

Врублевський Р.Є.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОГОДНИХ УМОВ НА ВМІСТ АЛЮМОСИЛІКАТІВ В СУДНОВОМУ ПАЛИВІ

У сучасних умовах судноплавства наявність алюмосилікатів у судновому паливі становить значну проблему, що впливає на надійність та ефективність роботи суднових двигунів. Збільшення концентрації цих частинок, особливо в епоху використання низькосірчистого пального, створює значні експлуатаційні та економічні виклики для судновласників та операторів. Використання ефективних систем підготовки пального, зокрема сепараторів, сучасних фільтраційних технологій та інтеграції систем автоматичного моніторингу, є необхідним для забезпечення стабільної роботи двигунів і зменшення ризиків пошкоджень. Системи очищення та контролю за вмістом алюмосилікатів в судновому паливі не завжди справляються з цією задачею а особливо в умовах несприятливих погодних умов.

Незважаючи на численні дослідження, вплив погодних умов на ефективність очищення пального досі не отримав належної уваги. З метою усунення цього пробілу та глибшого розуміння механізмів впливу погодних факторів на рівень забруднення пального, було вирішено провести експеримент у реальних умовах експлуатації судна. Цей підхід дозволяє не лише кількісно оцінити наявність алюмосилікатів у паливі, але й дослідити динаміку їх змін залежно від погодних умов.

Експеримент доводить що аномально високі рівні алюмосилікатів та інших твердих домішок у паливі спричинені потраплянням домішок із дна танків через коливання та перемішування під час хитавиці або різких маневрів у несприятливих погодних умовах. Результати нашого дослідження можуть стати основою для вдосконалення систем очищення пального та впровадження систем візуального контролю за вмістом алюмосилікатів у паливі в режимі реального часу, що дозволить оперативно відстежувати рівень забруднень та мінімізувати їхній негативний вплив.

Ключові слова: дослідження, погодні умови, алюмосилікати, суднове паливо.

Вступ. У сучасних умовах судноплавства наявність алюмосилікатів у судновому паливі становить значну проблему, що впливає на надійність та ефективність роботи суднових двигунів. Збільшення концентрації цих частинок, особливо в епоху використання низькосірчистого пального, створює значні експлуатаційні та економічні виклики для судновласників та операторів. Використання ефективних систем підготовки пального, зокрема сепараторів, сучасних фільтраційних технологій та інтеграції систем автоматичного моніторингу, є необхідним для забезпечення стабільної роботи двигунів і зменшення ризиків пошкоджень. Системи очищення та контролю за вмістом алюмосилікатів в судновому паливі не завжди справляються з цією задачею а особливо в умовах несприятливих погодних умов.

Постановка проблеми. Як було зазначено вище, проблема забруднення суднового пального алюмосилікатами залишається надзвичайно актуальною для сучасної морської індустрії. Незважаючи на численні дослідження, вплив погодних умов на ефективність очищення пального досі не отримав належної уваги. З метою усунення цього пробілу та глибшого розуміння механізмів впливу погодних факторів на рівень забруднення пального, ми вирішили провести експеримент у реальних умовах експлуатації судна. Цей підхід дозволяє не лише кількісно оцінити наявність алюмосилікатів у паливі, але й дослідити динаміку їх змін залежно від погодних умов. Результати нашого дослідження можуть стати основою для вдосконалення систем очищення пального.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом у відповідь на проблему забрудненого пального та більш жорсткі вимоги до якості пального галузь пропонує різні рекомендації. Серед них – використання дрібнокомірчастих фільтрів із розміром комірки 10 мкм, які допомагають значно знизити вміст забруднень у паливі [13]. Суднове нафтове паливо

