

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Кучеренко Юрія Миколайовича «Метод контролю ефективних параметрів суднової дизельної установки в експлуатації» подану до захисту спеціалізовану вчену раду Д 41.060.01 Одеського національного морського університету на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту

Актуальність обраної теми дослідження та її зв'язок науковими програмами, планами і темами

Головними об'єктами засобів транспорту - морських суден є головні та допоміжні дизелі, які тривалий час знаходяться в експлуатаційних умовах. Стратегія експлуатації суден протягом усього їх життєвого циклу пов'язана із експлуатаційним контролем та дослідженням трендів ефективних параметрів: потужності, моменту на валу, витратах палива і мастила, тощо. Прийняття основних рішень відносно експлуатації та ремонту судна в цілому в значній мірі залежить від трендів ефективних параметрів. Наряду із технічним станом корпусу морських суден, технічний стан головних та допоміжних суднових дизелів повністю формує програму експлуатації та ремонту морських суден, як найбільш ефективних, економічних і найбільш поширених в світі засобів транспорту.

Тому дисертаційна робота Кучеренко Ю. М. безпосередньо торкається питань спеціальності 05.22.20 "Експлуатація і ремонт засобів транспорту".

Специфіка експлуатації суднових дизельних установок (СДУ) зумовила створення суперечливої ситуації, пов'язаної з поданням паспортних даних дизелів і можливостями їх контролю. У паспортах вказані значення ефективної потужності, ефективного моменту, середнього ефективного тиску і питомої ефективної витрати палива і мастила.

При цьому на практиці можна визначити лише середній індикаторний тиск і, відповідно, розрахувати індикаторну потужність, індикаторний момент і питому індикаторну витрату палива. Тобто, в розпорядженні екіпажу є засоби контролю індикаторних параметрів, але при цьому звітні форми необхідно вести в ефективних параметрах, приблизно оцінюючи величину механічного коефіцієнта корисної дії на поточному навантажувальному режимі. При цьому визначення ефективних параметрів роботи суднових дизелів під час експлуатації є проблемою в зв'язку зі складністю і неоднозначністю кількісної оцінки механічних втрат.

В якості основного документа, що зобов'язує контролювати роботу СДУ в ефективних параметрах, можна вказати резолюцію ІМО МЕРС.254 (67) в частині визначення коефіцієнта енергоефективності судів, а також положення Регістру Судноплавства України, в якому судновласників зобов'язують проводити випробування суднових дизелів з обов'язковим вимірюванням ефективних обертаючих моментів і потужності на валу.

Такі вимірювання можна проводити за допомогою електронних



торсіометров, наприклад Siemens, Datum Elektroniks, MARIDIS та ін. Встановлення і калібрування таких пристроїв здійснюється виключно силами зовнішніх метрологічних фірм і пов'язана з матеріальними і тимчасовими витратами.

У деяких випадках керуючі компанії прямо вказують судновим фахівцям, які значення механічних втрат слід застосовувати в розрахунках. Наприклад, в сервісних листах корпорації MAN (MAN Diesel & Turbo) для головних дизелів типу MC вказується величина механічного коефіцієнта корисної дії (ККД) 0,87 ... 0,93, а для дизелів типу ME механічний ККД дорівнює 0,90 ... 0,95 на номінальних режимах. У той же час, експлуатація СДУ часто відбувається на економічних режимах 40-80% від номінальної потужності, а іноді навіть нижче. Значення механічного ККД на цих режимах істотно менше, а його оцінка, виконана без спеціальних засобів і методів, здійснюється дуже приблизно.

У зв'язку з викладеним, розробка методів визначення ефективних параметрів роботи СДУ в процесі експлуатації є **актуальною науковою задачею**. Внаслідок переважного розповсюдження на морському флоті СДУ великої потужності з сучасними високоефективними системами газотурбонаддування (ГТН), це завдання є актуальним не тільки з точки зору контролю потужності, витрати палива і моторесурсу СДУ, але і в зв'язку з можливістю здійснення діагностики пропульсивного комплексу по трендам ефективних параметрів.

