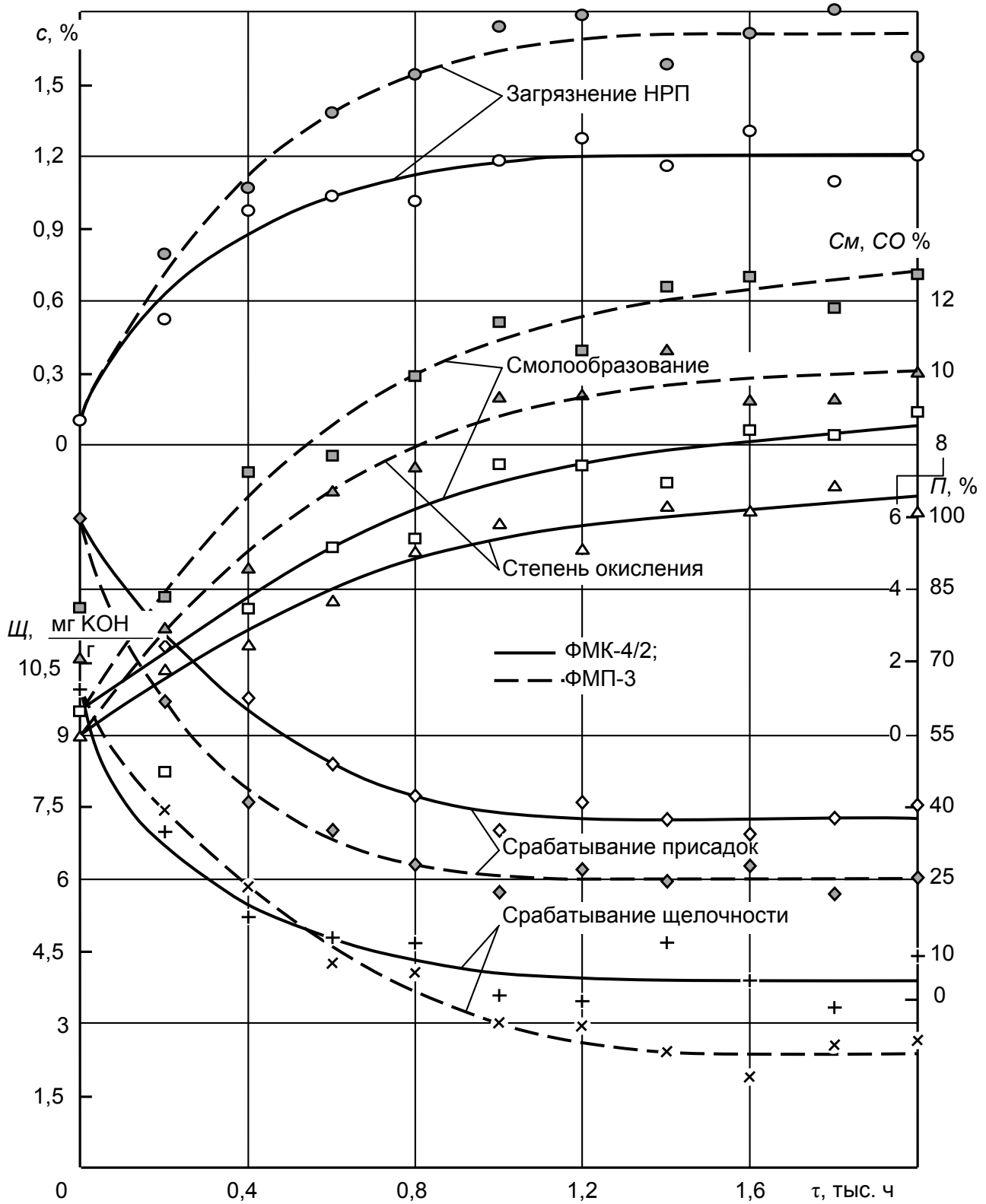
1	2	3
<i>Интенсивность (скорость) старения масла, г/ч:</i>		
Поступление НРП	8,6 ± 0,9	8,4 ± 0,8
Срабатывание присадок*	28,4 ± 4,1	19,6 ± 2,7
Окисление	41 ± 7	32 ± 9
Смолообразование	64 ± 8	48 ± 6
<i>Работа маслоочистителей:</i>		
Интенсивность очистки от НРП, г/ч:		
общих	46 ± 4	240 ± 25
зольных	51 ± 6	306 ± 42
Срок службы ФЭ, тыс. ч		
полнопоточных	0,76 ± 0,09	1,64 ± 0,2
частичнопоточных	–	0,82 ± 0,09
<i>Скорость изнашивания деталей ДВС:</i>		
Поршневых колец, г/1000 ч	4,7 ± 0,5	3,2 ± 0,3
Цилиндровых втулок, мкм/1000 ч	13,2 ± 1,2	8,6 ± 0,9
Вкладышей мотылевых подшипников, мг/1000 ч	11,2 ± 1,2	8,9 ± 0,9
Мотылевых шеек коленчатого вала, мкм/1000 ч	7,8 ± 0,8	5,6 ± 0,6
Нагаро- и лакообразование на поршнях (общая оценка), балл	8,5 ± 0,9	6,2 ± 0,7
Нагары в поршневых канавках, балл	2,8 ± 0,3	2,4 ± 0,2

