

Ліганенко В.В., Урум Н.С., Рященко О.І.

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ САМОРЕГЕНЕРУЮЧИХ ФІЛЬТРІВ ПРИ ОЧИЩЕННІ МОТОРНОГО МАСТИЛА В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Збільшення рівня форсування суднових дизелів наддуванням та їх агрегатної потужності привело до росту прокачування моторного мастила через систему змащення. Крім того, у зв'язку з використанням у підшипниках форсованих дизелів тонкостінних багатошарових вкладишів із твердою основою та достатньо тонкого шару полуди, вимоги до тонкості відсівання мастилоочисником зросли до 20-50 мкм. Абразивні частки механічних домішок вище даних розмірів при впровадженні в полуду будуть викликати порушення структури поверхні шийок колінчатого вала та сприяти їх підвищеному зношуванню. Проведений аналіз систем мастилопідготовки на судах показав перспективність застосування саморегенеруючих фільтрів для повнопотокового тонкого очищення моторного мастила у суднових дизелях. Цим агрегатам немає альтернативи при повній автоматизації судової енергетичної установки, форсуванні двигунів внутрішнього згоряння наддувом вище 1,6 МПа, особливо з агрегатною потужністю більш 5 тис. кВт та використанні в них низькосортних палив. Виконана класифікація саморегенеруючих фільтрів, яка підтверджує можливість використання в судовій енергетичній установці конструкцій як з безперервним, так і з періодичним циклом автоматизованого (механізованого) видалення відкладень з фільтрувального елемента для збереження протягом тривалого часу їх функціональних характеристик. На судах в основному використовуються саморегенеруючі фільтри з протитоковою регенерацією шляхом створення протитоку фільтруємої рідини, яка подається на елементи за рахунок нагнітання, витиснення, створення розрядження в зоні очищення. Утилізація змиваних відкладень здійснюється фільтруванням у фільтрах-брудонакопичувачах, центрифугуванням (сепаруванням) та відстоєм (гравітаційним осадженням) у стічній цистерні.

Ключові слова: експлуатаційні характеристики, мастилопідготовка, система змащування, судовий дизель, саморегенеруючий фільтр, фільтрувальний елемент.

Постановка проблеми. Збільшення рівня форсування суднових дизелів наддуванням та їх агрегатної потужності привело до росту прокачування моторного мастила (ММ) через систему змащення (СЗ). Крім того, у зв'язку з використанням у підшипниках форсованих дизелів тонкостінних багатошарових вкладишів із твердою основою та достатньо тонкого шару полуди, вимоги до тонкості відсівання мастилоочисником зросли до 20-50 мкм. Абразивні частки механічних домішок вище даних розмірів при впровадженні в полуду будуть викликати порушення структури поверхні шийок колінчатого вала та сприяти їх підвищеному зношуванню.

Установка в СЗ потужних дизелів найбільш ефективних повнопоточних фільтрів тонкого очищення зі змінними фільтрувальними елементами не завжди прийнятна через значні габарити цих очисників. У ряді випадків, особливо в умовах судової експлуатації, утруднена утилізація змінних фільтрувальних елементів цих агрегатів.

Вище перераховані фактори, а також постійно зростаючі вимоги щодо збільшення тривалості роботи двигунів, які не обслуговуються, і підвищення ступеня їх автоматизації визначили використання в останнє десятиліття саморегенеруючих фільтрів (СРФ) як засобів очищення ММ на судах. Таким чином, виникає завдання проведення аналізу конструкцій СРФ для визначення найбільш прийнятної в експлуатаційних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання очищення мастила у судових двигунах є достатньо актуальним і розглядалося в роботах значної кількості вітчизняних та закордонних фахівців з екології, суднобудування, фізичної хімії, технологій та проектування в роботах О.Г. Александрова, С.П. Бойка, Г.П. Кичи, Schonbauer G, Lennartz R. Однак питання структури та технології виготовлення СРФ для форсованих судових дизелів розглянуто в цих роботах поверхнево, а гіпотеза про ідентичність структури СРФ не знаходить практичного підтвердження.

Мета статті: дослідження конструкцій саморегенеруючих фільтрів при очищенні моторного мастила в двигунах внутрішнього згоряння.