Дисертаційна робота відповідає пріоритетним напрямкам наукових досліджень в області "Енергетика та енергоефективність. Технології енергетичного машинобудування", затверджених Постановою Кабінету Міністрів України №942 від 7 вересня 2011 р. Дисертаційна робота пов'язана з науково-дослідницькою тематикою кафедри «Суднові енергетичні установки і технічна експлуатація» судномеханічної спеціальності Одеського національного морського університету. У період з 2009 по 2016 рр. автор брав участь в розробці держбюджетних науково-дослідницьких робіт «Удосконалення технічної експлуатації суднових енергетичних установок» ГР № 0111U08970 від 05.03.2012, ГР № 0215U001681 від 17.01.2013, ГР № 0215U004492 від 05.03.2014, ГР № 0216U000617 від 29.12.2015 як виконавець розділів, присвячених методам діагностики і визначення ефективних параметрів суднових дизельних енергетичних установок.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є розробка методу контролю ефективних параметрів СДУ, що реалізуються під час експлуатації.

Для досягнення мети в роботі поставлені такі основні завдання:

- аналіз існуючих методів контролю ефективних параметрів СДУ з точки зору застосування їх в експлуатаційних умовах;
- визначення ефективних параметрів СДУ за допомогою методів доступних і реалізованих в процесі експлуатації;
- розробка методу визначення ефективних параметрів СДУ з

використанням індикаторних параметрів робочого процесу і частотних характеристик ГТН.

- оцінка точності визначення частоти обертання ГТН за допомогою аналізу віброакустичних сигналів повітряного компресора з урахуванням зашумленості вихідних даних;

- розробка і апаратна реалізація методу розрахунку ефективних параметрів й СДУ, що використовує віброакустичний контроль частотних характеристик ГТН;

- забезпечення визначення ефективних параметрів СДУ з точністю, яка регламентується вимогами ГОСТ 21792-89 для непрямих методів розрахунку, відповідно до сучасних вимог ІМО.

Автором у повному обсязі вирішено усі наукові завдання.

Об'єкт та предмет дослідження відповідають науковим завданням та темі дослідження.

Методи дослідження. Дисертаційне дослідження базується на основних положеннях теорії двигунів внутрішнього згоряння і на методах системного аналізу і синтезу технічних систем. Для моделювання і розрахунку параметрів робочого циклу в циліндрах СДУ використовувалося рівняння теплового балансу з урахуванням тепловиділення в циліндрі за методами І. І. Вібе і В. С. Семенова. Для оцінки механічних втрат використовувався модифікований автором метод професора Г. О. Конакова. Крім того використовувалися:

- метод гармонійного аналізу в задачі аналізу вібраційних характеристик системи турбонаддування СДУ;

- методи цифрової фільтрації даних;

- метод нелінійної оптимізації в задачі моделювання робочого процесу СДУ;

- методи статистичної обробки експериментальних даних.

В експериментах використовувалися методи визначення параметрів робочого процесу суднових дизелів за допомогою систем моніторингу DEPAS (D2.34sp, D3.0 і D4.0H), апаратна частина яких була розроблена автором. Методи реєстрації параметрів за допомогою сучасних DSP контролерів. Інтерфейс розрахункових програм був розроблений за допомогою програмних середовищ Delphi 7.0, математичних бібліотек Numeric Toolbox і методів нелінійного програмування. Для аналізу спектрів вібрації був використаний пакет RightMark Audio Analyzer 6.2.3 (<http://audio.rightmark.org>). Для візуалізації даних і побудови регресійних моделей використовували середовище Grapher.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- вперше розроблений метод контролю ефективних параметрів СДУ в експлуатації за допомогою аналізу індикаторних параметрів робочого процесу і частотних характеристик газотурбонагнітача;

- отримав розвиток метод визначення механічного ККД суднового дизеля Г.О. Конакова в якому для визначення навантажувального режиму замість відношення індикаторних потужностей використовується відношення частот обертання газотурбонагнітачів;

- удосконалено метод віброакустичного контролю частоти обертання

ГТН, що дозволив розробити електронний обчислювач для визначення параметрів ГТН і механічного ККД в якому точність підвищена за рахунок вирішення наукової задачі усунення «витоку потужності».

