

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені адмірала Макарова**

КОТ ВІКТОР ПАВЛОВИЧ

УДК 629.5 03-84

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНИХ
РЕФРИЖЕРАТОРІВ**

Спеціальність 05.08.05 - Суднові енергетичні установки

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

Миколаїв 2001

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Українському державному морському технічному університеті
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник к.т.н , проф. Шостак В.П. - Український
державний морський технічний університет, професор
кафедри

Офіційні опоненти:

д.т.н , проф, Івановський В.Г. - Одеський державний морський університет,
завідувач кафедрою

д.т.н , проф. Ханмамедов С. А. - Одеська державна морська академія,
завідувач кафедрою

Провідна установа: Севастопольський державний технічний університет
Міністерства освіти і науки України, м. Севастополь

Захист відбудеться "21" СІЧНЯ 2002р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої
ради Д 38.060.01 в Українському державному морському технічному університеті за
адресою: м. Миколаїв, вул. Героїв Сталінграда, 9.
З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці УДМТУ.

Автореферат розісланий «12» грудня 2001 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої
ради д.т.н., професор


В.Ф.Квасницький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Основна частина українського флоту транспортних рефрижераторів (м. Севастополь, ВАР "Югрефтрансфлот") побудована на Миколаївському ДП "Суднобудівний завод імені 61 комунара". Більшість суден має вік більше 20 років, у зв'язку з чим постає питання про списання суден і поповнення флоту новими транспортними рефрижераторами (ТР).

У сучасних умовах особливого значення набуває гранично можлива конкурентоспроможність нових ТР, що забезпечується оптимальними тактико-технічними характеристиками, які визначаються на стадії проектування або модернізації проектів серійних суден, що будуються. Важливу роль при цьому відіграють характеристики пропульсивного комплексу і, в першу чергу, робочі оптимізовані параметри головного двигуна (ГД), як правило, малообертового дизеля (МОД).

Однак визначення раціональних значень цих параметрів є слабо вивченим питанням, а сама процедура такого визначення носить по суті вольовий характер, що не відповідає сучасним можливостям науки і техніки.

Актуальність теми. Наукове вирішення задачі визначення раціональних параметрів ГД, що базується на досягненнях у математичному моделюванні складних технічних систем, зокрема судових енергетичних установок (СЕУ), з використанням узагальненої статистичної інформації, що відбиває сучасне положення на світовому ринку виробництва суден, судового енергетичного обладнання і морських транспортних послуг, дозволить озброїти проєктантів ТР такими відомостями, які будуть сприяти підвищенню ефективності та конкурентоспроможності новопобудованих рефрижераторів. Дослідження в цій області сприятимуть збагаченню теорії і практики судової енергетики, що знизить, врешті, собівартість морських перевезень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота включає в себе розробки, виконані відповідно до плану НДР УДМТУ Міністерства освіти і науки України з тем №ДР0196U025004 "Дослідження взаємозв'язку і вибору характеристик, СЕУ і судна на початкових стадіях проектування транспортних суден", № ДР0196U025018 "Розробка методологічних принципів оптимізації СЕУ і мінімізації рейсових витрат палива", з програмою ВАР "Югрефтрансфлот" щодо поповнення транспортними рефрижераторами СП "Лавинія - Югрефтрансфлот" відповідно до постанови кабінету Міністрів України № 467 від 20 травня 1997 року.

Мета і задачі дослідження. Метою цієї дисертаційної роботи є підвищення ефективності дизельних установок транспортних рефрижераторів шляхом визначення при проектуванні раціональних специфікаційної потужності і положення точки оптимізації головного малообертового двигуна.

У процесі дослідження вирішувалися такі основні задачі:

аналіз способів розв'язання оптимізаційних задач судової енергетики і розробка загальної методики проведення дисертаційного дослідження;

вибір критеріїв порівняльної ефективності СЕУ з альтернативними МОД, що розрізняються специфікаційною потужністю і положенням точки оптимізації;

розробка укрупненої математичної моделі критерію;

збір, аналіз та узагальнення вхідної інформації для визначення критерію;

проведення машинних експериментів (на ЕОМ) для встановлення впливу значень специфікаційної потужності і потужності в точці оптимізації МОД на ефективність судна і витрати палива та для визначення раціональних значень цих потужностей;

розробка рекомендацій щодо значень оптимізованих робочих параметрів МОД при проектуванні та експлуатації пропульсивних комплексів транспортних рефрижераторів.

Об'єктом дослідження є підвищення ефективності енергетичних установок (ЕУ) транспортних рефрижераторів з прямою передачею потужності на гвинт, а предметом дослідження - специфікаційна потужність і положення точки оптимізації на полі для тривалої роботи їх ГД.

Для досягнення поставленої в роботі мети використані такі методи дослідження:

метод статистичного моделювання (метод Монте-Карло) з побудовою імітаційних математичних моделей при визначенні законів розподілу навантаження ГД, математичних сподівань витрати палива, приведенного прибутку протягом тривалої експлуатації суден з альтернативними СЕУ;

графоаналітичний метод поєднання поля вибору робочих параметрів, навантажувальної діаграми і гвинтових характеристик МОД при визначенні його ступеня навантаження на режимах повного ходу судна;

метод науково-технічного прогнозування при отриманні узагальнених початкових даних і поданні їх значної частини в імовірно-визначеній формі для знаходження критеріїв порівняльної ефективності альтернативних СЕУ.

Наукова новизна роботи і поданих до захисту отриманих результатів полягає в тому, що вперше, на відміну від існуючих інтуїтивних методів призначення оптимізаційної і специфікаційної потужностей МОД, розроблено і науково обґрунтовано метод визначення оптимальних значень цих потужностей, які забезпечують підвищення ефективності суднових дизельних установок, при цьому:

вперше формалізована функція рейсових витрат палива за тривалий термін експлуатації судна, досліджена стосовно ТР її поведінка і показано, що діапазон раціональних значень потужності в точці оптимізації МОД відрізняється від рекомендованого фірмою МБД і складає 62...95 % від специфікаційної потужності;

установлено раніше невідомий, неочевидний характер залежності ефективності транспортних суден від дефорсировки сучасних МОД, а саме: зниження їх специфікаційної потужності супроводжуються спочатку деяким (для ТР до 6 %) збільшенням прибутку судна з подальшим різким його падінням;

розроблені, що не мають аналогів, розрахункові методики для визначення експлуатаційних гвинтових характеристик, витрат палива на ГД і приведенного прибутку суден протягом їх нормативного терміну служби, які спільно з відомими методиками дозволяють знаходити оптимальні значення керованих при проектуванні СЕУ потужностних параметрів МОД.