представлено кількома марками, які можуть відрізнятися за своїми характеристиками. Деякі з цих характеристик можуть змінюватися під час підготовки пального на борту судна, що потребує надійно спроектованої системи очищення [7]. Підготовка пального зазвичай здійснюється через використання комбінації сепараторів, фільтрів і відстійників. Під час бункерування паливо закачується в резервуари, звідки воно перекачується у відстійники, що забезпечують 24–48 годин роботи судна. За цей час частки осідають на дно резервуарів. Однак під час роботи судна або при використанні тарілчастого сепаратора каталітичні частинки можуть не встигати осідати через недостатній час перебування в потоці [2, 13]. Тому для мінімізації ризиків рекомендується регулярно зливати осад із відстійних та видаткових танків [8]. Сепаратори, також відомі як очисники, забезпечують основну фазу очищення пального. Вони видаляють воду, великі частки та інші забруднення. Сучасні сепаратори здатні видаляти майже 100% каталітичних частинок розміром понад 15 мкм за умови правильної експлуатації. Проте дрібніші частинки, розміром менше 3 мкм, часто залишаються в паливі навіть при оптимальних налаштуваннях [1-6]. Щільність, в'язкість, температура пального та швидкість потоку є критично важливими факторами, що визначають ефективність сепараторів. Використання низькосірчистого пального, яке стало основним із 2020 року, внесло додаткові виклики, оскільки різні марки пального потребують адаптації параметрів сепараторів для збереження їх ефективності [14]. Додатковою складністю є те, що низькосірчисте паливо часто має гірші змащувальні властивості, що підвищує ризик абразивного зносу двигунів [10-12]. Це вимагає від екіпажу глибшого розуміння процесів підготовки пального, щоб знизити ризики для двигунів та забезпечити їхню стабільну роботу [7-9]. Регулярне технічне обслуговування, правильне використання сепараторів і постійний моніторинг якості пального є ключовими заходами для мінімізації ризиків, пов'язаних із забрудненням пального [3, 13]. Швидкість потоку пального через сепаратор безпосередньо впливає на ефективність його очищення. Простими словами, зменшення швидкості потоку дозволяє центрифугі більше часу для видалення забруднень, підвищуючи ефективність сепарації [1, 7]. Традиційно потік встановлювався на рівні, що відповідає 100% максимального споживання пального двигуном із запасом потужності. Однак сучасні умови експлуатації, такі як практика "малих ходів", коли судна працюють із меншою потужністю, створюють можливість знизити витрату пального, оптимізувавши параметри сепарації [14-16]. Зростаючий рівень каталітичних частинок у бункерному паливі, особливо після введення низькосірчистих палив у 2020 році, викликає занепокоєння. Нові властивості паливних сумішей і змішування різних видів пального значно ускладнюють процес розділення. Алюмосилікати залишаються постійною проблемою, яка потребує ретельного тестування кожної партії пального, щоб запобігти можливим пошкодженням двигунів [7, 13]. Окрім забруднень, стабільність і сумісність нових паливних сумішей також є критичними параметрами, що впливають на ефективність роботи сепараторів. Несумісність може призводити до утворення шламу, що ускладнює процес сепарації та викликає проблеми у машинному відділенні [10]. Для підтримання оптимальної ефективності сепарації важливо контролювати робочі параметри, такі як температура та швидкість потоку, які визначають в'язкість і щільність пального [1, 2]. Використання безперервного управління витратою пального дозволяє адаптувати роботу сепараторів до реальних умов експлуатації. Крім того, у випадках змішаного використання сепараторів рекомендується паралельна робота резервних систем для зменшення навантаження на кожен сепаратор і підвищення якості очищення [3]. Практика "малих ходів" стала популярною серед контейнеровозів та інших трансокеанських вантажних суден. Робота на нижчій за максимальну швидкості дозволяє зменшити витрату пального, підвищити ефективність сепарації та водночас знизити витрати на обслуговування систем очищення [14, 18]. Ця стратегія, поєднана з належним моніторингом якості пального, є ефективним інструментом для запобігання пошкодженням двигунів та підтримання їхньої продуктивності в умовах сучасного судноплавства [2, 8]. Фільтри є ключовим елементом у системі підготовки пального, доповнюючи функціонал сепараторів. Після проходження через сепаратори паливо надходить до видаткового резервуара, а перед подачею в двигун проходить через фільтри, які служать останнім захисним бар'єром. Вони захоплюють залишкові частинки, які могли пройти через сепаратор або були перенесені потоком далі по системі. Зниження тиску у фільтрах може вказувати на низку проблем, зокрема некоректну роботу сепаратора або забруднене бункерне

