

Міністерство освіти і науки України
(МОН України)

Національний університет "Одеська морська академія"
(НУ "ОМА")



БЕРЕСТОВОЙ ІВАН ОЛЕГОВИЧ

УДК 621.436.1 (621.431.74)

**ВИБІР СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ ШЛЯХОМ СИНТЕЗУ ЙОГО
КОНСТРУКТИВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ЕНЕРГЕТИЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ**

05.05.03 - двигуни та енергетичні установки

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 2016

Дисертацією є рукописом.

Робота виконана в Національному університеті "Одеська морська академія" Міністерства освіти і науки України, м Одеса

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Литвиненко Володимир Петрович,
Азовський морський інститут Національного університету "Одеська морська академія", Міністерства освіти і науки України, м. Маріуполь, завідувач кафедри експлуатації судових енергетичних установок

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тимошевський Борис Георгійович,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Міністерства освіти і науки України, м. Миколаїв, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння

кандидат технічних наук, доцент
Білоусов Євген Вікторович,
Херсонська державна морська академія, Міністерства освіти і науки України, декан факультету суднової енергетики, доцент кафедри експлуатації судових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки

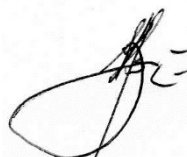
Захист відбудеться 30 березня 2016 року о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті "Одеська морська академія" за адресою: вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зал засідань вченої ради, м. Одеса, 65029.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету "Одеська морська академія" за адресою: вул. Дідріхсона, 8, корп. 2, м. Одеса та за електронною адресою:

http://onma.edu.ua/index.php/quater_ua.

Автореферат розісланий 26 лютого 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор



В.В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасних умовах розвитку морського транспорту України і її входження у світові транспортні системи при побудові суден або їх розмірної модернізації актуальними є питання вибору головного й допоміжного дизелів, які відповідають експлуатаційним умовам роботи морських суден, при забезпеченні раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів з урахуванням вимог до захисту навколишнього середовища.

Проблема вибору дизеля пов'язана з рішенням задачі оптимізації при багатьох критеріях: економічних, масогабаритних, енергетичних і екологічних.

На сьогодні, вибір дизеля проводиться зіставленням декількох дизелів із групи однотипних за ознакою пристосованості їх до судна й умов експлуатації, з урахуванням потужності (як базового критерію), числа обертів, масогабаритних показників і питомої витрати палива. При цьому вибір, в основному, здійснюється для номінального режиму роботи, як найбільш ефективного протягом необмеженого часу, а також ураховує вимоги до захисту навколишнього середовища. Остаточний вибір здійснюється із урахуванням техніко-економічної оцінки кожного з дизелів.

Основні недоліки такого підходу: ускладнюється техніко-економічний аналіз вибору дизеля, у зв'язку зі складністю рішення багатокритеріальної задачі з взаємозалежними, різнобічними критеріями іноді суперечливими й не сумісними один з одним. Крім того, перед початком вибору дизеля потрібен моніторинг знову створених дизелів, з урахуванням таких показників як: питома витрата палива, циліндрова потужність, кількість обертів колінчатого вала, питомі викиди азоту, хід поршня, діаметр циліндра й питома маса дизеля.

Рішення багатокритеріальної задачі можливе при коректному завданні значень критеріїв та визначенні їх значимості (ваги) й наявності даних про взаємозв'язки між показниками дизеля.

Для усунення вище наведених недоліків вибору головного й допоміжного дизелів для судна з урахуванням підвищення ефективності комплексного використання паливно-енергетичних ресурсів, актуальним науково-практичним завданням є аналіз і розробка взаємозв'язків між економічними, енергетичними, екологічними і масогабаритними показниками роботи дизеля, з огляду на те, що при виборі дизеля в основному приймають такі показники як: питома витрата палива, циліндрова потужність, кількість обертів колінчатого вала, питомі викиди азоту, хід поршня, діаметр циліндра й питома маса дизеля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертації відповідає: пунктам 3 та 4 статті 3 Закону України від 11.07.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»; постанові Кабінету Міністрів України від 07.10.2009 р. № 1307 «Про затвердження Морської доктрини України на період до 2035 року»; розпорядженню Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р. № 2174-р «Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року» і планами науково-дослідних робіт НУ «ОМА». Окремі результати наукових досліджень використовувались у держбюджетних науково-дослідних роботах зі збереження енергетичних

ресурсів (№№ ДР 0112U000497 і ДР 0111U001776), а також в навчальному процесі (акт АМІ ОНМА від 05.06.2015).