Основне наукове положення, сформульоване автором і подане до захисту, полягає в тому, що одним із шляхів підвищення ефективності дизельних установок є оптимізація потужностних параметрів МОД на підставі математичних моделей з вхідною стохастичною інформацією про умови побудови та експлуатації транспортних суден.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці рекомендацій щодо визначення оптимальних показників потужності малообертових двигунів при установці їх на судно, завдяки чому підвищується конкурентоспроможність транспортних рефрижераторів (ТР). Розроблені математичні моделі і отримані на їх підставі результати використані при формуванні тактико-технічних вимог, що ставляться до нових ТР, якими планується поповнюватися ВАТ "Югрефтрансфлот". Основні результати роботи використовувалися проектною організацією ВАТ "Чорноморсуднопроект" при проектуванні енергетичних установок сучасних транспортних рефрижераторів і впроваджені у ВАТ "Югрефтрансфлот" при замовленні нових суден та у навчальний процес УДМТУ при курсовому та дипломному проектуванні.

Економічна ефективність упровадження дисертаційного дослідження полягає у зниженні витрат на паливо від 0,5 в 4,5 % в залежності від особливостей рейсу і підвищенні прибутку ТР на 2... 5 %.

Основні результати, наведені в дисертації, одержані автором за період з 1991 по 2001 р. У процесі роботи на суднах і в берегових службах ВАТ "Югрефтрансфлот" і під час прикріплення з 1999 по 2001 р. до УДМТУ у якості здобувача.

Особистий внесок здобувача в одержанні наукових результатів полягає в постановці мети, формулюванні задач дослідження, розробці розрахункових методів витрати палива і приведення прибутку, побудові математичних моделей, узагальненні початкових даних для кількісного визначення критеріїв альтернативних СЕУ, аналізі результатів математичного моделювання і розробці рекомендацій для проектування та експлуатації суден. За участю автора розроблена методика для визначення експлуатаційних гвинтових характеристик, виконані розрахунки на ЕОМ, зібрані початкові дані і здійснені натурні випробування на транспортних рефрижераторах. У цих спільних дослідженнях, де особиста з'являється здобувача становить 60 %, брали участь В.І.Гершанік, В.К.Приходько, В.І.Романов і В.П.Шостак, з якими у здобувача є 4 публікації.

Апробація результатів роботи. Матеріали дисертаційної роботи розглядалися і за ними було зроблено доповіді: на конференціях професорсько-викладацького складу УДМТУ (м. Миколаїв, 1999-2001 рр.), на семінарі-презентації дизеля 6S50MC-C у 1999 р. (Росія, м. Брянськ), на семінарі фірми "МАН БіВ Дизель А/С" у 1999 р. (Росія, м. С.-Петербург), на міжнародній науково-практичній конференції по загальному управлінню якістю і навколишнім середовищем у 2001 р. (м. Севастополь).

Публікації. Результати дисертації опубліковані у шести статтях наукових журналів і збірках наукових праць.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5-ти розділів, висновків, списку літератури з 74-х найменувань і додатків. Загальний обсяг роботи - 169 сторінок, у тому числі 144 сторінки основного тексту, 6 сторінок списку літератури, 57 рисунків, 17 таблиць і 3 сторінки додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ присвячений обґрунтуванню вибраної тематики щодо підвищення ефективності дизельних установок транспортних рефрижераторів; у ньому викладаються мета і задачі дослідження, наукова новизна і практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі для постановки мети і основних задач дослідження зроблено огляд літературних джерел з питань підвищення ефективності ЕУ морських транспортних суден, а також з деяких питань вдосконалення пропульсивних якостей суден і системних досліджень у стаціонарній енергетиці. Крім цього, дана загальна характеристика вітчизняних ТР, розглянуте їх проектне призначення і фактичне використання, проведений аналіз розвитку судових МОД провідної фірми "МАН БіВ Дизель А/С" (МБД) та охарактеризовані особливості визначення робочих параметрів МОД при проектуванні СЕУ на сучасному етапі.

Огляд літератури показує, що для більшості морських транспортних суден домінуючим типом СЕУ залишається дизельна з МОД, а їх системні дослідження щодо оптимізації параметрів пов'язані з використанням відомих і визначених значень параметрів корпусу судна і гвинто-кормового комплексу. Такі дослідження, як правило, можуть проводитися відповідно до конкретної групи морських суден.

у складі вітчизняного флоту, окрім інших суден, знаходяться в експлуатації рефрижератори з прямою передачею потужності на гвинт типу "50 років СРСР", "Бухта Руська" і "Фріо Хелленік", які побудовані на Миколаївському ДП "Суднобудівний завод імені 61 комунара". Будівництво двох останніх типів суден здійснюється в теперішній час.

Найбільш широке розповсюдження на суднах отримали МОД фірми МБД. Останньому поколінню цих двигунів (сімейству MC) притаманна висока термодинамічна ефективність, яка практично не змінюється протягом останніх двох десятиріч їхнього виробництва. Разом з тим, ці двигуни мають широкі адаптаційні можливості до конкретних проектів суден та умов їх експлуатації за рахунок дефорсировки по потужності, підбору відповідного

турбокомпресора (ТК) і регулювання газорозподілу; завдяки цьому мінімізуються витрати палива.

Аналіз літературних джерел, особливостей експлуатації ТР, розвитку суднових МОД і визначення робочих параметрів на стадії проектування СЕУ вказує на те, що одним з шляхів створення конкурентоспроможних суден є встановлення на них МОД з раціональними значеннями оптимізованих робочих параметрів. Разом з тим, визначення при проектуванні СЕУ для МОД його специфікаційної потужності N_e^c і потужності в точці оптимізації N_e^o , які суттєво впливають як на перевозоспроможність судна, так і на питомі і рейсові витрати палива, є в значній мірі довільним, вкрай мало вивченим. У цілому можна відзначити, що знаходження оптимальних значень N_e^{opt} і N_e^o , які забезпечують найбільшу ефективність ТР і відповідали б сучасному рівню постановки та розв'язанню оптимізаційних задач судової енергетики, є невирішеним питанням у теорії і практиці СЕУ. У зв'язку з цим сформульовані мета і задачі дослідження.