Обґрунтованість наукових результатів, висновків і рекомендацій, що містяться в роботі, зумовлена використанням достовірних і коректних математичних моделей і чисельних методів розв'язання задач обробки експериментальних даних. Достовірність наукових результатів роботи підтверджена відповідністю результатів морських натурних випробувань розрахункових значень ефективних параметрів СДУ.

Практичну цінність результатів дослідження складають:

методи контролю ефективних параметрів СДУ за допомогою визначених з малою відносною похибкою параметрів робочого процесу і частотних характеристик газотурбонагнітача. Розроблений метод відповідає вимогам резолюції ІМО МЕРС.254(67) і приписами класифікаційних товариств, які зобов'язують судновласників проводити випробування судових дизелів з обов'язковим вимірюванням ефективних параметрів СДУ.

Практична частина роботи базується на створенні програмно-апаратного комплексу, що дозволяє вирішувати наступні завдання:

– визначати в експлуатації індикаторні параметри робочого процесу, включаючи середній індикаторний тиск і індикаторну потужність СДУ за допомогою системи діагностики D4.0H, в якій автор розробляв апаратну частину;

– визначати в експлуатації частоту обертання ротора ГТН і обертів колінчастого валу (КВ), уточнену за допомогою розробленої в дисертації методики;

– розраховувати механічний ККД і визначати ефективні параметри роботи СДУ: середній ефективний тиск, ефективну потужність і обертаючий момент на валу, питомі ефективні витрати палива і мастила на експлуатаційному режимі;

Результати дисертації впроваджені на:

- на т/х «ГЕРОЇ ПЛЕВНИ» ГСК «УКРФЕРРІ» (Україна, м. Одеса, акт впровадження);

- на т/х «CHEROKEE», Prestige Shipmanagement Ltd. (Туреччина, м. Стамбул, акт впровадження);

- на т/х «Сибірський-2116», ОАО «ДОНРЕЧФЛОТ» (РФ, м. Ростов-на-Дону, акт впровадження);

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в навчальний процес Одеського національного морського університету і використовуються при читанні лекцій з дисципліни «Системи діагностування» для студентів старших курсів судномеханічної спеціальності.

Також результати дисертаційного дослідження впроваджені в навчальний процес Одеського національного морського університету і використовуються при читанні дисциплін «Технічна експлуатація судових енергетичних

установок» і «Системи діагностування».

Структура, зміст та оформлення дисертації

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 147 стор., в тому числі 38 рисунків і 12 таблиць. Список використаних джерел становить 123 найменувань на 15 сторінках. У додатку наведені акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

Структура дисертації звичайна.

Оформлення дисертації відповідає вимогам ВАК України. Назва дисертації відповідає обраній спеціальності та суті рішення наукової проблеми, вказує на мету досліджень та її завершеність. Обсяг основного тексту відповідає встановленим вимогам. Запозичені матеріали і результати інших авторів супроводжено посиланнями. Виклад змісту і результатів досліджень виконано досить лаконічно, логічно і аргументовано.

У вступі викладено актуальність теми дисертаційного дослідження та її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і завдання дослідження, обґрунтована наукова новизна і показано практичне значення отриманих результатів, показаний особистий внесок здобувача, наведені дані апробації результатів дисертаційного дослідження.

