СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СУДОВОЖДЕНИЯ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ

УДК 43.013:629.3

Сергей Петрович Бойко
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, кандидат технических наук, доцент кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания, SPIN-код: 2975-7872, AuthorID: 1059734, Россия, Владивосток, e-mail: boykoland@mail.ru

Николай Сергеевич Молоков
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, аспирант кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания, SPIN-код: 8121-6450, AuthorID: 1077761, Россия, Владивосток, e-mail: nikolaimolokov2014@mail.ru

Иван Сергеевич Ярин
Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского, аспирант кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания, Россия, Владивосток, e-mail: nadezkin@msun.ru

Конструкция и эффективность саморегенерирующегося фильтра с высокой регенерирующей способностью для очистки горюче-смазочных материалов на судах

Аннотация. Показана актуальность исследований по разработке судового саморегенерирующегося очистителя топлив и моторных масел с высокой тонкостью отсева и пропускной способностью. Акцентируется, что существующие фильтры рассматриваемого назначения имеют низкие очистительную способность, регенерируемость и срок необслуживаемой (автономной) работы, что вызывает проблематичность в их использовании для автоматизированных СЭУ.

Зафиксировано обострение проблемы повышения изнашивания судовых дизелей из-за необходимости использования высоковязкого топлива с низким (до 0,5 %) содержанием серы, компаундированного продуктами каталитического крекинга нефти, включающими абразивные алюмосиликаты. Выделяется необходимость обеспечения функционирования в течение 3–5 тыс. ч без обслуживания системы топливо- и маслоподготовки судовых дизелей с классом автоматизации А1.

Рассмотрены принципы повышения эффективности саморегенерирующихся фильтров, включающие использование тканых фильтровальных материалов полотняного переплетения оптимизированной структуры (геометрии), что позволяет на высоком уровне сбалансировать их фильтруемость и регенерируемость. Показана рациональность формирования фильтрующего элемента на основе этого материала в форме свечи, что обеспечивает жесткость конструкции, высокую просветность (коэффициент живого сечения) опорного каркаса и полное использование всей поверхности фильтрования как в режиме очистки, так и при обратной промывке.

Доказана рациональность карусельной компановки фильтровальных камер, использование в качестве силы, формирующей обратный (промывной) поток, давления воздуха. Поочередное воздействие на отложения потоком многофазной среды (фильтруемой жидкости, воздушной эмульсии на ее основе и воздуха) способствует эффективному удалению отложений. Предусмотрена возможность адаптивного режима регенерации фильтра, ко-

гда промывочный индекс формируется с учетом адгезионной активности отложений и характеристик фильтровальной сетки. Рассмотрена в системе смазки дизеля 8ДН35/62 моторная эффективность саморегенерирующегося фильтра СРФД-120 в сочетании с самоочищающимся центробежным сепаратором СОСЦ-3. Выделено, что комбинация полнопоточного фильтрования и байпасного сепарирования обеспечивает надежную защиту судового двигателя от изнашивания и низкую интенсивность старения моторного масла, что обеспечивает ресурсосберегающее маслоиспользование в самых жестких условиях эксплуатации дизеля, т.е. при его форсировки повышенным наддувом и применении высоковязких топлив глубокой переработки нефти.

Доказано, что срок автономной работы маслоочистителя СРФД-120 без обслуживания может составлять 3–5 тыс. ч. При его использовании в системе смазки форсированных тронковых двигателях совместно с сепаратором интенсивность старения моторного масла замедляется в 1,4–1,6 раза, и оно может работать бессменно. Выявлено в дизеле 8ДН35/62 превосходство новой комбинированной полности автоматизированной системы над штатной в снижении изнашивания двигателя на 40–60 %. При замене в фильтре СРФД-120 фильтровальной сетки на тканый материал полотняного переплетения с номинальной тонкостью отсева 10–20 мкм он может использоваться как очиститель топлива.

Ключевые слова: саморегенерирующийся фильтр, фильтрование, регенерация, очистка топлива и масла, ресурсосберегающее маслоиспользование, сепарирование.