Виклад основного матеріалу. Під СРФ розуміється такий фільтр, в якому відновлення (регенерація) його функціональних властивостей відбувається автоматично, тобто без зупинки двигуна та подальшого розбирання.

Основною перевагою СРФ у порівнянні з фільтрами тонкого очищення мастила потоком (ФТОМП) зі змінними фільтруючими елементами (ФЕ) є:

- відсутність необхідності в періодичних замінах ФЕ, що усуває вимогу мати визначений їх запас;
- висока перепускна здатність очисника при низьких масогабаритних показниках;
- відсутність можливості занесення забруднень у СЗ при зміні елементів;
- зняття проблеми знищення (утилізації) відпрацьованих ФЕ;
- здатність досягнення необмеженого ресурсу безперервної роботи.

У порівнянні з фільтрами грубого очищення (ФГО) з тонкістю відсіву у 60-180 мкм СРФ забезпечує високу якість очищення ММ, що приводить до збільшення ресурсу роботи двигуна між моточищенням, підвищення терміну служби мастила та скороченню його витрати на злив [1, 2]. При установці СРФ у СЗ двигуна відпадає необхідність у трудомістких та брудних роботах зі зміни ФЕ або ручному чищенню елементів ФГО, що значно підвищує культуру експлуатації судових енергетичних установок (СЕУ) та створює позитивні передумови для скорочення чисельності обслуговуючого персоналу. До недоліків СРФ відноситься складність конструкції, висока вартість, необхідність використання спеціальних фільтрувальних матеріалів (ФМ), що мають підвищену перепускну здатність, міцність та високу регенованість [3].

Енергетичні витрати на привід та створення протитоку рідини для промивки ФЕ є досить значними. Багато конструкцій для функціонування вимагають застосування систем автоматики.

Не можна не відзначити зростаючі у світовій практиці тенденції до використання СРФ у СЕУ [4, 5]. Так, усі судна, які були побудовані за останнє десятиліття, забезпечуються дизелями з високим наддуванням. Більшість з них, особливо потужністю більш 5 тис. кВт, комплектуються СРФ, що використовуються у системах паливо- та мастилоочищення. Розподіл агрегатів очищення в СЗ дизелів малої та середньої потужності на середину 20-го сторіччя, згідно даним [3], розподілені так, що на частку СРФ у теплових двигунах потужністю від 0,5 до 5 тис. кВт приходить 2-

15% усіх мастилоочищувачів (МО) (рис. 1). При цьому майже всі агрегати МО цього типу використовуються за повнопотоковою схемою. У 70-ті роки минулого сторіччя ця схема очищення стала домінуючою. Причому в силових агрегатах P_e до ис. кВт в якості повнопроточних МО головним чином використовуються ФТОМП зі змінними ФЕ.

У ряду потужності у 3-5 тис. кВт СРФ уже витісняє фільтри зі змінними ФЕ та на рівних змагається з ФГО. Причому більше 20% систем тонкого очищення мастила є комбінованими. Як уже було зафіксовано раніше, зі збільшенням потужності, рівня форсування та частоти обертання судових двигунів оснащення СЗ СРФ, постійно зростає. Причому частка комбінованої системи тонкого очищення мастила (КСТОМ), які використовуються у потужних судових дизелях, досить висока та наближається до 100%. Масляні центрифуги МЦН-П та МЦН-Н із зовнішніми реактивним приводом частково- та повнопоточного типу використовуються для глибокого очищення мастила від дрібнодисперсних нерозчинних домішок (НРД) [6].