паливо [7, 13]. Сучасні системи фільтрації включають використання дрібнокомірчастих фільтрів із розміром комірок до 10 мкм із функцією автоматичного зворотного промивання. Це підвищує ефективність видалення частинок і дозволяє краще адаптуватися до умов експлуатації [1]. Існують два основні типи фільтрації: глибинна та поверхнева. У глибинній фільтрації частинки затримуються всередині фільтруючого матеріалу, що потребує його регулярної заміни. Поверхнева фільтрація передбачає затримання частинок на поверхні дрібнокомірчастої сітки, яка може очищатися автоматично [8].

Ефективність системи фільтрації залежить не лише від конструктивних особливостей, але й від регулярного технічного обслуговування. Екіпажі повинні проводити тестування пального на борту судна та в лабораторіях, щоб врахувати особливості нових видів пального, які можуть містити більше забруднень, таких як алюмосилікати [15]. Регулярне очищення танків і сепараторів є критично важливим, особливо в умовах неспокійного моря, яке може перемішати осад і переважати системи сепарації [2]. Для моніторингу кількості алюмосилікатів у паливі використовуються спеціалізовані тест-набори. Наприклад, Cat Fines Check (рис. 1) дозволяє швидко оцінити вміст частинок у залишковому паливі безпосередньо на місці. Це дає змогу екіпажу оперативно перевіряти зразки пального до та після сепарації, а також перед подачею в двигун. Такий підхід допомагає знизити ризики абразивного зносу, забезпечуючи стабільну роботу двигуна [19]. Виявлення таких проблем, як падіння тиску або зниження ефективності роботи двигуна, може свідчити про присутність алюмосилікатів або інших забруднень у паливі. Негайна реакція на ці ознаки дозволяє уникнути серйозних пошкоджень і скоротити експлуатаційні витрати [3, 7].



Рисунок 1 – Центрифуга та мікроцентрифужні пробірки з різним вмістом алюмосилікатів з тест-набору Cat Fines Check [36]

Відповідні зразки НФО готуються і розбавляються в скляних флаконах. Після цього пластикові мікроцентрифужні пробірки заповнюються отриманою сумішшю зі скляних флаконів і реагентом. Мікроцентрифужні пробірки поміщаються в центрифугу в паралельному положенні (при непарній кількості пробірок необхідно використовувати заповнену пластикову пробірку для балансування центрифуги). Рекомендується промаркувати кожну мікроцентрифужну пробірку, щоб знати, який зразок НФО контролюється. Через 10 хвилин зразки можна вийняти з центрифуги, і результати стануть видимими — можна оцінити рівень присутності алюмосилікатів. Приклад показує ступінь наявності алюмосилікатів у мазуті до і після сепарації. Візуальну кількісну оцінку можна провести за допомогою порівняльної таблиці, що входить до складу набору [17]. Виробники суднового обладнання активно працюють над вирішенням проблеми високого вмісту алюмосилікатів у судновому паливі. Компанії Alfa Laval та Wesfalia, які є світовими лідерами у виробництві обладнання для підготовки пального, пропонують передові технічні рішення. Зокрема, Wesfalia розробила установку Wesfalia Cat Fines Master, тоді як Alfa Laval презентувала цілий ряд високоефективних систем для обробки пального [1, 7]. Однією з головних проблем сучасних суден є робота систем підготовки пального на максимальній потужності навіть при невеликих навантаженнях, наприклад, під час роботи "на малих ходах". Alfa Laval вирішує це питання через об'єднання компонентів у єдину лінію підготовки пального та їх адаптацію до фактичного навантаження двигуна. Використання системи управління насосами FlowSync дозволяє регулювати витрати пального в сепараторах відповідно до поточного навантаження. Це не тільки знижує