Sergey P. Boyko
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, PhD in engineering science, associate professor of the department of marine internal combustion engines, SPIN-cod: 2975-7872, AuthorID: 1059734, Russia, Vladivostok, e-mail: boykoland@mail.ru

Nikolay S. Molokov
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, postgraduate student, SPIN-код: 8121-6450, AuthorID:1077761, Russia,Vladivostok, e-mail: nikolaimolokov2014@mail.ru

Ivan S. Yarin
Maritime State University named after admiral G.I. Nevelskoy, postgraduate student, Russia, Vladivostok

Design and efficiency of the self-regenerating filter with high regenerating capacity for cleaning fuel and lubricants on ships

Abstract. The relevance of research on the development of a ship self-regenerating purifier of fuels and engine oils with a high fineness of screening and throughput is shown, it is emphasized that the existing filters of the considered value have a low cleaning capacity, regenerability and period of maintenance-free (autonomous) operation, which causes problems in their use for automated SPP.

The exacerbation of the problem of increasing the wear of marine diesel engines due to the need to use high-viscosity fuel with a low (up to 0.5 %) sulfur content, compounded by the products of catalytic cracking of oil with the inclusion of abrasive aluminosilicates is substantiated. The need is highlighted to ensure functioning for 3–5 thousand hours without servicing the fuel and oil preparation system of marine diesel engines with A1 automation class.

The principles of increasing the efficiency of self-regenerating filters are considered, which

consist in the use of woven filter materials of a plain weave with an optimized structure (geometry), which makes it possible to balance their filterability and regeneration well. The rationality of the formation of a filter element based on this material in the shape of a candle is shown, which ensures the rigidity of the structure, high transparency (open section coefficient) of the support frame and full use of the entire filtering surface both in cleaning and backwashing modes.

The rationality of the carousel arrangement of the filter chambers has been proved, the use of the air pressure forming the back (flush) flow as a force has been proved. The alternate action on the deposits of a multiphase medium (filtered liquid, air emulsion based on it and air) contributes to the effective removal of deposits. The possibility of an adaptive filter regeneration mode is provided, when the flushing index is formed taking into account the adhesion activity of the deposits.

The motor efficiency of the СРФД-120 self-regenerating filter in combination with the СОСЦ-3 self-cleaning centrifugal separator is considered in the lubrication system in the 8ДН35/62 diesel engine. It is highlighted that the combination of full-flow filtration and bypass separation provides reliable protection of the marine engine from wear and a low aging rate of engine oil, which ensures resource-saving oil use in the most severe diesel operating conditions, i.e. its forcing and the use of high-viscosity fuels for deep oil refining.

It has been proven that the autonomous operation of the СРФД-120 oil cleaner without maintenance can be 3-5 thousand hours. When it is used in the lubrication system of forced trunk engines together with a separator, the aging rate of engine oil slows down 1.4-1.6 times and it can work permanently. In comparison with the standard cleaning system, it was revealed that the superiority of the new combined fully automated system over the standard one in the 8ДДН35/62 diesel engine was expressed in a decrease in its wear by 40–60 %. When replacing the filter mesh in the СРФД-120 filter with a woven fabric of plain weave with a nominal screening fineness of 10-20 microns, it can be used for fuel purification.

Keywords: self-regenerating filter, filtration, regeneration, fuel and oil purification, resource-saving oil use, separation.

Введение

Актуальность исследований по ресурсосберегающему топливо- и маслоиспользованию на судах представлена в работах [1, 2]. В них показано, насколько важно обеспечение тонкой очистки топлива и моторного масла (ММ) в форсированных тронковых среднеоборотных дизелях. Острота проблемы значительно возрастает в автоматизированных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) средней и высокой мощности, для которых полнопоточная очистка ММ агрегатами со сменными фильтрующими элементами (ФЭ) проблематична [3, 4].

Применение низкосортных топлив, особенно получаемых при каталитическом крекинге, приводят к поступлению в дизель алюмосиликатов. Они имеют размеры 5–20 мкм и очень абразивны. Надежная очистка горюче-смазочных материалов (ГСМ) от этих продуктов фильтрованием на судах в работающей судовой энергетической установке (СЭУ) является весьма эффективной мерой защиты трибосопряжений топливной аппаратуры, деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ) и подшипников двигателей от абразивного изнашивания [4, 5].

Длительная работа топливо- и маслоочистителей без обслуживания возможна только при применении саморегенерирующихся фильтров (СРФ) [3]. Срок автономной работы их между профилактическими осмотрами и обслуживанием может составлять 3–5 тыс. ч. В работах [6 и 7] показано, какими мерами достигаются эти показатели. При разработке нового фильтра с высокой регенерируемостью необходимо использовать принципы повышения технико-экономических показателей СРФ, разработанные ранее [8] и апробированные в работах [6, 9].