Другий розділ присвячений розробці укрупненої математичної моделі критеріїв для порівняння альтернативних СЕУ з МОД, що розрізняються N_e^c і $(\text{або}) N_e^o$

Спочатку аналізуються різні методи порівняння технічних альтернатив і для даного дослідження вибирається за основний метод математичного моделювання, що полягає в розробці та реалізації розрахункової моделі, яка складається з аналітичних рівнянь, які, в свою чергу, описують фізичні процеси в елементах СЕУ, пропульсивні параметри судна, його експлуатаційні показники і взаємозв'язки із зовнішніми параметрами, а також складається з вхідних даних в аналітичній, графічній або табличній формах. Потім розроблена загальна методика дослідження, основні етапи якої полягають у виборі критеріїв порівняльної ефективності СЕУ, зібранні й узагальненні початкових даних, частина яких подається у ймовірно-визначеній формі, розробці розрахункового алгоритму та проведенні розрахунків з визначенням математичного сподівання критеріїв. Заключним етапом є аналіз одержаних результатів, формулювання теоретичних висновків і розробка рекомендацій.

Далі в цьому розділі обґрунтовані критерії. За критерій для визначення N_e^{opt} взято витрати палива МОД на режимі повного ходу судна (без обмеження швидкості ходу по безпеці мореплавання)

$$B = \sum_{i=1}^{n_p} B_{pi} ,$$

де n_p – кількість рейсів судна, здійснених протягом нормативного терміну служби;

B_{pi} – витрата палива ГД в i -му рейсі.

Кожному значенню N_e^c будуть відповідати певні проектні швидкості, параметри допоміжного енергетичного обладнання, витрати палива, перевозоспроможність судна тощо. Для визначення N_e^{opt} критерієм приведений до початку експлуатації судна T_0 прибуток, отриманий за нормативного терміну служби T_c , що визначається як

$$\Pi = D - Z,$$

де D – приведений до T_0 надходження від експлуатації судна за час T_c ; Z – до T_0 витрати на будівництво і експлуатацію судна. Подрібнення прибутку на складові дозволило показати критерій у такому вигляді:

$$\Pi = \sum_{i=1}^{n_p} D_i^p (1+E)^{-T_i} - [C_c (1+E)^{-\tau_n} + \sum_{i=1}^{n_p} Z_i^{ГСМ} (1+E)^{-T_i} + \sum_{i=1}^{n_p} Z_i^{ЭК} (1+E)^{-T_i} + 365 \sum_{j=1}^{T_c} c_{p,j} ($$

де D_i^p – надходження (абсолютні) від експлуатації судна в i -му рейсі; дисконту часу; τ_n , T_i , T_j – показники ступеня, що чисельно дорівнюють віддаленості в роках від T_0 витрат на будівництво, надходжень і поточних витрат відповідно в i -му рейсі і в j -му році експлуатації судна; C_c – ціна суцільної (ПММ) і утримання екіпажу; $c_{p,j}$ – середньодобові витрати на обслуговування (ТО) і ремонт протягом j -го року експлуатації.

У кінці другого розділу наведені структурні схеми у математичних моделей для визначення B і Π , на яких вказані входні параметри і основні блоки ядра моделей.

Третій розділ включає в себе різноманітні початкові дані для критеріїв. У ньому наведено відомості, які характеризують умови експлуатації. Наведено основні маршрути для вітчизняних ТР і їх довжина. Із графічним виглядом диференціальні функції розподілу висот хвиль для координатами $10^\circ N \leq \varphi \leq N 30^\circ$ і $30^\circ W \leq \lambda \leq W 50^\circ$ – для Північної Атлантики (жорсткого) ($45^\circ N \leq \varphi \leq N 55^\circ$ і $20^\circ W \leq \lambda \leq W 40^\circ$) і характерного (середнього) плавання. Наведено відомості про тривалість ремонтів, стоянок і нормативний термін служби ТР.

Значна увага приділена зміні пропульсивних характеристик корозії і обростання підводної частини ТР. Відзначається істотне збільшення потужності, що розвивається ГД для підтримання експлуатаційної швидкості.

в міру старіння судна. Так, для ТР типу "50 років СРСР" при швидкості 15 вузлів для нового судна потужність становить 5000, після чотирьох років експлуатації - 6000, після восьми - 6800 і після дванадцяти - 7150 кВт. Також подаються відомості про зміну шорсткості корпусу судна, витрати палива і пропульсивну потужність у залежності від віку судна і часу τ_d , який минув після доковання. Узагальнення цих даних дозволило отримати стохастичну залежність із законом розподілу нормованих значень падіння швидкості ходу внаслідок корозії та обростання корпусу ТР при щорічному докованні протягом терміну служби ($T_c = 25$ років). Ця залежність, поряд з іншими даними, використана для моделювання ступеня навантаження МОД на режимах повного ходу.

Різноманітна інформація зібрана й узагальнена за вартісними показниками. Вона наведена у вигляді питомих показників на різні проміжки часу в період 1998...2000 рр. та індексів зміни цих показників із горизонтом прогнозування до 2025 року. Ці дані подані у ймовірно-визначеній формі; функціональні залежності мають вигляд поля можливих значень, а закони розподілу цих нормованих на одиничному відрізку значень показані у вигляді диференціальних функцій. Це дозволило використати метод Монте-Карло при визначенні математичного сподівання критерію. Отримані питомі показники вартості ТР, МОД, фрахтових ставок, палива і масел, утримання екіпажу, ремонту по корпусній і механічній частинах судна, втратних матеріалів тощо.

При одержанні узагальнених початкових даних для системних досліджень СЕУ керувались основними принципами науково-технічного прогнозування: використовувалися статистичні дані в основному зі сфери проектування, будівництва та експлуатації вітчизняних ТР за останні роки, а прогнозні оцінки базувалися на відомих тенденціях і закономірностях, притаманних об'єктам суднової енергетики і морським транспортним суднам.

Четвертий розділ присвячений побудові математичних моделей для кількісного визначення критеріїв порівняльної ефективності СЕУ з МОД, що відрізняються значеннями N_e^c і N_e^o . Це пов'язано з розробкою окремих розрахункових методик і формуванням узагальненого алгоритму.