енергоспоживання насосів і сепараторів, але й підвищує ефективність очищення пального, зменшуючи ризик потрапляння каталітичних частинок у двигун [2, 3]. Сепаратори Alfa Laval на базі технології Alcap™ здатні обробляти більш щільні види пального (до 1010 кг/м³ при 15 °C) без використання гравітаційного диска, що розширює їх функціональні можливості. Завдяки спеціальним конструктивним рішенням ці сепаратори працюють з широким діапазоном палив без додаткового регулювання, забезпечуючи більш ефективне відокремлення частинок з низькою швидкістю осадження [7, 13]. Додатковим фактором підвищення ефективності сепарації є температура пального, яка прямо впливає на його в'язкість. Вища температура знижує в'язкість пального, що покращує його розподіл у барабані сепаратора, дозволяючи видаляти навіть дрібні частинки [2, 10]. Завдяки цим технічним удосконаленням системи підготовки пального можуть ефективніше очищувати паливо, адаптуючись до сучасних викликів судноплавної галузі, таких як збільшений вміст алюмосилікатів і різноманітність видів пального [12].

Формулювання цілей статті. Дослідити в реальних умовах судна зміну концентрації алюмосилікатів при несприятливих погодних умовах та проаналізувати вплив алюмосилікатів на паливну апаратуру та апаратуру системи очищення палива.

Основні результати дослідження. У даному дослідженні ми використовували прилад MobilServ CCM Kit, спеціально розроблений для швидкої та ефективної оцінки вмісту частинок у залишкових паливних сумішах. Mobil Serv CCM Kit – це сучасна система аналізу мастильних та паливних матеріалів, що дозволить нам оперативно отримувати дані про стан палива та мастила безпосередньо на борту судна. Ця система допомагає виявляти проблеми, такі як недостатнє або надмірне змащення, знос компонентів і наявність каталітичних залишків, що сприяє оптимізації подачі циліндрового мастила та зменшенню експлуатаційних витрат. Аналізи проводяться у кілька етапів. Зразок збирається у чисту пластикову пляшку з комплекту, щоб гарантувати точність результатів. Далі, зразки реєструються за допомогою технології "scan-and-go", яка прискорює процес та підвищує точність введення даних. Після реєстрації зразки піддаються аналізу з використанням рентгенофлуоресцентної технології (XRF), яка дозволяє виявити вміст металів і визначити концентрацію алюмосилікатів, що є особливо важливо для уникнення абразивного зносу двигуна. Результати аналізу стають доступними протягом кількох хвилин після обробки. Отримані дані включають детальний звіт з рекомендаціями щодо подальшої оптимізації подачі мастила та інших параметрів для підвищення ефективності роботи двигуна. Однією з головних переваг Mobil Serv CCM є можливість проведення аналізу на вміст алюмосилікатів, які є критично небезпечними для двигунів через абразивні властивості. Визначення та моніторинг рівня алюмосилікатів допомагають запобігати серйозним ушкодженням і підтримувати належну роботу судових систем. Маючи таку систему на борту було вирішено провести експеримент та отримати розуміння щодо впливу погодних умов на ефективність очищення пального. Експеримент проводився протягом 27 днів на суховантажному судні «ST-CERGUE» з дедвейтом 60 696 тонн, обладнаному двотактним малообертовим двигуном Wartsila 6RT-flex50-D. Пальне типу VLSFO було забункеровано в порту Слускіл, Нідерланди (рис. 2).