Принципы конструирования объекта исследований и его особенности

Проведенный анализ конструкций СРФ, используемых в системах топливо- и маслоподготовки на судах торгового и рыбопромыслового флота, показал их низкую эффективность. Большинство очистителей не способны фильтровать ММ с низкой моюще-диспергирующей способностью, так как их ФЭ забиваются отложениями уже через 50–100 ч работы. Особенно это характерно для масел группы $Б_2$ и $В_2$ (ГОСТ 17479.1-85) и при очистке топлив, имеющих парафинистую основу [5, 6].

Существующие СРФ отечественного производства имеют низкую регенерирующую способность, потому что в большинстве случаев удаление отложений с фильтруемой перегородки осуществляется воздухом. Из-за его низкой вязкости и слабого промывного импульса полное восстановление фильтровальных свойств фильтрующей перегородки не происходит. Постоянное накопление на ней отложений приводит к необходимости осуществлять разборку фильтра и мойку ФЭ уже через 100–200 ч его работы. Автономность работы большинства СРФ прогрессивных конструкций не превышает тысячи часов необслуживаемой работы [1, 4].

Предпосылкой для разработки СРФ высокой эффективности послужили теоретические исследования рабочих процессов автоматизированных фильтров [7, 8]. Были созданы модели этих процессов, в которых идентифицировано влияние различных факторов на фильтрование и регенерацию. В разработанных моделях были предложены для СРФ тканые сетки полотняного переплетения, обладающие высокой способностью отфильтровывать из ГСМ нерастворимые загрязнения и хорошо регенерироваться. По результатам теоретических и экспериментальных исследований были разработаны принципы повышения эффективности СРФ, которые вылились в новые инженерные решения по совершенствованию саморегенерирующихся (автоматизированных) топливо- и маслоочистителей (рис. 1).

Главной целью разработок в области СРФ была комплектация судовой автоматизированной фильтровальной установки агрегатами, обеспечивающими ее высокоэффективное функционирование. Применительно к системе смазки (СС) судового дизеля комплектация автоматизированной фильтровальной установки включает (см. рис. 1) фильтр-грязесборник, технологический (сигнальный) фильтр и комбинированный очистительный комплекс, содержащий СРФ и сепаратор центробежный (СЦ) тарельчатый. Такая комплектация показала высокую эффективность в самых тяжелых условиях функционирования [3], когда дизель имел значительную форсировку по среднему эффективному давлению при сжигании тяжелого высоковязкого топлива.

Новое направление в развитии СРФ указало на необходимость значительного увеличения скорости промывной жидкости [3], что требует создания мощного промывочного импульса, т.е. высокого давления продувки и большой площади проходного сечения промывного клапана. Использование многофазной промывной жидкости с последующей доочисткой воздухом способствует качественному удалению отложений. Адаптивный режим промывки, когда частота и продолжительность регенерации подстраивается под адгезионные свойства отложений, приводит к высокой автономности работы СРФ [4].

Конструкция ФЭ в форме свечи оптимальна с позиции ее прочности и качественного смыва отложений. Пружинный опорный каркас придает подложке высокую жесткость и хорошую проницаемость. Переменный шаг навивки проволоки решетки создает условия для полного использования всей поверхности ФЭ в режиме фильтрования и регенерации.

Достоинство тканого фильтровального материала полотняного переплетения состоит в возможности геометрией сетки управлять ее задерживающей и регенерирующей способностью. При определенных соотношениях шага основы, диаметра основной и уточной нитей (проволок) можно добиться накопления большей части отложений на поверхности сетки, что способствует лучшему смыву отложений. При этом возможно двухступенчатое фильтрование, когда в очистке участвует наружный и внутренний участки фильтровальной перегородки [4].

Рис. 1. Новые научно-технические решения по совершенствованию СРФ
Fig. 1. New scientific and technical solutions for improving the СРФ

Конструкция саморегенерирующегося фильтра и его работа

Саморегенерирующийся фильтр типа СРФД с высокой регенерирующей способностью и длительным сроком необслуживаемой работы был разработан в Морском государственном университете имени адмирала Г.И. Невельского. Существенную роль в расчетах рабочих параметров очистителя СРФД играют теоретические исследования, выполненные в этой организации [7, 9], позволившие моделировать параметры фильтрования и регенерации, обеспечившие высокую тонкость и полноту отсева нерастворимых загрязнений из ГСМ при эффективном удалении отложений с ФЭ агрегатов очистки. Фильтр разрабатывался для использования в автоматизированных СЭУ при очистке ММ с высокими моюще-диспергирующими свойствами и низкосортного топлива со значительной адгезией отложений на фильтровальной перегородке. Пропускная способность очистителя ММ составляет 120–360 м^3/ч в зависимости от количества фильтровальных камер, их может быть от 2 до 6. При очистке масла номинальная тонкость отсева составляет 30–50 мкм, топлива – 10–20 мкм. Число камер топливного фильтра не превышает 3 с пропускной способностью до 30 м^3/ч.