У першому розділі дано аналіз стану проблеми і досліджено шляхи її вирішення. На підставі аналізу вітчизняних і зарубіжних літературних джерел виділено основні методи визначення ефективних параметрів СДУ в процесі експлуатації судна. Визначення ефективних параметрів СДУ є проблемою в зв'язку з труднощами здійснення точної кількісної оцінки механічних втрат і визначення величини механічного ККД на поточному навантажувальному режимі. У розділі розглянуті методи визначення механічних втрат і механічного ККД СДУ. Дан аналіз відповідних апаратних і аналітичних методів. Для визначення параметрів навантажувального режиму СДУ обрано метод професора Г. О. Конакова, який засновано на співвідношенні індикаторних потужностей. Досліджено можливість використання методів спектрального аналізу віброакустичних полів газотурбонагнітачів СДУ для ідентифікації навантажувального режиму. Показано, що визначення індикаторних параметрів СДУ під час експлуатації проводиться з максимальними відносними похибками до 3% з допомогою систем моніторингу робочого процесу. Частота обертання колінчастого вала СДУ може визначатися з похибкою до 1%. В цьому випадку сумарна похибка визначення механічного ККД по вже апробованій методиці професора Г. О. Конакова може досягати 5%, що порівнянно з похибкою емпіричного визначення механічного ККД за даними ходових випробувань СДУ.

Аналіз розглянутих методів визначення ефективних параметрів СДУ в експлуатації дозволив сформулювати основні напрямки дисертаційного дослідження, засновані на визначенні навантажувального режиму СДУ методами спектрального аналізу.

Далі обґрунтовано вибір теми дисертаційного дослідження, показана її актуальність і відповідність паспорту спеціальності "05.22.20 - експлуатація та ремонт засобів транспорту". Розроблено технологічну карту наукового дослідження, яка дозволяє логічно зв'язати запит практики, цілі і завдання дослідження, основні наукові результати, і практичну цінність роботи. Способами реалізації наукового дослідження стали теоретичні та експериментальні методи: математичне моделювання робочого процесу СДУ на базі основних законів термодинаміки; аналітичне вирішення проблеми витоків потужності в дискретному спектрі, що уточнює частотний аналіз віброакустичних полів ГТН СДУ; чисельний аналіз даних морських випробувань СДУ різних типів морських суден. Огляд теоретичних і експериментальних методів дослідження дозволив визначити необхідний обсяг математичного моделювання та методику проведення експериментальних робіт на різних типах СДУ в експлуатації.

В основу дисертаційної роботи покладені багаторічні експериментальні дослідження робочих процесів СДУ, проведені автором за допомогою програмно-апаратних діагностичних комплексів DEPAS 2.34, 2.34sp і D4.0H. Ці дослідження були проведені на більшості типів морських суден, на всіх типах СДУ (2-тактних малообертових дизелях (МОД) і 4-тактних середньообертових (СОД) та високообертових (ВОД) дизелях). Автор брав безпосередню участь в розробці комплексів DEPAS і проведенні чисельних експериментів на борту суден в умовах експлуатації. У додатках до дисертації надані схеми і опис вимірювальних блоків систем DEPAS, які розроблені автором.

Отримані результати дозволили розробити теоретичні основи і методи з розрахунку механічного ККД із застосуванням частот обертання ГТН СДУ які визначаються за допомогою діагностичних комплексів значень індикаторних параметрів. Показано, що частоти обертання ГТН ідентифікуюють навантажувальний режим і визначаються в експлуатації.

У другому розділі представлено розробку методів визначення основних параметрів СДУ, що характеризують навантажувальний режим під час експлуатації. Також в розділ входить математичне моделювання робочого процесу СДУ з метою визначення характеристик дольових режимів і дослідження впливу зовнішніх факторів на основні параметри робочого процесу. Моделювання проводилося на базі першого початку термодинаміки, згідно з яким теплота виділена за елементарний час витрачається на зміну внутрішньої енергії газу, здійснення роботи і тепловіддачу в стінки. Використання трифазної моделі тепловиділення в циліндрі дозволяє моделювати багатofазне впорскування палива.