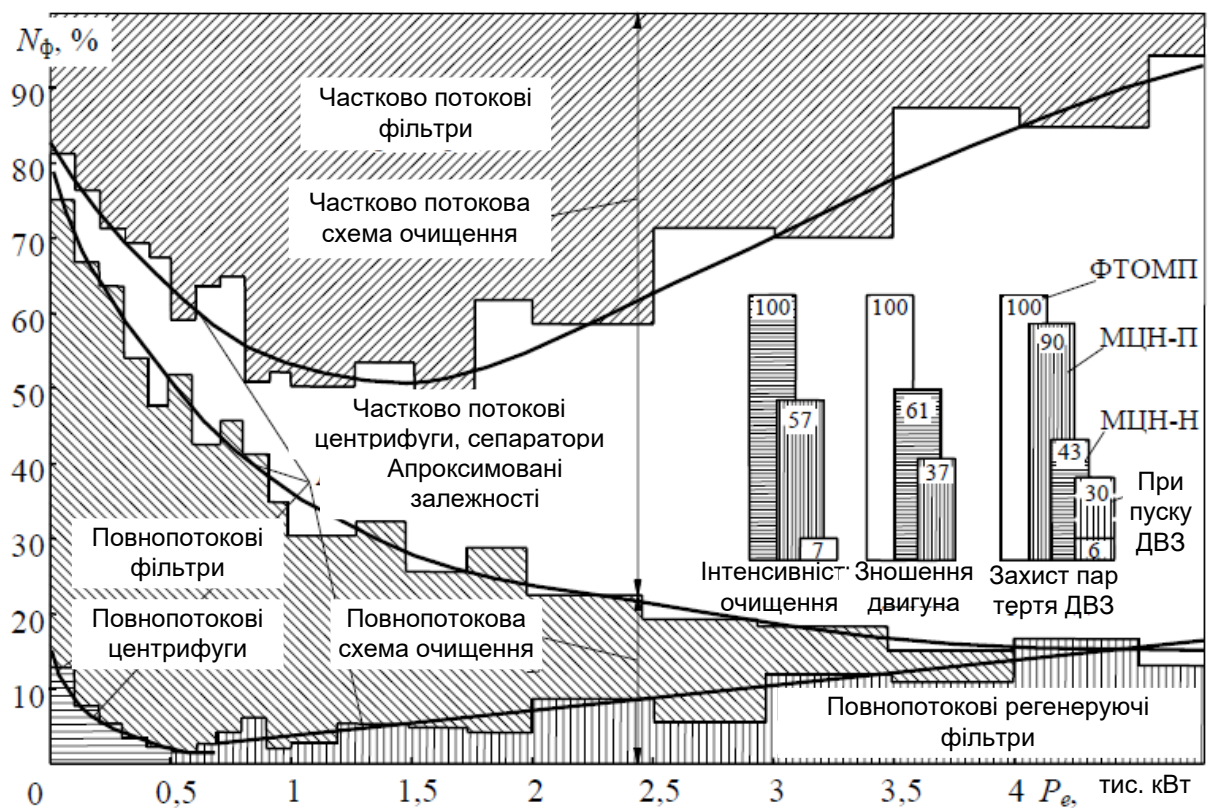


Рисунок 1 – Поширеність агрегатів очищення ММ у залежності від потужності дизеля

На даний час понад 10 спеціалізованих компаній у всіх розвинутих у промисловому відношенні країнах випускають СРФ, параметри яких дозволяють використовувати їх для тонкого очищення мастила у судових дизелях (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні характеристики СРФ систем мастилопідготовки суднових дизелів

Компанія розробник (країна)	Марка фільтра	Тонкість відсіву, мкм	Перепускна здатність м³/ч	Тип фільтруючого елементу	Тип фільтрувальної перемички	фільтрувальних камер	Спосіб регенерації
Bool & Kirch (Німеччина)	6.46 6.60/6.61	25-48 25-48	180 750	циліндричний циліндричний	гладка сітка полотняного переплетення	1 2/4-11	розрядження нагнітання
August & Koch (Німеччина)	АКО	30-50	10-100	циліндричний	гладка сітка полотняного переплетення	1	розрідження
Moatti (Франція)	LGM- 280-AA LAM- 280-AA LGML- 280-AA LAML- 280-AA	35-40 45-50 35-40 45-50	35-157 40-180 85-200 102-240	Дисковий	ткана сітка з квадратними гратками саржевого переплетення	1	розрідження
Alfa Laval (Швеція)	T150D T-160 T280D X280 350 180-14 240-12 240-18 240-24 240-30	20-45	20-700 40 20-700 40-1100 200-1000 30 45 65 85 90	Дисковий	ткана сітка з квадратними гратками саржевого переплетення	1-8 1 1-8 1-8 1-6 1 1 1 1 1	розрідження

Огляд патентної і науково-технічної літератури, досвід експериментів та експлуатації кращих зразків СРФ дозволили провести їх класифікацію, встановити переваги та недоліки й розробити технічні вимоги для проектування вітчизняних зразків СРФ.