Мета й завдання досліджень – розробити метод вибору дизеля для морського судна з кінцевої безлічі дизелів різних серій і модифікацій, при якому одночасно може вироблятися технічна й економічна оцінки дизеля, на основі єдиного показника, який взаємно пов'язує основні показники, прийняті при виборі дизельних двигунів, на відміну від існуючого методу, в якому на основі багатокритеріальної оцінки спочатку виробляється вибір групи дизелів, що задовольняють технічним вимогам, а потім проводиться економічна оцінка кожного дизеля.

В основу досліджень покладена **гіпотеза** про можливість встановлення взаємозв'язків між технічними, економічними, масогабаритними й екологічними показниками дизелів, з урахуванням того, що при виборі дизеля приймають такі показники: циліндрову потужність, середній ефективний тиск, питома витрата палива, кількість обертів колінчатого вала, питома викиди азоту, хід поршня, діаметр циліндра й питома маса дизеля.

Для досягнення мети й підтвердження наукової гіпотези у дослідженні необхідно вирішити наступні завдання.

Головне завдання – розробка теоретичних основ вибору дизеля з використанням єдиного показника, який взаємно пов'язує масогабаритні, економічні, технічні й екологічні показники дизеля при його підборі, з урахуванням нормативних вимог до конструкції судна й умов його експлуатації, а також підвищення ефективності комплексного використання паливно-енергетичних ресурсів.

Для рішення головного завдання, потрібне рішення наступних **допоміжних завдань**:

- проаналізувати вимоги до показників і параметрів робочого процесу у дизелі при його виборі для морського судна;
- встановити показник, який можна прийняти в якості, що взаємно пов'язує економічні, масогабаритні, енергетичні й екологічні показники дизеля;
- виконати аналіз і визначити вплив основних параметрів, які характеризують дизель, на показник, що взаємно погоджує економічні, масогабаритні, енергетичні й екологічні показники робочого процесу дизеля;
- розробити метод вибору дизеля, який буде забезпечувати раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів при експлуатації судна.

Об'єкт дослідження: процес вибору дизеля для морського судна.

Предмет дослідження: показники дизеля, які використовують при його виборі для морського судна.

Методи дослідження. У роботі використані наступні методи дослідження: дедукції – при огляді стану питання по використанню швидкості згоряння як характеристики роботи дизеля й виборі напрямку дослідження; системного аналізу – при розробці теми, складання загальної методики дисертаційної роботи й підборі ефективного дизеля; багатокритеріальні методи оцінки й синтезу – при дослідженні процесів і об'єктів у системі перетворення енергії; статистичний аналіз і імітаційне моделювання, факторний аналіз – при

побудові прогнозних трендових моделей залежності параметрів роботи дизеля, від об'ємної швидкості згоряння; метод кінцевих різниць – при рішенні диференційних рівнянь теплопровідності в частинних похідних; метод рішення трансцендентних алгебраїчних рівнянь – використаний для знаходження функціонального взаємозв'язку об'ємної швидкості згоряння дизеля й питомої витрати палива, а також при підборі ефективного дизеля для судна; метод ранжирування, за участю особи що приймає рішення – при оцінці елементів системи перетворення енергоносіїв у дизелі для встановлення пріоритетності розвитку з урахуванням закономірностей функціонування й раціональних параметрів об'єктів і технологій; планування експерименту – при експериментальному аналізі зміни «об'ємної швидкості згоряння» дизеля.

Наукова новизна представленої роботи полягає в наступному:

- *вперше* розроблений метод вибору дизеля для судна, з урахуванням оцінки внутрішніх циліндрових процесів на основі показника «об'ємна швидкість згоряння», який взаємозв'язує його економічні, масогабаритні, енергетичні й екологічні показники, що дозволяє підібрати ефективний дизель, адаптований до морського судна й забезпечити раціональне комплексне використання паливно-енергетичних ресурсів з урахуванням вимог до захисту навколишнього середовища.

- *вдосконалено* метод оцінки використання природно-енергетичних ресурсів у процесі перетворення енергії в дизелі, який відрізняється тим, що в його основу покладений облік витрат структурованих за логістичними критеріями, що дозволяє виявити шляхи підвищення ефективності комплексного використання паливно-енергетичних ресурсів.