* Скорость срабатывания присадок рассчитывалась по содержанию их активных компонентов в пробах отбора масла

Однако из-за разной интенсивности очистки масла М-10-Г₂(цс) ФМП и ФМК стабилизация его загрязнения НРП происходила на разном уровне, соответствующем концентрации 1,7 и 1,2 %. Динамика накопления общих нерастворимых примесей в масле была близка к экспоненциальной зависимости (рисунок). Выявленная тенденция сохраняется как по НРП, так и другим компонентам старения масла. Стабилизация содержания зольных НРП, когда очистка масла осуществлялась полнопоточным фильтром, наблюдалась при средней концентрации 0,34 %. При комбинированной очистке этот показатель был равен 0,25 %.

Указанному уровню загрязнения масла НРП интенсивность его очистки от общих примесей ФМП соответствовала 46, ФМК–240 г/ч, т. е. при комбинированном фильтровании она была в 5,2 раза выше полнопоточной очистки. По зольным продуктам соотношение $Q_{фФф}$ составляло 52 против 306 г/ч. Таким образом, эффективность их очистки ФМК по сравнению со штатной была уже выше в 6 раз.

Интенсивное удаление комбинированным фильтром зольных НРП, являющихся катализатором окисления масла, приводит к снижению скорости срабатывания присадок. При введении глубокой очистки ММ она упала в полтора раза, т. е. с 28,4 до 19,6 г/ч (см. табл. 2). Это способствовало стабилизации щелочности при комбинированном фильтровании масла на уровне 3,8 мг КОН/г, в то время как при штатной комплектации системы тонкой очистки масла наблюдалось падение щелочности до 2,4 мг КОН/г. Нижний уровень щелочности при применении ФМК был в 1,6 выше, чем при очистке масла ФМП. При этом наблюдалось адекватное соотношение в срабатывании присадок, определяемое как по падению щелочности масла, так и по содержанию в пробах отбора их активного компонента.



Кинетика старения масла М-10-Г₂(цс) в дизеле 6ЧСПН18/22
Kinetics of aging of M-10-G2 oil (цс) in the diesel 6ChSPN18/22

Эффективная очистка ММ комбинированным фильтрованием способствовала снижению степени (глубины) окисления масла, что было зафиксировано по содержанию карбонилсодержащих продуктов группы $-C = O$. Максимальный уровень их в системе смазки (СС) со штатным очистителем был 10, а при применении ФМК $CO = 6,9$ %. Почти в таких же пропорциях находились и показатели по средней скорости образования этих продуктов в масле при интенсификации его очистки ФМК – 41 против 32 г/ч (см. табл. 2).

Также обнаружено снижение смолообразования масла при увеличении интенсивности его фильтрования. При применении опытной системы оно замедлилось, и скорость образования смол снизилась с 64 до 48 г/ч. Это привело к тому, что стабилизация содержания смол в ММ при применении ФМК установилась на уровне 8,5 %. В то время как при полнопоточном фильтровании показатель C_m соответствовал 12,8 %.

Снижение грязевой нагрузки на полнопоточные ФЭ при комбинированном фильтровании привело к увеличению $T_{фэпп}$ до 1,64 тыс. ч. В ФМП срок службы полнопоточных ФЭ был в 2,13 раза ниже. Этот показатель у штатного маслоочистителя составлял в среднем 0,76 тыс. ч. Статистика длительного применения ФМК в дизелях типа ЧН18/22 показала возможность продления срока службы ФЭЧП до значений 0,82 тыс. ч, т. е. в заданной комплектации комбинированного фильтра достигается двукратная смена последних за срок службы полнопоточных ФЭ.

Износные характеристики дизеля ДД112 при комбинированной очистке масла значительно улучшились, так как включение в его СС фильтра с высокими показателями по полноте и тонкости отсева увеличило надежность защиты пар трения от абразивного изнашивания. В наибольшей мере (в 1,47–1,53 раза) снижение скорости изнашивания наблюдалось у поршневых колец и втулок цилиндров, что обусловлено увеличением показателя $Q_{фф}$ за счет высокой интенсивности очистки масла у частичнопоточных ФЭ.

Вкладыши подшипников и шейки коленчатого вала при применении ФМК в меньшей мере подверглись вредному воздействию абразивных частиц, поступающих в эти пары трения в незначительном количестве. Это связано с тем, что тонкость отсева от включения в систему смазки ФМК по сравнению с использованием ФМП несколько (с 45 до 35 мкм) улучшилась. По данным результатов испытаний можно констатировать, что, несмотря на повышение тонкости отсева, из-за снижения грязевой нагрузки на полнопоточные ФЭ предохранительные клапаны ФМК в период работы $\tau > 0,8T_{фэпп}$ при пуске дизеля открывались на более короткое время, чем при использовании ФМП.

Снижение нагаро- и лакообразования при применении комбинированного фильтрования по сравнению с полнопоточным составляло 2,3 балла, что было вызвано более интенсивной очисткой масла ФМК от мелкодисперсной фазы загрязнений. При этом общий уровень нагарообразования на поршнях снизился с 8,5 до 6,2 балла. На снижение этого показателя при включении в систему смазки дизеля ФМК оказало влияние менее интенсивное срабатывание присадок и сохранение моюще-диспергирующих свойств масла на более высоком уровне. По загрязнению поршневых канавок углеродистыми отложениями преимущество модернизированных систем очистки ММ незначительное.

Подводя итоги испытаний комбинированного маслоочистительного комплекса на судах в дизелях разной форсировки, можно отметить высокую эффективность ФМК. Рациональность ее использования доказана не только при использовании дизельного, но и при применении моторного топлива и мазутов (флотского и топочного). Разница в эффективности ФМК и ФМП возрастает при повышении моторных свойств масел, увеличении их моюще-диспергирующих показателей и щелочности, сопровождающейся ростом зольности.

Дальнейшее конструктивное совершенствование ФЭ предусматривает унификацию их с тем, чтобы они удовлетворительно функционировали в дизелях разного назначения как при

использовании минеральных, так и синтетических ММ. Главное достоинство комбинированного фильтрования состоит в совместной реализации двух функций – надежной защиты пар трения ДВС от абразивного изнашивания и глубокой очистки масла от катализаторов окисления, что создает предпосылки для увеличения его срока службы.

Результаты эксплуатационных испытаний ФМК на судах показали, что сочетание полно- и частичнопоточной схем фильтрования способствует полной защите ДВС от попадания опасных частиц НРП в их пары трения и поддерживает загрязнение масла этими продуктами на низком уровне, что снижает изнашивание и нагарообразование основных деталей двигателей.

Альтернативы комбинированному фильтрованию при низких (0,2–0,5 МПа) давлениях в СС дизеля нет. Использование его особенно рационально для ДВС, работающих с большой долей перегрузок и неустановившихся режимов, когда поступление в масло продуктов неполного сгорания топлива велико.

