

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова**

Ву Дик Бао

УДК 621. 436. 12.001.2

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУДНОВИХ ДИЗЕЛЬНИХ
ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В ТРОПІЧНИХ УМОВАХ
ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

Спеціальність 05.08.05. - "Суднові енергетичні установки"

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних
наук**

Миколаїв 2004

Дисертацією і рукописом.

Робота виконана в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: д.т.н., проф. Тимошевський Борис Георгійович.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, завідувач кафедри "Двигуни внутрішнього згоряння".

Офіційні опоненти: д.т.н., проф. Івановський Валерій Георгійович.

Одеський національний морський університет, завідувач кафедри суднових енергетичних установок і технічної експлуатації:

к.т.н., проф. Шостак Володимир Павлович. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, проф. кафедри суднових енергетичних установок.

Провідна установа - Одеська національна морська академія Міністерства освіти і науки України, м. Одеса.

Захист відбудеться "24" травня 2004 р. о 14— годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України, за адресою: 54025. м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграда, 9.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, 54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграда, 9.

Автореферат розісланий 22.04.2004 р.

Вчений секретар
Спеціалізованої вченої ради
Д 38.06001

Рижков С. С.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Ефективність дизельних двигунів суднових енергетичних установок (СЕУ) суттєво залежить від кліматичних умов експлуатації. В умовах тропічного клімату В'єтнаму на ефективність дизельних двигунів впливають висока температура та вологість повітря на вході в компресор турбонаддувного агрегату, відносно висока температура заборотної води та її забрудненість мулом і мікроорганізмами Згідно до "Правил Регістра судноплавства України", ГОСТ 15150, ГОСТ 25870 та змінам №4 до цих ГОСТів, які введені в дію на території України 01.09.2001 г., суднове обладнання, що експлуатується в тропічних умовах повинно відповідати кліматичному виготовленню ТМ и ТВ при наступних параметрах навколишнього середовища: середня мінімальна температура повітря $+1^{\circ}\text{C}$; середня максимальна температура повітря $+45^{\circ}\text{C}$; абсолютний максимум температури повітря $+50^{\circ}\text{C}$; відносна вологість 70% ($+29^{\circ}\text{C}$) і 80% ($+27^{\circ}\text{C}$); наявність у повітрі крапельної вологи; середня максимальна температура заборотної води 32°C .

Вплив визначених факторів приводить до зниження ефективної потужності дизельних двигунів, підвищення питомої витрати палива, зниження ресурсу та підвищення експлуатаційних витрат та, нарешті - до підвищення вартості тонно-милі морських перевезень.

Створення суднових дизельних енергетичних установок, які можуть ефективно експлуатуватися в умовах тропіків є конче актуальною задачею для суднобудівної галузі, оскільки транспортний флот в країнах с таким кліматом має тенденцію сталого розвитку. Так, наприклад, у 2002 році приріст тоннажу рибпромислового и транспортного флоту В'єтнаму склав 4,7%. Підвищення ефективності транспортних перевезень може бути здійснено за рахунок подальшого зниження паливної складової експлуатаційних витрат. Однією із задач, що входять в цю проблему є вдосконалення суднових дизельних установок, адаптованих до тропічних умов. Вирішенню такої задачі присвячена ця дисертаційна робота

Рациональним резервом підвищення ефективності суднових ДВЗ є вдосконалення зовнішніх систем, які забезпечують оптимальні початкові параметри циклу. Однією з найбільш ефективних може бути система охолодження наддувного повітря, яка впливає на термодинамічну ефективність циклу. Необхідні принципово нові схемні та конструктивні рішення, які дозволили би суттєво підвищити ефективність судового ДВЗ. Це може бути досягнуте за рахунок використання внутрішнього охолодження повітря в компресорі турбонаддувного агрегату шляхом впорскування охолоджуючої рідини та турбодетандерної системи для глибокого охолодження наддувного повітря. Такі комплексні системи дозволяють забезпечити оптимальні параметри повітря на вході в циліндри двигуна, перерозподілити складові теплового та енергетичного балансу к бік підвищення потужності двигуна, зниження питомої витрати палива та теплової напруженості найбільш відповідальних елементів.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертація виконана згідно тематичному плану фундаментальних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: "Розробка загальної концепції вдосконалення процесів у енергетичному обладнанні на підґрунті альтернативних робочих тіл та енергоносіїв" в період 2000-2003 рр., реєстраційний номер 01198U004220, а також у рамках госпрозрахункової роботи №1515 з підприємством ВАТ "Бериславський машинобудівний завод".

Мета і задачі дослідження. Метою цієї роботи є підвищення паливної економічності суднових дизельних енергетичних установок шляхом використання ДВЗ з випарним охолодженням повітря в турбокомпресорі і глибоким додатковим охолодженням цього повітря у турбодетандерному агрегаті.

Задачі дослідження:

- визначити раціональні схемні рішення систем охолодження наддувного повітря, які дозволяють ефективно експлуатувати судові ДВЗ у тропічних умовах;
- розробити математичну модель процесу в судовому ДВЗ, яка дозволяє адекватно визначати показники двигуна з врахуванням особливостей розроблених систем повітропостачання;
- експериментально перевірити адекватність математичної моделі і працездатність розроблених схемних та конструктивних рішень, пов'язаних з використанням систем внутрішнього випарного охолодження повітря у компресорі турбонаддувного агрегату впорскуванням охолоджуючої рідини та глибоким додатковим охолодженням цього повітря у турбодетандерному агрегаті;
- визначити оптимальні параметри наддувного повітря, які забезпечують припустиму питому витрату палива і потужність ДВЗ судовому ДВЗ в тропічних умовах експлуатації
- розробити рекомендації для впровадження в практику проектування рішень систем повітропостачання суднових ДВЗ, які працюють в умовах тропічного клімату.

В якості об'єкта дослідження в роботі розглянутий робочий процес в дизельних двигунах з середнім та високим наддувом енергетичних *В якості предмета дослідження* в роботі розглянути спряжені характеристики робочого процесу в циліндрі судового ДВЗ та комплексній системі охолодження наддувного повітря, які забезпечують ефективне використання тепла с палива шляхом перерозподілу складових теплового балансу і потоків механічної енергії ДВЗ.

Методи дослідження. В роботі використані методи і методики на підґрунті системного підходу, що дозволило проаналізувати найбільш відомі методи рішення задач, пов'язаних з використанням систем повітропостачання суднових ДВЗ. Це дозволило виділити турбодетандерну та випарну системи охолодження, як найбільш перспективні та ефективні при експлуатації ДВЗ у тропічних умовах.

Особливості процесів у судновому ДВЗ при використанні турбодетандерної та випарної систем охолодження наддувного повітря досліджені методом математичного моделювання та експериментально на суднових двигунах 6ЧН12/14 и 6ЧН13/14.

При перевірці коректності, адекватності та вірогідності математичної моделі, працездатності розроблених технічних рішень використовувалися відомі та перевірені методики експериментальних досліджень процесів у ДВЗ.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукове положення, яке сформульоване по результатам проведених досліджень, полягає в тому, що для тропічних умов експлуатації суднових ДВЗ ефективними є турбодетандерна та випарна системи охолодження наддувного повітря. Термодинамічна ефективність СЕУ на базі ДВЗ, обладнаного такими системами є суттєво вищою: питома витрата палива СЕУ знижується на 10... 15 г/(кВт'год) при експлуатації судна в тропічних умовах.