Составными частями фильтра типа СРФД являются (рис. 2) основание 1, корпус 2 и фильтровальные камеры 3 с располагаемыми в них элементами 4. В корпусе имеются сообщающиеся каналы А и Б для подвода и отвода жидкости к фильтровальным камерам. В нем же располагается общий патрубок для отвода потребителю очищенного масла или топлива. Аналогичный патрубок подвода фильтруемой жидкости в очиститель и патрубок отвода отложений (загрязненного продукта) располагается в основании фильтра.

В центральной части корпуса размещен распределитель потоков 5 и распределительный золотник 6. Последний вмонтирован в камеру продувочного воздуха 7, располагаемую на корпусе фильтра. На камере продувочного воздуха смонтирован переходной патрубок, к ко-

торому крепится электропривод 8 поворотного механизма распределителя. Камера продувочного воздуха снабжена впускным электроуправляемым клапаном 11 и невозвратным устройством (клапаном) 10. Распределитель потоков 5 разделяет в корпусе полости подвода загрязненной и отвода очищенной жидкости, распределяет ее по фильтровальным камерам. Кроме того, он осуществляет организацию обратного потока для удаления отложений из фильтровальных камер и ФЭ.

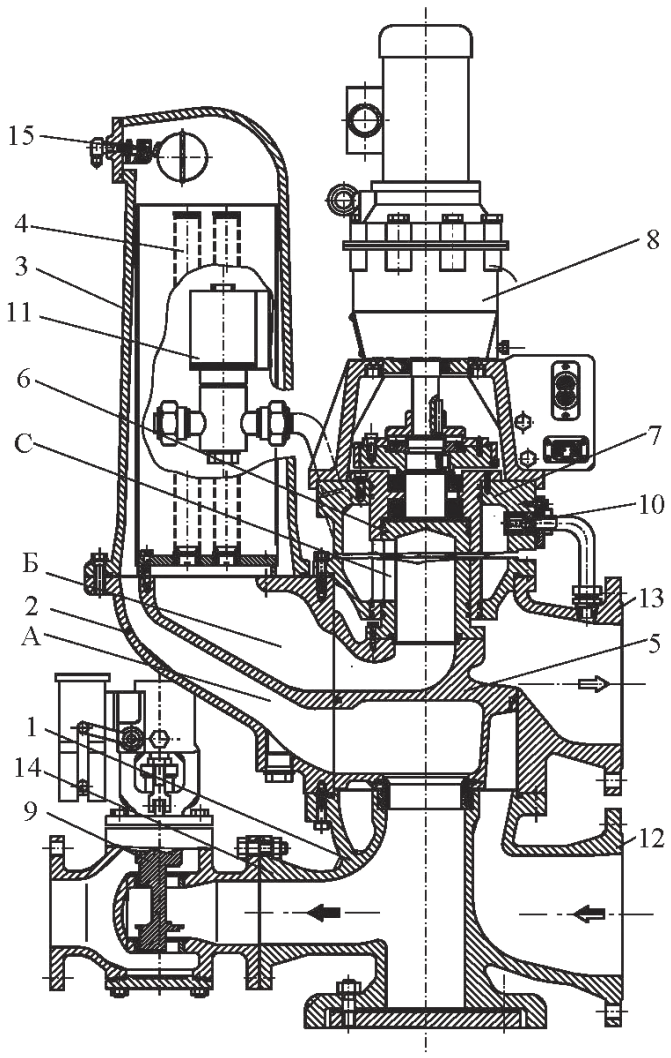

Рис. 2. Саморегенерирующийся фильтр СРФД-120
Fig. 2. Self-regenerating filter СРФД-120

Фильтровальные камеры 3 располагаются на корпусе вертикально по кругу на одинаковом удалении от оси фильтра. В камере может находиться в зависимости от типоразмера очистителя от 10 до 20 ФЭ. Сверху камера снабжена поплавковым устройством с невозвратным клапаном для удаления из нее воздуха.