- *одержав подальший розвиток* метод ранжирування шляхом застосування значень рангів при багатокритеріальній оцінці процесу перетворення енергії в дизелі, які отримані використанням арифметичної або геометричної прогресій з умови, що їхня загальна сума рівняється одиниці, який на відміну від існуючого дозволяє виявити пріоритетність удосконалювання процесів і об'єктів дизеля.

Практична значимість отриманих наукових результатів полягає в наступному:

– запропоновано метод підбору дизеля для морського судна, в основу якого покладено показник «об'ємна швидкість згоряння», котрий визначається відношенням ефективної циліндрової потужності к середньому індикаторному тиску, що дозволяє підібрати ефективний дизель для судна з урахуванням експлуатаційних умов його роботи;

– удосконалено метод оцінки використання природно-енергетичних ресурсів у дизелі на багатокритеріальній основі, що дозволяє виявити пріоритетність удосконалення об'єктів і процесів з урахуванням їх ранжирування, визначити напрямки й резерви ресурсозбереження, а також підвищити ефективність комплексного використання паливно-енергетичних ресурсів;

– реалізація результатів дослідження на реальному дизель-генераторі 4DV-224 потужністю 100 к.с. дозволила збільшити об'ємну швидкість згоряння

на 38,2 % за умови постійної подачі палива та використанні каталізатору палива, що привело до зниження питомої витрати палива на 1,47 л/година на холостих обертах та димності вихлопних газів (акт АМІ ОНМА від 06.05.2013).

Результати досліджень впроваджені:

– на кафедрі експлуатації суднових енергетичних установок Азовського морського інституту при проведенні випробувань каталізатора палива для дизельних двигунів внутрішнього згорання КТ-14Д на відповідність вимогам ТУ В 34.3-31909330.002-2002 (акт від 06.05.2013 р.);

– в навчальному процесі у вигляді залежностей економічних, масогабаритних, енергетичних і екологічних показників робочого процесу дизеля від його геометричних параметрів при підготовці бакалаврів по напрямку 6.070104 «Морський і річковий транспорт» для спеціальності 6.07010402 «Експлуатація суднових енергетичних установок» у курсах дисциплін «Технічна термодинаміка», «Автоматизація суднових енергетичних установок», «Суднові двигуни внутрішнього згорання», «Експлуатаційні режими СЕУ», які викладаються в Азовському морському інституті НУ «ОМА» (акт АМІ ОНМА від 05.06.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні результати досліджень, які виносяться на захист, отримані самостійно. У роботах у співавторстві, Берестовому І.О. належить: [1] – розробка основ логістичного підходу для підвищення ефективності систем перетворення енергоносіїв; [2, 10] – розробка енергетичних показників, які покладені в основу методу структуризації й ранжирування логістичних потоків; [3] – дослідження й реалізація методу оцінки витрат на багатокритеріальній основі; [4] – розробка нової методики розрахунку теплообміну; [5, 11] – постановка завдань, аналіз оцінки внутрішніх циліндрових процесів і їхнього впливу на ефективність роботи дизеля; [6] – структуризація механізмів утворення оксидів азоту і їхній аналіз; [7] – розробка методу вибору двигуна; [8] – розробка моделі упорскування палива; [9] – розробка методу оцінки використання природно-енергетичних ресурсів та розробка основ до структуризації та ранжування логістичних потоків; [12] – постановка завдань, аналіз впливу конструктивних параметрів дизелів на їхню роботу; [13] – розробка моделі регенерації тепла в дизелі й умов її забезпечення.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення й результати роботи доповідалися, обговорювалися й одержали схвалення й позитивний відгук на міжнародних науково-технічних конференціях: «Університетська наука - 2010» (м. Маріуполь, ПДТУ, 2010 р.); «Сучасні тенденції й перспективи розвитку морегосподарського комплексу України» (м. Маріуполь, АМІ ОНМА, 2011 г.); «Університетська наука - 2011» (м. Маріуполь, ПДТУ, 2011 р.); «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (м. Євпаторія, ЕКФ ВНУ ім. В. Даля, 2011р.); «Суднові енергетичні установки: експлуатація й ремонт» (м. Одеса, ОНМА, 2012 р.); «Перспективи розвитку судноплавства в Азовському морі» (м. Маріуполь, АМІ ОНМА, 2012 р.); «Університетська наука - 2012» (м. Маріуполь, ПДТУ, 2012 р.); «Ефективні шляхи розвитку морського транспорту» (м. Маріуполь, АМІ

ОНМА, 2013 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «СЕУТТОО - 2012» (м. Херсон, ХДМА, 2012 р.); регіональних науково-технічних конференціях: «Університет – місту» (м. Маріуполь, ПДТУ, 2006 р., 2007 р.).

