

ВІДГУК офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Тітлова О. С.

на дисертаційну роботу Голубєва Максима Віталійовича на тему «Удосконалення процесів фільтрації і охолодження відпрацьованих вихлопних газів суднової дизельної установки», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

1. Загальна характеристика роботи

1.1. Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Обсяг дисертації становить 165 стор., у тому числі 158 стор. основного машинописного тексту, що містить рисунки на 35 стор. і таблиці на 8 стор. Бібліографічний список містить 109 найменувань.

1.2. Оформлення дисертації відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти в сфері науки й техніки. Структура й правила оформлення». Назва дисертації відповідає обраній спеціальності і суті наукового завдання, що розв'язується. Матеріали дисертаційної роботи викладені у логічній послідовності відповідно до поставлених завдань дослідження, їх розв'язок розкрито повністю. Обсяг основного тексту відповідає рекомендованим вимогам. У дисертації використані тільки особисто розроблені автором ідеї та матеріали. Запозичені матеріали і результати досліджень інших авторів супроводжені необхідними посиланнями.

Зміст автореферату ідентичний змісту дисертації і дає повне уявлення про роботу. Вимоги до оформлення автореферату і його розсилання дотримані.

1.3. Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, як за формулою спеціальності, так і за напрямками досліджень.

1.4. Зміст роботи

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, дані визначення об'єкту і предмету дослідження, наведені мета, головне й допоміжні завдання дисертаційної роботи,



охарактеризовані методи дослідження, сформульовані наукова новизна й практична цінність наукових результатів і відображена повнота їх викладу в публікаціях і ступінь апробації на конференціях із зазначенням особистого внеску здобувача.

У **першому розділі** роботи на основі літературних джерел здійснено огляд проблеми незадовільних показників екологічності суднових енергетичних установок.

Розглянувши класифікацію основних технологічних газоподібних викидів при експлуатації суден, автор встановив, що найбільшу шкоду навколишньому середовищу завдають токсичні викиди з вихлопними газами та теплове навантаження від них.

Незважаючи на те, що основні фізичні принципи процесу очистки вихлопних газів (ВГ) на сьогоднішній час добре дослідженні, на промисловий рівень виробництво фільтраційних установок вихлопних газів суднових дизелів досі не вийшло.

Автор вивчив стан проблеми абсорбційної очистки відхідних вихлопних газів і розглянув фактори, що впливають на швидкість їх очистки, що дало змогу визначити перспективність використання методу барботажу газів у нерухомій рідині.

У **другому розділі** дисертації автором здійснено вибір теми, постановку мети, головного та допоміжного завдань дослідження і викладено загальну методику дослідження.

Вибір методів та методик дослідження базувався на аналізі специфіки взаємодії рухомого потоку газу з нерухомою рідиною. Автор розробив технологію дисертаційного дослідження за допомогою системного аналізу. У цьому ж розділі наводиться опис науково-дослідницької установки, характеристики приладів і аналіз похибок вимірювання основних параметрів процесу обробки вихлопних газів.

Третій розділ присвячено дослідженню та аналізу процесів тепломасообміну і суцільності потоку вихлопних газів у барботуючому шарі води системи «газ-вода».

З метою встановлення кількісних характеристик процесу тепломасообміну в системі «газ – вода» була розроблена математична модель процесів фільтрації, охолодження і суцільності потоку бульбашок вихлопних газів в нерухомій рідині, що представлена системою рівнянь у диференціалах.

Автор застосував метод кінцевих різниць для аналітичного розв'язку згаданої

системи рівнянь і склав розрахункову сітку для визначення властивостей теплома-
сообміну у фільтро-охолоджуючому елементі (ФОЕ).

Четвертий розділ присвячено прогностичній оцінці ступеня впливу геометри-
чної конфігурації фільтро-охолоджуючого елемента на інтенсивність процесів теп-
лообміну в системі «газ-вода». Наводяться результати експериментальних дослі-
джень процесів фільтрації і охолодження вихлопних газів.

