

## ВІДГУК

### офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Сербіна Сергія Івановича  
на дисертаційну роботу Солодовнікова Валерія Григоровича  
«Удосконалення системи паливопідготовки суднових середньообертових дизелів  
шляхом зниження концентрації компонентів, що містять сірку»,  
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 додатка. Обсяг дисертації становить 201 сторінку, у тому числі 173 сторінок основного машинописного тексту, що містить 36 рисунків і 9 таблиць. Бібліографічний список містить 158 найменувань.

**1.2. Оформлення дисертації** відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти в сфері науки й техніки. Структура й правила оформлення». Назва дисертації відповідає вибраній спеціальності й суті вирішеного наукового завдання. Матеріали дисертаційної роботи викладені в логічній послідовності відповідно до поставлених завдань дослідження, їх рішення розкрите повністю. Обсяг основного тексту відповідає встановленим вимогам. У дисертації використані тільки особисто розроблені автором ідеї й матеріали. Запозичені матеріали й результати досліджень інших авторів супроводжено необхідними посиланнями.

Зміст автoreферату ідентичний змісту дисертації й дає повне уявлення про роботу. Вимоги до оформлення автoreферату і його розширення дотримані.

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

– за **формулою спеціальності** (вибірково): науково-технічні проблеми дослідження, проектування, випробувань, експлуатації двигунів (зокрема дизельних) і енергетичних установок, узгодження й оптимізацію процесів взаємодії компонентів у двигунах і енергетичних установках;

– за **напрямками досліджень** (вибірково):

п.1 – теорія двигунів і енергоустановок, експериментальні дослідження процесів у них; п.2 – фізичне й математичне моделювання, системний аналіз і синтез

термодинамічних і гідродинамічних процесів у двигунах, енергоустановках і їх елементах; п.3 – вплив робочих тіл, теплоносіїв і мастильних матеріалів на характеристики двигунів і енергетичних установок; розроблення та дослідження конструктивних методів і технологій підвищення ефективності комплексного використання паливно-енергетичних ресурсів; п.6 – системи й агрегати двигунів і енергетичних установок; п.10 – розроблення методів і методик для випробування двигунів; п. 12 – методи, технічні засоби та системи поліпшення характеристик двигунів за екологічними властивостями, зокрема показниками шкідливих викидів.

#### **1.4. Зміст роботи**

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, обрані об'єкт і предмет дослідження, сформульовані мета, головне й допоміжні завдання дисертаційної роботи, охарактеризовані методи дослідження, викладені наукова новизна й практичне значення наукових результатів, відображені повнота їх викладу в публікаціях і ступінь апробації на конференціях.

У **першому розділі** роботи на основі критичного аналізу сучасних тенденцій дизелебудування, досвіду експлуатації й напрямків удосконалювання суднових середньообертових дизелів (СОД), що використовуються як головні та допоміжні двигуни морських та річкових транспортних суден, а також систем, що забезпечують їх роботу, автором обґрунтована актуальність науково-прикладної задачі – підвищення екологічної ефективності і збереження працевздатності суднових СОД шляхом удосконалення їх систем паливопідготовки.

Автор на основі аналіз літературних джерел щодо особливостей підготовки суднових високов'язких палив вказує на відсутність сучасних досліджень, що дозволяють у повній мірі використовувати альтернативні методи підготовки і зокрема його ультразвукову обробку. При цьому наукові дослідження стосовно визначення впливу ультразвукової обробки палива на процес зниження концентрації компонентів, що містять сірку, з паралельним визначенням впливу такої обробки на корозійний знос та екологічні параметри дизеля проведені в недостатньому обсязі. Це додатково підтверджує актуальність і значимість обраного напрямку дослідження.

У **другому розділі** дисертації автором описана загальна методика дослідження процесів десульфурізації палива за рахунок його ультразвукової обробки. На основі оцінки можливих варіантів рішення задачі підвищення екологічної ефективності і

збереження працездатності суднового СОД автором обґрунтовано обрано як найбільш доцільний варіант удосконалення системи паливопідготовки, пов'язаний з розробкою систем ультразвукової обробки палив.

З урахуванням обраного напрямку дослідження, а також на підставі аналізу інформаційного пошуку, що виконаний у першому розділі, автором визначена мета дисертаційної роботи й визначені завдання дослідження.

**Третій розділ** присвячено дослідженню впливу сірчистих домішок у паливі на роботу суднових дизелів. Автор розкриває теоретико-емпіричні методи визначення впливу сірчистих сполучень на технічний стан суднового дизеля, надає загальну характеристику способів захисту деталей дизеля при його роботі на високосірчастому паливі, описує методі визначення сірки у нафтопродуктах, а також методи десульфурізації палива, які можливо виконувати у суднових умовах.

У цьому ж розділі автором виконані експериментальні дослідження, що дозволили визначити раціональну параметри пристроїв ультразвукової кавітаційної обробки палива, які значно знижують концентрацію сірки у паливі, що залишається після обробки. Автором доведено, що потужність ультразвукового генератора та частота ультразвукового сигналу забезпечують амплітуду коливань, при якій можливий розрив міжмолекулярних зв'язків в комплексах палива, що містять сірку. При цьому автором експериментально доведено, що при обробці палива за допомогою ультразвукових хвиль з його відкритої поверхні виділяється сульфід водню. Остаточну концентрацію сірки у паливі після ультразвукової обробки автор пропонує визначати за допомогою аналізу лінійчатих спектрів горіння – як одного з сучасних та найбільш точних способів аналізу стану середовища.

**Четвертий розділ** присвячено дослідженю впливу ультразвукової обробки палива на енергетичні, економічні екологічні та експлуатаційні характеристики суднових дизелів.

Автором обґрунтовано застосування експериментального обладнання та вимірювальних пристрій, що використовувались під проведення дослідницьких робіт, наведені схеми дообладнання суднових систем паливопідготовки, викладені загальна методика підготовки до проведення експериментів та послідовність їх проведення. Комплекс наукових експериментальних досліджень виконувався на низці суднових СОД, зокрема S6A2 фірми «Mitsubishi», 6NVD фірми SKL, 6Г74 фірми «Російський

дизель». Дослідження дозволили визначити вплив ультразвукової обробки палива на сірчистий знос деталей циліндрової групи дизеля (зокрема верхньої частини циліндрової втулки та першого поршневого кільця). Слід визначити, що автором запропоновано та експериментально підтверджено підвищення ефекту ультразвукової кавітаційної обробки палива при додатковій примусовій подачі стиснутого повітря до витратної цистерни палива. На базі проведених експериментальних досліджень автором доведено, що використання ультразвукової обробки сприяє значному зниженню корозійного зносу деталей суднового СОД, при цьому цей ефект спостерігається не лише для звичайних умов експлуатації двигуна, але і у випадку експлуатації систем охолодження і змащення на мінімально можливих температурних режимах (як відомо, саме ці режими сприяють відхиленням підвищенню сірчистої корозії циліндрової групи дизеля). Крім того, автором виконано комплекс досліджень суднових СОД при експлуатації на паливах з різним вмістом сірки. Ці дослідження дозволили визначити, що сірчистий знос деталей дизеля з ультразвуковою обробкою палива з великим вмістом сірки може бути порівняно з зносом деталей дизеля, що працює на паливі з значно меншим вмістом сірки, але без проведення ультразвукової обробки

Отримані результати дозволили автору заявити про достовірність і адекватність попередньої оцінки перспективності ультразвукової обробки.

**У п'ятому розділі** узагальнено результати теоретичних і експериментальних досліджень, спрямованих на підвищення екологічної ефективності і збереження працездатності суднового СОД при його роботі на високов'язкому паливі.

Автором досліджена енергетична ефективність паливних систем суднових СОД. Визначені енергетичні втрати в різноманітних ділянках паливної системи, на яких забезпечується підготовка важкого палива. На базі цього аналізу, а також з урахуванням досвіту експлуатації суднових СОД, автором запропонована система суднової паливопідготовки, що сприяє максимальній десульфуризації палива при мінімально витратах енергії. В цій системі одночасно розв'язані дві задачі: 1) здійснюється поліпшення якості попередньої підготовки палива за рахунок ультразвуку та 2) забезпечується зниження енергетичних витрат у системі за рахунок заміни енергоємної сепарації на ультразвукову обробку. Перевага запропонованої системи полягає в практичній відсутності втрати горючих складових палива, яке має

місце у відцентровому сепараторі. Це безумовно потребує подальших практичних досліджень та впровадження у суднову енергетику, але можливість сучасного використання подібної системи обґрунтовується наведеними результатами випробувань в суднових умовах (зниженням питомої витрати палива та зменшенням концентрації оксидів сірки у випускних газах дизеля 6VDS18).

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

У результаті проведених автором досліджень вирішено актуальне для суднової енергетики науково-прикладне завдання – підвищення екологічної ефективності і збереження працездатності суднових середньообертових дизелів шляхом удосконалення системи паливопідготовки. Методи й результати дисертаційного дослідження мають наукове й практичне значення для суднобудування, морського й річкового флоту, а також перспективні для подальшого впровадження в енергетику.

На підставі викладеного вище зроблено висновок про те, що дисертаційна робота Солодовнікова В.Г. є завершеною кваліфікаційною роботою, що містить всі необхідні розділи: оглядовий, теоретичний, експериментальний і розділ, що відображає узагальнення й впровадження результатів дослідження. Мета, поставлена в дисертаційній роботі, досягнута в результаті виконання всіх намічених завдань.

## **2. Актуальність обраної теми дисертаційного дослідження**

На сучасному етапі розвитку транспортної енергетики, що характеризується збільшенням ресурсу й підвищенням вимог щодо безвідмовності суднової техніки в умовах постійного зростання питомих потужностей головних і допоміжних двигунів, значимим стає підвищення екологічної ефективності і збереження працездатності суднових середньообертових дизелів протягом життєвого циклу морського транспортного засобу.

Використання у суднових енергетичних установках (у тому числі і у СОД) високосірчистого палива (концентрація сірки 2,5-3,5 %) потребує удосконалення систем паливопідготовки. Це пов'язано зі необхідністю зниження сірчистого зносу деталей циліндрової групи суднового дизеля, а також з необхідністю забезпечення екологічних показників його роботи. Все це приводить до необхідності

удосконалювати систему паливопідготовки. Тому актуальність теми досліджень не викликає сумнівів.

Актуальність теми дисертації підтверджується її зв'язком з державними й галузевими програмами, пріоритетними напрямками розвитку науки й техніки: Транспортною стратегією України на період до 2020 р. (Постанова Кабінету Міністрів України № 2174 від 20.10.2010 р.); Морською доктриною України до 2035 р. (Постанова Верховної Ради України № 1307 від 7.10.2009 р.).

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Одеської національної морської академії, зокрема за темою «Розвиток сучасної теорії і практики технічної експлуатації морського і річкового флоту: концепції, методи, технології» № ДР 0114U000346, в якій автор дисертації підготував ряд розділів.

### **3. Ступінь обґрутованості 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. Обґрутованість наведених положень забезпечується: ідентичністю процесів у фізичних і теоретичних моделях їх реальним аналогам; використанням сучасних методів аналізу термогідродинамічних процесів; результатами експериментальних досліджень в стендових та натурних умовах; збіgom результатів з аналогічними, отриманими в лабораторіях Одеського національного університету, Одеської національної морської академії, Національного університету кораблебудування.

#### **Методи дослідження.**

У дисертації застосовувалися наступні методи дослідження: дедукції (при здійсненні інформаційного пошуку); системного аналізу (при визначенні мети і завдань дослідження, а також при розробці технологічної карти дослідження); математичного і фізичного моделювання (при розробці моделі об'єкта дослідження та при визначенні впливу параметрів ультразвукової обробки на структурний склад палива, а також при визначенні впливу характеристик палива на показники суднового СОД); статистичної обробки даних (при обробці результатів експериментів).

#### **4. Наукова новизна результатів дисертаційної роботи**

У дисертаційній роботі автором проведені теоретичні й експериментальні дослідження, що дозволили обґрунтовано стверджувати про ефективність ультразвукової обробки суднових палив з великим вмістом сірки.

При цьому вперше доведено, що :

- досліджений ефект ультразвукової десульфуризації здійснюється у малорухливому об'ємі палива, попередньо очищеного від води і механічних домішок, що характерно для витратної цистерни системи паливопідготовки;
- залежність концентрації сульфіду водню, що з'являється під час обробки ультразвукової палива та виділяється з його відкритої поверхні, від частоти ультразвукового генератора має нелінійний характер і характеризується наявністю максимуму, який відповідає раціональній частоті генератора;
- високоефективна десульфуризація високосірчистих палив при ультразвуковій обробці забезпечується в діапазоні частоти ультразвукового сигналу 22-26 кГц при амплітуді ультразвукової хвилі 0,36-0,68 мкм;
- зниження корозійного зносу деталей суднового СОД (зокрема верхньої частини циліндрової втулки та першого поршневого кільця) більше ніж в 3 рази, а також зниження концентрації сірковмісних компонентів палива в 1,15-1,35 раз досягається при відношенні потужності ультразвукового генератора до об'єму витратної цистерни в діапазоні 0,55-2,78 кВт/м<sup>3</sup> зі спільною інтенсифікацією процесу ультразвукової обробки примусовою подачею повітря в об'єм палива, що обробляється.

Удосконалено методику визначення структурного складу палива, що відрізняється від існуючих можливістю оцінки залишкового вмісту сірки в паливі за об'ємною концентрацією сульфіду водню, який утворюється над вільною поверхнею палива при його ультразвуковій обробці.

Отримала подальший розвиток методика визначення концентрації сірчистих домішок в паливі на основі аналізу лінійчатих спектрів горіння палива.

#### **5. Практичне значення отриманих результатів таке:**

- встановлений взаємозв'язок між частотою ультразвукового сигналу і зниженням вмісту сірчистих домішок в паливі дозволяє визначити оптимальний час

ультразвукової обробки палива, що забезпечує мінімальні енерговитрати на її проведення;

– технологію ультразвукової кавітаційної обробки високосірчистого палива доцільно використовувати при розробці гідродинамічних активаторів, а рекомендації щодо визначення оптимальних частот ультразвукового сигналу і часу ультразвукової обробки палива – при проектуванні систем паливопідготовки суднових СОД.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на суднах транспортного флоту на групі суднових СОД в діапазоні їхньої потужності 180...4600 кВт, це зокрема забезпечило зниження витрати палива на 70...520 кг на добу, що в цінах 2015 складає 40...350 доларів США на добу.

## **6. Рекомендації з подальшого розвитку робіт з тематики дисертаційного дослідження**

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

Вважаємо, що результати дисертаційної роботи можуть бути науково-методичним підґрунтям подальших досліджень на дизелебудівних заводах України, що займаються технічним удосконаленням систем паливопідготовки і обладнання за напрямком підвищення їх екологічної та енергетичної ефективності, а також збереження працевздатності як дизелів, що знаходяться у експлуатації, так і тих, що встановлюється на суднах або лише проектируються.

Подальший розвиток досліджень за тематикою дисертації пов'язаний з розробкою положень щодо підвищення енергетичної і екологічної ефективності суднових середньообертових дизелів шляхом удосконалення режимів експлуатації ультразвукового устаткування, що додатково використовується у системах паливопідготовки.

### **Повнота викладу результатів.**

Основні результати дисертаційної роботи повністю опубліковані в 18 наукових працях. З них: 6 (4 без співавторів) – у наукових журналах і збірниках праць, включених у переліки наукових спеціалізованих видань МОН України, 10 - у матеріалах міжнародних і всеукраїнських конференцій. Слід визначити наявність у автора публікації в міжнародному журналі Modern Applied Science, виданим Canadian Center of Science and Education, що входить до фонду SCOPUS, а також авторського свідоцтва.

Після опублікування останньої роботи пройшло більше 3 місяців.

Основні результати роботи доповідалися й обговорювалися на науково-технічній конференції «Енергетика судна: експлуатація та ремонт», 26.03.2014-28.03.2014, Одеса, Одеська національна морська академія; VI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2014», 27-29 травня 2014 р., Херсон, Херсонська державна морська академія; XXXV Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике», Новосибирск, СиБАК, 2014 г.; XXVI Міжнародній науковій конференції «Дисперсні системи» 22-26 вересня 2014 р., Одеса, Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова; XXXVIII Международной научно-практической конференции «Технические науки – от теории к практике», Новосибирск, СиБАК, 2014 г.; III Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасний стан та проблеми двігунобудування», 19-21 листопада 2014 р., м. Миколаїв, Національний університет кораблебудування; IV міжнародній науково-практичній конференції «Техніка і технології: роль у розвитку сучасного суспільства», 27 січня 2015 року, Краснодар, 2015 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Енергетика судна: експлуатація та ремонт», 26.03.2015-28.03.2015, Одеса, Одеська національна морська академія; XV Международной научно-практической конференции «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке», Москва, 27-28 марта 2015 г.; VII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті – MINTT-2015», 26-28 травня 2015 р., Херсон, Херсонська державна морська академія.

## **8. Зауваження до роботи, що рецензується**

Як зауваження відзначаю наступне.

1. В задачах, які сформулював і поставив перед собою здобувач (головній та допоміжних) відсутні напрямки, пов'язані з досягненням однієї з цілей дисертаційного дослідження – підвищенням екологічної ефективності СОД, хоча в дійсності такі дослідження були виконані.
2. В розділі 1 наведені достатньо відомі матеріали, які дещо подібні реферативному опису, пов'язаному з системами СЕУ і паливами, які використовуються на суднах. Не дуже ясно, навіщо приводяться формули для швидкостей осідання частинок, номограма відстоювання палива і т.д. Об'єм цього розділу в цілому відповідає вимогам по оформленню дисертацій, але вважаю, що віг міг би меншим.
3. Визиває сумніви твердження автора на стор. 63 розділу 2, що наукова значущість дисертаційного дослідження полягає в розробці системи паливопідготовки за рахунок використання ефектів ультразвукової обробки палива. Ця частина його роботи відноситься до практичного значення отриманих результатів.
4. Розповсюдження ультразвукових хвиль залежить від багатьох факторів (від різновиду самої хвилі – поздовжня, поперечна, поверхнева, форми ультразвукового сигналу, процесів розсівання та поглинання ультразвуку, віddзеркалення від границі розділення середовищ, нерівномірності просторового розподілу амплітуди хвилі, міста розташування та форми випромінювача, тощо). Тому математичний опис процесів, що мають місце при кавітаційній обробці, зроблений автором в розділі 3, можна розглядати лише як якісний, тим паче в дисертації немає співставлення результатів теоретичного аналізу цих процесів з експериментом.
5. Я б рекомендував змінити словосполучення “оптимальна частота”, “оптимальне значення” на “раціональне значення частоти”, “раціональне значення”, так як оптимізація передбачає знаходження (теоретичне чи експериментальне) екстремуму функції при певних функціональних та обласніх обмеженнях. При розв'язанні задачі оптимізації складних енергетичних об'єктів принцип компонентної зміни визначальних параметрів при постійному рівні інших може буди недостатньо ефективним з-за присутності так званих міжфакторних взаємодій. Наприклад, на рис. 3.10 немає жодних екстремумів, тому говорити про оптимальний час ультразвукової обробки недоцільно.

6. В розділі 3 при описі експериментальної установки (стор. 104-105) відсутня оцінка похибок основних вимірювань.
7. На стор. 109 автор стверджує, що залежність температури палива від частоти коливань має слабо виражений експоненціальний характер, хоча на графіках рис. 3.9 це не підтверджується. Теж саме і відносно рис. 3.10.
8. В розділі 4, на жаль, відсутні дані випробувань дизельних двигунів, пов'язані з емісією ряду токсичних компонентів, таких як оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, та вплив на неї системи кавітаційної обробки палива. Це можна вважати побажанням на майбутнє.
9. В табл. 4.2 потрібно було внести додаткову інформацію про досліджені СОД, параметри палива, а також діапазон зміни контролюваних параметрів. В розділі 4 не приводились дані з питомої витрати палива, а в таблиці вони узагальнюються. Не ясно, звідки взялись цифри 31,3 та 13,6 для концентрацій SOx, які не збігаються зі значеннями рис. 4.15.
10. Не пояснено, яким чином знайдено раціональне відношення витрати повітря до об'єму палива в витратній цистерні  $0,04\text{-}0,05 \text{ (м}^3/\text{год})/\text{м}^3$ .
11. В розділі 5 на стор. 162 нумерація позиційних номерів не співпадає з рис. 5.8.
12. Не чітко сформовано висновок 5 дисертаційної роботи. Не ясно, як знаходиться час ультразвукової обробки та яке конкретне значення він приймає для рекомендованих систем підготовки палива.

## **9. Висновок**

У результаті вивчення представлених Солодовниковим Валерієм Григоровичем дисертаційної роботи, автореферату й наукових праць можна зробити наступний висновок:

1. Дисертація на тему «Удосконалення системи паливопідготовки суднових середньообертових дизелів шляхом зниження концентрації компонентів, що містять сірку» є завершеною кваліфікаційною роботою, у якій отримані нові науково обґрунтовані результати стосовно десульфурізації високов'язкого палива для суднових середньообертових дизелів, що у цілому забезпечують рішення науково-прикладного завдання підвищення екологічної ефективності і збереження працевздатності суднових середньообертових дизелів протягом життєвого циклу

морського транспортного засобу.

2. Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» по напрямках 2, 3, 6, 10, 12.

3. 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 (Солодовніков Валерій Григорович) заслуговує присудження цього ступеня.

Офіційний опонент, д.т.н., професор,  
директор Машинобудівного інституту Національного  
університету кораблебудування ім. адм. Макарова  
МОН України, професор кафедри турбін

С.І. Сербін

Підпис д.т.н., проф. Сербіна С.І. завіряю,  
проректор НУК з наукової роботи,  
д-р техн. наук, професор

В.С. Блінцов



02066753