Аналіз конструкцій СРФ дав можливість здійснити їх класифікацію за різними формами виконання, способами регенерації та створення протитоку рідини, що надходить на промивання ФЕ. У результаті аналізу з'ясовано, що для СРФ, які використовуються у СЗ дизелів, основними способами регенерації ФЕ є гідромеханічний вплив на відкладення та промивання ФЕ протитоком фільтруємої рідини (мастилом) або стисненим повітрям. Такі методи для СЕУ найбільше доцільні, оскільки дозволяють уникнути втрат робочого тіла в мастильній системі.

При регенерації промивне мастило (ПМ) залишається у СЗ дизеля та може далі використовуватися для циркуляційного змащення й охолодження поршнів.

Розроблена класифікація СРФ (рис. 2) наочно відображає значне різноманіття конструкцій, що дозволяє обрати найбільш вигідний варіант для зберігаючої ресурсо-експлуатаційної системи. Таким чином, можна зробити висновок, що вибір конструкції СРФ, його робочих параметрів, типу ФЕ, регенеруючого пристрою (РП) нерозривно пов'язаний з умовами використання фільтра, тобто характеристиками та режимами роботи дизеля, властивостями мастила та інших ланок розглянутої системи.



Рисунок 2 – Ієрархічна схема структури СРФ

Схема класифікації СРФ (див. рис. 2) передбачає роздільний аналіз його пристроїв – корпусу, РП, ФЕ та способу утилізації відкладень. За конструкцією корпусів СРФ можна розділити на однокамерні (фірми Scam, Rellumix, Moatti), двокамерні (Sofrance), багатокамерні (Boll & Kirch).

Перевагами однокамерних фільтрів є простота їх конструкції, менші габаритні розміри та маса. Істотним недоліком цих конструкцій є неможливість ревізії або

ремонту окремих ФЕ без зупинки роботи всього фільтра. Тому при установці однокамерного фільтра в СЗ суднового двигуна бажано додатково монтувати паралельно з ним резервний мастилоочишувач. Дублювання однокамерного СРФ значне ускладнює його використання, створює проблему компонування та розміщення, особливо важливу в компактних машинних відділеннях [7].

В однокамерному фільтрі процеси фільтрування та регенерації не розділені в часі, отже можливе потрапляння відкладень, які змиваються з ФЕ при регенерації протитоком, на сусідні елементи, що сприяє передчасному виходу фільтра з дії. СРФ з однокамерним корпусом має найбільш високу трудомісткість обслуговування - 4...10 чол.•год/1000 год експлуатації [3].

Двохкамерна конструкція СРФ (фільтри Mikromatik, Sofrance-Duplex) розвинулися з об'єднання однокамерного фільтра з резервним. У двокамерній конструкції постійно в роботі використовується одна з камер, інша – знаходиться в резерві. При забрудненні працюючої камери вона відключається від циклу фільтрування й до неї направляється регенеруючий потік, а резервна включається в цикл фільтрування. Оскільки додаткова камера повинна забезпечувати повну витрату мастила через фільтр, двокамерний СРФ має великі масо-габаритні розміри.

Трудомісткість обслуговування цих конструкцій складає близько 3...5 чол.•год/1000 год [5]. Найбільш досконалим типом конструкції корпусів СРФ є багатоканальний (Boll & Kirch). У даному фільтрі в роботі використовуються всі камери, крім однієї, яка після регенерації знаходиться в резерві. Ця конструкція може також функціонувати в режимі саморезервування, коли будь-яку камеру можна виводити з роботи для огляду й профілактики, не зупиняючи процес очищення. Багатоканальний СРФ, в якому всі камери мають загальні патрубки підведення і відведення рідини та працюють у рівнобіжному режимі фільтрування, найбільш ефективно вирішує завдання забезпечення безперервної та надійної роботи очисника. Трудомісткість обслуговування його є найменшою – 2...4 чол.•год/1000 год [5].