Публікації. Основні наукові результати дисертаційного дослідження опубліковані в 13 статтях, у тому числі 9 (2 іноземні публікації) у спеціалізованих збірниках наукових праць, рекомендованих МОН України для публікації результатів дисертаційних досліджень, а також 4 (3 міжнародні) апробаційного характеру.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, додатків і списку використаних літературних джерел з 142 найменувань. Повний обсяг дисертації - 171 стор. у тому числі: 50 рис., 13 табл.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначена актуальність теми дисертації, сформульовані мета й завдання досліджень, відображені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, наведені дані щодо апробації результатів дисертаційної роботи й публікацій.

У **першому розділі** «Аналіз вимог що до вибору дизеля і взаємозв'язок показників його роботи» виконаний аналіз основних вимог до вибору дизеля, загальноприйнятих показників робочого процесу дизеля і їхній взаємозв'язок. Проведено огляд показників ряду дизелів від високооберткових до малооберткових, більше 700 різних модифікацій вітчизняних і закордонних виробників. Визначено, що в ролі критеріїв при виборі дизеля використовують такі параметри: діаметр циліндра, циліндрова потужність, частота обертання, середній ефективний тиск, середня швидкість поршня, хід поршня, питома витрата палива. Встановлено, що вищезазначені параметри дизеля, за своєю структурою виявляються взаємообумовленими, але переважна їхня більшість містить не цілком певний функціональний взаємозв'язок.

На основі огляду наукових досліджень і практичних результатів у роботах Є. К. Мазінга, І. І. Вібе, Я. Б. Зельдовича, М. М. Семенова, Ю. Б. Харитонова, К. Неймана, М. Ф. Разлейцева, Г. І. Козлова, М. Я. Кушуля та ін., встановлено, що одним із параметрів, який взаємопов'язує основні показники роботи дизеля, є швидкість згоряння палива, яка різними дослідниками визначається при різноманітних та специфічних умовах проведення емпіричних досліджень, що приводить до складності визначення швидкості згоряння та безлічі її формулювань, наприклад, лінійна, масова, фундаментальна й ін., тому потрібне застосування найбільш прийнятного й простого показника, у якості якого, на нашу думку, може виступити «об'ємна швидкість згоряння», при цьому визначення її зв'язків з економічними, енергетичними, екологічними параметрами й масогабаритними показниками конструкції дизеля вимагає додаткових досліджень.

У **другому розділі** «Обґрунтування вибору напрямку і методів дослідження» виконане обґрунтування вибору напрямку й методів дослідження, за характерними ознаками – актуальність, наукова новизна,

відповідність основним напрямкам наукової спеціальності й реалізація наукових результатів. Методом експертного оцінювання розроблені й уточнені напрямки дослідження, пов'язані з вибором дизельних двигунів. Базовою основою для цього дослідження виступає статистична обробка технічних параметрів дизелів різних модифікацій, що привела до розробки концепції, яка пов'язана з необхідністю визначення взаємозв'язків економічних, енергетичних, екологічних параметрів й масогабаритних показників конструкції дизеля.

При аналізі робіт, пов'язаних з науковими і практичними дослідженнями швидкості згорання, було відзначено, що її численне визначення пов'язане з проведенням достатньо складних розрахунків в умовах неповних знань про протікання процесів згорання. У зв'язку із цим у дисертаційній роботі в якості взаємозв'язуючого параметра була прийнята «об'ємна швидкість», як швидкість поширення об'єму фронту полум'я та продуктів згорання за одиницю часу в циліндрі дизеля.

Беручи до уваги, що робота поршня (L , Дж), яка чиниться за цикл, є функція від зміни тиску в циліндрі дизеля (P , Па) і обсягу займаного продуктами згорання (V , м³), $L = f(P, V)$ можна записати:

$$L = \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad (1)$$

Приймаючи замість тиску (P) у циліндрі дизеля середній ефективний тиск (P_e , Па), то потужність (N , Вт), яка одержана від згорання палива за проміжок часу (τ , с), рівняється:

$$N = \frac{dL}{d\tau} = \frac{P_e dV}{d\tau} \quad (2)$$

Зробивши перетворення та взяв інтеграл від (2), об'ємна швидкість згорання ($V_{об}$, м³/с) нами визначається як відношення ефективної потужності циліндра (N_e , Вт) до середнього ефективного тиску на номінальному режимі роботи:

$$V_{об} = \frac{N_e}{P_e} \quad (3)$$

В роботі ставилося найбільш загальне завдання – визначення взаємозв'язку показників роботи дизеля, який ґрунтується на розгляді динаміки зміни тепловиділення – $\frac{dQ}{d\tau}$, швидкості наростання тиску – $\frac{dP}{d\varphi}$ і динаміки зміни швидкості згорання – $\frac{dN}{dP}$, що і обумовлює параметричний взаємозв'язок процесів у дизелі. Загальне завдання дослідження формально було представлено в неявній системі співвідношень (4), що відображають безліч значень загальної системи, що описує роботу дизеля $\{\Sigma\}$, аналіз якої дозволить визначити (\Rightarrow) якийсь найбільш загальний, взаємозв'язуючий показник ($\Omega = V_{об}$):

$$\{\Sigma\} \equiv \left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ}{d\tau} = 6n \frac{B_0}{\mu_T V} \cdot \frac{dx}{d\varphi} \\ \frac{dP}{d\varphi} = \left(\frac{k-1}{A \cdot V} \Psi B_0 Q_H^P \frac{dx}{d\varphi} - k \frac{P_H}{V} \frac{dV}{d\varphi} \right) \Rightarrow \Omega, \\ N_e = \xi P_e \cdot F \cdot H \cdot z \cdot n \end{array} \right. \quad (4)$$

де $\frac{dQ}{d\tau}$ – швидкість тепловиділення, Дж/с; $\frac{dP}{d\varphi}$ – швидкість наростання тиску, Па/°п.к.в.; n – число обертів колінчатого вала двигуна, с⁻¹; B_0 – циклова подача палива, кг; μ_T – удавана молекулярна маса палива, г/моль; V – поточне значення обсягу циліндра, м³; $\frac{dx}{d\varphi}$ – інтенсивність вигорання палива, °п.к.в⁻¹; k – показник адіабати; Ψ – коефіцієнт використання теплоти реального процесу; A – термічний еквівалент роботи; Q_H^P – нижча теплота згорання палива, Дж/кг; P_H – тиск на початку процесу; Па; ξ – коефіцієнт пропорційності; z – коефіцієнт тактності; $\frac{dV}{d\varphi}$ – швидкість зміни обсягу, м³/°п.к.в.; F_{Π} – площа поршня, м²; H – поточне значення ходу поршня, м.

Рішення поставленого завдання може бути здійснене при відповідних обмеженнях, що ставляться до швидкості згорання, інтенсивності наростання тиску $\frac{dP}{d\varphi}$ та інтенсивності зміни об'єму. Враховуючи невизначеність параметрів, що входять до системи (4), а також їх неявно виражений взаємозв'язок, у роботі пошук взаємозв'язку показника «об'ємної швидкості згорання» з показниками роботи дизеля здійснювався з використанням методів дедукції, ранжирування, системного аналізу, подоби, синтезу, оптимізації й статистичної обробки параметрів сучасних суднових дизельних двигунів.

Загальний метод дослідження включає наступні завдання:

- теоретичні дослідження роботи дизеля і її оцінки на основі «об'ємної швидкості згорання»;
- експериментальні дослідження взаємозв'язку показників роботи дизеля з «об'ємною швидкістю згорання»;
- експериментальні підтвердження й рекомендації з використання результатів досліджень.

У **третьому розділі** «Теоретичні дослідження роботи дизеля і його оцінки на основі об'ємної швидкості згорання» проведені теоретичні дослідження роботи дизеля і її оцінок на основі об'ємної швидкості згорання. На підставі теоретичних і експериментальних робіт різних авторів щодо дослідження умов сумішоутворення в дизелі і їхнього впливу на «об'ємну швидкість згорання» нами сформульовані емпіричні залежності розрахунку константи випаровування в інтервалі робочих температур у камері згорання для дизпалива й мазуту, і так само запропоновано розрахунок об'ємної швидкості випаровування краплі палива, що дозволяє деталізувати моделі розрахунку робочих процесів у дизелях, з обліком їх конструктивних і експлуатаційних

факторів, завданням частки палива, що впорскується, для кожної зони моделі й динаміки впливів температури, а також виявити вплив цих факторів на об'ємну швидкість згоряння.