У третьому розділі наведена реалізація методу визначення ефективних параметрів СДУ в експлуатації. Аналіз характеристик систем торсіографування показав, що на практиці похибка визначення ефективного крутильного моменту знаходиться в межах 3-5%. Оцінка механічного ККД теж може бути проведена з

аналогічною точністю при наявних значеннях механічного ККД на номінальному режимі і потужності поточного експлуатаційного режиму.

Виходячи з того, що для більшості суднових дизелів коефіцієнт кореляції між потужністю, тиском наддувного повітря і частотою обертання ГТН близький до одиниці, пропонується модифікувати залежність (4) таким чином, щоб використовувати точно контрольовану на практиці величину частоти обертання ротора ГТН ($TURrpm$). Відносна похибка визначення в експлуатації за допомогою методів спектрального аналізу віброакустичних сигналів компресора в 2-3 рази нижче похибки визначення тиску наддувного повітря в ресивері за допомогою штатних приладів або за допомогою систем дистанційного контролю. Таким чином, модифікація формули (4) зводиться до наступної функціональної залежності механічного ККД: $\eta_m = f(TURrpm_H / TURrpm)$.

Четвертий розділ наведені результати використання методу визначення ефективних параметрів СДУ в експлуатації. Для розрахунку механічного ККД на поточному режимі використовується відношення частот обертання ГТН, що визначаються на експлуатаційному режимі за допомогою спектрального аналізу віброакустичних сигналів турбокомпресора.

В результаті застосування такого методу можна з високою точністю визначати частоту обертання ротора газотурбонагнітача $TURrpm$, а також здійснювати діагностику технічного стану ГТН по амплітуді гармоніки на основній частоті обертання. У якості аналізованих величин розглядаються частоти і амплітуди окремих гармонік. Ефект «витоку потужності» спектра (*DFT leakage effect*), побудованого в результаті дискретного перетворення Фур'є (ДПФ), призводить до суттєвих (до 50%) спотворень у визначенні амплітуд гармонік. Похибка визначення частоти може дорівнювати кроку дискретизації. Для зменшення ефекту «витоку» найбільш широке поширення отримав метод віконних перетворень: для зменшення розривів на краях ряду з метою ослаблення витоку потрібно зменшити амплітуду сигналу біля країв. Таке масштабування здійснюється в ході множення реалізації на вікно спеціальної форми (наприклад вікно Хеннінга). Але, метод віконних перетворень не виключає, а лише зменшує дію ефекту «витоку» потужності і спотворення істинних величин амплітуди, частоти і фази аналізованого сигналу. Розрахункові параметри вихідного сигналу залежать від співвідношення частоти цього сигналу і частоти дискретизації. Частота дискретизації може бути задана постійною (як прийнято в більшості технічних систем), а частота аналізованого сигналу змінюється довільно. Таким чином, похибка оцінки параметрів вимірюваного періодичного сигналу буде не постійною і буде змінюватися до 50%.

Розрахувати частоту m і фазу ϕ вихідного сигналу можна за значеннями двох максимальних гармонік в спектрі X_k, X_{k+1} . Для цього пропонується чисельно вирішити систему комплексних рівнянь.

У дисертації проведено дослідження даного методу в разі наявності шумів у вихідному сигналі. На рис. 2 показано рішення системи (7) для чистого

сигналу і сигналів з накладенням білого шуму 5% і 10% від амплітуди.