Другим в ієрархічній схемі класифікації СРФ розглядається регенеруючий пристрій (див. рис. 2). Аналізуються три способи організації промивного потоку – витиснення, нагнітання, розрідження. Кожний з них специфічний та має свої особливості. Витиснення характеризується створенням зворотного потоку фільтруємої рідини за рахунок її видавлювання гідродинамічним перетворювачем. Така схема, наприклад, характерна для фільтрів Rellumix FA, Scam (рис. 3, а) [5].

Основною перевагою РП, що працює за цим способом, є автономність його дії, незалежність від зовнішніх джерел енергії (насосів, компресорів). Переміщення гідроперетворювача (лопатевого) у фільтрах Sckam та (циліндричного) в очисниках Rellumix FA здійснюється тиском фільтрату, що відбирається для цієї мети з фільтруємого потоку.

До недоліків цього способу регенерації варто віднести низьку швидкість промивного потоку: $\frac{v_p}{v_{\phi}} = 2 \div 4$, параметри якого важко регулюються. Його величина залежить від співвідношення площі (напірної та витісняючої) поршня регенерації (див. рис. 3, а) і тиску в порожнині фільтрату. У СРФ з витісняючим способом регенерації через добір частини рідини на переміщення поршня РП досить велика витрата рідини на цю операцію – промивання ФЕ. Внаслідок низької швидкості промивного потоку тривалість роботи СРФ між його чищеннями цим способом (при регенерації) не перевищує одну тисячу годин [1, 3, 6].

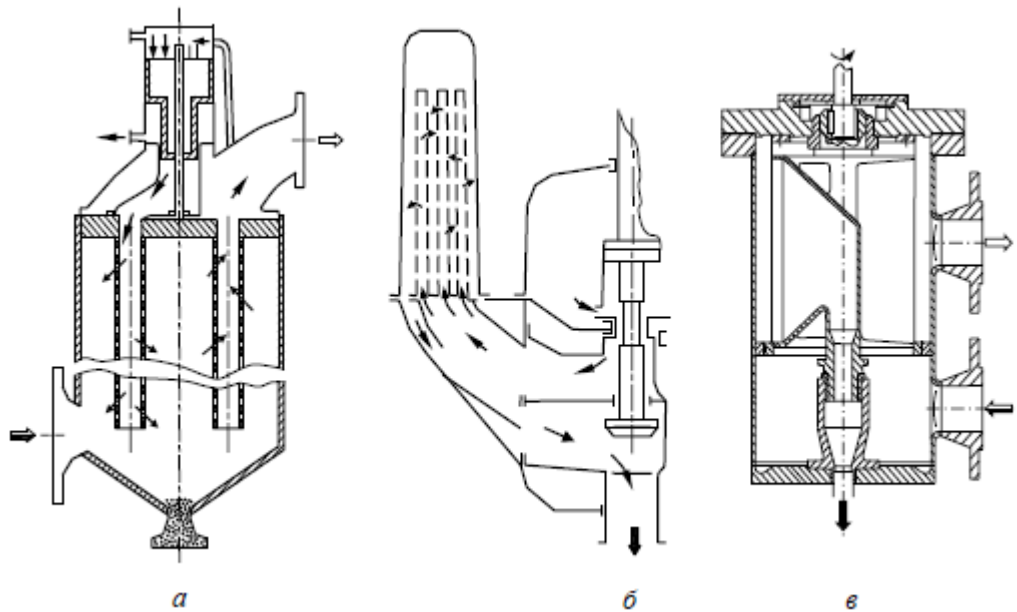


Рисунок 3 – Способи регенерації СРФ:

а – витиснення; б – нагнітання; в – розрідження (однокамерний варіант)

Особливість регенерації нагнітанням складається в з'єднанні поверхні фільтрування з боку фільтрату з порожниною (ємністю) з високим тиском, а з боку суспензії (брудного мастила) – зоною низького тиску (див. рис. 3, б). найбільше ефективно цей метод реалізований у конструкціях фірми Boll & Kirch та МК-2 Sofrance.