Встановлено експериментальну залежність впливу температури й швидкості повітря на константу випаровування мазуту (рис. 1):

$$\frac{1}{K_{исп}^{маз.}} = 0,163 v + 0,0028 T_e - 1,763 ; 650^{\circ}C \leq T_e \leq 2000^{\circ}C, \quad (5)$$

де $K_{исп}^{маз.}$ - константа випаровування мазуту, c/m^2 ; T_e - температура повітря, К.

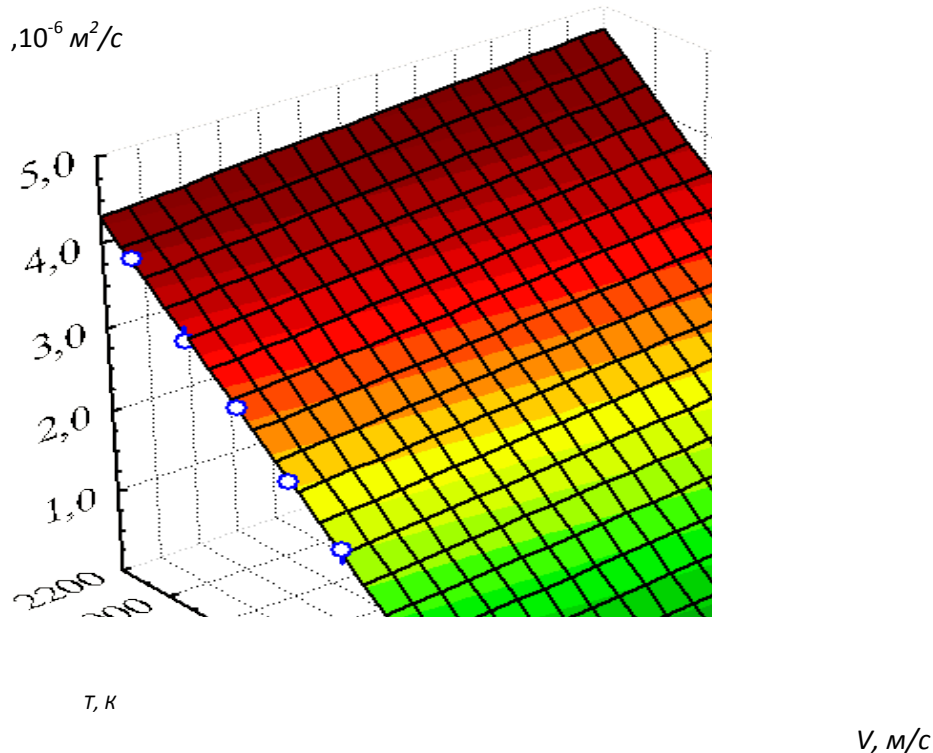


Рис. 1 - Вплив температури та швидкості потоку повітря на константу випаровування мазуту

У ході дослідження встановлено, що на теперішній час конструктивно-технологічні рішення, що використовуються за рахунок збільшення тиску упорскування палива (який в окремих випадках перевищує 1500 бар), який впливає на швидкість руху краплі, а також ступеня стиску, що впливає на температуру повітря, досягли своїх меж і не забезпечують підвищення швидкості випаровування, а як наслідок - «об'ємної швидкості згоряння».

Зроблено висновок, що при забезпеченні оптимального протікання процесів згоряння на сучасному рівні розвитку дизелебудування досконалість умов сумішоутворення в циліндрі можна прийняти за відносно незмінну величину. При цьому вона може не прийматися як фактор, що враховується при встановленні взаємозв'язків між показниками дизеля на основі «об'ємної швидкості згоряння».

В зв'язку з тим, що «об'ємна швидкість згоряння» побічно характеризує швидкість виділення тепла в дизелі, відповідно й щільність теплового потоку на деталі циліндропоршневої групи, то для встановлення впливу масогабаритних характеристик дизеля на «об'ємну швидкість згоряння» був запропонований метод розрахунку температури елементів циліндропоршневої групи дизеля в процесі роботи, який спростив оцінку масогабаритної ефективності дизеля. В основу методу покладено розроблені номограми залежності чисел подоби Біо та Фур'є, температур деталей циліндропоршневої групи на початку й наприкінці процесу їхнього нагрівання й температури нагрівання для термічно «тонкого» тіла при променистому зовнішньому теплообміні. У ході реалізації методу був установлений взаємозв'язок між «об'ємною швидкістю згоряння» і масогабаритними характеристиками дизеля, обумовленими динамікою виділення тепла, щільністю теплового потоку, з урахуванням зміни механічних, теплових навантажень, за умови підтримки надійної роботи дизеля.

Отримані результати розрахунків представлені (рис. 2) емпіричною залежністю питомої ваги дизеля – m_N (кг/кВт) від «об'ємної швидкості згоряння» – $V_{об}$ (м³/с) у вигляді функції $m_N = f(V_{об})$:

$$m = 7,2337 \cdot \ln(V_{об}) + 24,817, \quad R^2 = 0,7465. \quad (6)$$

Дана залежність справедлива для двотактних мало обертових дизелів.

Відзначено, що товщина деталей циліндропоршневої групи сприяє збільшенню температурних напруг, які лімітуються теплофізичними властивостями матеріалів (теплопровідністю й напругою розриву), які застосовані. Таке положення викликане обмеженням товщини деталей циліндропоршневої групи за показниками, які характеризують міцність, з одного боку, і внутрішніми напруженнями з іншого боку.

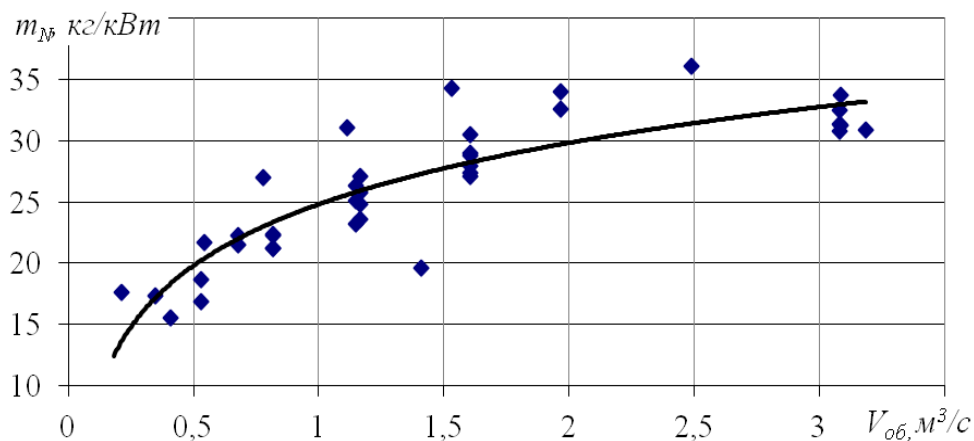


Рис. 2 - Зміна масогабаритних показників дизеля при зміні об'ємної швидкості у двотактних малооборотних дизелів

Відповідно до отриманої трендової характеристики можна відзначити збільшення параметра (m_N), що свідчить про зниження масогабаритної ефективності дизелів, з ростом об'ємної швидкості згоряння ($V_{об}$), по логарифмічній функції.

З огляду на рівень сучасних вимог до аналогічних енергетичних установок, які розглядаються як єдина система, що включає в себе багатофакторні вимоги, пов'язані зі скороченням витрат природних, енергетичних, трудових і сировинних ресурсів, що є джерелом забруднення навколишнього середовища, у роботі враховані питання пов'язані із пріоритетністю вдосконалювання процесів дизеля з позицій ресурсозбереження й ефективності використання палива.

У четвертому розділі «Експериментальні дослідження взаємозв'язку показників роботи дизеля з об'ємною швидкістю згорання» проведені експериментальні дослідження взаємозв'язку показників роботи дизеля з об'ємною швидкістю згорання на основі обробки статистичного ряду параметрів різних модифікацій дизелів, включаючи високообертові, середньообертові та малообертові двигуни, визначенням і використанням функціональних залежностей (7), у тому числі й від ступеня форсування дизеля (f):

$$V_{об} = \varphi(D), B = \varphi(V_{об}, F_{II}), V_{об} = \varphi(P_e), V_{об} = \varphi(n), V_{об} = \varphi(N_e), f = \varphi(D). \quad (7)$$

Зміна середньої об'ємної швидкості згорання, представлено на рис 3 у вигляді функції $V_{об} = \varphi(D)$, для дизелів високообертових, підвищеної оборотності, середньообертових і малообертових. Відзначено, що значення середньої об'ємної швидкості в розглянутій групі дизелів діаметром циліндра менш 0,6 м перебуває в межах 0,012÷0,81 м³/с. При цьому функціональний зв'язок відображається поліномом другого порядку високого ступеня вірогідності апроксимації ($R^2 > 0,85$).