Пропульсивні якості суден при експлуатації помітно відрізняються від відповідних їм розрахункових показників, отриманих до умов приймальноздавальних випробувань. Розробка методики для розрахунку експлуатаційних гвинтових характеристик полягає у використанні традиційних

відповідних методик, до яких внесені такі корективи: використовується залежність повного опору руху судна від швидкості ходу, що відповідає експлуатаційним умовам; коефіцієнти побіжного потоку і засмоктування визначаються з урахуванням обростання та корозії підводної частини судна; ККД гребного гвинта визначається за допомогою поправок, що враховують збільшення його шорсткості і качку судна. Повний опір визначається з урахуванням стану підводної частини судна, висоти хвиль трьохвідсоткової забезпеченості, швидкості вітру і її напрямку відповідно до курсу судна за допомогою програмного комплексу розробленого на кафедрі СЕУ УДМТУ і адаптованого до ТР, що розглядаються. При цьому відносні відхилення опору руху суден становили 0,2...4,2 %, швидкості – 0...2,7 % від фактичних. Така висока точність забезпечує необхідні для даного дослідження ступінь адекватності математичних моделей.

У цьому розділі також подана розроблена методика для визначення витрат палива на ГД у режимі повного ходу. При деякому i -му стані експлуатаційно обстановки ця витрата, t , подана як

$$B_i = 10^{-6} L_p N_e^c \left(\frac{\bar{N}_v b_e^v}{v_s^v} + \frac{\bar{N}_\delta b_e^\delta}{v_s^\delta} \right) n_p a_i,$$

де L_p – довжина рейсової лінії, милі; $\bar{N}_v$, $\bar{N}_\delta$ – ступінь навантаження двигуна при русі судна з вантажем та у баласті; b_e^v , b_e^δ – питомі витрати палива, що відповідають $\bar{N}_v$ і $\bar{N}_\delta$, г/(кВт·год); v_s^v , v_s^δ – швидкості ходу судна з вантажем і у баласті, вуз; a_i – частота i -го стану.

Діапазон навантажень ГД $\bar{N}_{\min} \dots \bar{N}_{\max}$ визначався при $v_s^v = \text{idem}$ і $v_s^\delta = \text{idem}$ (умови тайм-чартера) графоаналітичним методом шляхом суміщення навантажувальної діаграми і гвинтових характеристик МОД.

Методом імітаційного моделювання висот хвиль і різного впливу обростання й корозії підводної частини судна на зміну швидкості руху відповідними розрахунками отримані закони розподілу значень навантаження ГД. Для ТР типу "Фріо Хелленік" вони показані на рис.1, де $\xi_N = (\bar{N} - \bar{N}_{\min}) / (\bar{N}_{\max} - \bar{N}_{\min})$. Згідно з цими законами визначаються величини a_i , $\bar{N}_v$ і $\bar{N}_\delta$.

Для визначення кількості рейсів, здійснених судном за період T_c без обмежень по безпеці мореплавання із-за слеммінгу, розгону гвинтів тощо отримане рівняння

$$n_p = 365 \cdot 24 T_c \gamma \left(1 - \frac{t_p}{365} \right) / \left(\sum_{i=1}^{\omega} a_i \tau_{pi} \right),$$

де γ – імовірність роботи судна без означених обмежень; t_p – середньорічна тривалість ремонтів з виводом судна з навігації, доб.; ω – кількість інтервалів, на які розбивається у розрахунках діапазон $\bar{N}_{\min} \dots \bar{N}_{\max}$ (рекомендується $\omega = 10$); τ_{pi} – тривалість i -го рейсу, год.

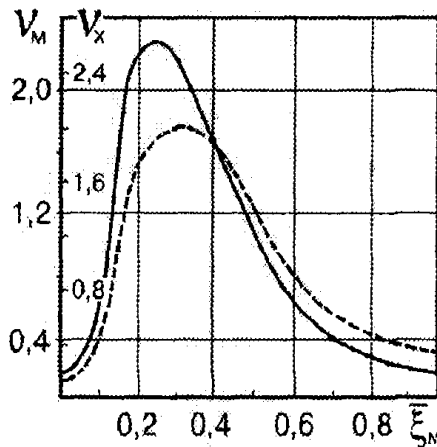


Рис. 1. Диференціальна функція розподілу нормованих значень ступеня навантаження МОД для ТР типу "Фріо Хелленік":
 — м'який район плавання (v_M);
 - - - - - характерний район плавання (v_M)

Далі в цьому розділі розроблена методика для визначення приведенного прибутку. Для обчислень приведенного прибутку, дол., одержано рівняння

$$D = P_v c_\phi \sum_{i=1}^{n_p} [\eta_{vi} i_{\phi i} (1 + E)^{-T}]_i$$

де P_v – вантажопідйомність судна, т; c_ϕ – фрахтова ставка на момент часу T_v , дол./т; η_{vi} , $i_{\phi i}$ – відповідно коефіцієнт використання вантажопідйомності та індекс зміни фрахтової ставки в i -му рейсі.

Ціна базового судна, долл., з базовою СЕУ визначається таким чином:

$$C_c^6 = i_c c_c^6 D_n,$$

де i_c – індекс зміни цін в суднобудуванні; c_c^6 – питома ціна ТР, дол./т; D_n – водотоннажність судна порожнем, т. Для визначення ціни судна з альтернативною СЕУ одержані рівняння, що враховують зміни характеристик енергетичного обладнання відносно до базової СЕУ.

Витрати на ПММ в i -му рейсі подані в залежності від цін на важке й легке паливо і циліндрове та циркуляційне масло з урахуванням індексу зміни цін на ПММ. Аналогічну структуру мають і витрати на утримання екіпажу.

Розрахункове рівняння для середньодобових витрат, дол./доб., на ТО і ремонти для базової СЕУ з номінальною (N_n^6) та відносною специфікаційною ($\bar{N}_c$) потужностями ГД має вигляд

$$C_{pi}^6 = \left\{ [(c_{p,k} + c_m) \beta_i + c_i] D + c_{p,m}^6 \beta_i N_n^6 (0,7 + 0,32 \bar{N}_c) + 3_{o.m} \right\} i_{pi},$$

де $\pi_{p.k}, \pi_m, \pi_i$ – питомі середньодобові експлуатаційні витрати відповідно на ремонт по корпусній частині, на матеріали і на інші витрати, дол./($t \cdot \text{доб.}$); $\beta_j, i_{p,j}$ – відповідно відносні витрати на судноремонт та індекс зміни цін на j -му році експлуатації; $\pi_{p.m}^b$ – питомі середньодобові витрати на ремонт по механічній частині для судна з базовою СЕУ, дол./($\text{кВт} \cdot \text{доб.}$); $z_{o.m}$ – середньодобові витрати на охорону праці тощо. Для альтернативної СЕУ знаходиться відповідне значення $\pi_{p.m}$.

Описані вище методики покладені в основу математичних моделей. Для розрахунку витрати палива B сформовано узагальнений алгоритм і побудовано математичну модель, структурна схема якої показана на рис.2. На ньому штриховими лініями показані блоки ГАО-1, 2 і 3, у яких визначаються величини графоаналітичним методом. Побудована також математична модель для системних досліджень альтернативних СЕУ з МОД, що розрізняються N_e^c стосовно зазначених вище ТР. Структура цієї моделі подібна до попередньої, але більш розгалужена.

П'ятий розділ присвячений визначенню оптимальних значень основних робочих параметрів МОД шляхом реалізації побудованих математичних моделей. Спочатку встановлено вплив положення точки оптимізації МОД на його термодинамічну ефективність. За номограмами фірми МБД здійснені розрахунки і побудовані залежності $b_e = f(\bar{N})$, де $\bar{N}$ – ступінь навантаження МОД відносно до N_e^c для різних значень потужності $\bar{N}_o = N_e^o / N_e^c$ у точці оптимізації двигуна на гвинтовій характеристиці.

Положення цієї точки істотно впливає на b_e . Так, зокрема, зменшення $\bar{N}_o$ від 1 до 0,6 при $\bar{N} = 50 \%$ дозволяє знизити b_e на 12 г/(кВт·год).

За допомогою моделі для мінімізації витрат палива одержано залежність цих витрат від положення точки оптимізації МОД при $T_c = 25$ років і $L_p = 4 \dots 10$ тис. миль. Кожному значенню $\bar{N}_o$ відповідає певна витрата палива B . Різниця у витратах палива при $\bar{N}_o = 1$ і будь-яких інших значеннях $\bar{N}_o < 1$ являє собою економію палива ΔB за час T_c завдяки зміщенню оптимізаційної потужності від специфікаційної.

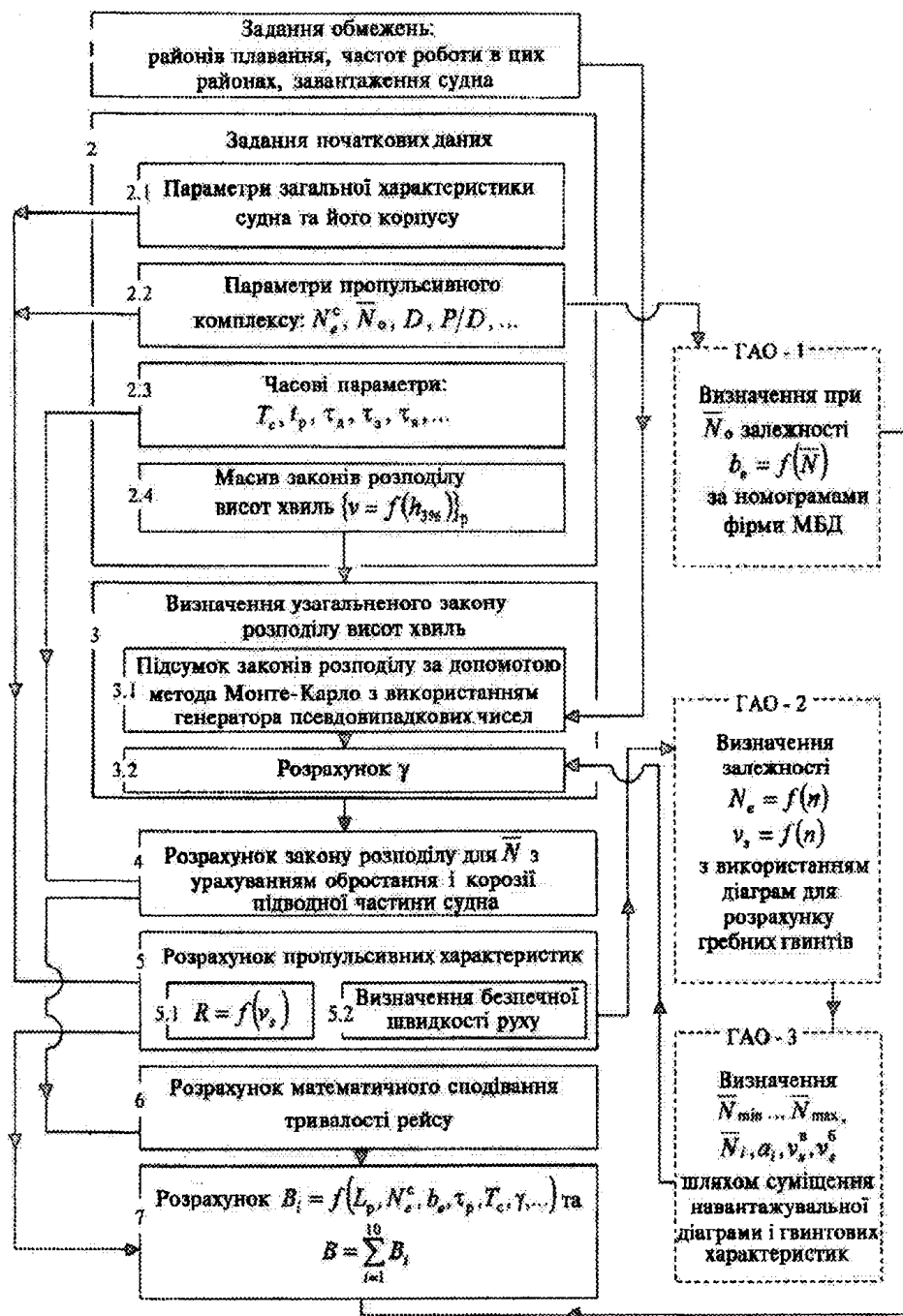


Рис.2. Структурна схема математичної моделі для визначення витрати палива на МОД у режимах повного ходу транспортного судна

Положення точки оптимізації впливає неоднаково на B у різноманітних районах плавання і на рейсових лініях різної довжини. Разом з тим функція $\Delta B = f(\bar{N}_o)$ має чітко виражений, єдиний екстремум, який переміщується в бік більших значень $\bar{N}_o$ при роботі судна в більш жорстких гідрометеорологічних умовах.

На рис.3, як приклад, наведена зміна економії палива від положення точки оптимізації ГД 7L60MC для ТР типу "Фріо Хелленік". Як бачимо, значення $\bar{N}_o^{opt}$ суттєво залежать від довжини рейсової лінії і районів плавання.

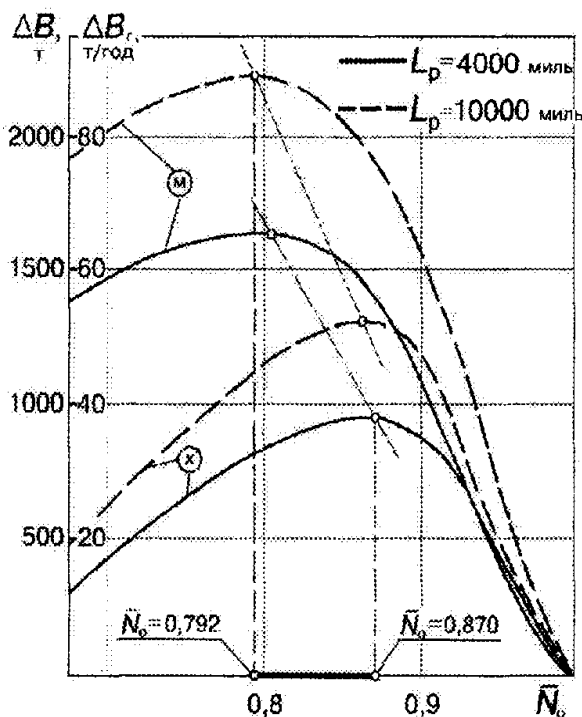


Рис.3. Економія палива в залежності від положення точки оптимізації двигуна 7L60MC ТР типу "Фріо Хелленік" для м'якого (м) і характерного (х) районів плавання

Розрахунки охоплювали широкий діапазон можливих експлуатаційних ситуацій і дозволили встановити, що відносно до ТР діапазон вибору $\bar{N}_o^{opt}$ відрізняється від рекомендованого фірмою МБД (0,85...1) і становить 0,62...0,95; крім того $\bar{N}_o^{opt} \neq 1$. При високих фрахтових ставках, тобто при перевезенні винятково рефрижераторних вантажів, раціональне положення точки оптимізації відповідає діапазону $\bar{N}_o^{opt} = 0,86...0,92$. При зниженні фрахтових ставок, зумовлених як кон'юктурою ринку транспортних послуг, так і перевезенням попутних (нерефрижераторних) вантажів, економічно доцільна швидкість руху падає, і $\bar{N}_o^{opt}$ переміщується в область менших значень; у цьому випадку $\bar{N}_o^{opt} = 0,62...0,79$.

Для альтернативних СЕУ з МОД, що розрізняються специфікаційною потужністю або маркою двигуна, використовувалися однакові графік побудови і експлуатації суден з щорічним докованням і структура рейсу при наступних детермінованих початкових даних: $T_c = 25$ років, $T_0 = 2000$ (дата 01.01.2000 р.),

$E = 0,1$, тривалість стоянки при завантаженні $\tau_z = 10$ і вивантаженні $\tau_v = 5$ діб., $L_p = 2, 4, 6$ і 8 тис. миль; район плавання – м'який або характерний.

До основних ймовірно-визначених початкових даних віднесені: частки легкого палива, що використовується в ГД і дизель-генераторах; вартісні показники та індекси зміни цін; падіння швидкості ходу від корозії та обростання корпусу судна; відносна зміна ККД гвинта і висота хвиль трьохвідсоткової забезпеченості. Відповідно до ТР типу "Бухта Руська" розглядалися СЕУ з двигунами 6L42MC, 6L50MC і 7L42MC, а до "Фріо Хелленік" – 6L60MC, 7L60MC і 8S50MC-C і гвинтами відповідного діаметру D і кроку P .

Ступінь дефорсировки двигуна $\bar{N}_c$, що є відношенням специфікаційної потужності до номінальної, змінювалась від 0,7 до 1.

За результатами реалізації імітаційної математичної моделі одержана залежність $\Pi = f(\bar{N}_c)$ для альтернативних СЕУ. На рис.4 за приклад подано відносний приведенний прибуток (по відношенню до приведенного прибутку судна при $\bar{N}_c = 1$) ТР типу "Фріо Хелленік" у залежності від дефорсировки двигуна

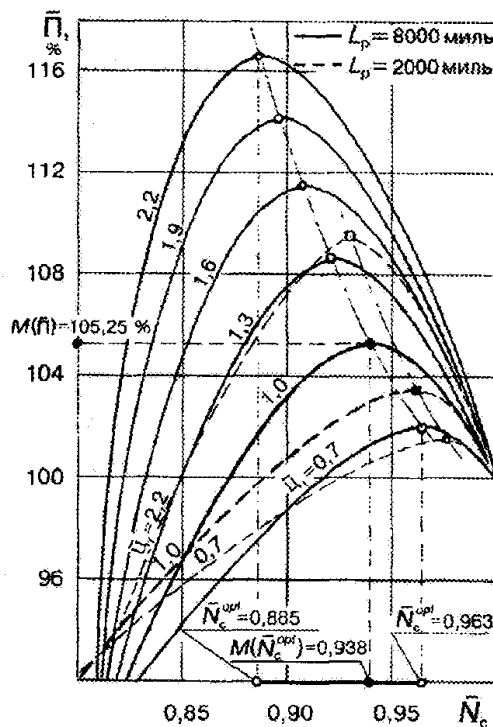


Рис.4. Залежність відносного прибутку ТР типу "Фріо Хелленік" від ступеня навантаження МОД 7L60MC при різних цінах на паливо

7L60MC при різних цінах на паливо:

$\bar{\Pi}_T = \Pi_T / \Pi_T^*$, де Π_T – варійоване значення ціни, а Π_T^* – значення ціни на 01.01.2000.

При відношенні, що склалося на цей час, величини фрахтової ставки і цін на ПММ математичне сподівання оптимального ступеня дефорсировки двигуна 6L50MC ТР типу "Бухта Руська" при $L_p = 6$ тис. миль становить $M(\bar{N}_c^{opt}) = 0,963$, прибуток відносно до $\bar{N}_c = 1$ більший на 2,47 %, що відповідає приведеному прибутку 370 тис. дол.

Більш істотний вплив на ефективність роботи судна має дефорсировка двигуна відповідно до швидкісного ТР типу "Фріо Хелленік". Це пояснюється тим, що для цього значно більшого судна пізніше, ніж для

ТР типу "Бухта Руська", спрацьовують обмеження по безпеці мореплавання; для нього ширше поле можливих гвинтових характеристик і паливна складова в експлуатаційних витратах більша.

У цьому випадку (рис.4): $\bar{N}_c^{opt}=0,885...0,963$, математичні сподівання $M(\bar{N}_c^{opt})=0,938$, $M(\bar{P})=105,25\%$ і $M(P)=1230$ тис. дол. Зі зменшенням L_p величина $\bar{N}_c^{opt}$ переміщується в область більших значень, оскільки знижується частка витрат на паливо; при $L_p=2$ тис. миль $M(\bar{N}_c^{opt})=0,962$.

При реально можливих значеннях початкових даних, які характеризують умови побудови і експлуатації ТР, $\bar{N}_c^{opt} \neq 1$, а функція $\bar{P} = f(\bar{N}_c)$ має екстремум, що визначає оптимальний ступінь дефорсировки МОД: $\bar{N}_c^{opt} = 0,92...0,95$. Для ТР у загальному випадку виявляється економічно доцільним збільшувати номінальну (встановлену) потужність ГД на 5...15 %.

Таким чином, на підставі матеріалів у розділах 3, 4 і 5 можна констатувати, що поставлені задачі дослідження повністю вирішені, а рекомендації для проектування СЕУ сприяють підвищенню ефективності дизельних установок ТР. Достовірність отриманих у дисертації результатів забезпечена:

розробкою адекватних математичних моделей, у яких враховується значна кількість суттєвих експлуатаційних чинників, що впливають на пропульсивні якості суден і витрати палива, і використовується початкова інформація, основна частина якої отримана зі сфери, проектування, побудови й експлуатації вітчизняних ТР;

застосуванням об'єктивних критеріїв порівняльної ефективності альтернативних СЕУ і обчисленням їх математичних сподівань;

визначенням ступеня навантаження ГД по розрахункових експлуатаційних (а не теоретичних) гвинтових характеристиках на основі фізичних імовірностей висот хвиль у характерних районах плавання і системних імовірностей падіння швидкості ходу внаслідок корозії та обростання підводної частини судна.

Висновки

У дисертації наведене нове вирішення наукової задачі, що виявляється в розробці метода визначення максимальної ефективності суднових дизельних установок з прямою передачею потужності на гвинт, яка забезпечується раціональними значеннями оптимізованих робочих параметрів головного двигуна на стадії їх проектування.

1. Одним із способів підвищення ефективності транспортних рефрижераторів є зниження витрати палива на головний двигун завдяки його оптимальній дефорсировці по потужності та використанню відповідних до раціонального положення точки оптимізації турбокомпресора та газорозподілу. Однак широкі адаптаційні можливості двигунів провідної фірми "МАН БіВ Дизель А/С" сімейства МС до конкретних проектів суден не отримали практичної реалізації і на теперішній час. Це пояснюється відсутністю теоретичних і практичних розробок з цього питання.

2. Актуальними є системні дослідження альтернативних СЕУ з прямою передачею потужності на гвинт на підставі побудованих математичних моделей для визначення раціональних діапазонів специфікаційної потужності і потужності у точці оптимізації на експлуатаційній гвинтовій характеристиці головного двигуна.

3. Виходячи з суті викладеної проблеми і мети дисертаційної роботи вирішені такі основні задачі:

вибрані і формалізовані критерії порівняльної ефективності альтернативних СЕУ: витрата палива головним двигуном на режимах повного ходу протягом нормативного терміну служби - для визначення раціонального положення його точки оптимізації, і приведений прибуток за час експлуатації судна - для оптимізації його специфікаційної потужності;

зібрані і узагальнені дані щодо проектування, побудови та експлуатації вітчизняних рефрижераторів і їх енергетичних установок, значна частина яких подана у ймовірно-визначеній формі;

розроблені розрахункові методики, що не мають аналогів, для визначення експлуатаційних гвинтових характеристик малообертових двигунів, їх сумарних витрат палива на режимах повного ходу і приведенного прибутку транспортного рефрижератора протягом його тривалої експлуатації.

I Створені математичні моделі для визначення означених критеріїв дозволяють проводити системні дослідження суднових енергетичних установок рефрижераторів з прямою передачею потужності на гвинт, визначати характер цільових функцій. Ці моделі включають в себе як детерміновані, так і ймовірно-визначені початкові дані.

4. Вперше встановлено характер залежностей математичних сподівань витрати палива і приведенного прибутку відповідно від відносної потужності $\bar{N}_o$ у точці оптимізації і від ступеня дефорсировки $\bar{N}_e$ малообертового двигуна для транспортних рефрижераторів типу "Бухта Руська" і "Фріо Хелленік" за їхній термін служби. Ці залежності мають екстремуми, що визначають оптимальні значення $\bar{N}_o^{opt}$ і $\bar{N}_e^{opt}$.

5. Для вітчизняних рефрижераторів діапазони оптимальних, відповідно до сучасних умов їхньої побудови та експлуатації, значень робочих параметрів

головних двигунів такі: $\bar{N}_s^{opt} = 0,62 \dots 0,95$ - для суден з помірними швидкостями Рі'ху; $\bar{N}_s^{opt} = 0,86 \dots 0,92$ - для швидкісних суден; (менші $\bar{N}_s^{opt} = 0,92 \dots 0,95$ значення відповідають більшим проектним швидкостям ходу).

6. Практичні рекомендації по оптимізованих робочих параметрах малооборотних дизелів для проектування СЕУ вперше науково обґрунтовані й істотно уточнені; це буде сприяти забезпеченню високої конкурентоспроможності транспортних рефрижераторів. Побудовані математичні моделі дають можливість врешті визначати доцільність заміни турбокомпресора і його проточних частин і переналагодження газорозподілу малооборотного двигуна при зміні районів плавання зазначених суден.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кот В.П. Влияние срока эксплуатации судов на расход топлива главной силовой установки рефрижераторов // Рыбное хозяйство Украины. - 2000. - № 5. - С.21-22.
2. Кот В.П. Рациональное положение точки оптимизации малооборотных двигателей транспортных рефрижераторов // Рыбное хозяйство Украины.-2001.-№2.-С.23-24.
3. Кот В.П., Приходько В.К., Шостак В.П. Назначение и использование отечественных транспортных рефрижераторов // Рыбное хозяйство Украины. - 2000.-№6.-С.21-23.
4. Кот В.П., Романов В.И., Шостак В.П. Развитие судовых малооборотных дизелей фирмы "МАН БиВ Дизель А/С" // 36. наук. пр. - Миколаїв: УДМТУ. - 2000. - Вип.5.-С.60-71.
5. Гершаник В.И., Кот В.П., Шостак В.П. Пропульсивные характеристики транспортных рефрижераторов // Рыбное хозяйство Украины. - 2001. - № 1. -С.47-48.
6. Гершаник В.И., Кот В.П., Шостак В.П. Моделирование пропульсивных характеристик транспортных судов // 36. наук. пр. - Миколаїв: УДМТУ. - 2001. -Вип.3.-С.71-83.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві:

[3] - аналіз використання вітчизняних транспортних рефрижераторів; [4] - узагальнення відомостей по дизелям VTBF, K-EF, L-GFCA, MC і MC-C; [5,6] - підготовка вхідної інформації, систематизація обчислювальних даних, формулювання висновків.

Кот В.П. Підвищення ефективності дизельних установок транспортних рефрижераторів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.05 - суднові енергетичні установки. - Український державний морський технічний університет, Миколаїв, 2001.

Вперше вирішена наукова задача по визначенню оптимальних робочих параметрів головних двигунів транспортних рефрижераторів з прямою передачею потужності на гвинт. Це досягнуто шляхом побудови науково обґрунтованих імітаційних математичних моделей для визначення раціональних значень специфікаційної потужності і потужності в точці оптимізації. В основу моделей покладені методики розрахунку критеріїв: витрати палива і приведенного прибутку судна за його термін служби, і статистична інформація зі сфери будівництва та експлуатації вітчизняних суден. У результаті дослідження отримані раніше невідомі співвідношення між означеними потужностями і ефективністю роботи

судна, а також дані рекомендації для проектування судових енергетичних установок щодо раціональних значень цих потужностей,

Ключові слова, судно, система, суднова енергетична установка, малооборотний двигун, потужність, моделювання, оптимізація.

Кот В.П. Повышение эффективности дизельных установок транспортных рефрижераторов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.05 - судовые энергетические установки. - Украинский государственный морской технический университет, Николаев, 2001.

Анализ эксплуатации отечественных транспортных рефрижераторов (ТР), развития судовых малооборотных двигателей (МОД) и определения их рабочих параметров на стадии проектирования СЭУ показывает, что одним из путей создания конкурентоспособных судов является установка на судах МОД с оптимальными значениями рабочих параметров. Вместе с тем, определение при проектировании СЭУ спецификационной мощности N_e^c и мощности в точке оптимизации N_e^o МОД, которые оказывают существенное влияние на провозоспособность судна и расходы топлива, является в известной степени произвольным и слабо изученным.

Диссертационная работа представляет собой системное исследование альтернативных СЭУ с разработкой математических моделей для расчетов расхода топлива главным двигателем и приведенной прибыли ТР в течение длительного периода его эксплуатации. Эти расход B и прибыль Π выступают критериями оптимальных значений соответственно N_e^o и N_e^c . В основу этих моделей положены не имеющие аналогов разработанные расчетные методики для определения эксплуатационных винтовых характеристик, рейсовых расходов топлива и приведенных доходов и затрат, а также собранные и обобщенные исходные данные, значительная часть которых представлена в вероятностно-определенной форме. В качестве основного использован метод статистического моделирования (метод Монте-Карло), что позволило вычислить математические ожидания указанных критериев.

В результате реализации математических моделей получены для ТР типа "Бухта Русская" и "Фрио Хелленик" зависимости $B = f(N_e^o)$ и $\Pi = f(N_e^c)$, экстремумы которых определяют оптимальные значения относительных мощностей $\bar{N}_o^{opt}$ и $\bar{N}_c^{opt}$. На основании исследований рекомендуются для проектирования СЭУ следующие диапазоны оптимальных значений: $\bar{N}_o^{opt} = 62 \dots 95 \%$ и $\bar{N}_c^{opt} = 92 \dots 95 \%$ от максимальной длительной мощности МОД. Достоверность полученных результатов обеспечена применением адекватных критериев сравнительной эффективности СЭУ, учетом многих эксплуатационных факторов и использованием исходных данных в основном из опыта создания и эксплуатации отечественных ТР.

Разработанные методики, обобщенные исходные данные и построенные на их основе математические модели дают возможность на стадии проектирования СЭУ обоснованно назначать спецификационную мощность МОД, подбирать для них необходимый турбокомпрессор и регулировать газораспределение двигателя применительно к конкретному судну и предстоящим условиям эксплуатации.

Ключевые слова, судно, система, судовая энергетическая установка, малооборотный двигатель, мощность, моделирование, оптимизация.

Kot V.P, Efficiency increase of refrigerating ships diesel plants. - Manuscript.

The dissertation on competition for scientific degree of the candidate of engineering science by speciality 05.08.05. - Ship Power Plants. - Ukraine State Maritime Engineering University, Nikolaev, 2001.

The scientific problem concerning determining the optimal operational characteristics for main engines of refrigerating ships with direct-driven propellers has for the first time been solved. It has been achieved by constructing a set of proper imitational mathematical models for determining the rational values of specification and die optimization point outputs. The models are based on the methods of the following criteria calculation: fuel consumption and reduced profit for the period of ship operation. The statistical data from the domestic ship building and operation were used as well. The ratios between the outputs mentioned and ship efficiency which had not been known before have been obtained. The recommendations for designing marine power plants according to these output rational values are presented.

Key words, ship, system, marine power plant, low-speed engine, output, modeling, optimization.