Це наукове положення підтверджується одержаними новими науковими результатами:

- вперше встановлено, що підвищення паливної економічності суднових турбопоршневих ДВЗ на 10... 15 г/(кВт'год), які експлуатуються в тропічних умовах, досягається за рахунок перерозподілу складових теплового балансу, що забезпечується комплексною системою охолодження наддувного повітря, яка використовує внутрішнє випарне охолодження в турбокомпресорі и наступне глибоке охолодження в турбодетандерному агрегаті;

- вперше визначена нижня раціональна межа охолодження наддувного повітря суднового турбопоршневого ДВЗ за допомогою комплексної системи, яка в тропічних умовах складає 300...310 К;

- вперше встановлені оптимальні схемні рішення і склад КСОНП, які забезпечують максимальне підвищення паливної економічності суднового турбопоршневого ДВЗ в тропічних умовах експлуатації;

- вперше встановлені особливості зміни основних параметрів суднового ДВЗ - циклової дози палива, коефіцієнту надлишку повітря, маси повітряного заряду, масових витрат та температур повітря, а також витрат випускних газів при глибокому охолодженні наддувного повітря;

- вперше визначені шляхи подальшого вдосконалення робочих процесів в суднових турбопоршневих ДВЗ за рахунок раціональної організації систем повітропостачання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що визначена принципова можливість і раціональні шляхи зниження питомої витрати палива СЕУ за рахунок ефективного використання комплексної системи охолодження наддувного повітря суднових ДВЗ, які експлуатуються в умовах тропічного клімату. Розроблені практичні рекомендації для синтезу схемних і конструктивних рішень, а також складу обладнання, що дозволяє реалізувати ці рекомендації, як на перспективних, так і на суднових турбопоршневих ДВЗ, що знаходяться в експлуатації. Результати до-

сліджень дозволили визначити раціональні діапазони зміни параметрів робочого циклу суднового турбопоршневого ДВЗ, обладнаного КСОНП. в умовах тропічного клімату. Використання таких систем у складі дизельних СЕУ суден, що експлуатуються в зазначених умовах, дозволяє знизити питому витрату палива на 10... 15 г/(кВтгод) і, відповідно, вартість тонномілі морських вантажних перевезень.

Розроблена і реалізована математична модель дозволяє виконувати практичні розрахунки робочих процесів в суднових ДВЗ, визначати показники перспективних зразків суднових турбопоршневих ДВЗ, виробляти рекомендації для їх проектування.

Крім того, результати досліджень можуть бути поширені на ДВЗ іншого призначення, наприклад, стаціонарні, транспортні і спеціального призначення, що, безумовно, підвищує практичну цінність роботи.

Результати дисертаційної роботи передані і використовуються в наступних організаціях: АОТ "Чорноморсуднопроект" (м.Миколаїв), ВАТ "Мотор-Січ", (м.Запоріжжя), у навчальному процесі Національного університету кораблебудування (м.Миколаїв), а також у в'єтнамських установах - В'єтнамському кораблебудівному науково-технологічному інституті "SHIPSCITECH" та В'єтнамському морському університеті "VIMARU" (м.Хайфон). Впровадження результатів роботи в цих установах підтверджується відповідними актами.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі задач, пов'язаних з ефективним використанням сучасних систем повітропостачання і, зокрема, систем внутрішнього охолодження повітря в компресорі турбонаддувного агрегату впорскуванням охолоджуючої рідини і додатковим глибоким охолодженням наддувного повітря в турбодетандерному агрегаті для суднових ДВЗ.

Розроблена особисто здобувачем математична модель, дозволяє враховувати вплив циклової дози палива g_u , коефіцієнта надлишку повітря α , маси повітряного заряду M , масових витрат і температур повітря, випускних газів на паливну економічність турбопоршньового ДВЗ в тропічних умовах експлуатації. Створені експериментальні установки на базі суднових дизельних двигунів 6ЧН12/14 и 6ЧН13/14, на яких проведені дослідження, пов'язані з визначенням характеристик двигуна при використанні комплексної системи охолодження наддувного повітря і перевіркою адекватності математичної моделі. Особисто здобувачем визначені задачі моделювання і основні параметри математичної моделі.

Апробація результатів дисертації Основні положення дисертації доповідалися та обговорювалися на науково-практичних семінарах кафедри ДВЗ Українського державного морського технічного університету в термін 2001-2003 рр., Міжнародних Конгресах двигунобудівників в термін 2001-2003 рр., технічній нараді провідних спеціалістів ВАТ "Чорноморсуднопроект" в 2003 р., де отримали позитивну оцінку наукової спільноти.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 5 друкованих робіт, в тому числі 2 одноосібні. Ці роботи в достатньо повній мірі висвітлюють зміст дисертації та її основні результати.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу і шости розділів, які викладеш на 152 сторінках, переліку літературних джерел зі 94 найменувань. Робота проілюстрована 42 рисунками і 8 таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та зв'язок роботи з науковими програмами, мета і задачі дослідження, наукова новизна одержаних результатів, практичне значення результатів, особистий внесок здобувача, а також апробація результатів дисертацій подано перелік основних результатів, що виносяться на захист.

У першому розділі на основі огляду літератури аналізується стан проблеми підвищення економічності СЕУ з ДВЗ які працюють в тропічних умовах, робляться висновки про доцільність вивчення можливості використання у складі суднових турбопоршневих ДВЗ комплексних систем охолодження надувного повітря (КСОНП), які побудовані на основі рекуперативного, внутрішнього випарного та турбодетандерного методів. Визначені раціональні шляхи побудови схемних та конструктивних рішень цих систем.

Встановлено, що до теперішнього часу нерозв'язаною є задача про раціональний склад та показники систем охолодження надувного повітря ДВЗ. Визначені основні недоліки традиційних систем охолодження наддувного повітря та шляхи усунення цих недоліків.

Наведений приклад аналізу впливу тропічних умов експлуатації на зміну питомої витрати палива дизельних двигунів СЕУ рефрижератора - постачальника проекту 12970 дедвейтом 2496 т, його принципова схема СЕУ представлена на рисі. При температурі забортної води +32 °С, відносній вологості 80% підвищення питомої витрати палива на головний та допоміжні двигуни складає приблизно 2,38%.

Проаналізовані схема системи повітропостачання та охолодження надувного повітря фірми Купер-Бесемер (рис.2) та схема системи з двоступеневим комбінованим наддувом і проміжним охолодженням (рис.3) та встановлені їх недоліки.

Виконаний аналіз можливих варіантів схем системи повітропостачання і охолодження надувного повітря, які включають додаткове внутрішнє випарне охолодження.

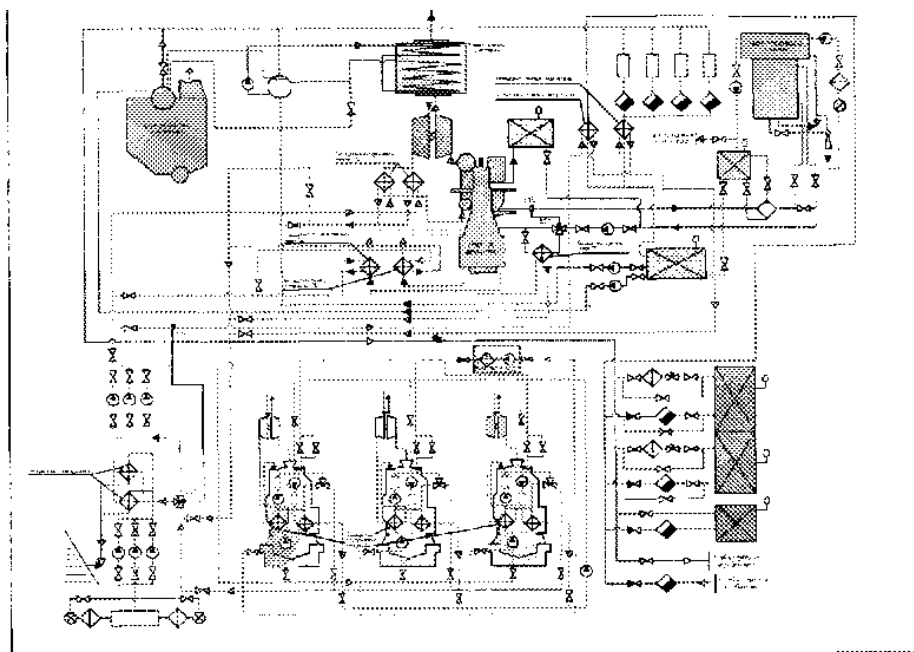
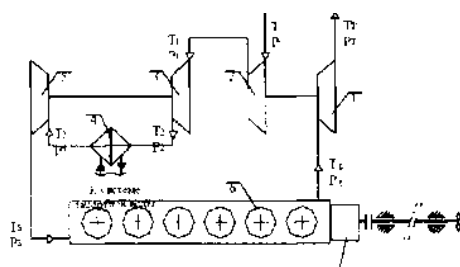
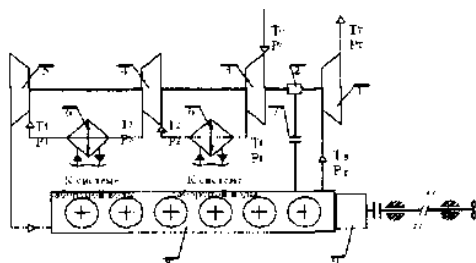


Рис. 1. Принципова схема СЕУ з традиційною системою охолодження наддувного повітря ДВЗ



1- газова турбіна; 2 - відцентровий компресор першої ступені; 3 - відцентровий компресор другої ступені; 4 - охолоджувач наддувного повітря; 5 - повітряна розширювальна машина; 6 - двигун; 7 - редуктор ГД

Рис.2. Схема системи повітропостачання та охолодження наддувного повітря фірми Купер-Бесемер.