Регенерація розрідженням характерна для більшості фільтрів. Типовим виробником, що ефективно використовує цей метод для промивання ФЕ, є фірма Moatti та August & Koch (див. рис. 3, в). У деяких конструкціях Boll&Kirch також практикує цей спосіб регенерації. Особливість його складається в з'єднанні порожнини, де знаходиться забруднений нафтопродукт (суспензія), із зоною низького, наприклад, атмосферного, тиску. У цьому випадку тиск у порожнині фільтрату стає вище тиску в зоні нагнітання і струм фільтруємої рідини змінює напрямок на протилежний і змиває відкладення. Регенерація на основі розрідження з $\frac{v_p}{v_\phi} = 2 \div 4$, досить просто може бути

реалізована шляхом зменшення числа ФЕ або площі поверхні фільтрування, що піддається промиванню. Параметри цього процесу обмежують допустимим падінням тиску в СЗ при його здійсненні. Швидкість промивочного потоку регулюється дроселем при його скиданні в "атмосферу". Установкою в СЗ насоса з підвищеною подачею можна збільшити $\frac{v_p}{v_\phi}$ до значень вище вказаної межі. Автономність роботи

СРФ між хімічним чищеннями ФЕ при використанні цього способу регенерації може складати 2-4 тис. год. За алгоритмом дії РП розділяються в залежності від тривалості (стосовно процесу фільтрування) регенерації. Розрізняють безперервний або безфакторний режим регенерації, коли РП працює (включений) постійно та функціонує поряд з фільтруванням за часом дії. При цьому тривалість та частота регенерації окремих ФЕ або поверхонь фільтрування є взаємозалежними. Процес регенерації може

бути переривчастим при переключенні з одного ФЕ (ділянки фільтрування) на інший або безперервним, якщо цей процес не розривається. В усіх випадках РП в період фільтрування постійно знаходиться у включеному (робочому) стані.

Однофакторний режим регенерації характерний для СРФ із періодичним включенням РП. Пристрій починає функціонувати за сигналом від дії якого-небудь фактора, наприклад, при досягненні допустимого перепаду тиску при фільтруванні. Періодичність регенерацій може бути задана часовим фактором.

При двохфакторному алгоритмі регенерації цей процес керується під впливом двох факторів. Найчастіше ними є значення перепаду тиску на фільтрі на початок і кінець регенерації. Другим фактором може бути тривалість цього процесу. Як одно-, так і двохфакторні алгоритми регенерації мають позитивні й негативні сторони. З позиції удосконалення алгоритмізації роботи СРФ важлива розробка адаптивного управління його функціонуванням, коли буде враховуватися особливості та взаємозв'язок циклів фільтрування та промивання.

Для забезпечення ефективної роботи СРФ важливе значення має конструкція ФЕ, яка здатна забезпечити якісне очищення та регенерацію відкладень. До теперішнього часу виробився стереотип конструкції елемента у вигляді циліндричної свічі діаметром 30-40 та висотою 400-500 мм. Такими ФЕ оснащуються СРФ, що випускаються багатьма закордонними компаніями, наприклад, Boll & Kirch, Rellumix, Philipp Hilko Еуроп.

Основною вимогою до ФЕ для СРФ є забезпечення низького гідравлічного опору та ефективної регенованості, що у більшій мірі залежить від конструкції елемента та застосування ФМ. Орієнтирами для розробки ФЕ високої ефективності може виступати конструкція, яка використовується в останні роки фірмою Boll & Kirch, що представляє собою каркас з подовжніх стрижнів, оповитих із зовнішньої сторони дровою спіраллю. На цей опорний каркас натягнута та жорстко закріплена по торцях металева фільтрувальна сітка.

У ранніх конструкціях цієї фірми ФЕ представляв перфорований циліндр, на який надіта синтетична тканина фільтрувальна сітка (ТФС) між двома шарами опорної сітки. В окремих варіантах опорний каркас у формі циліндра виготовлявся із сітки із ґратками 7,5 мм, на який натягувалася фільтрувальна металева сітка. Фільтрувальна перегородка охоплює сітчастий каркас і додатково прикріплюється до неї точковим зварюванням.