Згідно з Bunker Delivery Note, вміст сірки в паливі становив 0,48%, тоді як вміст алюмосилікатів зафіксовано на рівні 57 ppm. Після отримання аналізів зразків пального від лабораторії VPS, було виявлено підвищений вміст алюмосилікатів та мікробактерій. Рекомендована температура сепарації для забезпечення оптимальної роботи обладнання становить 78°C. Варто зазначити, що останнє очищення паливних танків проводилося 9 місяців тому, що підкреслює необхідність регулярного технічного обслуговування та моніторингу стану паливних резервуарів.



Рисунок 2 – Процес аналізу зразків палива за допомогою приладу MobilServ CCM Kit

Отримані результати дозволили нам виявити закономірності, які можуть бути використані для оптимізації роботи паливного фільтруючого обладнання. Це, в свою чергу, сприятиме зниженню витрат на експлуатацію суден і покращенню загальної ефективності системи підготовки пального.

Експеримент розпочався 1 вересня 2024 року. Результати експерименту відображено на рис. 3. Проби пального бралися щодня протягом 27 днів о 10:00. Перші три дні, з 1 по 3 вересня, характеризувалися спокійними погодними умовами: на судні не було хитавиці, і його рух залишався стабільним. Вміст алюмосилікатів у пробах після сепарації залишався в межах допустимих норм, а продуктивність сепараторів становила 1200 літрів на годину.

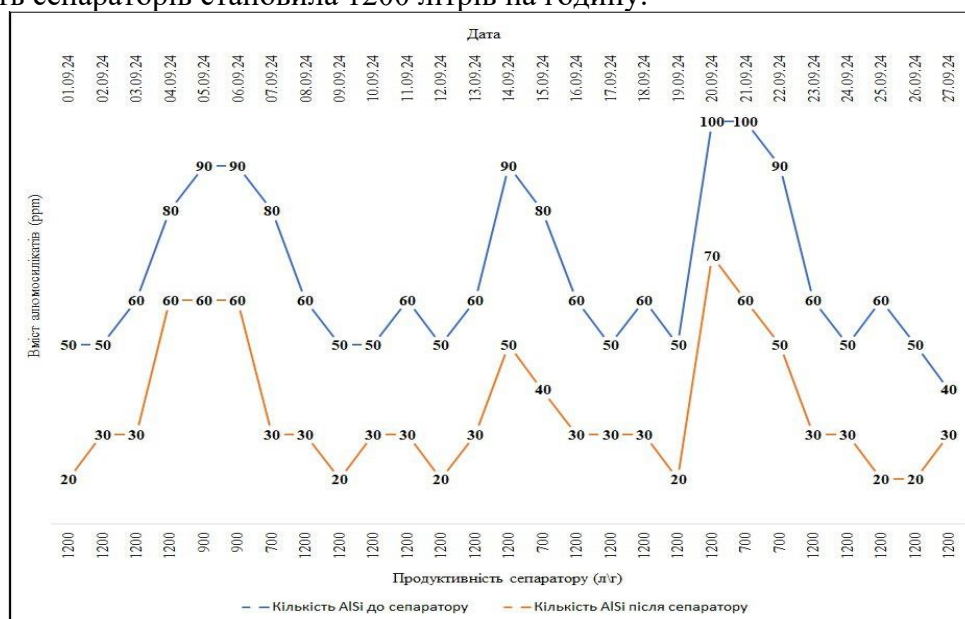


Рисунок 3 – Графік отриманий з результатів дослідження кількості алюмосилікатів до та після сепаратору та його продуктивність впродовж експерименту.

Однак з 4 вересня погодні умови почали погіршуватися, з'явилася хитавиця, що вплинуло на вміст алюмосилікатів у пробах пального. Як видно на рис. 3, вміст частинок у пробах пального до і після сепаратора почав зростати. У відповідь на це було прийнято рішення зменшити продуктивність сепаратора до 900 літрів на годину. Проте, як показав графік, суттєвих змін не відбулося, а, навпаки, ситуація дещо погіршилася. Протягом періоду з 5 по 6 вересня ситуація

залишалася стабільною. 7 вересня хитавиця дещо зменшилася, і було ухвалено рішення про подальше зниження продуктивності сепаратора до 700 літрів на годину. Після відбору проб і проведення аналізу виявлено позитивні зміни: замість 60 ppm, які спостерігалися протягом попередніх трьох днів, після зниження продуктивності та покращення погодних умов на виході з сепаратора зафіксовано 30 ppm. З 8 по 13 вересня на судні панували спокійні погодні умови, хитавиця була практично відсутня, і судно рухалося без різких маневрів. Проте 14 вересня судно змінило курс, і хитавиця відновилася. Як можна помітити на графіку, вміст алюмосилікатів на вході в сепаратор підвищився до 90 ppm, а на виході — до 50 ppm, що свідчить про проблеми з якістю пального. У зв'язку з цим було знову ухвалено рішення про зниження продуктивності до 700 літрів на годину. 15 вересня хитавиця продовжувалася, і аналіз проб показав зниження вмісту до 80 ppm на вході в сепаратор та до 40 ppm на виході. Протягом періоду з 16 по 19 вересня спостерігалися спокійні погодні умови; хитавиця відсутня, судно рухалося без різких маневрів, а продуктивність сепаратора становила 1200 літрів на годину.

Аналіз проб демонстрував 60-50 ppm на вході та 30-20 на виході з сепаратора. 20 вересня почався потужний шторм, що викликав значну хитавицю. Як видно на рис. 3, відбулося значне збільшення вмісту твердих домішок: аналіз показав 100 ppm на вході та 70 ppm на виході. У зв'язку з цим було прийнято рішення знову знизити продуктивність сепаратора до 700 літрів на годину. 21 вересня аналіз показав незначне поліпшення ситуації: на вході в сепаратор вміст домішок залишився сталим на рівні 100 ppm, а на виході зменшився до 60 ppm. 22 вересня погодні умови та продуктивність сепаратора залишалися сталими, знову спостерігалися умови шторму та продуктивність 700 л/г. Аналіз проб показав 90 ppm на вході та 50 ppm на виході, що свідчить про невелике покращення — рівень алюмосилікатів зменшився на 10 ppm. З 23 по 27 вересня спостерігалася спокійна погода, а продуктивність сепаратора знову становила 1200 л/г. Аналіз проб показав 60-50 ppm на вході в сепаратор та 30-20 на виході. 27 вересня 2024 року експеримент був завершено, і результати дослідження стали основою для нашої подальшої оптимізації процесів підготовки пального.

Згідно з оглядом результатів експерименту рис. 3, можна зробити висновок, що в умовах хитавиці та частих різких поворотів судна спостерігається підвищення рівня алюмосилікатів та важких домішок у паливі. Важливо відзначити, що хоча зменшення продуктивності роботи сепаратора позитивно впливає на кількість важких домішок і алюмосилікатів в очищеному паливі, їх рівень все ще залишається значно вищим за рекомендовані заводом-виробником норми, які складають 15 ppm. Також варто зазначити, що під час аномально високих показників наявності алюмосилікатів та інших твердих домішок фільтруючі елементи автоматичного паливного фільтра зазнавали значного забруднення (рис. 4).



Рисунок 4 – Автоматичний фільтр після 2 годин роботи при високому рівні алюмосилікатів в паливі (Джерело: фотографії з суднового архіву).

У звичайних умовах роботи фільтр проходив промивку 6-8 разів на добу. Однак у період підвищення рівня алюмосилікатів, коли спостерігалася хитавиця, фільтр почав промиватися 30-40 разів на добу. Це призвело до багаторазової безрезультатної промивки та продувки фільтруючих елементів, а також до значної перевитрати пального.