1- газова турбіна; 2- редуктор; 3 - відцентровий компресор першої ступені; 4 - відцентровий компресор другої ступені; 5- повітряна розширювальна машина; 6 - охолоджувач наддувного повітря; 7 - муфта; 8- двигун; 9 - редуктор ГД.

Рис.3. Схема системи повітропостачання та охолодження наддувного повітря суднового ДВЗ з двоступеневим комбінованим наддувом і проміжним охолодженням.

Показано, що для тропічних умов експлуатації дизельної СЕУ найбільш ефективною є система охолодження надувного повітря з внутрішнім випарним та турбодетандерним охолодженням (рис.4). У цьому випадку досягається найвища паливна економічність ДВЗ та СЕУ в цілому.

Сформульовано напрямок, мету та задачі дослідження.

У другому розділі викладені основні методи та методики досліджень. Основні положення дисертації досліджені методами фізичного та математичного моделювання. Дослідження робочих процесів, що відбуваються у дизельному двигуні з комплексною системою охолодження надувного повітря, здійснювалось з використанням повітря; здійснювалось з використанням об'єктивних критеріїв порівняльної ефективності впливу винників, діючих у робочому циліндрі і двигуні в цілому.

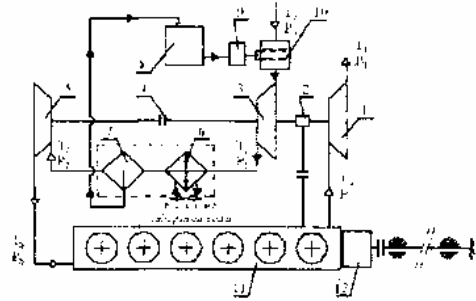


Рис.4. Узагальнена схема повітропостачання суднового ДВЗ.

1 – газова турбіна; 2 – редуктор; 3 – гвинтовий компресор; 4 – муфта; 5 – повітряна машина; 6 – охолоджувач надувного повітря; 7 – краплевідокремлювач; 8 – бак; 9 – пристрій створення тиску; 10 – форсунка; розпилю води; 11 – двигун; 12 – редуктор.

Розроблена математична модель побудована з використанням системного підходу на основі фундаментальних рівнянь термодинаміки і перевірених методик. При реалізації математичної моделі на ПЕОМ був використаний широковідомий та поширений модифікований метод Ейлера, який має задовільну збіжність та дає досить точні результати.

Експериментальне дослідження проводилось із застосуванням найбільш перевіреного й інформативного методу зняття індикаторних діаграм натурного суднового дизельного двигуна, який був обладнаний комплексною системою охолодження надувного повітря і працював в штучно створених умовах тропічного клімату. Для вимірювання та реєстрації параметрів ДВЗ при експериментальних дослідженнях була використана сучасна сертифікована та атестована апаратура. При експериментальних дослідженнях робочих процесів використовувалась стандартні методи та методики згідно до ГОСТ 2.106-68, ГОСТ 10448-80, ГОСТ 26964-86 і "Методика определения удельного расхода топлива серийных образцов дизелей и дизель-генераторов при приемо-сдаточных и периодических испытаниях".

Викладене вище дає змогу вважати, що застосовані при виконанні роботи методи та методики дозволяють одержувати надійні та вірогідні результати.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням робочого процесу в судновому ДВЗ з комплексною системою охолодження надувного повітря. Наведені принципова схема яка зображена на рис.5.,

фотографія (рис.6) та опис експериментальних стендів та системи вимірювання, реєстрації та обробки результатів дослідження.

Перед початком експериментальних досліджень були проведені налагоджувальні випробування та визначені похибки вимірювання параметрів робочого процесу ДВЗ.

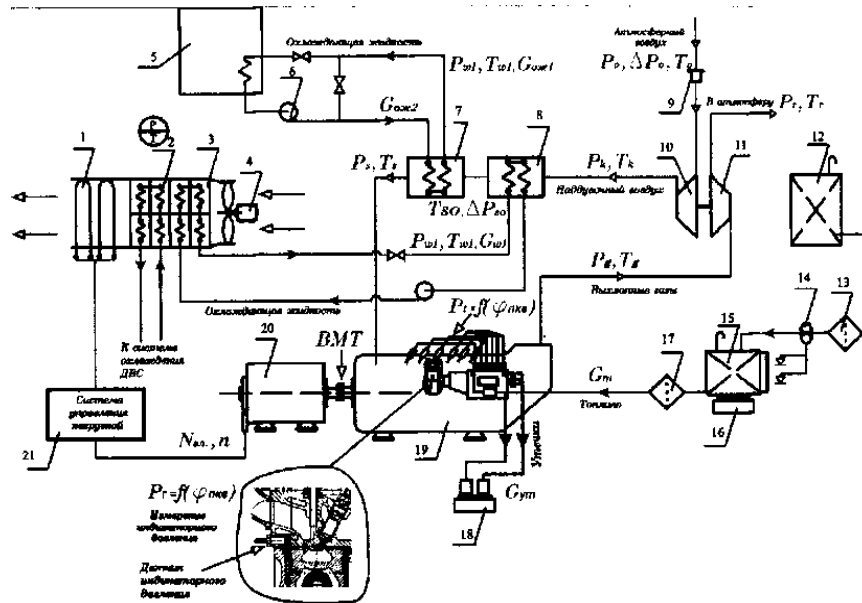


Рис.5. Принципова експериментальний стенд.

1 - навантаження, 2 - теплообмінник охолодження води та масла; 3,7,8 – теплообмінник охолодження надувного повітря; 4 - нагнітач повітря; 5 - кондиціонер; 6,14 - насос; 9 - лемніската, 10 - компресор; 11 - турбіна; 12 - цистерна запасу палива; 13, 17 - фільтри грубої очистки; 15 - витратна паливна цистерна; 16, 18 - електронні ваги; 19 - дизельний двигун 6ЧН13/14; 20 - електрогенератор; 21 - керування навантаженням.

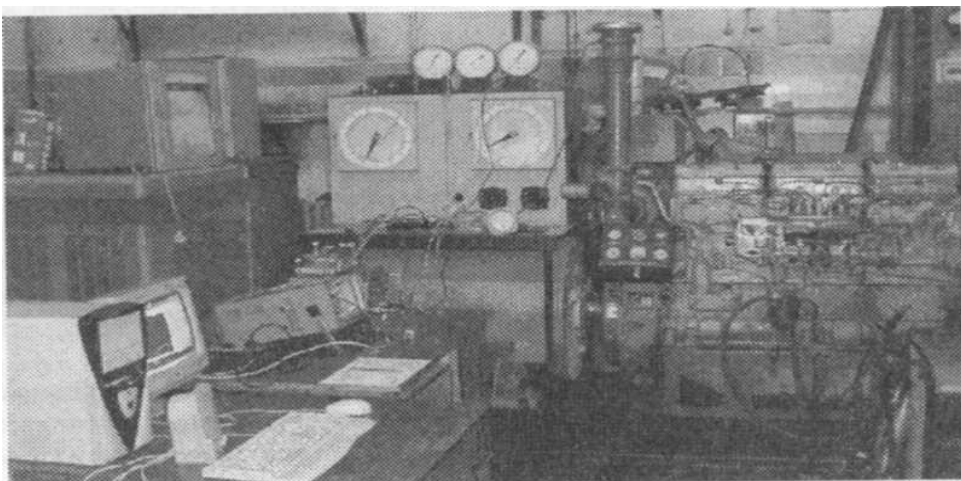


Рис.6. Експериментальний стенд на базі двигуна 6ЧН13/14

На рис.7 і 8 наведеш результати перевірки працездатності та надійності експериментальних даних.

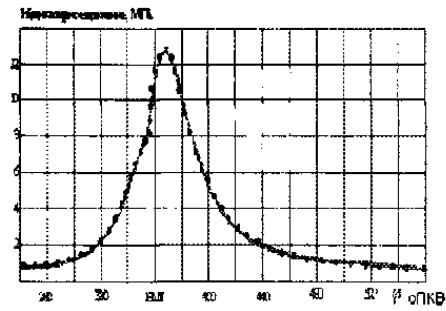


Рис.7. Індикаторні діаграми

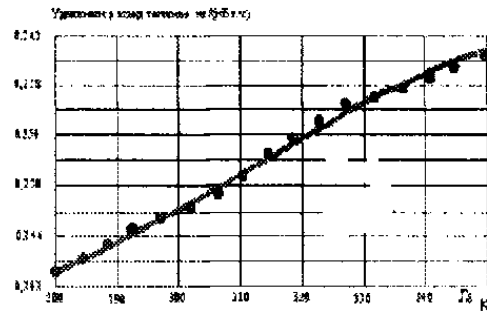


Рис.8. Удельная затрата топлива

Результати перевірки працездатності та надійності експериментальних даних.

— експеримент; — результати работ [43, 44]

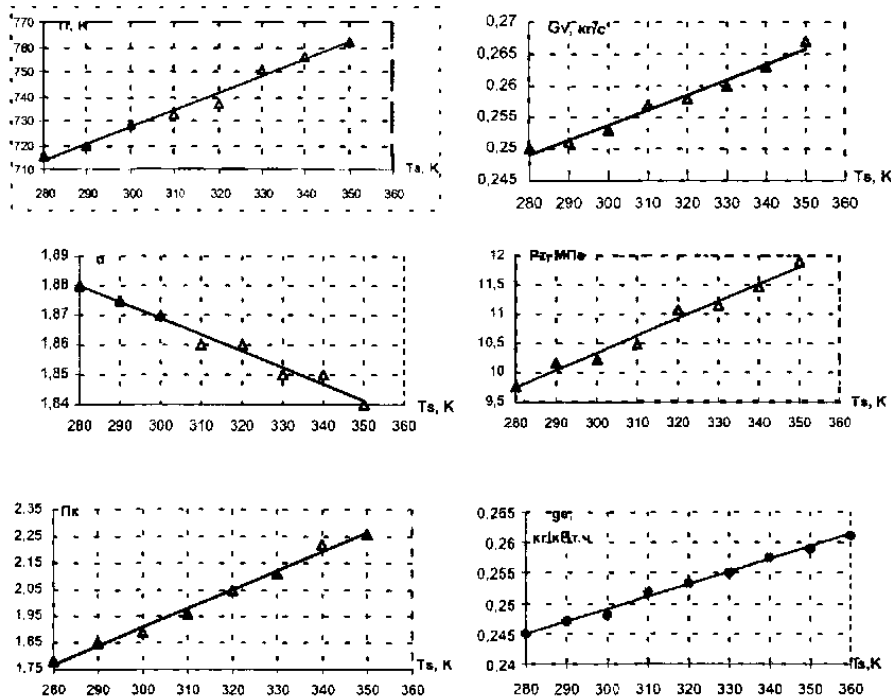


Рис.9. Результати експериментальних досліджень впливу глибини охолодження надувного повітря на $P_{гв}$, G_v , α , $T_{гв}$, $P_{гв}$, $g_{гв}$.

Ці випробування показали, що результати, отримані за допомогою розробленого експериментального стенда, досить добре узгоджуються з відомими аналогічними результатами інших авторів, а похибка при вимірюваннях не перевищує 5%. Довірчий інтервал, визначений для умов експериментальних досліджень, лежить у межах 0,93...0,95 в залежності від мети та обсягів випробувань. Це дає змогу вважати, що експериментальний стенд відповідає вимогам, які ставляться до такого типу обладнання і може бути використаний для подальших досліджень робочих процесів в ДВЗ.

На рис.9 представлені результати експериментальних досліджень, пов'язаних з визначенням впливу глибини охолодження надувного повітря на основні параметри суднового ДВЗ.

Четвертий розділ присвячений розробці математичної моделі робочих процесів в судновому ДВЗ, який обладнаний комплексною системою охолодження надувного повітря.

При складанні математичної моделі використані фундаментальні рівняння термодинаміки, газової динаміки та теорії робочих процесів ДВЗ.

Диференційне рівняння швидкості зміни тиску в процесі стиску

$$\frac{dp}{d\varphi} = -p \left(k \frac{d \ln M}{d\varphi} + \frac{k d \ln V}{d\varphi} + \frac{1}{M c_p T} \frac{d Q_w}{d\varphi} \right). \quad (1)$$

Процес згоряння-розширення

$$\frac{dp}{d\varphi} = p \left[\frac{g_p}{M} \left(\frac{Q_p}{c_p T} + k \right) \frac{dx}{d\varphi} - \frac{k}{M} \frac{d M_p}{d\varphi} - k \frac{d \ln V}{d\varphi} - \frac{1}{M c_p T} \frac{d Q_w}{d\varphi} \right]. \quad (2)$$

Процес газообміну:

для випуску газу з циліндра

$$\frac{dp}{d\varphi} = k p \left(\frac{d \ln M}{d\varphi} - \frac{d \ln V}{d\varphi} - \frac{1}{M c_p T} \frac{d Q_w}{d\varphi} \right) \quad (3)$$

подачі робочого тіла в циліндр

$$\frac{dp}{d\varphi} = p \left(\frac{c_{ps} T_s}{c_p T} \frac{d \ln M_s}{d\varphi} - k \frac{d \ln V}{d\varphi} - \frac{1}{M c_p T} \frac{d Q_w}{d\varphi} \right). \quad (4)$$

При затіканні в циліндр свіжого заряду dM_s і одночасним витіканням з нього газу dM_s , швидкість зміни тиску в циліндрі

$$\frac{dp}{d\varphi} = p \left(\frac{c_{ps} T_s}{c_p T M} \frac{d M_s}{d\varphi} - \frac{k}{M} \frac{d M_s}{d\varphi} - k \frac{d \ln V}{d\varphi} - \frac{1}{M c_p T} \frac{d Q_w}{d\varphi} \right). \quad (5)$$

Наведена математична модель доповнюється залежностями для визначення складових, які входять в цю модель.

Зміна маси робочого тіла в циліндрі, dM за елементарний відрізок часу $d\tau$ визначається за рівняннями

$$dM = G d\tau \quad (6)$$

де $d\tau = d\varphi/6n$ ($d\varphi$ - елементарний кут повороту колінчатого вала; n - частота обертання колінчатого валу, об/хв.); G - секундний розхід робочого тіла. При малих значеннях відношень тисків ($\pi = p/p > 0,9 \dots 0,95$), $G = \mu f \psi \sqrt{p/v}$;

при $p/p < 0,9 \dots 0,95$, тоді $G = q G_{\max}$. Тут μ - коефіцієнт розходу; f - площа прохідного перерізу; p, v - відповідно тиск та питомий об'єм газу перед отвором; ψ - коефіцієнт режиму течії,

$$\psi = \sqrt{\frac{2k}{k-1} (\pi^{2/k} - \pi^{(k+1)/k})}; \quad G_{\max} = (\mu f)_{\max} \sqrt{\frac{2k}{k-1} p/v (\pi_k^{2/k} - \pi_k^{(k+1)/k})};$$

$(\pi f)_{\max}$ - ефективний максимальний прохідний переріз каналу, k - показник адиабати, π_k - функція критичного відношення тиску для непрофільованих каналів; $q = \sqrt{0,842 - (\pi - \pi_k)^2 (1,16 + 0,0653/l/s)}$; l - довжина каналу, s - його висота.

Основою для опису процесу згоряння у двигуні, що досліджувався, є відома формула І.І. Вібе

$$x = 1 - \exp(\ln(1 - x_i)(t/t_i)^{m+1}). \quad (7)$$

У першоджерелі коефіцієнт m не має явної залежності від температури, хоча така залежність має бути. У дисертації вона встановлена на підставі того, що існують відомі залежності для визначення значення першого максимуму швидкості тепловиділення при згорянні, який обчислюється у функції часу затримки самозапалення τ_i . Цей час обчислюється з урахуванням впливу на нього температури наддувочного повітря. Водночас на підставі (7) також можна обчислити значення максимуму тепловиділення при згорянні шляхом визначення екстремуму функції (7). З іншого боку, значення кута тривалості згоряння теж залежить від температури повітря на вході у циліндр. Ця залежність може бути виражена через зміну параметра x_i , який визначає кількість палива у циліндрі на момент τ_i . Відтоді на підставі порівняння виразів для швидкостей тепловиділення при згорянні, знайдених різними шляхами, можна встановити залежність для визначення коефіцієнту m від температури надувного повітря. Ця залежність буде мати вигляд:

$$\varphi_z^{(1)}(a + (1-a)\frac{1-x_i}{1-x_i^0}) = -6nC(m+1)(-\frac{m}{C(m+1)})^{\frac{m}{m+1}} \exp(-\frac{m}{m+1}) / (24(\alpha x_i)^{n-1} \exp(1.8 \times 10^{-5} \tau_i)) \quad (8)$$

де

$$\tau_i = K_1 \sqrt{\frac{T_z}{p_z}} e^{\frac{K_2}{T_z}}.$$

$K_{1,2}$ - постійні коефіцієнти в умовах виконаного дослідження. a - відносний час процесу згоряння у першій фазі, $a = 0,07 \dots 0,12$; φ_z^0, x_i^0 - відповідні параметри на початковому режимі.

Крім опису процесу згоряння на підставі одномаксимумної моделі запропонованої І.І.Вібе, і максимально придатної для опису процесу згоряння у двигуні, що досліджувався, у дисертації також досліджувалася трьохмаксимумна модель. Вона більш придатна для двигунів більших розмірностей і з іншим засобом сумішоутворення.

Потужність компресора з внутрішнім випарним охолодженням повітря

$$N_k = G \left[\frac{k}{k-1} R T_0 \left(\Pi^{\frac{k-1}{n}} - 1 \right) \frac{1}{\eta_n} + \left(\frac{n}{n-1} - \frac{k}{k-1} \eta_n \right) R T_0 \left(\Pi^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right) \right] \quad (9)$$

Потужність розширювальної машини

$$N_{em} = G \frac{k}{k-1} R T_0 \left(1 - \frac{1}{\Pi^{\frac{k-1}{n}}} \right) \eta_{a,em} \quad (10)$$

Потужність газової турбіни турбоаддуктивного агрегату

$$N_T = G_t L_{t,d,t} \eta_{mt} \eta_{a,t} = G_t \frac{k_t}{k_t-1} R T_0 \left(1 - \frac{1}{\Pi^{\frac{k_t-1}{n_t}}} \right) \eta_{mt} \eta_{a,t} \quad (11)$$

ККД ДВЗ з КСОНП визначається з залежності

$$\eta_{мд} = 1 - \frac{N_k + (1 - \eta_{мдн}) \frac{N_c}{\eta_{мдн}} - \Delta N_{cl} - N_T - N_{ав}}{N_i} \quad (12)$$

З врахуванням початкових умов та обмежень, які характерні для реальних умов робочого процесу в ДВЗ, математична модель є замкненою і має однозначне рішення.

Реалізація моделі здійснена модифікованим методом Ейлера на ПЕОМ з процесором Pentium-4.

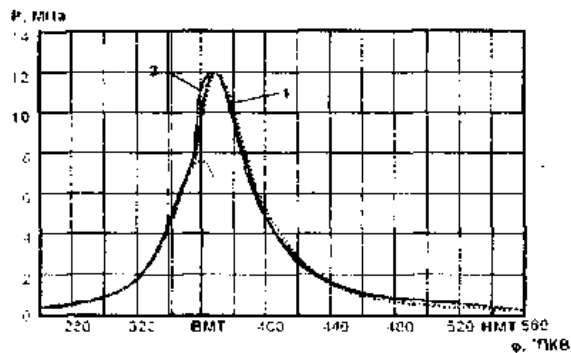


Рис.10. Експериментальна та розрахункові Індикаторні діаграми при $T_s = 350$. 1 – розрахунок по одночаксимумний; 2 - розрахунок по трьохчаксимумній;- експеримент

Дія оцінки адекватності моделі виконане та експериментальних порівняння розрахункових значень тиску газів у циліндрі двигуна 6ЧН12/14. Порівнювалися експериментальні данні на режимі номінальної потужності 125 кВт та температурі повітря у ресивері 350 К і результати розрахунків по одно- та трьохчаксимумній моделі. Результати порівняння представлені на рис.10.

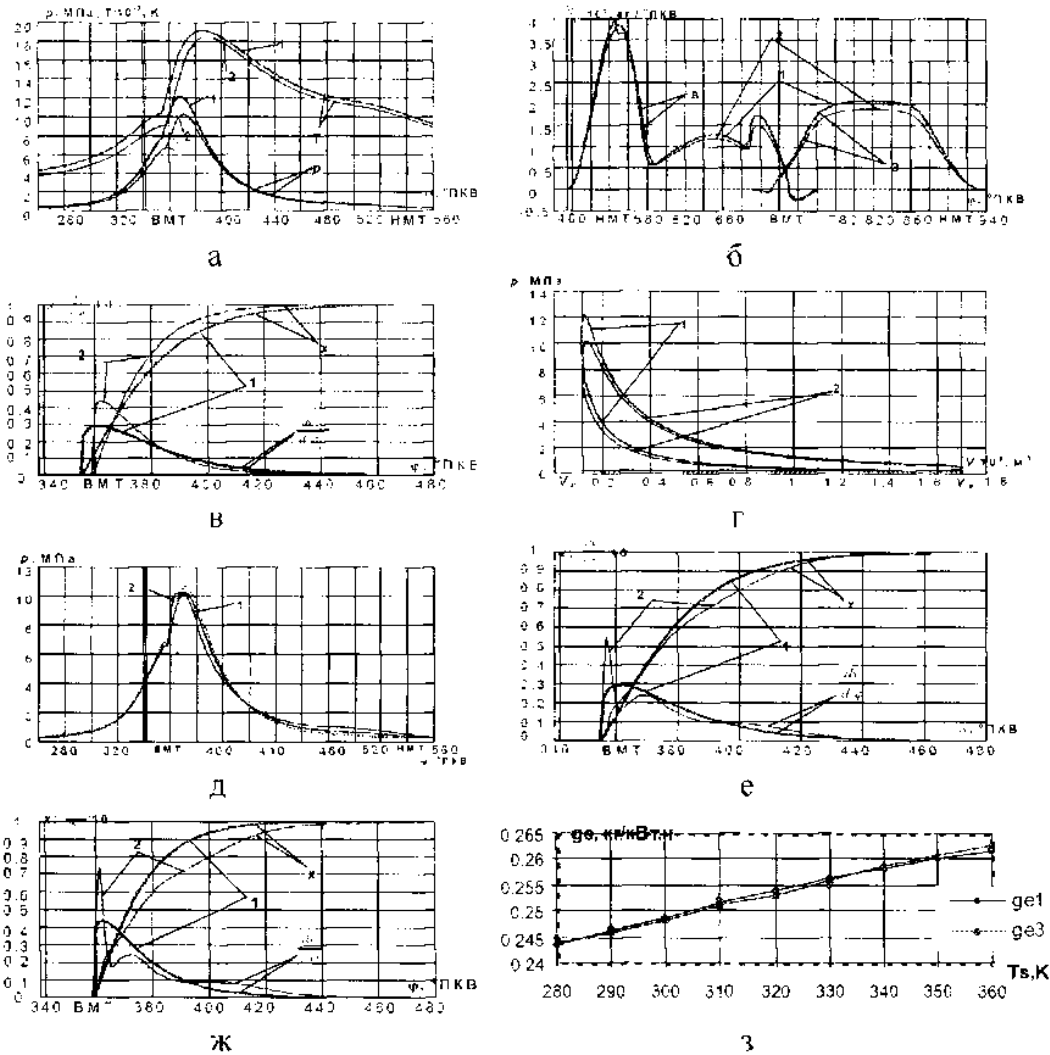


Рис. 1. Визначення чутливості та можливостей математичної моделі, (а, б, в, г: для одномаксимумної моделі. 1 - при $T_s = 350$ К. 2 - при $T_s = 300$ К): а - залежність зміни тиску і температури в циліндрі двигуна від кута повороту колінчатого вала φ (°ПКВ) при різних температурах в ресивері; б - характеристики газообміну двигуна; в - характеристики тепловиділення при згорянні $\chi = f(\varphi)$; $d\chi/d\varphi = f(\varphi)$; г - P-V діаграма при різних температурах в ресивері; д - залежність тиску в циліндрі від кута повороту колінчатого вала φ (°ПКВ) при $T_s = 300$ К. 1 - одномаксимумна модель, 2 - трьохмаксимумна модель, ... - експеримент; е, ж - характеристики тепловиділення для одномаксимумної та трьохмаксимумної моделей при $T_s = 350$ К і $T_s = 300$ К: з - зміна питомої витрати палива в залежності від температури повітря в ресивері. $ge1$ - одномаксимумна модель. $ge3$ - трьохмаксимумна модель; ...-експеримент

Як можна бачити з представлених даних, максимальне середньоквадратичне відхилення розрахункових даних, одержаних на основі одномаксимумної моделі не перевищує 5%. Довірчий інтервал в цьому випадку дорівнює 0,95, а у випадку трьохмаксимумної моделі, коли середньоквадратичне відхилення не перевищує 6%, довірчий інтервал становить 0,93. На підставі наведеного порівняння можна стверджувати, що

одно- и трьохмаксимумна математичні моделі достатньо адекватно відображають дійсні робочі процеси у судновому дизельному двигуні з комплексною системою охолодження наддувного повітря. При цьому одномаксимумна модель дає результати, довірчий інтервал котрих на 2% ближче до експериментальних даних, ніж аналогічні данні, одержані за допомогою трьохмаксимумної моделі. Таке погодження результатів дозволяє рекомендувати трьохмаксимумну модель робочого процесу у судновому ДВЗ, як для практичних розрахунків, так й для досліджень. Одномаксимумна модель може бути використана для більш точних розрахунків при дослідженнях впливу різних факторів на показники ДВЗ с КСОНП. В цьому ж розділі було проаналізована чутливість та можливість математичної моделі. Ці результати представлені на рис.1.1.

У *п'ятому розділі* наведені результати теоретичних досліджень робочого процесу в судновому ДВЗ з комплексною системою охолодження надувного повітря. Досліджена ефективність узагальненої схеми системи повітропостачання, яка представлена на рис.4. Така схема дозволяє в найбільш повній мірі реалізувати переваги, як самої системи охолодження надувного повітря, так й схемного рішення з використанням додаткової турбіни, потужність якої передається на колінчастий вал ДВЗ.

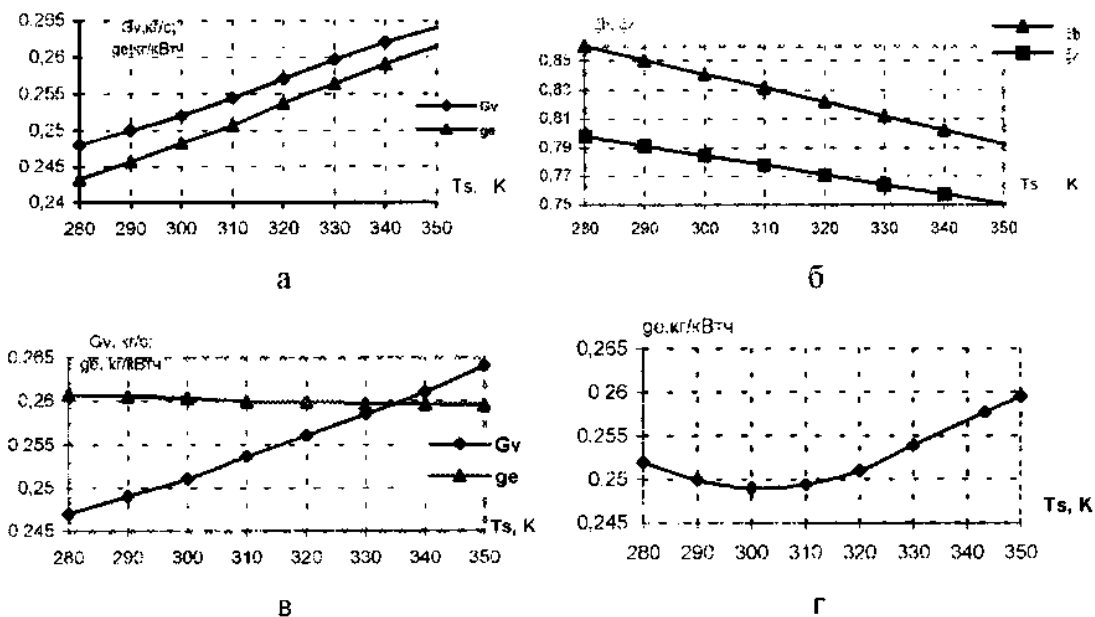


Рис. 12. Вплив глибини охолодження надувного повітря на основні показники робочого циклу суднового ДВЗ.

а - масова витрата повітря та питома витрата палива при урахуванні впливу усіх факторів, б- коефіцієнт використання теплоти в точці б та z; в - масова витрата повітря та питома витрата палива при ξ_z та $\xi_b = \text{const}$; г- питома витрата палива при постійному тиску в ресивері.

З метою встановлення залежності найбільш важливих показників робочого процесу ДВЗ від глибини охолодження наддувного повітря, було проведено числове дослідження з використанням математичної моделі. Для двигуна з вільним турбонаддувом характер зміни паливної економичності у залежності від зниження температури наддувного повітря відповідає лінії $ge-1$ на рис. 13. Для цього двигуна зміна температури повітря за компресором забезпечується застосуванням у рекуперативному охолодженні наддувного повітря зовнішнього теплоносія з умовно необмеженими можливостями зниження температури, і досліджувалася реакція двигуна на зміну T_s у таких умовах. Результати цих досліджень представлені на рис. 12.

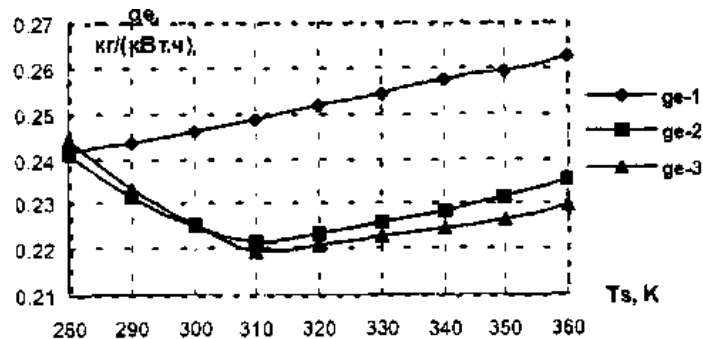


Рис.13. Зміна економичності двигуна в залежності від температури наддувного повітря і типу КСОНП.

$ge-1$ – Вільний турбонаддув зі звичайним компресором, $ge-2$, $ge-3$ – Комбінований КСОНП з гвинтовим компресором.

У реальних конструкціях двигунів такі можливості зниження температури відсутні. Тут розглядається можливість зниження температури в ресивері не під дією ідеального зовнішнього теплоносія, а на основі потенційно можливого регулювання глибини охолодження наддувного повітря за рахунок відповідної налаштування КСОНП. На рис. 13 зміна економичності такого двигуна відповідає кривій $ge-2$. Початкове зниження питомої витрати палива при $T_s = 350$ K у порівнянні з першим варіантом пояснюється зменшенням витрат на привод компресора в результаті упорскування води в стиснуте повітря. Зростання питомої витрати палива після 310 K (коли досягається межа зниження T_5 під дією тільки рекуперативної системи охолодження) пояснюється тим, що до моменту досягнення мінімуму починає діяти додатковий негативний фактор впливу на ККД двигуна - витрати на стискування повітря перед турбодетандером.

Проаналізовано також аналогічну залежність питомої витрати палива від температури повітря в ресивері (відповідає кривій $ge-3$) для двигуна однакової потужності і розмірності, який обладнаний такою ж системою охолодження наддувочного повітря, але який має більш високу початкову економичність за рахунок поліпшених параметрів робочого циклу (високий тиск наддува і більш високий максимальний тиск згоряння). Для вже

розглянутих двигунів моделі робочих циклів налаштовувалися за результатами власних стендових іспитів. Для третього двигуна налаштування циклу виконане з використанням параметрів близького аналогу, представлених в опублікованих джерелах

В реальному циклі комбінованого турбопоршньового ДВЗ охолодження надувного повітря забезпечує зниження питомої витрати палива при постійній потужності. Цей ефект пов'язаний з перерозподілом складових теплового балансу ДВЗ і підвищенням долі корисно використаного тепла. Характер впливу охолодження надувного повітря на паливну економічність ДВЗ не є однозначним. Позитивний характер виявляється в тому разі, коли додаткова енергія, отримана в результаті комплексного впливу охолодження надувного повітря передається на колінчастий вал ДВЗ. Якщо ця енергія витрачається на інші потреби, в тому разі й на додаткове охолодження надувного повітря, то підвищення паливної економічності може бути досить малим чи негативним.

Шостий розділ присвячений впровадженню результатів дисертаційної роботи. Наведені порівняльні результати розрахунків паливної економічності дизельної СЕУ транспортного рефрижератора-постачальника проекту 12970. Показано, що впровадження комплексної системи охолодження надувного повітря дозволяє скоротити питому витрату палива на 27 г/(кВтг)

Виконані розрахунки дизельної СЕУ буксира проекту 14060, (ВАТ "Чорноморсуднопроект"), які показали, що за рахунок дообладнання комплексною системою охолодження надувного повітря головного та допоміжних ДВЗ, скорочення питомої витрати палива становить приблизно 30 г/(кВтг).

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при розробці перспективних схем судових енергетичних установок для транспортного флоту, який експлуатується в умовах тропічного клімату. Крім того, ці результати можуть бути використані для модернізації вже існуючих судових енергетичних установок транспортних суден, а також стаціонарних дизельних енергетичних установок.

Розроблені однак максимумна та трьох максимумна математичні моделі та методики розрахунків робочого процесу в судових ДВЗ, дообладнаних КСОНП передані ВАТ "Чорноморсуднопроект", м. Миколаїв, де використовуються при проектуванні перспективних СЕУ транспортних суден. Математичні моделі, методики розрахунків робочого процесу, а також схемні та конструктивні рішення систем повітропостачання передані в ВАТ "Мотор-Січ", м. Запоріжжя, де використовуються при розробці перспективних систем повітропостачання для головних та допоміжних судових ДВЗ. Результати роботи також використовуються у навчальному процесі УДМТУ при читанні лекцій з теорії робочих процесів ДВЗ.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені у В'єтнамському Кораблебудівному науково-технологічному інституті "SHIPSCITECH". а також у В'єтнамському морському університеті "VIMARU".

ВИСНОВКИ

Результати роботи дають підставу зробити такі висновки:

1. Аналіз вітчизняної та іноземної літератури дозволив встановити можливість підвищення паливної економічності суднових енергетичних установок, які експлуатуються в тропічних умовах, шляхом удосконалення систем охолодження наддувного повітря суднових ДВЗ. Це дозволяє відповідно скоротити собівартість тонно-милі морських перевезень.

2. Встановлено, що одним з найбільш раціональних схемних рішень систем охолодження наддувного повітря судового ДВЗ є комплексна система, до складу якої входить внутрішнє випарне охолодження у компресорі ТНА та турбодетандерне охолодження. Така система дозволяє зменшити питому витрату палива судового ДВЗ на 10... 15 г/(кВт·год) при експлуатації у тропічних умовах і відповідно зменшити вартість тонно-милі морських перевезень.

3. Встановлено, що підвищення паливної економічності судового ДВЗ обумовлюється перерозподілом складових теплового балансу та потоків механічної та теплової енергії.

4. В результаті експериментальних досліджень встановлений вплив глибини охолодження наддувного повітря на основні показники судового ДВЗ та встановлена раціональна нижня межа охолодження наддувного $(p_z, \Pi_k, T_n, G_n, \alpha, g_c)$ повітря, яка в тропічних умовах склала 300...310 К.

5. В результаті математичного моделювання встановлено, що однак максимумна модель достатньо адекватно описує робочий процес в судовому ДВЗ, який обладнаний комплексною системою охолодження наддувного повітря. Максимальна похибка не перевищує 5%, а довірчий інтервал складає 0,95. Трьохмаксимумна модель більш точно описує робочий процес, її максимальна похибка не перевищує 7%, а довірчий інтервал -0,93. Обі моделі можуть використовуватися, як для дослідницьких цілей, так й для практичних розрахунків робочих процесів в судових ДВЗ.

6. На основі математичного моделювання встановлений вплив глибокого охолодження наддувного повітря на паливну економічність судового ДВЗ: визначені якісні та кількісні раціональні межі цих параметрів при охолодженні наддувного повітря в тропічних умовах.

7. Показана можливість керування процесом розподілу теплової та механічної енергії, що дозволяє організувати раціональний робочий цикл судового ДВЗ в тропічних умовах експлуатації.

8. Визначені шляхи подальшого вдосконалення робочого процесу в судових ДВЗ з метою зниження питомої витрати палива за рахунок оптимізації складу систем охолодження та повітропостачання, а також за рахунок оптимального вибору діапазону та меж зміни параметрів елементів системи.

Основні результати та положення дисертації опубліковані в таких роботах:

1.Мошенцев Ю.Л., Тимошевский, Б.Г., Бао В.Д. Охлаждение наддувочного воздуха с использованием воздушной холодильной машины// *Авіаційно-космічна техніка і технологія: Збірник наукових праць*- Харків: ХАИ, 2001 .-выпуск 23. С. 90-92.

2.Мошенцев Ю.Л., Бао В.Д. Влияние охлаждения наддувочного воздуха на рабочий цикл турбопоршневого двигателя// *Авіаційно-космічна техніка і технологія: Збірник наукових праць* - Харків: ХАИ. 2002 - выпуск 30. С.33-36.

3.Тимошевский, Б.Г., Мошенцев Ю.Л., Бао В.Д. Повышение эффективности судового двигателя-внутреннего сгорания путем совершенствования системы воздухообеспечения// *Український державний морський технічний університет: Збірник наукових праць* - Миколаїв: УДМТУ, 2003.- №2 (388). С. 67-75.

4.Бу Дык Бао. Определение параметров процесса сжатия в турбокомпрессоре судового двигателя внутреннего сгорания при использовании внутреннего охлаждения // *Український державний морський технічний університет: Збірник наукових праць* - Миколаїв: УДМТУ, 2003.-№ 3 (389). С. 87-93.

5.Бу Дык Бао. Особенности влияния охлаждения наддувочного воздуха на параметры циклов различных комбинированных двигателей// *Український державний морський технічний університет Збірник наукових праць* - Миколаїв: УДМТУ. 2003.- № 4 (390). С. 59-66.

Особистий внесок здобувача у написання роботи [1] полягає в схемних рішеннях систем охолодження надувного повітря, математичному описі робочих процесів в ДВЗ та результатах розрахунків паливної економічності. У роботі [2] здобувачу належить створення математичної моделі робочого процесу в ДВЗ з врахуванням нового елементу - комплексної системи охолодження надувного повітря, результати математичного моделювання та їх аналіз. У роботі [3] особистий внесок здобувача полягає в дослідженні схемних рішень систем охолодження надувного повітря та встановлення їх порівняльної ефективності.

Бу Дик Бао. Підвищення ефективності судових дизельних енергетичних установок в тропічних умовах експлуатації. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.05. - "Суднові енергетичні установки". Національний університет кораблебудування. - Миколаїв, 2004 р.

Дисертація присвячена підвищенню паливної економічності СЕУ за рахунок використання комплексної системи охолодження надувного повітря Актуальність теми зумовлена необхідністю зниження витрат палива СЕУ, які експлуатуються в тропічних умовах і мають не виправдано високі додаткові витрати палива, пов'язані зі зміною показників робочого процесу,

за рахунок впливу високих температур повітря, заборотної води і вологості. Оскільки паливна складова займає значне місце у вартості морських перевезень, вирішення цієї задачі дозволить скоротити вартість тонно-милі.

На основі проведеного аналізу різних шляхів вирішення проблеми, найбільш перспективним є використання комплексної системи глибоко охолодження, яка має в своєму складі традиційну рекуперативну частину, внутрішнє випарне охолодження в компресорі і додаткове - в турбодетандерному агрегаті.

Виконано експериментальне дослідження робочих процесів у судовому ДВЗ з комплексною системою охолодження наддувного повітря. Визначено нові показники робочого процесу і встановлений характер впливу глибокого охолодження на паливну економічність ДВЗ.

Розроблена математична модель робочих процесів у судовому ДВЗ, обладнаному комплексною системою охолодження наддувочного повітря. Експериментально доведена адекватність цієї моделі. На основі розробленої моделі проведені широкі дослідження зміни основних параметрів робочого циклу двигуна під впливом зниженої температури повітря в ресивері. Уточнено механізм впливу охолодження наддувного повітря на основні параметри робочого процесу двигуна, і головним чином, на його економічність при постійній потужності і частоті обертання. Показано, що в тропічних умовах експлуатації зниження питомої витрати палива СЕУ складає більш ніж 15 г/(кВт·год) при зниженні температури в ресивері від 80 °С до 30 °С.

Ключові слова: СЕУ, ДВЗ, робочі процеси, комплексне охолодження наддувного повітря, паливна економічність.

Ву Дык Бао. Повышение эффективности судовых дизельных энергетических установок в тропических условиях эксплуатации. - Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.08.05. - "Судовые энергетические установки". Национальный университет кораблестроения. - Николаев, 2004 г.

Диссертация посвящена вопросам исследования и совершенствования рабочих процессов в ДВС, эксплуатирующихся в тропических условиях, с целью повышения топливной экономичности дизельных двигателей СЭУ. Актуальность темы обусловлена необходимостью снижения расхода топлива СЭУ в тропических условиях. Поскольку топливная составляющая является наиболее весомой в эксплуатационных затратах, ее снижение позволит значительно сократить стоимость тонно-мили морских перевозок.

В диссертации решаются вопросы, как можно обеспечить более низкие, чем существующие, температуры, воздуха в ресивере двигателя на базе возможных конструктивных и схемных решений и определяются качественные и количественные показатели предлагаемых конструкций в сопоставлении с существующими аналогами.

Для достижения этой цели выполнен анализ возможных вариантов схем системы воздухообеспечения и воздухоохлаждения, проведено расчётно-теоретическое исследование этих схем, чтобы определить направление модернизации и выбирать наилучший вариант. На основе проведенных исследований было выбрано направление - использование комплексной системы охлаждения наддувочного воздуха. Такая система состоит из блока внутреннего охлаждения воздуха в турбокомпрессоре и турбодетандерного блока.

Выполнено экспериментальное исследование рабочих процессов в судовом ДВС с комплексной системой охлаждения наддувочного воздуха. Определены новые показатели рабочего процесса и установлен характер влияния глубокого охлаждения на топливную экономичность ДВС.

Разработана математическая модель рабочих процессов в судовом ДВС, оборудованном комплексной системой охлаждения наддувочного воздуха. Реализация этой модели осуществлена на базе персонального компьютера. Экспериментально доказана адекватность этой модели. При дополнительном анализе возможностей разработанной модели оценивались результаты использования в этой модели различных блоков моделирования процесса сгорания. Один из них соответствовал условиям процесса в открытой камере, а второй - в разделённой. Установлено более близкое соответствие экспериментальных и расчётных результатов в случае использования модели, адаптированной к особенностям исследованного двигателя. На основании разработанной модели проведены широкие исследования изменения основных параметров рабочего цикла двигателя под влиянием снижения температуры воздуха в ресивере. Уточнён механизм влияния охлаждения наддувочного воздуха на основные параметры рабочего процесса двигателя, и главным образом, на его экономичность при постоянной мощности и частоте вращения. Определены рациональные пределы снижения температуры наддувочного воздуха в ресивере судового двигателя с помощью предлагаемой схемы, также установлены возможные варианты трансформации предлагаемой схемы применительно к различным условиям её применения. Показаны численные значения снижения топливного расхода ряда конкретных двигателей, на которых возможно применение КСОНВ. В среднем для ВОД эта величина составила более 15 г/(кВт.час) при понижении температуры в ресивере от 80 °С до 30 °С.

Разработаны рекомендации для внедрения систем комплексного охлаждения наддувочного воздуха в практику проектирования и производство СЭУ.

Ключевые слова: СЭУ. ДВС. топливная экономичность,

***Vu Duk Bao. Improving The Efficiency of Marine Diesel Power Plants in Tropical Conditions Exploitation.* - Manuscript.**

The dissertation for competition of a scientific degree Candidate of the Technical Sciences on speciality 05.08.05 - "Marine Power Plants". National Shipbuilding University. Nikolaev. 2004.

The dissertation is dedicated to research and development of operating processes in marine ICE in tropical conditions with the main aim - improving fuel efficiency of diesel marine power plants. The urgency of a research is stipulated by necessity of decreasing the additional fuel spending by marine power plant in tropical conditions exploitation. Fuel cost is the biggest part of operation spending and it's decreasing helps to make cheaper ton-mile transportation.

In the dissertation the questions are solved, as it is possible to supply lower, than existing, the temperatures of charge air in receiver of the engine on the basis of the possible constructive and circuit decisions and are determined qualitative and quantitative parameters of offered designs in comparison to existing analogues.

For achievement of this purpose the analysis of possible variants of the circuits of air supply and cooling system is executed, the account-theoretical research of these circuits is carried out to determine a direction of modernization and to choose the best variant. On the base of the spent researches it was selected a way for reaching this aim - usage the complex system for charge air cooling. This system includes an internal evaporating cooling in compressor of turbocharger unit and expansion turbine cooling unit.

An experimental research of the operation process for ICE with the complex system of charge air cooling was done. It was obtained new indexes of the operation process and established the influence of a deep charge air cooling on fuel efficiency of ICE.

It was elaborated the mathematics model of the operating process in ICE with the complex system of charge air cooling . This model was realized with computer aid as well. The adequacy of this model was proved with the help of an experimental research.

At the additional analysis of opportunities of the developed model the results of use in this model of various blocks of modeling of process of combustion were estimated. One of them corresponded to conditions of process in the open chamber, and second - in shared. Closer conformity of experimental and settlement results is established in case of use of the model adapted to features of the investigated engine. On the basis of the developed model the wide researches of change of the basic parameters of the operation process for ICE under influence of reduction of temperature of air in receiver are carried out. It was researched and developed the influence of a deep charge air cooling on redistribution of the mechanical and heat energy flows in ICE on the base of mathematics modeling. It was shown the decreasing of specific fuel oil consumption may be until 20 g/(kW'h) for marine power plant in tropical conditions exploitation.

It was elaborated the recommendation for implementation of the complex system for charge air cooling in marine power plants designing and production.

Keywords: MPP, ICE, fuel efficiency, operating process, mathematics model, complex system of charge air cooling.

**Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 1150 від 12.12.2002 р.**

Підписано до друку 19.04.2004. Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Умов. друк. дрк. 0,9. Обл.-вид. арк. 0,95. Тираж 100 прим. Зам. № 140.
Видавництво НУК. 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5