На основі одержаних наукових результатів автор розв'язує головне завдання
дослідження – створення принцип роботи фільтро-охолоджуючої установки, інтег-
рованої у технологічний контур суднового головного дизеля

У **п'ятому розділі** наводиться розрахункова математична модель процесу очис-
тки вихлопних газів. Розробляються техніко-експлуатаційні вимоги до автоматизації
фільтро-охолоджуючої установки, спосіб управління процесом фільтрації і охоло-
дження вихлопних газів суднового дизеля.

Здобувач визначає особливості технологічних операцій з виготовлення та мон-
тажу суднової фільтро-охолоджуючої установки та загальні вимоги до її експлуата-
ції і управління.

У **висновках** узагальнено основні наукові положення й результати, що визна-
чають наукову новизну й практичну цінність дисертації.

На підставі викладеного вище зроблено висновок про те, що дисертаційна ро-
бота є завершеною кваліфікаційною роботою, що містить всі необхідні розділи:
оглядовий, теоретичний, експериментальний і розділ, що відображає узагальнення й
впровадження результатів досліджень. Мета, поставлена в дисертаційній роботі, до-
сягнута в результаті виконання всіх намічених завдань.

2. Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження

Показники екологічності суднових двигунів, що працюють на високов'язких
(важких) сортах палива не відповідають сучасним вимогам, оскільки після згоряння
цього палива в атмосферу з вихлопними газами викидається значна кількість шкід-
ливих речовин.

Тема дисертації відповідає державним і галузевим програмам, пріоритетним
напрямкам розвитку науки і техніки:

Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 р.»;

Транспортній стратегії України на період до 2020 р. (Постанова Кабінету Міністрів України № 2174 від 20.10.2010 р.).

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт НУ «ОМА», зокрема за темою «Розвиток сучасної теорії и практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології» № ДР 0114u00346, у якій автору належить окремий розділ.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

У дисертаційній роботі наведені наукові результати й положення, для формулювання яких автором виконано значний за обсягом й науковим рівнем комплекс теоретичних і експериментальних досліджень. Обґрунтованість наведених положень забезпечується: ідентичністю процесів у фізичних і теоретичних моделях з результатами у промисловому зразку фільтро-охолоджуючої установки (ФОУ) та результатами експериментальних досліджень у натурних умовах.

Методи дослідження.

У дисертації застосовувалися наступні методи дослідження: дедукції (при інформаційному пошуку), експертного оцінювання (при виборі теми дослідження); системного аналізу (при розробці методології та технологічної карти дослідження); математичного моделювання (при теоретичному дослідженні процесів тепломасообміну в системі «газ-вода»), кінцевих різниць (при чисельному дослідженні процесів фільтрації і охолодження), натурних експериментів (в ході побудови і дослідження роботи ФОЕ і ФОУ); статистичної обробки даних (при оцінці похибок вимірювань і розрахунків, а також оцінці ефективності роботи ФОЕ); конструктивні (під час розробки суднової автоматизованої ФОУ).

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що підвищення ефективності очистки ВГ суднового дизеля забезпечується ФОУ, яка містить паралельно працюючі за принципом відхилення аеродинамічного навантаження ФОЕ та збереження тепломасообміних (температури та кислотності) властивос-

тей води на виході кожного з них. При цьому методику конструювання ФОУ та ФОЕ відрізняє вибір ефективного режиму барботажу в системі «газ -вода» у замкненому просторі ФОЕ.

