

Судовые энергетические установки и их элементы

Научная статья

УДК 621.431.74

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-2/54-63>

Г.П. Кича, Р.А. Крючков, М.А. Серебряков

КИЧА ГЕННАДИЙ ПЕТРОВИЧ – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой,
kicha@msun.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8298-9956>

КРЮЧКОВ РУСЛАН АЛЕКСЕЕВИЧ – аспирант, kryuchkovra@mail.ru

СЕРЕБРЯКОВ МАКСИМ АНАТОЛЬЕВИЧ – аспирант, goryn76@yandex.ru

Кафедра судовых двигателей внутреннего сгорания

Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского

Владивосток, Россия

Комплексное повышение эффективности смазочных систем судовых среднеоборотных дизелей с высоким наддувом

Аннотация. Приведены результаты эксплуатационных испытаний в форсированном дизеле смазочной системы повышенной эффективности. Цель исследования – совершенствование смазочных систем судовых дизелей с высоким наддувом. Доказана важность сочетания полнопоточного фильтрования масла для надёжной защиты подшипников дизеля от попадания крупных частиц механических примесей, вызывающих абразивное изнашивание, со средствами центробежной глубокой очистки от мелкодисперсных нерастворимых продуктов, интенсифицирующих его окисление. Обоснованы показатели фильтров и центрифуг, комплектация которыми смазочных систем двигателей даёт возможность полностью реализовать достоинства и преимущества разных по принципу действия способов очистки. Дано сопоставление эффективности очистки моторных масел среднего и высокого функциональных уровней. Моторным экспериментом доказано, что при работе на дистиллятных нефтепродуктах – судовом маловязком топливе или ДМВ – ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых форсированных среднеоборотных дизелях со средним эффективным давлением 0,8–2,4 МПа достигается при работе на масле М-10Г₂ЦС и очистке его полнопоточным фильтром и байпасно подключаемой центрифугой.

Ключевые слова: дизель, система смазки, моторное масло, очистка масла, полнопоточный фильтр тонкой очистки, эксплуатационные свойства масла, фильтрование, центрифугирование

Для цитирования: Кича Г.П., Крючков Р.А., Серебряков М.А. Комплексное повышение эффективности смазочных систем судовых среднеоборотных дизелей с высоким наддувом // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2023. № 2(55). С. 54–63.

Введение

Развитие отечественного и зарубежного дизелестроения характеризуется повышением форсировки двигателей наддувом, совершенствованием их конструкций в целях увеличения ресурсов при обеспечении высокой надежности и экономичности. Это предъявляет более высокие требования к качеству применяемого масла, агрегатам его очистки и системе смазки в целом [8, 9].

Задача исследования – комплексное совершенствование смазочных систем судовых дизелей с высоким наддувом. Наибольшее распространение для очистки моторных масел (ММ) на судах получили методы фильтрования и центрифугирования [1, 2]. Предусматривались разработка системы тонкой очистки масла повышенной эффективности и подбор отечественного масла, соответствующего условиям работы форсированных дизелей на дистиллятных топли-

вах. Основные направления процесса старения циркуляционного масла, изнашивание и нагарообразование основных деталей исследовались в дизеле 824TS(8ЧН24/31) с параметрами: $P_e = 950$ кВт, $n = 750$ мин⁻¹, $p_{me} = 12,8$ МПа. Эксперимент проводился согласно ОСТ 24.060.09-89 на ледоколе «Адмирал Макаров». Влияние смазочной системы и форсировки двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на состояние (старение) ММ оценивали по комплексу параметров, разработанных в ЦНИДИ [8]. Изнашивание деталей дизеля контролировали методом искусственных баз (приборы УПОИ-6 и УПОИВ-2) и взвешиванием деталей до и после испытаний на аналитических весах [4]. Двигатели этой размерности работали на судовом маловязком топливе (СМТ) вид II, (ТУ 38.101567-2014) с содержанием серы 0,5% и смазочных маслах М-10В₂С и М-10Г₂ЦС (ГОСТ 12337-2020), средний угар ММ составлял 1,35 г/(кВт·ч). Продолжительность каждого этапа испытаний составляла 1000 ч. Пробы масла на анализ отбирали через каждые 100 ч работы. Испытанию подвергались маслоочистители трех вариантов:

- вариант 1 – фильтр грубой очистки (ФГО) (элементы цилиндрического типа, сетчатые, размер ячеек сетки – 62 мкм). Это наиболее распространённый на судах маслоочиститель;
- вариант 2 – фильтр тонкой очистки масла полнопоточный (ФТОМП), четырехэлементный, элементы «Восток-6А»;
- вариант 3 – комбинация полнопоточного фильтра тонкой очистки и частичнопоточной центрифуги МЦН-5Н.