Для всіх досліджених випадків було потрібно не більше 5 повних ітерацій для забезпечення заданої похибки (менше 0,5% по частоті і фазі). При цьому амплітуда центральної (максимальної) гармоніки в спектрі після ДПФ до процедури відновлення дорівнювала $A_1 = 0.562$ (помилка $\sim 40\%$), а похибка частоти дорівнювала половині кроку дискретизації. В результаті рішення системи (7) фаза і частота сигналу зашумленого до 10% білим шумом, відновлюються до початкового значення з похибкою не більше 0.5%. Перевірка проводилася з використанням приладів лабораторної точності

Апробація розробленого в дисертації методу проводилася під час рейсових випробувань СДУ СОД 6VDS48/42AL-2 т/х "GREIFSWALD" і СДУ МОД 6L80МС т/х "FATHER S".

В усіх випадках визначення механічного ККД за допомогою відношення частот обертання ГТН показало високу точність. Відносна похибка не перевищувала 3% в порівнянні з даними ходових випробувань СДУ. Максимальні значення механічного ККД припадали на режими 80-85% від номінальної потужності СДУ.

Для проведення вимірювань в процесі експлуатації СДУ був розроблений мікроконтролерний обчислювач, який реалізує досліджений в роботі метод визначення ефективних параметрів. Набір даних від перетворювачів фізичних величин, синхронізація і математичні обчислення виконуються на 32-розрядному мікроконтролері *STM32F4* компанії *STMicroelectronics*. До складу мікроконтролера входить модуль для роботи з числами з плаваючою точкою, що збільшує швидкість обробки в додатках, пов'язаних, наприклад зі спектральним аналізом. В якості дисплея застосований 4.3 "TFT LCD Intelligent Touch Display". В основному режимі на екран виводяться одночасно значення трьох параметрів: вимірювана лопаточна частота, розрахункове значення оборотів ГТН (*TURrpm*) і розрахункове значення механічного ККД.

Висновки. Основні результати і висновки дисертаційної роботи достатньо обґрунтовані. У висновках показані результати дисертаційної роботи, які полягають у наступному.

Отримані в роботі наукові та практичні результати дозволяють зробити нижчеперелічені висновки.

1. Аналіз показав, що, незважаючи на існуючі вимоги ІМО і більшості класифікаційних товариств, визначення ефективних параметрів СДУ є складним завданням, яке не вирішується в експлуатації без застосування спеціальних методів і засобів.

2. У зв'язку зі складністю метрологічної підтримки і високою вартістю апаратних систем вимірювання обертаючого моменту на валу більшість морських транспортних судів не обладнане ними в даний час. При цьому є можливість безпосередньо під час експлуатації визначати індикаторні параметри робочого процесу (середній індикаторний тиск і потужність) і частотні характеристики газотурбонагнітачів СДУ.

3. Аналіз показав, що визначення індикаторних параметрів СДУ під час

експлуатації проводиться з максимальними відносними похибками до 3% з допомогою систем моніторингу робочого процесу. Розроблені методи дозволяють визначати частоти обертання колінчастого валу і газотурбонагнітача СДУ з похибкою до 1%. У цьому випадку визначення ефективних параметрів СДУ за розробленою в дисертації методикою може бути виконано з відносною похибкою до 5%, що задовольняє вимогам ГОСТ 21792-89 для непрямих методів розрахунку і порівняно з похибкою емпіричного визначення механічного ККД за даними ходових випробувань.

4. Встановлено, що після виходу ГТН на робочий режим (при навантаженні СДУ вище 35 - 40% і після відключення допоміжних вітрогінників) відношення частот обертання ГТН номінального і поточного режимів пропорційно відношенню індикаторних потужностей на відповідних режимах СДУ зі значеннями коефіцієнта кореляції 0.9 - 0.97. Такий тісний зв'язок було використано при розробці нового експрес-методу визначення ефективних параметрів СДУ.

5. Встановлено, що частота обертання ГТН СДУ на поточному навантажувальному режимі може бути визначена з похибкою менше 1% за допомогою методів спектрального аналізу віброакустичних сигналів компресора ГТН.