Варто підкреслити, що короткий проміжок часу, доступний для обслуговування касет з фільтруючими елементами, є критично недостатнім для проведення якісної заміни на запасний набір. Також слід зазначити, що 25 вересня 2024 року на допоміжному дизель-генераторі №3, який залишався єдиним працюючим генератором під час рейсу та експерименту, спостерігалися проблеми. Планова моточистка генератора була завершена 27 серпня 2024 року, а загальний час роботи після моточистки становив 289 годин. Протікання з паливної системи стали постійними, що свідчило про порушення герметичності паливних насосів (рис. 5). Це стало ще однією ознакою того, що система паливopідготовки потребує вдосконалення для запобігання подібним ситуаціям у майбутньому.



Рисунок 5 – Стан паливних насосів під час інспекції (Джерело: фотографії з судового архіву).

Розбірка також виявила наявність абразивного зносу у вигляді подряпини на всій довжині втулки, а також абразивний знос компресійних кілець. Також ми зафіксували погіршення стану хону циліндрів, відзначивши наявність неглибоких слідів абразивного зносу на поверхнях втулок і компресійних кілець у циліндрах 1, 2 та 6 (рис. 6). Це свідчить про серйозні проблеми з якістю пального або ефективністю його очищення, які могли спричинити підвищений знос. Інспекція паливних насосів виявила аномальний знос прецизійних пар насосів. Це свідчить про те, що проблеми з якістю пального могли також вплинути на роботу паливних насосів, приводячи до підвищеного зносу їх компонентів.



Рисунок 6 – Циліндрові втулки під час інспекції (Джерело: фотографії з судового архіву)

Таким чином, результати проведеної нами ревізії вказують на необхідність термінових заходів для покращення системи підготовки пального та зниження ризиків, пов'язаних із абразивним зносом і забрудненням, що негативно впливають на роботу двигуна.

Висновок. Підсумовуючи результати експерименту, можна зробити висновок, що аномально високі рівні алюмосилікатів та інших твердих домішок у паливі можуть бути спричинені потраплянням домішок із дна танків через коливання та перемішування під час хитаючи або різких маневрів у несприятливих погодних умовах. Системи обробки пального, такі як сепаратори та штатні автоматичні фільтри, не завжди здатні забезпечити ефективну очистку через надмірну

кількість забруднень, що призводить до перевитрат пального та підвищеного зносу ключових компонентів двигуна, зокрема втулок, компресійних кілець та прецизійних пар паливних насосів. Результати нашого дослідження можуть стати основою для вдосконалення систем очищення пального та впровадження систем візуального контролю за вмістом алюмосилікатів у паливі в режимі реального часу, що дозволить оперативно відстежувати рівень забруднень та мінімізувати їхній негативний вплив.

Vrublevskyi R.

A STUDY OF THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON THE ALUMINOSILICATE CONTENT IN MARINE FUEL

In today's maritime industry, the presence of aluminosilicates in marine fuel poses a significant challenge, affecting the reliability and efficiency of marine engines. The increasing concentration of these particles, especially in the era of low-sulfur fuel, creates significant operational and economic challenges for ship owners and operators. The use of effective fuel treatment systems, such as separators, advanced filtration technologies, and integrated automatic monitoring systems, is necessary to ensure the stable operation of engines and reduce the risk of damage. However, fuel cleaning and monitoring systems for aluminosilicate content in marine fuel do not always cope with this task, especially in adverse weather conditions.

Despite numerous studies, the impact of weather conditions on the effectiveness of fuel cleaning has not received adequate attention. To address this gap and gain a deeper understanding of the mechanisms by which weather factors affect fuel contamination levels, it was decided to conduct an experiment under real ship operating conditions. This approach allows not only to quantitatively assess the presence of aluminosilicates in the fuel but also to study the dynamics of their changes depending on weather conditions.

The experiment proves that abnormally high levels of aluminosilicates and other solid impurities in the fuel are caused by the ingress of impurities from the bottom of the tanks due to sloshing and mixing during rolling or sharp maneuvers in adverse weather conditions. The results of our research can serve as a basis for improving fuel cleaning systems and implementing real-time visual monitoring systems for aluminosilicate content in fuel, which will allow for the timely tracking of contamination levels and minimizing their negative impact.

Key words: research, weather conditions, aluminosilicates, marine fuel

ЛІТЕРАТУРА

1. Alfa Laval, 2019. Centrifugal Separators: S Flex Modules. Available from: Alfa Laval.
2. Barczak, M., & Pawlowski, L., 2019. Reduction of Catalytic Fine Particles in Marine Fuels. *Energy Procedia*, 142, pp. 1137-1144.
3. Fink, R., & Schmidt, H., 2020. Innovative Filtration Methods for Marine Fuels. *Fuel Processing Technology*, 198, pp. 105-117.
4. Garcia, L., 2019. Contaminant Control for Enhanced Marine Engine Life. *Maritime Technology Journal*, 8(2), pp. 54-68.
5. International Union of Marine Insurance, 2024. Cat Fines Pack. JHC Report - Marine Engine Damage due to Catalytic Fines in Fuel. Available from: IUMI.
6. Jansen, S., et al., 2021. Effect of Heavy Fuel Oil Aluminosilicates on Engine Wear. *Journal of Petroleum Engineering*, 144(3), pp. 203-216.
7. Johnson, R., 2020. *Marine Engine Reliability: Issues and Solutions*. Elsevier, Amsterdam.
8. Kawamura, T., & Tanaka, H., 2021. Optimizing Engine Performance by Reducing Catalyst Particles in Fuel. *Journal of Marine Fuel Research*, 33(3), pp. 176-185.
9. Lewis, P. D., & Crowley, B., 2019. Wear of Engine Components Due to Aluminosilicate Contamination. *Marine Science and Engineering Review*, 21(4), pp. 392-412.
10. MacDonald, R., & Keegan, P., 2020. *Marine Engines: A Practical Guide*. Routledge, New York.

11. MAN Diesel & Turbo, 2017. Cleaning of Heavy Fuel Oil and Maximum 0.10% Sulphur Fuels. Service Letter SL2017-638/DOJA. Available from: Tribocare.
12. MAN Energy Solutions, 2019. Fuel Tank Cleaning - Supplement to SL2019-670. Service Letter SL2019-674/JAP. Available from: MAN ES.
13. Mann, R., & Stokes, L., 2021. Filtration Efficiency for Aluminosilicate Removal in Marine Fuels. *Journal of Naval Engineering*, 12(1), pp. 95-110.
14. Martin, J., & Stanley, W., 2020. Minimizing Wear Due to Fuel Contaminants. *Proceedings of the 20th International Symposium on Marine Fuel*, IME, Athens, pp. 240-256.
15. Smith, G., & Wallace, D., 2020. Analysis of Engine Cylinder Wear under Catalytic Fines Contamination. *Journal of Engineering Tribology*, 13(4), pp. 315-331.
16. Tanaka, Y., & Oshima, K., 2019. Cleaning Efficiency of Marine Fuel Systems for Aluminosilicate Removal. *Journal of Ship Engineering*, 17(1), pp. 132-148.
17. Vecom Marine, 2020. Test Kit Cat Fines Check. Available from: Vecom Marine.
18. Vrublevskiy, R. Y., Akimov, O. V., & Alfimov, V. O., 2024. Enhancing the Efficiency of Marine Engines through Cleaning and Monitoring the Aluminosilicate Content in Fuel. *Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT – 2024) [Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference (May 29–31, 2024, Odessa)]*. Odessa: Kherson State Maritime Academy, pp. 204–205.
19. Watts, S. (ed.), 2019. *Essential Marine Engine Operations: Methods and Techniques*. Routledge, London.