Анализ конструкций маслоочистителей и их влияние на старение моторного масла

Особенность разработанных нами конструкций масляных полнопоточных фильтрующих элементов – полная взаимозаменяемость их и элементов Н15.П/2 германской фирмы «MANN AND HUMMEL», которые широко используются на судах отечественного флота в дизелях иностранного производства. Элементы типа «Восток-6А» изготавливаются из современного фильтровального материала мокрого формования БМ-120. Использование в нем поливинилспиртового связующего вещества позволило с введением термообработки полностью отказаться от гребенчатых вставок, или поперечных складок, которые до сих пор применяются в элементах типа «Реготмас-460» и «Нарва-6» [4, 6].

Такое упрощение конструкции увеличивает площадь рабочей поверхности фильтрующей перегородки. Новый элемент имеет фильтрующую штору в виде многолучевой звезды. Полнопоточное фильтрование масла через микропористые фильтровальные перегородки позволяет повысить эффективность отсева механических примесей [3]. Конструкция её довольно жёсткая и прочная в силу высоких механических свойств используемого фильтровального материала и его термообработки. Номинальная толщина отсева бумаги БМ-120 составляет 30 мкм. Она имеет регулярную поровую структуру, что позволяет использовать её при фильтровании масел с диспергирующими свойствами среднего уровня [3].

Улучшенные гидравлические характеристики элемента объясняются высокой жесткостью и проницаемостью фильтровального материала. Хорошие прочностные характеристики специальной фильтровальной бумаги, оптимизация элемента по геометрическим параметрам и плотности укладки фильтрующей перегородки складчатой формы позволяют работать элементам типа «Восток-6А» с повышенными скоростями фильтрации. Последнее обстоятельство весьма важно для форсированных дизелей с масляным охлаждением поршней. Удельный поток масла через такой двигатель довольно значителен, что при его высокой мощности приводит к большим размерам полнопоточного масляного фильтра.

Элементы «Восток-6А» надежно работают при скорости фильтрации 1,5–5 м/ч. По сравнению с элементами «Нарва-6А» их использование в системах смазки форсированных ДВС позволяет уменьшить габариты фильтра в 1,5–3 раза.

Центробежный маслоочиститель МЦН-5Н с наружным (гидравлическим) приводом ротора пятого типоразмера неполнопоточный, спроектирован в соответствии с ГОСТ 10150–2014. Он имеет высокие фактор разделения и индекс производительности. Эффективная очистка

центрифугой с гидрореактивным приводом достигается за счет хорошей организации потока масла внутри ротора и высоких скоростных характеристик [4]. Может эффективно функционировать в системах смазки при давлении не ниже 0,3 МПа.

Основные параметры центрифуги МЦН-5Н:

- вместимость ротора – 1320 см³;
- наружный диаметр ротора – 150 мм;
- расход масла на привод ротора (при давлении масла М-10В₂С на входе в ротор 0,7 МПа, температуре 70 °С) – 18 л/мин;
- частота вращения ротора (при тех же условиях) – 6800 мин⁻¹;
- грязеемкость – 800 см³;
- масса ротора – 1,2 кг;
- масса центрифуги – 7,6 кг;
- фактор разделения – $2,24 \cdot 10^3$;
- индекс производительности – 122,8 м²;
- число осветления – $0,49 \cdot 10^{-5}$ м/с;
- трудоемкость чистки ротора – 0,15–0,20 чел.·ч;
- габаритные размеры центрифуги, Д×Ш×В – 210×185×300 мм.

Циркуляция загрязненного масла в роторе происходит без местных завихрений по его периферии, где наибольший фактор разделения. Поперечное сечение ротора строго кольцевое, в результате чего поток масла в нем более равномерный. Очищенное масло отводится к соплам ротора из полости, образованной отражателем и находящейся вблизи оси ротора.

Сопла наклонены вниз под углом 5–8°, что обеспечивает лучшие условия для удаления масла из зоны вращения ротора [1]. Струя истекающего масла имеет направленное вниз винтообразное движение. Чтобы разбрызгиваемое масло не тормозило вращение ротора, в центрифуге установлен отражательный диск.

В целях более полного использования объема ротора его колпак выполнен стальным тонкостенным. Облегчение технического обслуживания центрифуги достигается конструктивными мероприятиями: креплением крышки ротора одной центрально расположенной гайкой, применением колпачковой крышки и плоского основания ротора со специальной грязесборной вставкой.

Как показывает зависимость вероятности защиты N пар трения дизеля 824TS от попадания в них частиц размера (диаметра) d при разных маслоочистителях (рис. 1). Наиболее надёжную защиту узлов трения от проникновения в них абразивных продуктов обеспечивает комбинированная система очистки. Незначительно уступает ей система с полнопоточным фильтром тонкой очистки. Наихудшие результаты получены при использовании в качестве маслоочистителя только фильтра грубой очистки.