У деяких конструкціях ФЕ фільтрувальна перегородка обвивається дровою спіраллю зовні з метою збереження її форми та підвищення твердості при регенерації. Всі описані вище варіанти конструкцій ФЕ мають високу перепускную здатність, низьку металоємність. Недоліком деяких з них варто вважати складність у виготовленні.

Деякий інтерес викликають дискові ФЕ компанії Moatti, розділені радіальними перегородками на сектори, що розташовуються між внутрішнім та зовнішнім кільцями (ободами), які мають по кількості секторів – отвори для входу (внутрішнє кільце) та виходу (зовнішнє) фільтруємої рідини. Тканина металева армована й фільтрувальна сітки на границях секторів безпосередньо залиті в алюмінієвий каркас (радіальні перегородки та ободи). У такий спосіб виходить, що кожний з дванадцяти автономних секторів по торцях має свій розділений вхід та вихід фільтруємої рідини. Дана оригінальна конструкція ФЕ забезпечує йому ефективні фільтрувальні й регенераційні властивості.

Вимога до фільтрувального матеріалу, який використовується у СРФ, бути досить жорсткими. Він повинний бути досить міцним, витримувати перепад тисків до 2 МПа,

мати високі гідравлічні та фільтрувальні характеристики, легко регенеруватися [1, 3, 5]. Домінуючим фільтрувальним матеріалом у СЗ судових дизелів є тканина сітка. Вона відповідає основним вимогам до фільтрувальних перегородок СРФ:

- добра затримуюча здатність (тонкість відсівання 20-50 мкм) та регенеруємість;
- низький гідравлічний опір;
- високі міцнісні властивості та можливість багаторазового використання.

Незважаючи на високий інтерес до цих ФЕ, виявлений при розробці нових конструкцій СРФ, вивчені вони недостатньо повно.

Є великий резерв в їх удосконалюванні і підборі параметрів, що повністю задовольняють вимоги СРФ. Назріла необхідність детального їх дослідження, викликана проблемою оснащення тканими сітками СРФ вітчизняних конструкцій.

Висновок. Проведений аналіз систем мастилопідготовки на судах показав перспективність застосування СРФ, для повнопотокового тонкого очищення ММ у судових дизелях. Цим агрегатам немає альтернативи при повній автоматизації СЕУ, форсуванні двигунів внутрішнього згоряння наддувом вище 1,6 МПа, особливо з агрегатною потужністю більш 5 тис. кВт та використанні в них низькосортних палив типу моторного ДМ й мазутів. Застосування форсованих тронкових із середньою і підвищеною частотою обертання дизелів з тонкостінними вкладишами підшипників і з високими ресурсними показниками і низькою витратою мастила, менш 1,2 г/(кВт•год), посилює вимоги до очищення ММ. Застосовувані раніше з цією метою фільтри грубого очищення з тонкістю відсівання механічних домішок 60-180 мкм не задовольняють підвищеним вимогам до сучасних мастилоочищувачів.

Виконана класифікація СРФ, яка підтверджує можливість використання в СЕУ конструкцій як з безперервним, так і з періодичним циклом автоматизованого (механізованого) видалення відкладень з ФЕ для збереження протягом тривалого часу їх функціональних характеристик. На судах в основному використовуються СРФ з протитоковою регенерацією шляхом створення протитоку фільтруємої рідини, яка подається на елементи за рахунок нагнітання, витиснення, створення розрядження в зоні очищення. Утилізація змиваних відкладень здійснюється фільтруванням у фільтрах-брудонакопичувачах, центрифугуванням (сепаруванням) та відстоєм (гравітаційним осадженням) у стічній цистерні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров А.Г. Выбор схем очистки для судовых топливных, масляных и гидравлических систем. *Судостроение*. 1982. № 5. С. 15–18.
2. Кича Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях. Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. 372 с.
3. Бойко С.П. Комбинированная система очистки моторного масла в судовых форсированных дизелях. *Вестник морского государственного университета. Серия «Судостроение и судоремонт»*. 2016. Вып. 74. С. 45–51.
4. Таращан Н.Н. Повышение эффективности комбинированной очистки моторного масла в судовых дизелях полно- и частичнопоточным фильтрованием: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05. Владивосток, 2014. 214 с.
5. Перминов Б.Н. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых тронковых дизелях: дис. ... док. техн. наук: 05.08.05. Одесса, 2005. 416 с.