Схема работы фильтра следующая. Загрязненное топливо или масло поступает в нижнюю кольцевую полость А, отверстия которой располагаются по периметру центральной цилиндрической полости корпуса. Через них загрязненная жидкость поступает к ФЭ фильтровальных камер, где проходит очистку. Отфильтрованная жидкость после прохождения через элементы попадает в полость очищенного продукта Б и далее через выпускной патрубок 13 – потребителю нефтепродукта.

Режим фильтрования будет осуществляться во всех камерах, доступ к которым открыт из впускной зоны 12 через полость А, а полость Б сообщена с внутренней полостью выпускного патрубка 13. Фильтрование наблюдается при смещении выступа (хобота) распределителя 5 в положение (на рис. 2 оно не показано), когда полость А и Б сообщаются с полостью впускного 12 и выпускного 13 патрубков. Этот режим может осуществляться во всех камерах при нейтральном расположении распределителя, когда все входные отверстия полости А и выходные полости Б открыты. Возможно положение распределителя, при котором рассматриваемые полости перекрыты (рис. 2) и в одной из камер осуществляется регенерация или она находится в режиме готовности для включения в фильтрование.

При повышении перепада давлений на фильтре до 0,08–0,1 МПа осуществляется регенерация одной или всех камер. В первом случае в работу включается резервная камера. А одна из работающих в режиме фильтрования регенерируется и переходит в режим резервирования. Но основная схема работы СРФД-120 состоит в поочередной регенерации ФЭ всех камер и переводе регенерирующего устройства в нейтральное положение. В этом случае все камеры включены на фильтрование. При достижении граничного перепада давлений на фильтре автоматика с помощью электропривода 8 ставит распределительное устройство в положение, показанное на рис. 2, при котором камера выводится из процесса фильтрования и готовится к регенерации ФЭ. К этому моменту в продувочной камере 7 находится под давлением 0,3–0,5 МПа масло(топливо)-воздушная эмульсия, приготовленная по специальному циклу подачи в камеру через клапан 11 воздуха и поступления через штуцер 10 нефтепродукта.

Алгоритм регенерации заключается в обратном движении нефтепродукта из полости Б через ФЭ под давлением воздуха, находящегося в продувочной камере 7. Этот процесс начинается при открытии клапана 9. Смываемые с ФЭ загрязнения через патрубок 14 и клапан 9 попадают в фильтр-грязесборник. После вытеснения жидкости из фильтровальной камеры через ФЭ последовательно проходит масло или топливо, далее эмульсия, схлопывание пузырьков которой приводит к разрушению отложений. Окончательно продувание ФЭ воздухом через электроуправляемый клапан способствует полному удалению загрязнений. При закрытии клапанов 9 и 11 регенерация завершается, включается поворотное устройство, подводящее распределительное устройство к следующей по ходу поворота камере. В ней проходит вышеописанный цикл. Фильтровальная камера, прошедшая регенерацию, заполняется очищаемой жидкостью, и в ней возобновляется фильтрование. Пройдя поочередно циклы регенерации, распределительное устройство занимает нейтральное положение. В таком состоянии распределительное устройство не сопрягается ни с одной из камер, и они функционируют в режиме фильтрования. При адаптивном режиме промывки ФЭ регенерация будет осуществляться, пока перепад давлений на фильтре не снизится до нижнего регламентируемого уровня. В этом случае процесс регенерации длится до полного восстановления гидравлических и очистительных характеристик фильтра.

Результаты испытаний саморегенерирующегося фильтра

Автоматизированная фильтровальная установка, включающая четырехкамерный саморегенерирующийся маслоочиститель СРФД-120 и центробежный самоочищающийся сепаратор СОСЦ-3, прошла эксплуатационные испытания на судах. Она входила в состав комбинированного маслоочистительного комплекса дизеля 8М35BF-2 (8ДН35/62) ($P_{ен}$=1942 кВт, p_{me}=0,8МПа, $n_д$=5,2 $с^{-1}$). Ее эффективность по влиянию на состояние циркуляционного ММ и двигателя сравнивалась с результатами, наблюдаемыми при комплектации системы СС рассматриваемого энергетического блока штатными средствами очистки масла (ШСО) – саморегенерирующим фильтром СРФ БМЗ Брянского машиностроительного завода и сепаратором СЦ-1,5 (табл. 1).