Вероятность защиты пар трения от попадания частиц диаметром 30 мкм, вызывающих наибольшую скорость изнашивания деталей цилиндрической группы дизеля 824TS, при использовании полнопоточного эффективного фильтра очень высока, о чем свидетельствует незначительное влияние на N байпасно подключаемой в схему смазки центрифуги [4]. Преимущество последовательного включения маслоочистителя перед параллельным неоспоримо. Связь вероятности защиты трибосопряжений от попадания механических примесей с их износом подтверждается и на практике. Частичнопоточное подключение центрифуги в систему смазки двигателя при комбинировании ФТОМП с МЦН-5Н снижает грязевую нагрузку на фильтр и обеспечивает более длительную его работу в полнопоточном режиме очистки. Незначительно влияя на N , центрифуга интенсивно удаляет мелкие нерастворимые загрязнения и в 1,5–2 раза снижает их концентрацию в системе смазки дизеля. Очиститель МЦН-5Н удаляет из ММ продукты изнашивания дизеля и срабатывания присадок, что замедляет старение масла.

Сравнение эффективности маслоочистителей (табл. 1) при работе дизеля 824TS на маслах как со средними, так и высокими диспергирующими свойствами показало преимущество комбинированной системы очистки. При её использовании накопление в циркуляцион-

ном масле нерастворимых загрязнений происходит менее интенсивно, содержание нерастворимых примесей стабилизируется на самом низком уровне. В этом случае максимальная концентрация общих нерастворимых продуктов, как видно из табл. 1, не превышает 0,71 и 0,98%, а зольных – 0,14 и 0,27% соответственно при использовании моторных масел М-10В₂С и М-10Г₂ЦС (ГОСТ 12237-2020).

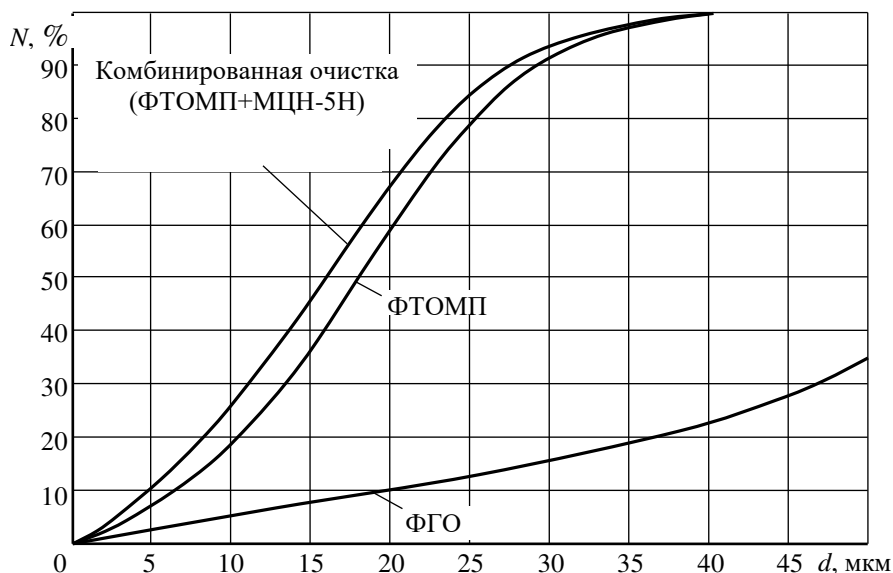


Рис. 1. Вероятность защиты пар трения дизеля 824TS от попадания частиц с плотностью 2,5 г/см³ при разных маслоочистителях

При переводе дизеля на ФТОМП, когда центрифуга отключается, содержание в масле нерастворимых загрязнений более высокое – в 1,3 по общим и в 1,55–1,78 раза по зольным продуктам. Приведённые соотношения позволяют сделать заключение, что на процесс накопления загрязнений в масле самое большое влияние оказывают центрифуги. Этот вывод подтверждает также анализ остальных показателей эффективности маслоочистителей. У центрифуг, если выделить их эффективность в комбинированной системе очистки, очень высокая скорость накопления отложений в роторе. По скорости удаления из масла продуктов старения эти агрегаты в 1,6–1,9 раза эффективнее фильтров тонкой очистки и в 20,6–40,8 раза – грубой. По сравнению с центрифугами данный показатель при комбинировании ФТОМП и МЦН-5Н выше в 1,25–1,32 раза.