6. В діапазоні основних навантажувальних режимів суднового головного двигуна (60-80%) відносна похибка розрахунку η_m за пропонуваним методом, нижче похибки поширених альтернативних методів (проф. Г.О. Конакова та інших непрямих методів) в середньому в 1.5-2 рази.

7. Отримані результати показали, що аналітичний метод усунення витоку потужності дискретного спектру стійкий до шумів у вихідному сигналі. В результаті аналітичного вирішення фаза і частота сигналу зашумленого до 10% білим шумом, відновлюються до початкового значення з похибкою не більше 0,5 %.

8. Розроблені в дисертації методи реалізовані на сучасній елементній базі з використанням спеціалізованих FFT-мікроконтролерів. Це дозволяє розширити сферу застосування розроблених методів і сприяє підвищенню ефективності експлуатації СДУ морських підприємств різних типів.

9. Впровадження розроблених в дисертаційному дослідженні методів є альтернативою дорогим прямим (за допомогою торсіометрів на гребному валу) вимірам ефективних параметрів СДУ. Розроблені методи впроваджені судноплавними компаніями «UKRFERRY Shipmanagement», "ДОНРЕЧФЛОТ" (Ростов-на-Дону), "Prestige Shipmanagement Ltd." (Турція). Акти впровадження додаються.

Оцінка змісту дисертації, завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації вимогам, затвердженим МОН України.

Дисертація Кучеренко Ю. М. є одноосібно написаною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, виставлених автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора у науку. У цілому робота являє собою добре продуману наукову працю, результати якої можуть бути використані для

розвитку поглядів на процеси експлуатації судна, як транспортного засобу і діагностування судових дизелів в умовах експлуатації, як головних вузлів транспортних засобів.

Оцінка мови та стилю викладення дисертації і автореферату. Матеріал викладено послідовно, логічно, детально. Дисертація та автореферат написані грамотно, ясно та зрозуміло, з використанням науково-технічної термінології.

Можна відзначити наступні зауваження до даної роботи:

1. Питання зв'язка між ефективними показниками судового ДВЗ та швидкістю судна в умовах експлуатації займає дуже мало місця у тексті дисертації. Для повної відповідності паспорту спеціальності це було б потрібно виконати більш розгорнуто.

2. На морських судах часто застосовуються головні і допоміжні двигуни без газотурбонаддування. Наприклад т/х "Медногорск", на якому в якості ГД встановлені дизелі NVD48 і є багато інших прикладів. Зрозуміло, що для даних типів двигунів розроблена автором методика не може бути застосована.

3. Не зрозуміло як буде реалізована розроблена автором методика на судах, де підведення повітря до ГТН здійснюється не з машинного відділення а з верхньої палуби, куди виходять відповідні канали повітряних забірників? В цьому випадку відсутній відкритий канал доступу до лопаток компресорного колеса ГТН.

4. Не зрозуміло чому обрано поліном другого ступеня для опису зв'язку відносних частот обертання ГТН і відносних потужностей СДУ. У деяких випадках достатньо було б простої лінійної залежності, про що згадує сам автор в декількох розділах роботи.

5. Для усунення ефекту "витоку потужності" дискретного перетворення Фур'є застосовується складний ітераційний алгоритм, реалізація якого може бути не сумісна з вимогами реального часу в окремих випадках на середньо- і високооберткових судових двигунах.

6. Використання трифазної моделі тепловиділення в циліндрі СДУ може бути надмірною для багатьох навантажувальних режимів. У багатьох випадках достатньо було б застосовувати однофазну модель тепловиділення І.І.Вібе.

7. Коли розглядаються вже існуючі методики діагностування судового дизеля та вимірювання його параметрів занадто мало наведено недоліків цих методик в порівнянні з пропонуємою у роботі.

8. В роботі забагато зайвої інформації про історію розробки, виробництва та встановлення на судах деяких дизелів різних фірм виробників по роках.