У процесі дослідження вперше були отримані наступні наукові результати:

- математична модель процесів фільтрації та охолодження, що представлена матеріальною точкою у просторі, яка характеризує міжфазну взаємодію у системі «газ – вода» під час барботажу за масою, температурою та поточною концентрацією компонентів газу, що очищується;

- математична модель процесів фільтрації та охолодження вихлопних газів, що представлена матеріальною точкою на окремих поперечних перерізах замкненого простору, яка відображає зміну поточної концентрації шкідливих домішок;

- одночасне кероване протікання процесів фільтрації і охолодження вихлопних газів забезпечується барботуючим об'ємом води, що дорівнює 0,85 від висоти камери ФОЕ, що містить направляючі пластини, оскільки вище цього значення висоти швидкість дифузії компонентів газу і темп охолодження стають мінімальними;

- інтенсифікація поверхневого теплообміну і масопередачі досягається конструктивним збільшенням ефективного шляху потоку бульбашок газу у 1,5 рази (установка напрямних пластин під кутом 30°), обмеженням максимального діаметру бульбашок до 5 мм на вході в ФОЕ (установка розподільної решітки) та запобіганню виносу капель води газами (установка каплеуловлювача);

- зниження температурного градієнту газів на 30%, концентрації NO_x на 99,7% і концентрації SO_x на 97,7% на виході з ФОУ досягається за рахунок забезпечення необхідного значення площі міжфазної взаємодії $9 \text{ м}^2/(\text{м} \cdot \text{с}^{-1})$ у барботажному об'ємі води, що заповнює камеру працюючого ФОЕ;

- принцип управління роботою ФОУ визначається трьома нормованими параметрами ефективності процесів фільтрації та охолодження, підтримання яких забезпечується:

- об'ємна витрата вихлопних газів на вході в ФОВ у діапазоні 2-5 м³/с на всіх режимах роботи дизельної установки – керованою зміною числом паралельно працюючих ФОВ пропорційно перепаду тиску газів на вході і виході з ФОВ,
- концентрація NO_x і SO_x – керованою заміною фільтраційної води в камері ФОВ при відхиленні значення її кислотності (тобто значення pH) від початкового,
- температурний градієнт газів – керованою заміною фільтраційної води в камері ФОВ при перевищенні значення її температури у 98 °С.

4. Практична цінність отриманих результатів полягає в підвищенні ефективності очистки відпрацьованих вихлопних газів шляхом розроблених:

- суднової автоматизованої системи фільтрації вихлопних газів;
- методики проектування ФОУ очистки вихлопних газів, що інтегрована у технологічну схему суднового головного дизеля;
- способі автоматичного управління процесами фільтрації і охолодження в установці очистки вихлопних газів;
- комплексі основних операцій для виготовлення, монтажу та ремонту конструкції ФОУ вихлопних газів суднового дизеля.

Результати дисертаційної роботи впроваджені і використовуються в наступних організаціях:

- судноплавній компанії ТВ Marine Hamburg (акт від 27.08.2014), що дозволило знизити температуру судових вихлопних газів, що викидаються в атмосферу, в середньому в 1,5 рази, а зниження викидів SO_x при роботі судна на паливі з високим вмістом сірки до показників до рівня, що відповідає використанню палива з низьким вмістом сірки;
- НУ «ОМА» – у навчальному процесі при проведенні лекційних занять з дисциплін оптимізація режимів роботи судових енергетичних установок і технічна експлуатація судових енергетичних установок (акт від 14.01.2016);
- НУ «ОМА» – в НДР «Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології» (акт від 21.01.2016).

5. Рекомендації з подальшого розвитку робіт з тематики дисертаційного дослідження

Найбільш ефективною областю застосування отриманих результатів, технологій і рекомендацій можуть бути судноплавні компанії морського й річкового флоту України, а також проектно-конструкторські організації та підприємства, що займаються розробкою й виробництвом двигунів силового та електрогенеруючого устаткування транспортних енергетичних установок. Результати роботи рекомендується використовувати судновласниками морегосподарського комплексу під час формування технічних завдань на проектування, будівництво та модернізацію суден.

Вважаємо, що результати дисертаційної роботи можуть бути науково-методичним підґрунтям подальших досліджень на дизелебудівних заводах України, які займаються технічним удосконаленням систем підвищення їх екологічної та енергетичної ефективності.