В комбинированной системе очистки доля отфуговываемых нерастворимых загрязнений оценивается в 82–89% по общим и 88–93% по зольным продуктам. Скорость их удаления ФГО, ФТОМП и комбинированной системой находится в следующих соотношениях: для общих нерастворимых продуктов 3–6:20–30:100; для зольных – 2:13–28:100. Следует отметить, что при интенсивности очистки от нерастворимых продуктов комбинированная система превосходит ФТОМП в 5,6–10,2 раза при работе на масле М-10Г₂ЦС и в 4,1–5,8 раза на М-10В₂С. Верхнее значение относится к зольным примесям. Если по показателю интенсивности очистки сопоставлять два разных по принципу действия способа очистки масла – центрифугирование и фильтрование, то первый из них оказывается в 3,8–9,8 раза эффективнее второго. Интенсивность очистки масла с высокими диспергирующими свойствами, каковым является М-10Г₂ЦС, более низкая, чем масла М-10В₂С со средними диспергирующими свойствами. По сравнению с фильтрами у центрифуг следует отметить тенденцию к меньшему снижению эффективности очистки по мере увеличения моюще-диспергирующих свойств масла. Высокое качество очистки масла от нерастворимых загрязнений центрифугами подтверждается также по показателю «коэффициент очистки».

Таблица 1

Сравнение эффективности и режимов обслуживания маслоочистителей в системе смазки дизеля 824TS

Параметр сравнения	Масло М-10В ₂ С			Масло М-10Г ₂ ЦС		
	ФГО	ФТОМП	Комбинированная очистка	ФГО	ФТОМП	Комбинированная очистка
Максимальная концентрация в масле нерастворимых продуктов, % масс.	$\frac{1,2}{0,32}$ *	$\frac{0,92}{0,25}$	$\frac{0,71}{0,14}$	$\frac{1,39}{0,46}$	$\frac{1,25}{0,42}$	$\frac{0,98}{0,27}$
Скорость накопления отложенных маслоочистителями, г/ч	0,38	4,81	9,76	0,13	2,74	6,97
Скорость удаления агрегатами очистки нерастворимых продуктов, г/ч	$\frac{0,25}{0,05}$	$\frac{1,27}{0,61}$	$\frac{4,29}{2,16}$	$\frac{0,08}{0,03}$	$\frac{0,54}{0,22}$	$\frac{2,70}{1,83}$
Интенсивность очистки масла от нерастворимых продуктов, г/ч	$\frac{30}{21}$	$\frac{180}{320}$	$\frac{740}{1800}$	$\frac{19}{6}$	$\frac{68}{84}$	$\frac{383}{869}$
Коэффициент очистки масла от нерастворимых продуктов к моменту отработки маслом 2000 ч, %	$\frac{5,7}{4,4}$	$\frac{26,9}{39,6}$	$\frac{62,0}{79,9}$	$\frac{1,4}{1,5}$	$\frac{10,5}{12,2}$	$\frac{42,2}{63,1}$
Скорость изнашивания шеек и подшипников коленчатого вала, %	100	76	57	100	83	53
Периодичность обслуживания маслоочистителей, ч	210	380	540 (250)	340	820	1250 (250)
Трудоемкость обслуживания, чел. ч/1000 ч	3,8	0,5	1,6	2,3	0,2	1,4
Скорость изнашивания деталей ЦПГ, %	100	76	57	100	84	53
Нагаро- и лакообразование на поршнях, балл	22,3	12,1	11,7	4,6	3,8	3,7

Примечание. В числителе даны показатели для общих, в знаменателе – для зольных загрязнений. В скобках приведено значение показателя для центрифуги.

Самое высокое значение этого показателя у комбинированной системы. Применение ФТОМП по сравнению с комбинированной очисткой снижает коэффициент очистки в 2–5,2, а ФГО – в 10,5–42 раза. Неодинаковая эффективность маслоочистителей сказывается на моторных свойствах масла. Скорость изнашивания основных деталей дизеля в зависимости от качества очистки масла изменяется в 1,2–2,3 раза. По этому параметру комбинированная очистка имеет самые высокие показатели. Это объясняется тем, что в данном случае очень низка концентрация нерастворимых загрязнений в масле. Кроме того, довольно высока вероятность защиты пар трения от попадания крупных частиц загрязнения. Сопоставление этих двух факторов показывает преобладающее влияние «поточности» очистителя на скорость изнашивания деталей кривошипно-шатунного механизма (КШМ) – шеек коленчатого вала и вкладышей подшипников. Эффективность очистки масла и концентрации примесей в масле играют значительную роль в снижении износа деталей цилиндра-поршневой группы (ЦПГ). Действительно, если сопоставить полнопоточный фильтр тонкой очистки и частично-поточную центрифугу, у которых одно из указанных качеств преобладает, то видно более ощутимое