9. При визначенні гармоніки відповідної лопатки частоті компресора ГТН можуть виникати неоднозначності. В першу чергу це пов'язано з тим, що кратні гармоніки і субгармонік можуть мати велику амплітуду.

10. При аналізі стійкості запропонованого автором алгоритму до

зовнішніх шумів, неминуче присутніх при вимірах вібрації, автором був використаний джерело білого шуму. На практиці шум у вимірах часто може підкорятися нормальному закону розподілу. Тому питання фільтрації шумів в реальних умовах експлуатації залишається відкритим.

11. Чим можна пояснити нелінійність графіка $P_{\text{тах}}$ на даних моделювання СДУ МОД 6L80МС, малюнок 3.8?

12. При розрахунку похибки вимірювального комплексу не проаналізовано можливість збільшення цієї похибки під час тривалої експлуатації вимірювальної апаратури при підвищених в місці розташування датчиків та електронного блоку на СДУ.

Загальні зауваження по оформленню дисертації

Дисертацію оформлено згідно вимог до кандидатських дисертаційних робіт. Але у тексті різних розділів має місце застосування розмірностей які не відносяться до «міжнародної системи одиниць». Або ж відносяться але записані англійськими літерами (наприклад kHz замість Гц, grm замість kg). Також інколи у тексті дисертації зустрічаються слова не перекладені з інших мов. При тому, що в українській мові є аналогічні терміни. При цьому, слід відзначити добре знання предмету дослідження.

Публікації

Основний зміст дисертаційної роботи повно відображено у 16 наукових роботах у спеціалізованих науково-технічних збірниках ВАК, включених до наукометричних баз і рекомендованих для публікації результатів дисертаційних досліджень, що входять до переліку фахових видань України. Основні результати дисертаційного дослідження доповідалися на 7 міжнародних науково-практичних конгресах і конференціях. Автореферат адекватно відображає основні результати, які отримані автором та приведені в дисертації. Загальні висновки дисертаційної роботи та автореферату збігаються.

Загальний висновок по дисертаційній роботі

Незважаючи на наведені зауваження, загальна оцінка роботи - позитивна.

Аналізуючи зміст дисертаційної роботи в цілому, можливо відзначити наступне.

1. Область, якій автором присвячено дисертаційну роботу, безпосередньо торкається питань спеціальності 05.22.20 "експлуатація і ремонт засобів транспорту". Суднові дизелі, як головні об'єкти засобів транспорту - морських суден тривалий час знаходяться в експлуатаційних умовах. Уся стратегія експлуатації суден пов'язана із дослідженням ефективних параметрів та прийняттям рішень відносно експлуатації та ремонту суден в цілому. Наряду із технічним станом корпусу морських суден, технічний стан головних та допоміжних судових дизелів повністю формує програму експлуатації та ремонту морських суден, найбільш ефективних, економічних і найбільше поширених в світі засобів транспорту.

2. Дисертаційна робота Кучеренко Юрія Миколайовича є завершеним науковим дослідженням, у якому поставлена і вирішена важлива науково-практична задача. Одержані результати мають наукову новизну і практичне

значення. Робота відповідає діючим в Україні вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013р. №567 та чинним вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій.

3. Текст автореферату і публікації достатньо повно відображають зміст і основні наукові результати виконаного дослідження.

4. Зауваження по роботі, відзначені у відгуку, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення та основні результати дослідження, які пройшли достатню апробацію.

5. Робота **відповідає** вимогам до кандидатських дисертацій за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація і ремонт засобів транспорту, а її автор - Кучеренко Юрій Миколайович, у відповідності до п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», **заслужовує на** присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

Офіційний опонент:
доцент кафедри технічної експлуатації
та сервісу автомобілів Харківського
національного автомобільно-дорожного
університету, кандидат технічних наук

Зенкін Є. Ю.

Підпис доцента к.т.н. Зенкіна Є. Ю. засвідчую