Анализ эффективности комбинированного фильтрования масла в ДВС показал, что система тонкой очистки ММ на его основе предпочтительнее полнопоточного фильтрования в двигателях при удельной скорости загрязнения ММ более 0,05 г/(кВт·ч). Особенно перспективно использование ФМК в дизелях, работающих на низкосортных топливах (мазутах) и маслах с высокими моюще-диспергирующими свойствами с показателем ДСС > 18.

Судовой эксперимент подтвердил также рациональность применения комбинированного фильтрования ММ в двигателях, пары трения которых очень чувствительны к загрязнению масла НРП. Обычно это наблюдается при высоких удельных давлениях поршневых колец на втулку цилиндра и при малых толщинах «масляного клина» в трибосопряжениях. Особенно высоко преимущество ФМК над ФМП при работе дизелей на высокозольных маслах.

Выводы

1. Разработана и проведена оценка моторной эффективности комбинированной системы тонкой очистки масла, использование которой в судовых дизелях позволяет:

- снизить в 1,2–1,8 раза скорость изнашивания основных трибосопряжений двигателей и уменьшить нагаро- и лакообразование на поршнях не менее чем на 35 %;
- повысить в 1,5–2 раза срок службы ММ и полнопоточных ФЭ;
- стабилизировать на длительный срок работы дизеля угар и расход ММ на минимальном уровне.

2. Доказана рациональность применения комбинированных фильтров в СС дизелей при повышенном загрязнении масла НРП, что может быть вызвано их высокой форсировкой наддувом, использованием низкосортных топлив, в том числе топочных мазутов, длительной работой двигателей с перегрузкой и на переменных неустановившихся режимах с интенсивным поступлением в ММ продуктов неполного сгорания топлива. Использование комбинированного фильтрования также рационально в ДВС с низким угаром масла, когда маслообмен в системе смазки мал, что вызывает интенсивное срабатывание присадок.

3. Высокая эффективность комбинированного фильтрования достигается разграничением функций маслоочистки между используемыми агрегатами. При этом фильтрованием полного потока осуществлена надежная защита двигателя от опасных абразивных частиц с высокой (25–40 мкм) тонкостью их отсева и частичнопоточным фильтрованием значительно повышена интенсивность очистки масла от мелкодисперсных НРП, что тормозит старение ММ. Такое распределение функций между агрегатами маслоочистки позволяет выбрать ровные структуры ФМ, полностью удовлетворяющие требованиям, предъявляемым к полно- и частичнопоточным ФЭ комбинированного фильтра.

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. Никифоров, О.А. Рациональное использование моторных масел в судовых дизелях / О.А. Никифоров, Е.В. Данилова. – Л.: Судостроение, 1986. – 96 с.
3. ОСТ 24.060.09-89. Методика оценки моторных и физико-химических свойств масла при их стендовых испытаниях. – М.: ЦНИИТЭИТяжмаш, 1990. – 75 с.
4. Таращан, Н.Н. Тонкая очистка моторного масла в судовых дизелях комбинированным фильтрованием / Н.Н. Таращан, А.В. Голенищев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 1. – С. 218–223.
5. Таращан, Н.Н. Идентификация области рационального использования комбинированной тонкой очистки моторного масла в судовых дизелях / Н.Н. Таращан, Г.П. Кича // Вестн. Мор. гос. ун-та. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. – Вып. 52. – С. 46–54.
6. Таращан, Н.Н. Оптимизация очистки моторного масла в судовых дизелях комбинированным фильтрованием / Н.Н. Таращан // Проблемы транспорта Дальнего Востока, 5–7 октября 2011 г.: материалы девятой Междунар. науч.-практ. конф.– Владивосток: ДВО РАТ, 2011. – С. 159–161.

Сведения об авторах: Таращан Николай Николаевич, кандидат технических наук, доцент, e-mail: nadezkin@msun.ru;
Кича Павел Петрович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: pkicha@inbox.ru.