Судовой эксперимент осуществлялся в соответствии с требованиями стандарта ОСТ 24.060.09-89 этапами по 2 тыс. ч работы дизеля. Использовалось масло М-10-$Г_2$(цс) (ГОСТ

12337-84) и судовое маловязкое топливо (ТУ 38.101587-87). Масло при работе на каждом этапе испытаний продолжительностью 2 тыс. ч не менялось. Угар масла восполнялся его доливом в СС через каждые 50 ч работы. Его угар на протяжении всего периода испытаний был одинаковый и составлял 1,8–2,1 г/(кВт·ч). Нагрузка на дизель соответствовала 74–78 % его номинальной мощности.

Таблица 1

Характеристики штатного и опытного комбинированного маслоочистительного комплекса

Table 1

Characteristics of the standard and experimental combined oil cleaning complex

Показатель	Штатный комплект	Опытный комплект
Тип полнопоточного маслоочистителя	СРФ БМЗ	СРФД-120
Пропускная способность полнопоточного фильта, $м^3$/ч	120	120
Промывочный индекс, отн. ед.	0,6	3
Тонкость отсева, мкм	90	30
Тип байпасно подключаемого центробежного сепаратора	СЦ-1,5	СОСЦ-3
Номинальная пропускная способность тарельчатого сепаратора, $м^3$/ч	1,5	3
Индекс производительности сепаратора, $м^2$	3306	5254
Фактор разделения, отн. ед.	3200	4300

Подготовка дизеля к испытаниям состояла в полной очистке поршней от нагаров, взвешивания компрессионных и маслосъемных колец, вкладышей мотылевых подшипников, нарезания на цилиндровых втулках лунок.

Замер износа поршневых колец и вкладышей подшипников осуществлялся по потере их веса за этап испытаний взвешиванием на аналитических весах ВЛА-200. Лунки на цилиндровых втулках нарезали прибором УПОИ-6 в пяти поясах по шести образующим. Его же использовали для контроля длины лунок до и после этапа испытаний. Перевод длины лунок в износ по диаметру осуществляли по специальным таблицам [4]. На каждом этапе замер делали дважды – до и после испытаний. Фиксацию износа шеек коленчатого вала проводили также как цилиндровых втулок – с использованием метода искусственных баз, нанося и контролируя лунки с помощью прибора УПОИВ-2. Нагарообразование на поршнях после каждого этапа испытаний фиксировали по результатам оценок площади, толщины и твердости нагара по методу 344Т [2, 4, 6].

Пробы циркуляционного масла на анализ отбирались через каждые 100 ч работы как с опытными, так и штатными средствами очистки. В работающем ММ концентрацию нерастворимых в бензине общих и зольных продуктов контролировали центрифугированием (ГОСТ 20684-75). Щелочность и кислотность масла проверяли по ГОСТ 11362-76, содержание смол идентифицировали на основе ИК-спектроскопии [4]. Глубину (степень) окисления масла находили хроматографией через отношение интегральной интенсивности поглощения карбонилсодержащих соединений –С=0 к группе –С=С– ароматических ядер.

Подводя итоги моторных испытаний штатной и новой автоматизированной системы очистки ММ (табл. 2), можно отметить превосходство последней по многим показателям. Если рассматривать влияние очистителей на старение масла, то можно отметить более интенсивное удаление нерастворимых продуктов при сочетании СРФД-120 и СОСЦ-3. Интенсивность очистки ММ как от общих, так и от зольных примесей у опытной системы по сравнению со штатной была выше в 4,7–6,6 раза. Это привело к тому, что к концу этапов испы-

таний загрязнение масла нерастворимыми продуктами было почти вполовину (1,3 против 2,5 % по общим и 0,28 в сравнении с 0,46 % – по зольным примесям) ниже при включении в СС двигателя фильтра СРФД-120 и сепаратора СОСЦ-3. Это бесспорно сказалось на снижении скорости изнашивания деталей ЦПГ в 1,4–1,5, а вкладышей подшипников – в 1,3–1,7 раза.

Таблица 2

Эффективность очистки комбинированных маслоочистительных комплексов в дизеле 8ДН35/62