6. Кича Г.П. Экспериментальное моделирование эффективности процесса регенерации самоочищающихся фильтров, функционирующих в системах смазки судовых дизелей. *Морские интеллектуальные технологии*. 2015. № 3(29), Т.1. С. 95–101.
7. Верлань А.Ф. Математичне та комп'ютерне забезпечення розробок випробувальних стендів силових установок енергетичного і транспортного призначення. *Збірник наукових статей за результатами, отриманими в 2010-2012 рр.* К.: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2012. С. 310–315.
8. Ковалюк Д.О. Моделювання теплотехнологічних об'єктів з розподіленими параметрами: монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 182с.
9. Лисняк Ю.А. Повышение эффективности использования топлива на морском флоте. Севастополь: СевНТУ, 2005. 38 с.

REFERENCES

1. Aleksandrov, A.H. (1982) Vybor skhem ochystky dlia sudovykh toplyvnykh, maslianykh y hydravlycheskykh system [Selection of cleaning schemes for marine fuel, oil and hydraulic systems]. *Sudostroenye*. № 5. 15–18. [in Russian]
2. Kycha, H.P. (2011) Resursosberehaiushchee masloispolzovanye v sudovykh dyzeliakh [Resource-saving oil use in marine diesel engines]. Vladyvostok: Mor. hos. un-t. [in Russian]
3. Boiko, S.P. (2016) Kombynyrovannaia systema ochystky motornoho masla v sudovykh forsyrovannykh dyzeliakh [Combined system of engine oil purification in marine forced diesel engines]. *Vestnyk morskoho hosudarstvennoho unyversyteta. Seryia «Sudostroenye y sudoremont»*. Vyp. 74. 45–51. [in Russian]
4. Tarashchan, N.N. (2014) Povyshenye efektyvnosti kombynyrovannoi ochystky motornoho masla v sudovykh dyzeliakh polno- y chastychnopotochnym fyltrovanyem: dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.08.05 [Increasing the efficiency of combined cleaning of engine oil in marine diesel engines by full- and partial-flow filtration]. Vladyvostok. [in Russian]
5. Permynov, B.N. (2005) Resursosberehaiushchee masloispolzovanye v sudovykh tronkovykh dyzeliakh: dys. ... dok. tekhn. nauk: 05.08.05 [Resource-saving oil use in marine trunk diesel engines]. Odessa. [in Russian]
6. Kycha, H.P. (2015) Eksperymentalnoe modelyrovanye efektyvnosti protsessa reheneratsyy samoochyschchaiushchykh fyltrov, funktsyonyruyushchykh v systemakh smazky sudovykh dyzelei [Experimental modeling of the efficiency of the regeneration process of self-cleaning filters operating in the lubrication systems of marine diesel engines]. *Morskiye yntellektualnye tekhnolohyy*. № 3(29), Т.1. 95–101. [in Russian]
7. Verlan, A.F. (2012) Matematychnе ta kompiutерne zabezpechennia rozrobok vyprobuvalnykh stendiv sylovykh ustanovok enerhetychnoho i transportnoho pryznachennia [Mathematical and computer support for the development of test benches for power plants for energy and transport purposes]. *Zbirnyk naukovykh statei za rezultatamy, otrymanymy v 2010-2012 rr.* K.: Instytut elektrozvariiuvannia im. Ye.O. Patona NAN Ukrainy. 310–315. [in Ukrainian]
8. Kovaliuk, D.O. (2010) Modeliuvannia teplotekhnolohichnykh obiektiv z rozpodilenyimi parametramy: monohrafiia [Modeling of heat engineering facilities with variable parameters]. Vinnytsia: VNTU. [in Ukrainian]
9. Lysniak, Yu.A. (2005) Povyshenye efektyvnosti yspolzovaniia toplyva na morskomo flote [Improving the efficiency of fuel use in the marine fleet]. Sevastopol: SevNTU. [in Russian].