Подальший розвиток досліджень за тематикою дисертації пов'язаний з розробкою положень щодо підвищення енергетичної і екологічної ефективності судових головних дизелів шляхом удосконалення режимів експлуатації фільтроохолоджуючої установки.

6. Повнота викладу результатів.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 15 наукових працях, у тому числі 7 наукових журналах і збірниках праць, включених у переліки наукових спеціалізованих видань МОН України і 8 матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій. Слід визначити наявність у автора двох публікацій у виданнях, що рецензуються міжнародними наукометричними базами.

8. Зауваження до роботи, що рецензується

У якості зауважень відзначаю наступне.

1. Схеми та опис технологічних контурів судової енергетичної установки (рис. 1.4-1.9) не пов'язані з висновками по підрозділу 1.3 стосовно підтримання енергетичного балансу між елементами дизеля та його навантаженням у вигляді витоку газу, зміни умов плавання, обростання корпусу, стійкості обертів руху двигуна та тепловими втратами в системах двигуна (стор. 31-32).

2. У підрозділі 1.5 наведені фактори, що впливають на швидкість очистки вихлопних газів, але вся увага зосереджена виключно на умовах підйому газових бульбашок у нерухомій воді, не враховуючи властивості абсорбенту та характеристики абсорбера.

3. Концептуальна технологічна схема очистки вихлопних газів (рис. 2.1, стор. 51) та рис. 2.5, стор. 66) заздалегідь містить направляючі пластини, але у подальшому їх наявність стає науковою новизною.

4. Вислів автора на стор. 55 про те, що інтегрування фільтро-охолоджуючої установки у технологічні схеми СЕУ повинне підвищити як енергетичний ККД судна, так і знизити навантаження на утилізаційний котел, залишився незрозумілим, оскільки пояснення цьому твердженню відсутнє.

5. Не зрозумілим залишилась доцільність використання термометра з ціною поділки 10°C для вимірювання температури вихлопних газів та вимірювача об'ємної витрати, що по конструктивним та об'ємним характеристикам не відповідає вимогам лабораторних досліджень.

6. Науковий результат другого допоміжного завдання носить суто теоретичний характер, необхідний для чисельного визначення часткових диференціалів у системі (3.18). В практичному сенсі рівномірність газового потоку забезпечується розподільчою решіткою. Тому назвати його новим недоцільно. Скоріше цей результат дав поштовх конструктивному вирішенню проблеми рівномірного розподілу газу.

7. Рис. 5.7 на стор. 141, на якому представлено загальний вигляд розробленої фільтро-охолоджуючої установки, не містить експлікації, що ускладнює його розуміння.

8. Дисертаційна робота та автореферат не є вільними від граматичних помилок та стилістичних вад.

9. Висновок

У результаті вивчення представлених Голубєвим Максимом Віталійовичем дисертаційної роботи, автореферату та наукових праць можна зробити наступний висновок.

Дисертація на тему «Удосконалення процесів фільтрації і охолодження відпрацьованих вихлопних газів судновий дизельної установки» є завершеною кваліфікаційною роботою, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати стосовно абсорбційної очистки та контактного охолодження вихлопних газів судових головних дизелів, що у цілому забезпечують вирішення проблеми токсичних викидів в атмосферу та теплового навантаження на неї під час експлуатації морського транспортного засобу.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки згідно напрямків 1, 2 і 12.

Відповідно до пункту 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України, робота відповідає вимогам, пропонованим до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор заслуговує присудження цього ступеня.

Завідувач кафедру теплоенергетики
та трубопровідного транспорту енергоносіїв
Одеської національної академії харчових технологій (ОНАХТ)
Міністерства освіти і науки України,
радник ректора ОНАХТ з
питань холодильної техніки і технології,
академік Міжнародної академії холоду
(Українське відділення)
д.т.н., проф.



О. С. Титлов

Підпис д.т.н., проф. О. С. Тітлова завіряю:

