

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**

к.т.н., доцента Александровської Надії Ігорівни  
на дисертаційну роботу Яковенко Анатолія Юрійовича «Вдосконалення експлуатаційного контролю робочих процесів суднових дизелів», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки.

**1. Загальна характеристика роботи**

**1.1. Структура та об'єм дисертації**

Роботу виконано в Національному університеті "Одеська морська академія" Міністерства освіти і науки України. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, 6 додатків; списку використаних літературних джерел з 132 найменувань. Повний обсяг роботи - 167 с., з яких основний текст - 106 с., у тому числі 59 рисунків, 1 таблиця, додатків - 42 с., список літературних джерел - 16 с.

**1.2. Оформлення дисертації**

Дисертаційна робота оформлена відповідно до існуючих стандартів і вимог та написана державною мовою. Матеріал дисертації подано в логічній послідовності відповідно до поставлених завдань дослідження, їх розв'язки повністю розкрито. В кінці кожного розділу окремим підрозділом і в цілому по роботі зроблені відповідні висновки. Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.22.20 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки, як за формулою спеціальності, так і за напрямками досліджень .

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ» <b>КАНЦЕЛЯРІЯ</b>	
Вхідний №	698 1
Надійшло	23.04 2024 р.

### 1.3 Зміст роботи.

**У вступі** визначено та обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету і завдання роботи, наведено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

**У першому розділі** виконаний огляд наукових досліджень по темі дисертації і обраний напрямок досліджень. Розкрито, що зниження експлуатаційної надійності об'єкта діагностування, у тому числі й за рахунок помилок системи контролю, приводять до «помилкових» і «невиявлених» відмов. Зважаючи на викладений огляд, основні дослідження дисертаційної роботи були спрямовані на вдосконалювання контролю й діагностики систем паливоподачі судових дизелів. Розроблено технологічну схему досліджень.

**У другому розділі** висвітлені роботи, що виконані при розробці й комплектації елементів вимірювальної системи на основі конструктивного компонента

паливної апаратури судового середньообертового дизеля й підготовці експериментального дослідження метрологічних характеристик цієї системи. Основна увага була приділена розробці вимірювального перетворювача на основі конструктивних елементів паливної апаратури. З раніше розглянутих фізичних принципів датчиків перевага віддана дровим тензометричним.

**У третьому розділі** присвячений розробці й дослідженню метрологічних властивостей вимірювальної системи на базі комбінованого датчика тиску палива. У результаті аналізу конструкції ПНВТ і його приводу, як деталь, придатна для використання в ролі первинного перетворювача тиску, визнана шпилька кріплення приводу й насоса до полиці розподільного валу. Було виконане попереднє пророблення комплектації вимірювальної системи з комбінованим датчиком на базі шпильки («шпилька-датчик» - «Ш-Д»). Проведено оцінку метрологічних параметрів вимірювального комплексу, що включає деформований елемент, тензометричний перетворювач (дротовий тензодатчик), тензометричний підсилювач і блок, що реєструє (гальванометри в складі променевого осци-

логафа). Всі елементи системи перевірені на відповідність умовам реєстрації тиску палива в ПНВТ.

Алгоритм створеного пакета передбачає виконання спектрального аналізу періодичних процесів, представлених у вигляді дискретного ряду з повною довжиною не більше 20000 точок. Результат роботи програми - графік амплітуд гармонійних складових, причому число аналізованих гармонік встановлюється користувачем у діапазоні 1–500. Програмою виконується дискретне перетворення Фур'є з виведенням результату у вигляді графіка амплітуд спектральних складових на екран. Потім наведено зворотне перетворення Фур'є також з виведенням графіка функції.

**Четвертий розділ** присвячено розробці методики експлуатаційного контролю процесу впорскування й технічного стану паливної апаратури дизелів. Реалізовано концепцію імітаційного моделювання для ідентифікації характеристик паливоподачі при зміні стану елементів систем паливоподачі. Для імітаційного моделювання паливоподачі як базова модель був використаний гідродинамічний метод розрахунку процесу впорскування Ю.Я. Фоміна, що базується на рівняннях руху стисливого в'язкого палива, у яких ураховується гідравлічний опір нагнітального паливопроводу. розроблена методика дозволяє оцінювати вплив експлуатаційних факторів на характеристики процесу впорскування палива в дизелях з використанням математичних моделей і імітаційного моделювання паливоподачі. На прикладі розпилювача форсунок показана можливість аналізу впливу зміни його стану на процес паливоподачі. Отримано кількісні характеристики зміни параметрів впорскування при загорянні й зношуванні соплових отворів.

## **2. Актуальність теми дослідження**

Вирішення проблеми експлуатаційного контролю процесу впорскування палива пов'язане з певними труднощами методологічного й конструктивного характеру. До перших відносяться, зокрема, високі тиски палива в системі високого тиску й більші частоти нестационарних процесів при впорскуванні палива. Складнощі конструктивного плану складаються у відсутності штатних то-

чок

доступу в паливну систему високого тиску і до робочих елементів форсунки. Існуючі методи моніторингу роботи паливної апаратури є досить складними і не знаходять широкого застосування в експлуатації суднових дизелів.

Внаслідок цього при досить значному обсязі проведених у даному напрямку досліджень розвиток методів і засобів контролю паливоподачі, поряд з робочим процесом, залишається актуальним як у науковому, так і в практичному плані. Враховуючи вищевикладене, тема дисертації Яковенко А.Ю. є актуальною.

### **3. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій**

Методологічно вірно сформульовані ціль та головна задача дисертаційної роботи забезпечили обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Автором проведено аналіз аналіз сучасних методів контролю робочих процесів дизелів, та розроблені метод і спосіб моніторингу процесу паливоподачі, що забезпечують підтримку специфікаційних характеристик процесу впрскування палива в експлуатаційних умовах.

Висновки і рекомендації дисертаційної роботи підтверджені в достатній мірі завдяки результатами впровадження у виробничу діяльність Окремі практичні результати дисертаційної роботи були використані в науковій та практичній діяльності:

- в НУ «ОМА» під час викладання дисциплін кафедри суднових енергетичних установок Суднові двигуни внутрішнього згоряння і їх технічна експлуатація (акт використання від 26.06.19 р. -див. Додаток К);

- у ТОВ «Інтреско» під час експлуатаційних випробувань базового варіанту системи контролю на головних дизелях т/х «Тайфун» (акт використання від 03.07.19 р. -див. Додаток К).

Розрахований економічний ефект від використання системи контролю на базі розробленої у дисертаційній роботі на суднах ТОВ «Інтреско» (акт використання від 03.07.19 р. -див. Додаток К).

У дисертаційному дослідженні відображені сучасні теоретичні та практичні методи наукового дослідження, що підтверджує достатній рівень обґрунтованості наукових положень, результатів та висновків дисертації.

#### **4. Наукова новизна результатів отриманих в роботі**

Конструктивні елементи паливної апаратури можуть служити вимірювальними перетворювачами для реєстрації гідродинамічних процесів у паливній апаратурі з амплітудно-частотними параметрами, що забезпечують якісну реєстрацію в умовах стабільного впорскування. Математична модель процесу на базі рівнянь математичної фізики може бути використана для експлуатаційного контролю і аналізу стану паливної апаратури дизеля.

У результаті дослідження вперше:

- запропоновано використовувати, як вимірювальні пристрої для системи впорскування палива дизелів, комбіновані перетворювачі на базі елементів приводу паливних насосів високого тиску;
- виконана розробка конструктивної схеми перетворювача, визначені базові метрологічні характеристики перетворювача і елементів комплексу, що реєструє;
- розроблено методику експериментального дослідження процесів паливоподачі із застосуванням дослідного вимірювального комплексу;
- отримані порівняльні експериментальні дані реєстрації гідродинамічних процесів за допомогою базових і експериментальних вимірювальних перетворювачів;
- визначені особливості реєстрації процесів впорскування палива при використанні комбінованого перетворювача;
- розроблена і реалізована у формі програмного продукту зі спеціалізованим інтерфейсом методика частотного аналізу даних реєстрації процесів паливоподачі на базі рядів Фур'є;

- на базі експериментальних даних отримані порівняльні частотні характеристики вимірювальних трактів із застосуванням базового і комбінованого перетворювачів;

- шляхом імітаційного моделювання отримані експлуатаційні характеристики паливоподачі при зміні стану елементів системи впорскування палива.

Сукупність отриманих результатів дозволяє сформулювати **наукове положення**: конструктивні елементи деталей двигуна внутрішнього згоряння можуть використовуватися як комбіновані елементи з функціями вимірювальних перетворювачів у системах контролю робочих процесів і динаміки вузлів дизеля. Амплітудно-частотні параметри вимірювальних трактів систем на базі комбінованих перетворювачів забезпечують якість реєстрації близьку до прямих вимірів параметрів паливоподачі для всіх експлуатаційних режимів крім високочастотних дробових на малих подачах палива в системах впорскування.

## **5. Значимість отриманих результатів у роботі для науки і практики**

- запропоновано спосіб використання конструктивних елементів паливної апаратури дизелів у якості комбінованих вимірювальних перетворювачів для систем моніторингу двигунів внутрішнього згоряння;

- визначені метрологічні характеристики вимірювальних систем на основі запропонованих перетворювачів;

- запропоновано спосіб аналізу стану паливної апаратури шляхом використання математичного моделювання процесу впорскування палива.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в навчальний процес НУ "ОМА".

## **6. Повнота викладу в опублікованих працях наукових положень, висновків, рекомендацій**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у: 7-ох статтях наукових видань, що входять до переліку наукових фахових видань України, рекомендованих Міністерством освіти і науки України для публікації результатів дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук; одна стаття у закордонному фаховому виданні; у

збірках матеріалів наукових конференцій — тез доповідей. Також патент на оригінальну модель.

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить:

- виконанні інформаційного пошуку і аналізу сучасного стану робіт в сфері моніторингу робочих процесів дизелів,
- визначенні напрямку досліджень по темі дисертації,
- розробці конструкції комбінованого вимірювального перетворювача,
- підготовці й проведенні експериментального дослідження,
- аналізі результатів експерименту і розробці рекомендацій з використання вимірювальних систем на базі комбінованих перетворювачів,
- розробці методики амплітудно-частотного аналізу реєстрації процесу паливоподачі,
- виборі методу і підготовці пакета моделювання процесу паливоподачі, моделюванні процесу впорскування палива з метою оцінки стану паливної апаратури,
- розробці рекомендацій з впровадження результатів дослідження в практику експлуатації суднових дизелів.

### **7. Зауваження щодо змісту дисертації та автореферату**

1. Зауваження до назви роботи: «Вдосконалення ...» – нескінченний процес. У дисертаціях, як правило, захищають розроблені автором наукові методи і алгоритми, які дозволили вирішити конкретну наукову задачу.
2. Загальне зауваження: в назві роботи йдеться про робочий процес. Але сама робота присвячена контролю процесів в паливній апаратурі високого тиску. Паливоподача є частиною робочого процесу, який об'єднує паливоподачу, газорозподіл та результуючий процес згоряння палива. Основною частиною контролю робочого процесу є контроль процесу згоряння палива в робочому циліндрі, тобто запису та аналізу індикаторних діаграм. Тому всі відомі системи моніторингу

присвячені саме йому. В даній дисертації контроль індикаторних діаграм практично на розглядався, за винятком оглядового розділу 1.2 (рис. 1.2.1, 1.2.2).

3. Використання в роботі нейронної мережі (розділ 1.2) не має подальшого розвитку та пояснення.
4. Назва роботи: «Вдосконалення експлуатаційного контролю робочих процесів суднових дизелів». При цьому головний об'єкт дослідження – процес впорскування палива та його моніторинг в експлуатаційних умовах. Предмет дослідження не відображено в назві дисертації.
5. Рис. 1.5.7. не має відповідного посилання та виконаний з порушеннями загальних вимог до рисунків дисертаційних робіт.
6. Характерне рівняння  $P'(\varphi_{\text{ВМТ}})$  у розділах 1.4, 1.5, що є наслідком рішення рівняння  $dP/d\varphi_{\text{ВМТ}} = 0$ , наводиться декілька раз по тексту, та не має відповідного посилання на першоджерело.
7. Похибки при реєстрації параметрів упорскування за допомогою шлейфних осцилографів Н105 та Н117 можуть бути достатньо великими та мають суб'єктивний характер.
8. Для реєстрації процесів паливоподачі розроблено велику кількість якісних датчиків (Kistler, Oprtrand, IMES та інші). Діапазон вимірювання тиску та частотні характеристики цих датчиків відповідають вимогам сучасних сертифікаційних товариств. Тому сумнівним є необхідність деяких досліджень автора.
9. У дисертаційній роботі тільки один раз зустрічається згадка про АЦП (аналого-цифровий перетворювач) – у переліку умовних позначень і ніде більше в роботі (!). Проте відомо, що реєстрація швидкодіючих процесів у паливній роботі виконується за допомогою саме АЦП. У зв'язку з цим невідомо, як виконувався чисельний аналіз багатьох діаграм, наприклад: рис. 3.4 – 3.8 та інших, де є подальший аналіз даних.
10. В роботі використані прадавні джерела: 7 (1948 р.), 35 (1935 р.), 50 (1939 р.), 60 (1936 р.), 89 (1941 р.).

11. Загальні висновки дисертаційної роботи не містять кількісних оцінок зроблених автором досліджень та порівняння результатів з існуючими рішеннями в даній галузі.

### 8. Загальні висновки

Зазначені зауваження в деякій мірі знижують рівень зробленого автором дослідження, але слід відзначити великий обсяг зроблених автором експериментальних досліджень та проведений їм докладний аналіз отриманих даних.

Незважаючи на відзначені зауваження, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Яковенко Анатолія Юрійовича в певній мірі відповідає вимогам, які ставляться до кваліфікаційних робіт згідно до п.п. "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою КМ України №567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами).

Треба відзначити великий обсяг експериментальних робіт, проведених автором. Як кваліфікаційна наукова робота, дисертація Яковенко Анатолія Юрійовича містить певну кількість відзнак, що свідчать про наукову кваліфікацію автора.

Дисертаційна робота Яковенко Анатолія Юрійовича "Вдосконалення експлуатаційного контролю робочих процесів суднових дизелів" відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, а її автор - Яковенко Анатолій Юрійович - заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент,

доцент кафедру «Суднові енергетичні установки і технічна експлуатація» Одеського національного морського університету Міністерства освіти і науки України,  
кандидат технічних наук, доцент

Підпис засвідчую  
вчений секретар



Т.О. Коробко

Н.І. Александровська