положительное влияние центрифуги на износ таких деталей ЦПГ, как поршневые кольца, цилиндры втулки, поршни. Фильтр же в большей мере снижает скорость изнашивания деталей КШМ. Эта особенность эффективности маслоочистителей была подтверждена и лабораторными испытаниями [3, 5]

В заключение можно отметить, что данные обстоятельства указывают на рациональность сочетания в системе смазки обоих способов тонкой очистки масла – фильтрования по полнопоточной схеме и центрифугирования по частично-поточной. Кроме того, из результатов эксперимента видно, что центрифугирование эффективно удаляет зольные нерастворимые примеси – продукты изнашивания и срабатывания присадок, являющихся катализаторами окисления масла, что тормозит его старение.

Эффективность использования в форсированном дизеле смазочного масла высокого эксплуатационного уровня и его комбинированной очистки

Испытание в дизеле 824TS масла М-10В₂С показало, что оно не обладает достаточным уровнем термоокислительных и моюще-диспергирующих свойств для эффективного использования в форсированных двигателях. Это масло интенсивно окисляется. Инфракрасной спектроскопией удалось установить, что относительная концентрация карбонилсодержащих соединений в нем довольно высока. Она доходит до 90–95% общего содержания продуктов старения в масле М-10В₂С. Вязкость этого масла в процессе работы увеличивается в 1,2–1,6 раза, что связано с полимеризацией, деструкцией и уплотнением углеводородов.

О низкой термоокислительной стабильности этого масла говорит тот факт, что количество деструктированных моноциклических нафтеновых углеводородов, накапливающихся в нем, превышает 12%. В то же время в лучших зарубежных маслах, таких как «Ward 10T SAE30», «Shell Rotella T», «Mobilgard 312», их содержится всего 3% [4]. В масле М-10Г₂ЦС максимальное содержание этих продуктов не превышает 7%.

Диспергирующая способность масла М-10В₂С также невелика. При его применении происходит быстрое срабатывание присадок, и уже через 500–800 ч работы состояние дисперсной фазы нерастворимых загрязнений очень неустойчиво. При дальнейшем его использовании наблюдаются флокуляция и агрегатирование первичных продуктов неполного сгорания топлива, поступающих в масло, и образование мицелл. Это способствует нагаро- и лакообразованию на верхней части поршней и закоксовыванию колец.

Диализ подтвердил, что соотношение коллоидной и грубодисперсной частей общих нерастворимых загрязнений при полном срабатывании и истощении присадок в масле нарушается. В этом случае оно становится равным 0,1–0,2. Наиболее низкие значения коэффициента 0,2–0,3, определяющего это соотношение, зафиксированы при работе на масле М-10В₂С. Его величина при использовании масла М-10Г₂ЦС находилась в пределах 0,4–0,8.

Уменьшение щелочности масел групп В₂ и Г₂, накопление общих s и зольных s_3 нерастворимых примесей происходит в зависимости от времени t работы масла в дизеле 824TS (рис. 2). Нейтрализующие свойства масла определялись методом потенциометрического титрования (ГОСТ 11362–96). Щелочность Щ масла М-10Г₂ЦС не падает ниже 4 мг КОН/г. При использовании масла М-10В₂С минимальный уровень щелочности за этот период работы составляет 0,4 мг КОН/г. Все это указывает на то, что запас качества универсального судового масла достаточно высок. Скорость срабатывания присадок в условиях форсированного дизеля у него низка, поэтому оно может быть долгорботающим.

Более высокая концентрация нерастворимых общих и зольных примесей в масле М-10Г₂ЦС вызвана его хорошими моюще-диспергирующими свойствами, в результате чего нерастворимые продукты удаляются агрегатами очистки хуже; при этом закоксовывания поршневых колец при проведении эксперимента не наблюдалось. Накопление их в циркуляционном масле происходит по экспоненте. Резкое снижение концентрации этих продуктов в масле М-10В₂С после 1000 ч работы вызвано потерей ими стабилизирующей способности.

Приведенные в табл. 2 параметры показывают эффективность комплексного совершенствования смазочной системы дизеля 824TS. Введение комбинированной очистки и использование масла М-10Г₂ЦС, по сравнению с исходным вариантом, позволяет снизить скорость изнашивания основных деталей двигателя в среднем в 2,2, а нагаро- и лакообразование – в 16,6 раза. В этом случае поршневые кольца полностью сохраняют подвижность. Ресурс дизеля до первой переборки значительно увеличивается. Если раньше при наработке 3500–4000 ч наблюдалось резкое ухудшение параметров рабочего процесса, то после модернизации системы смазки повышения угара масла и удельного расхода топлива, падения мощности двигателя не происходит при удлинении сроков работы между вскрытиями цилиндров до 12 тыс. ч. Результаты моторного эксперимента показали допустимость использования вместо дистиллятного топлива СМТ топлива ДМВ (ГОСТ 32510-2013).

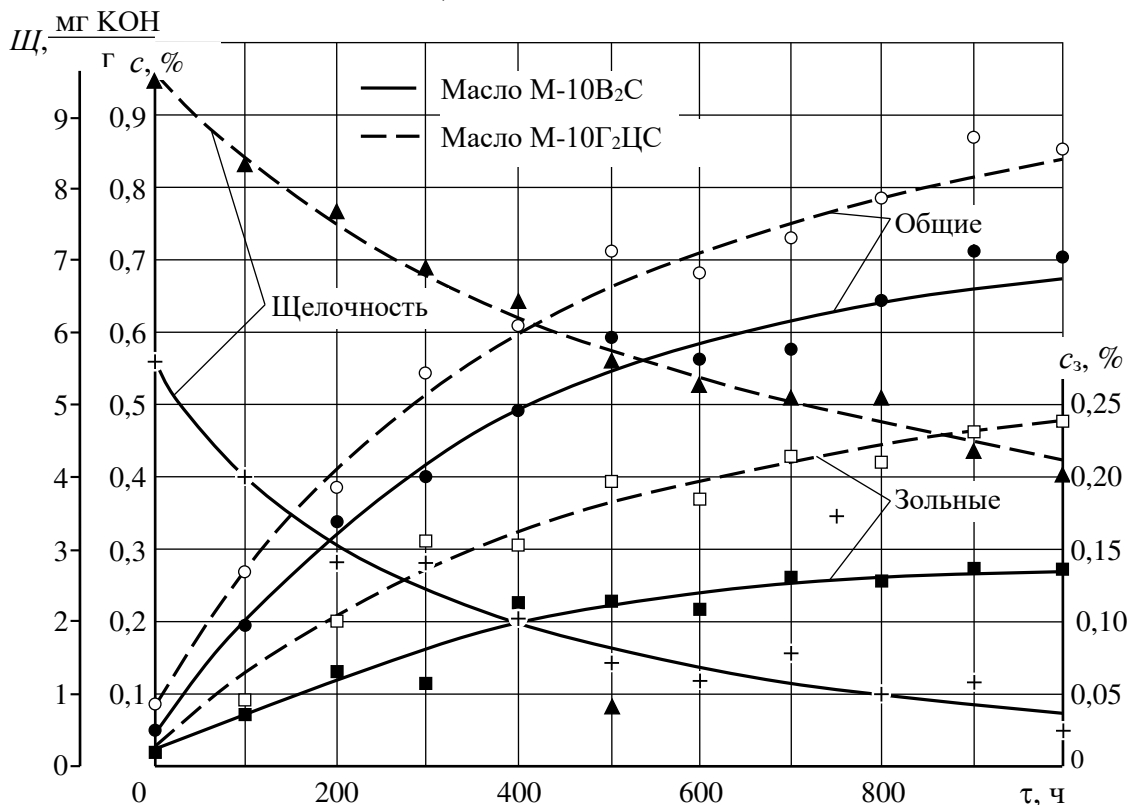


Рис. 2. Накопление нерастворимых примесей в масле и срабатывание его щелочных свойств в зависимости от срока службы в дизеле 824TS

Трудоемкость обслуживания ДВС уменьшается в 1,4 раза, а системы смазки – в 2,6. Расход сменно-запасных деталей снижается на 20–30%. Высокая эффективность прогрессивной комбинированной системы тонкой очистки масла подтверждается эксплуатационными испытаниями и других двигателей [3, 5]. В полнопоточных масляных фильтрах судовых вспомогательных дизелей с высоким наддувом рекомендуется использовать элементы «Восток-6А» в таких количествах, чтобы поверхность фильтрации, приходящаяся на 1 кВт, была равной 70–200 см². Номинальная тонкость отсева ФТОМП должна составлять 25–40 мкм.

Байпасное подключение центрифуг способствует снижению «грязевой» нагрузки на фильтр, удлиняя срок службы фильтрующих элементов в 1,5 раза. Наименьшие эксплуатационные расходы и трудозатраты на обслуживание комбинированной системы очистки масла достигаются, когда рабочая емкость ротора устанавливаемой центрифуги в диапазоне мощности двигателей 150–1800 кВт составляет 2–8 см³/кВт. При таких условиях комбинированная система очистки обладает довольно высокой эффективностью при минимальных массо-габаритных показателях.

Верхний предел рекомендаций как по элементам, так и роторам соответствует двигателям, имеющим наибольшее значение удельной скорости загрязнения масла нерастворимыми

продуктами, а также при использовании масел с удовлетворительными моюще-диспергирующими и стабилизирующими свойствами.

Таблица 2

Эффективность комплексного совершенствования смазочной системы дизеля 824TS

Показатель	Сравниваемые варианты	
	Масло М-10В ₂ С, фильтр грубой очистки	Масло М-10Г ₂ ЦС, комбинированная система очистки
Скорость изнашивания основных деталей дизеля		
Комплект поршневых колец, г/(1000 ч)	9,71	5,02
Цилиндровая втулка, мкм/(1000 ч)	16,8	6,3
Вкладыши шатунного подшипника, г/(1000 ч)	1,63	0,8
Мотылевая шейка коленчатого вала, мкм/(1000 ч)	10,3	4,1
Нагаро- и лакообразование на поршнях, балл		
Головка поршня	6,9	1,6
Перемычки	2,4	0,4
Канавки	7,8	0,9
Юбка поршня	5,2	0,8
Общая оценка	22,3	3,7
Подвижность поршневых колец	3,4	0,4
Отложение шлама в поддоне картера	5	0
Эксплуатационные и ресурсные показатели, тыс. ч		
Срок службы масла	0,5–2	3–8
Ресурс работы дизеля до первой переборки	6	12
Ресурс непрерывной работы дизеля (по смазочной системе)	0,5	1
Трудоёмкость обслуживания, $\frac{\text{чел.}\cdot\text{ч}}{1000\text{ ч}}$		
Трудоёмкость обслуживания системы смазки	15,8	6,1

Результаты сравнения указанных вариантов показывают, что масло М-10Г₂ЦС по всем показателям превосходит масло М-10В₂С, а значит более эффективно для последующего использования (см. табл. 2). Подводя итог анализу данных, можно выделить низкий запас качества масла М-10В₂С, который недостаточен для использования в системах смазки современных форсированных дизелей. Его эксплуатационные свойства несовершенны. Масла группы Г, особенно М-10Г₂ЦС, при работе таких двигателей на дистиллятном топливе вполне удовлетворяют этим условиям, их рекомендуется использовать. Иностранные масла такого же класса имеют более высокую стабилизирующую и термоокислительную способность. Моторные свойства этих масел, особенно в условиях обводнения, выше.

Заключение

1. Эксплуатационные испытания на судах доказали, что посредством комплексного повышения эффективности смазочной системы можно обеспечить ресурсосберегающее маслоиспользование в тронковых форсированных дизелях со среднеэффективным давлением 0,8–2,4 МПа. Высокая результативность модернизационных мероприятий выразилась в снижении изнашивания и нагарообразования в дизеле в 1,2–1,9 раза, увеличении длительности эксплуатации двигателя с угаром 1,2–1,5 г/(кВт·ч) и переводе смазочного масла М-10Г₂ЦС в режим бесшумной работы. Комплексность подхода в совершенствовании маслоиспользования состояла в применении термостойкого ММ с хорошо сбалансированными многофункциональными присадками с моюще-диспергирующими, антиокислительными и противоизносными свойствами, а также в интенсификации очистки смазочного масла комбинированием фильтрования и центрифугирования с достижением при малом маслообмене низкой скорости его старения.

2. Для дизелей с высоким наддувом разработана комбинированная система тонкой очистки циркуляционного масла, сочетающая достоинства полнопоточного фильтрования для защиты трибосопряжений от абразивного изнашивания и глубокой его очистки от мелкодисперсных, особенно зольных, нерастворимых примесей, вызывающих окисление ММ. Приведены показатели фильтров и центрифуг, обеспечивающих самую высокую эффективность очистки моторного масла в смазочных системах судовых форсированных тронковых дизелей с давлением наддува 0,2–0,4 МПа.

3. В ходе эксперимента выявлено, что при очистке смазочного масла ДВС полнопоточным тонким фильтрованием дополнительное его центрифугирование наиболее рационально при форсировке дизеля по среднему эффективному давлению выше 0,8 МПа, применении моторного масла с присадками с зольностью не ниже 1%, работе при угаре менее 1,5 г/(кВт·ч) и скорости загрязнения ММ нерастворимыми продуктами более 0,05 г/(кВт·ч). Предлагаемая комбинированная система очистки масла особенно эффективна при использовании в тронковых дизелях дистиллятных топлив, компаундированных компонентами глубокой переработки нефти.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. 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.
2. Кича Г.П. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания // Химия и технология топлив и масел. 1985. № 2. С. 28–30.
3. Кича Г.П., Воробьев Б.Н., Семенюк Л.А. Комбинирование фильтрования и центрифугирования – эффективный метод полнопоточной тонкой очистки масла в двухконтурных системах смазки судовых дизелей // Морские интеллектуальные технологии. 2018. Т. 5, № 4(42). С. 59–65.
4. 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.
5. 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.
6. Микутенок Ю.А., Шкаренко В.В., Резников В.Д. Смазочные системы дизелей. Ленинград: Машиностроение, 1986. 125 с.
7. Никифоров О.А., Данилова Е.В. Рациональное использование моторных масел в судовых дизелях. Ленинград: Судостроение, 1986. 96 с.
8. Смазочные масла для поршневых ДВС (по материалам конгресса СИМАС) // Двигателестроение. 2021. № 2(284). С. 36–44.
9. Цветков О.Н., Максимов А.Л. Современность и перспективы разработки и применения моторных масел для дизелей // Двигателестроение. 2020. № 4(282). С. 25–34.

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2023-2/54-63>

Kicha G., Kriuchkov R., Serebryakov M.

GENNADIY P. KICHA, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department, kicha@msun.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8298-9956>

RUSLAN A. KRIUCHKOV, Postgraduate Student, kryuchkovra@mail.ru

MAKSIM A. SEREBRYAKOV, Postgraduate Student, goryn76@yandex.ru

Department of Marine Internal Combustion Engines

Maritime State University named after adm. G.I. Nevelskoy
Vladivostok, Russia

Comprehensive improvement of the efficiency of lubrication systems of marine medium-speed diesel engines with high boost

Abstract. The results of operational tests in a forced diesel engine of a lubrication system of increased efficiency are presented. The purpose of the study is to improve the lubrication systems of marine diesel engines with high boost. The purpose of the study is to improve the lubrication systems of high-pressure marine diesel engines. The importance of combining full-flow oil filtration for reliable protection of diesel bearings from the ingress of large particles of mechanical impurities that cause abrasive wear, with means of centrifugal deep cleaning from finely dispersed insoluble products that intensify its oxidation, has been proved. The indicators of filters and centrifuges, the complete set of which lubrication systems of engines makes it possible to fully realize the advantages and benefits of different cleaning methods according to the principle of operation, are substantiated. A comparison is made of the purification efficiency of motor oils of medium and high functional levels. It has been proved by a motor experiment that when operating on distillate oil products - marine low-viscosity fuel or DO - resource-saving oil use in marine forced medium-speed diesel engines with an average effective pressure of 0.8–2.4 MPa is achieved when operating on M-10G2CS oil and cleaning its full flow filter and bypass centrifuge.

Keywords: diesel, lubricating system, engine oil, oil cleaning, full-flow fine filter, detergent-dispersing properties of oil, filtration, centrifugation

For citation: Kicha G., Kriuchkov R., Serebryakov M. Comprehensive improvement of the efficiency of lubrication systems of marine medium-speed diesel engines with high boost. *FEFU: School of Engineering Bulletin*. 2023;(2):54-63. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflict of interests.

REFERENCES

1. Kicha G.P., Nadezhkin A.V., Pak N.K. Self-regenerating filter of a new design for cleaning fuels and lubricating oils on ships. *Scientific problems of transport in Siberia and the Far East*. 2013;(1):203-207. (In Russ.).
2. Kicha G.P. Oil purification in internal combustion engines. *Chemistry and technology of fuels and oils*. 1985;(2):28-30. (In Russ.).
3. Kicha G.P., Vorobyev B.N., Semenyuk L.A. The combination of filtration and centrifugation is an effective method of full-flow fine oil purification in double-circuit lubrication systems of marine diesel engines. *Marine Intelligent Technologies*. 2018;5(4):59-65. (In Russ.).
4. Kicha G.P., Perminov B.N., Nadezhkin A.V. Resource-saving oil use in marine diesel engines: monograph. Vladivostok, Publishing House of the Moscow State University, 2011. 372 p. (In Russ.).
5. Kicha G.P., Semenyuk L.A. Full-flow combined filtration and centrifugation fine cleaning of engine oil in marine diesel engines. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology*. 2018;(2):62-69. (In Russ.).
6. Mikutenok Yu.A., Shkarenko V.V., Reznikov V.D. Diesel lubrication systems. Leningrad, Mechanical Engineering, 1986. 125 p. (In Russ.).
7. Nikiforov O.A., Danilova E.V. Rational use of motor oils in marine diesel engines. Leningrad, Shipbuilding, 1986. 96 p. (In Russ.).
8. Lube oils for reciprocating engines (based on CIMAC Congress papers). *Engine building news*. 2021;(2):36-44. (In Russ.).
9. Tsvetkov O.N., Maksimov A.L. Modernity and prospects of development and application of motor oils for diesels. *Engine building*. 2020;(4):25-34. (In Russ.).