Table 2

Cleaning efficiency of combined oil cleaning systems in diesel 8DN35 / 62

Показатель	Штатная очистка	СРФД-120+ СОСЦ-3
Состояние моторного масла:		
Концентрация нерастворимых примесей, %:		
общих	2,5±0,3	1,3±0,1
зольных	0,46±0,07	0,28±0,04
Содержание смолистых веществ, %	6,9±0,8	5,2±1,1
Глубина окисления, %	10,2±1,3	9,7±1,1
Кислотность, мг КОН/г	4,1±0,5	2,7±0,4
Щелочность, мг КОН/г	3,7±0,5	6,2±0,7
Старение и очистка масла, г/ч:		
Интенсивность очистки от нерастворимых продуктов:		
общих	1240±50	5870±250
зольных	248±11	1630±90
Скорость срабатывания присадок	3100±160	1140±50
Периодичность обслуживания СРФ, тыс. ч	1,7±0,3	5,3±0,6
Изнашивание деталей двигателя:		
поршневых колец, г/1000 ч	18,2±2,1	12,6±1,1
цилиндровых втулок, мкм/1000 ч	15,2±1,9	10,2±0,9
вкладышей подшипников (мотылевых), г/1000 ч	9,2±0,15	7,1±0,11
шеек (мотылевых) коленчатого вала, мкм/1000 ч	9,3±0,7	5,5±0,6
Оценка нагаро-лакообразования, балл:		
канавки компрессионных и маслосъемных колец	8,1±0,7	5,2±0,5
юбка поршня	2,2±0,3	1,5±0,2
суммарная оценка	20,2±2,3	14,9±1,6

По подшипникам и шейкам коленчатого вала низкое изнашивание достигнуто эффективной работой фильтра СРФД-120 (номинальная тонкость отсева 30 против 90 мкм у штатного полнопоточного очистителя). В снижении скорости изнашивания поршневых колец и цилиндровых втулок большую роль сыграл сепаратор СОСЦ-3, индекс производительности которого почти в 1,6 раза превосходит аналогичный показатель у штатного сепаратора СЦ-1,5.

Если обобщенно оценивать состояние масла на первом (со штатными очистителями) и втором (при автоматизированной его очистке), то по данным табл. 2 наглядно видна низкая интенсивность его старения при использовании агрегатов СРФД-120 и СОСЦ-3. Это подтверждается меньшей степенью окисления углеводородов и срабатывания присадок в работающем масле и видно по более низкому содержанию в ММ продуктов корбоксильной группы и смол на втором этапе работы по сравнению с первым (9,7 против 10,2 % и 5,2 – 6,9 % соответственно). О более низкой скорости срабатывания присадок при использовании СОСЦ-3 можно судить по уровню щелочности в конечных пробах масла. На втором этапе работы щелочность упала с 9 до 6,2 мг КОН/г. На первом этапе падение этого показателя было более значительно – до 3,7 мг КОН/г.

Лучшие показатели масла с опытными очистителями обусловлены снижением (см. табл. 2) интенсивности срабатывания присадок в 2,7 раза. Улучшение состояния ММ при использовании новых средств очистки вызвано более интенсивным удалением из него зольных продуктов срабатывания присадок, которые являются ингибиторами старения (окисления) углеводородов.

Улучшение состояния ММ существенным образом сказывается на нагаро- и лакообразовании поршней. Менее интенсивное его старение на втором этапе привело к снижению количества и твердости нагара на деталях ЦПГ. В балльной системе оценка нагаро- и лакообразования показала на втором этапе испытаний по сравнению с первым снижение нагаров на всех поверхностях поршня в среднем на треть (см. табл. 2). В сравниваемых вариантах загрязнение картера ДВС шламовыми отложениями на втором этапе было гораздо ниже – в 1,8 раза.

По результатам контроля остаточного перепада давлений на ФЭ к концу каждого этапа эксперимента расчетом по методике [9] определяли прогнозируемый срок необслуживаемой работы СРФ. Автономность функционирования маслоочистителя СРФД-120 по этому показателю было в 3,2 раза выше, чем у СРФ БМЗ. Последующая длительная эксплуатация дизеля 8ДН32/62 со штатной и опытной комбинированной системой тонкой очистки масла подтвердила высокую надежность и автономность работы нового фильтра в более тяжелых условиях эксплуатации, т.е. при применении ММ с более низкими моюще-диспергирующими свойствами, чем у М-10-$Г_2$(цс). Превосходство СРФД-120 над другими маслоочистителями особенно ярко проявлено при использовании в судовых тронковых дизелях низкосортных высоковязких топлив типа топочный мазут [2, 5].

По результатам моторных испытаний комбинированной полностью автоматизированной системы тонкой очистки масла на базе фильтра СРФД-120 и сепаратора СОСЦ-3 можно констатировать, что она способна обеспечить судовому тронковому дизелю надежную защиту от абразивного изнашивания при сжигании высоковязких топлив (ГОСТ 32510-2013), получаемых при глубокой переработке нефти. Интенсивное удаление сепарированием нерастворимых, особенно зольных, мелкодисперсных примесей в работающих унифицированных маслах типа М-10(14, 16)-$Г_2$(цс), М-14(16)-$Д_2$(цл20) и М-14(16)-$Д_2$(цл30) (ГОСТ 12337-89) способствует торможению их старения, что создает предпосылки для их длительного использования без смены, компенсируя только угар. Предлагаемая на базе фильтра СРФД-120 и сепаратора СОСЦ-3 комбинированная система тонкой очистки ММ способствует высокой степени автоматизации СС современных судовых дизелей и создает предпосылки для реализации в них ресурсосберегающего маслоиспользования.

Заключение

1. Реализован пилотный проект саморегенерирующегося фильтра СРФД-120 со сроком автономной работы без обслуживания не менее 3 тыс. ч. При номинальной тонкости отсева 30–50 мкм и пропускной способности 120 $м^3$/ч он способен надежно защищать подшипники и шейки коленчатого вала судовых дизелей от абразивного изнашивания. На базе этого фильтра возможно создание типоразмерного ряда полнопоточных маслоочистителей с пропускной способностью до 360 $м^3$/ч. При замене в СРДФ-120 фильтровой сетки на тканый фильтровальный материал полотняного переплетения с тонкостью отсева 10–20 мкм его можно трансформировать в топливный фильтр с пропускной способностью 30 $м^3$/ч.

2. Высокая эффективность нового очистителя СРФД-120 как в режиме фильтрования, так и регенерации обусловлена:

– применением тканых сеток полотняного переплетения оптимизированной структуры с хорошо сбалансированной очистительной и регенерирующей способностью;

– жесткой конструкцией ФЭ в форме свечи с высоким коэффициентом живого сечения опорного каркаса и полным использованием всей поверхности фильтрования при обоих режимах функционирования;

– достижением у фильтра высокого промывочного индекса за счет мощной продувки обратным многофазным потоком фильтруемой жидкости и воздушно-капельной эмульсии, адаптивного режима регенерации, учитывающего адгезионные свойства отложений.

3. Моторные испытания комбинированной полностью автоматизированной системы тонкой очистки масла на базе полнопоточного фильтрования и байпасного центробежного сепарирования показали возможность реализации ресурсосберегающего маслоиспользования в судовых тронковых дизелях. При этом даже при сжигании высоковязкого низкосортного топлива обеспечивается надежная защита деталей двигателя от абразивного изнашивания и перевод ММ с высокими термоокислительнымии и моюще-диспергирующими свойствами в режим долгоработающего и бессменного использования. Предложенная система очистки масла эффективнее большинства штатных систем. Она соответствует снижению интенсивности старения ММ в 1,4–1,7 раза и скорости изнашивания основных деталей двигателя на 30–60 %.

Список литературы

1. Микутенок Ю.А., Шкаренко В.А., Резников В.Д. Смазочные системы дизелей. Л.: Машиностроение, 1986. 125 с.

2. Кича Г.П. Эксплуатационная эффективность новых маслоочистительных комплексов в форсированных дизелях // Двигателестроение. 1987. № 6. С. 25–29.

3. Кича Г.П., Надежкин А.В., Бойко С.П. Результаты эксплуатационных испытаний саморегенерирующегося фильтра в судовых дизелях в составе комбинированного маслоочистительного комплекса // Вестн. Гос. ун-та морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2019. № 4(56). С. 718–726.

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

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

6. Кича Г.П., Пак Н.К. Новые инженерные решения в конструкциях саморегенерирующихся фильтров для очистки топлив и смазочных материалов на судах // Морские интеллектуальные технологии. 2013. № 1. С. 203–207.

7. Бойко С.П., Кича, Г.П. Экспериментальное моделирование эффективности процесса регенерации самоочищающихся фильтров, функционирующих в системах смазки судовых дизелей // Морские интеллектуальные технологии. 2015. Т. 1, № 3(29). С. 95–101.

8. 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.

9. Бойко С.П., Кича, Г.П., Надежкин А.В. Расчет параметров регенерации самоочищающихся фильтров смазочных систем судовых дизелей // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 2, № 1(47). С. 123–130.

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

© Бойко С.П., Молоков Н.С., Ярин И.С., 2021

Для цитирования: Конструкция и эффективность саморегенерирующегося фильтра с высокой регенерирующей способностью для очистки горюче-смазочных материалов на судах // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 55, № 1. С. 76–86.

Статья поступила в редакцию 15.03.2021, принята к публикации 23.03.2021.