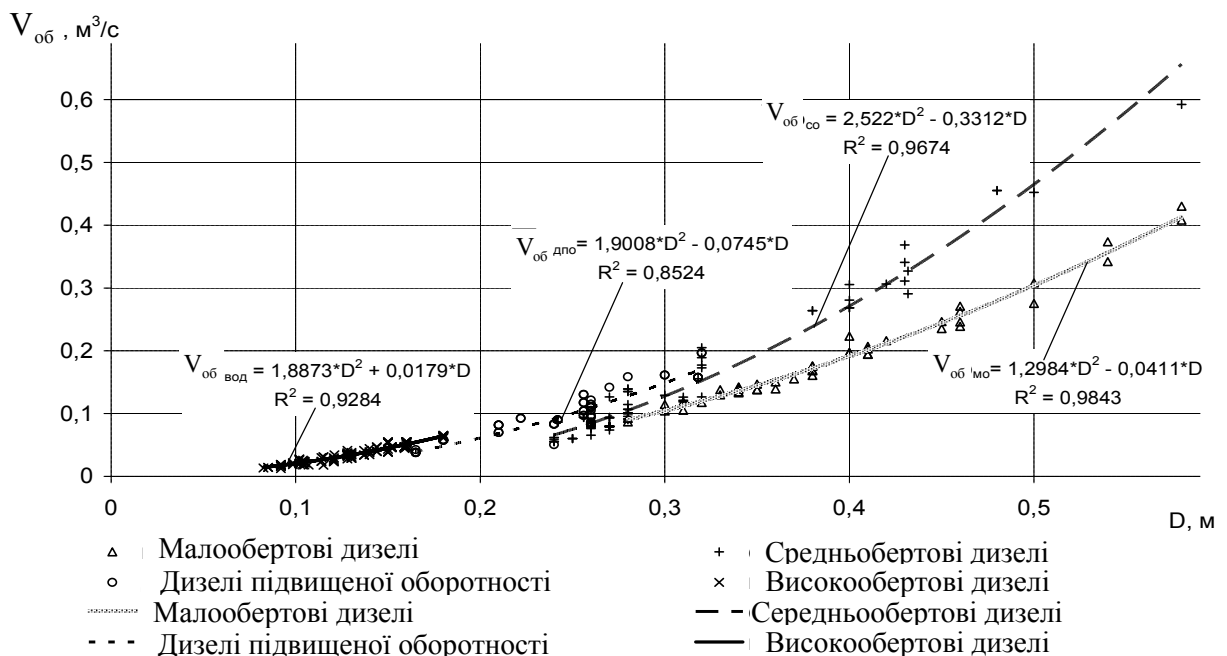


Рис. 3 - Зміна середньої об'ємної швидкості від діаметра циліндра для різних типів дизелів (крапки - практичні значення; криві - розрахункові значення)

Встановлено взаємозалежність між «об'ємною швидкістю згоряння» $V_{об}$, площею поршня \bar{S} (м²) і номінальною питомою витратою палива B (г/кВт·ч) у вигляді емпіричного співвідношення для всіх типів дизелів, отриманого використанням методу перебору корінь, розробкою алгоритму й порівняння розглянутих значень, використанням спеціально розробленої програми в середовищі Delphi, за допомогою мови Object Pascal, і з умови, що $R^2 \rightarrow \min$:

$$B = \frac{152,6}{\left(\frac{3,14 \cdot D^2}{4}\right)^{0,062}} \cdot V_{об}^{0,035} \quad (8)$$

На підставі виразу (8) здійснений розрахунок номінальної питомої витрати палива, що рівнявся з відомими значеннями цього показника, які були отримані з технічних характеристик реальних дизелів і зроблений висновок про коректну порівнянність значень при відхиленні параметрів у межах 6,4 %. Зроблено висновок, що використання «об'ємної швидкості згоряння» як міри, що дозволяє визначити питому витрату палива, спрощує процедуру одержання цього показника на практиці. З огляду на результати дослідження провідних спеціалістів, залежності швидкості згоряння від геометричних характеристик циліндропоршневої групи, зокрема діаметра циліндра, у роботі розглядалася функція $f = \varphi(D)$. У результаті цього були визначені границі поля резерву ступеня форсування залежно від діаметра циліндра, як одного з факторів об'ємної швидкості згоряння. Отримана область резерву для двотактних дизелів, яка наведена на рис. 4.

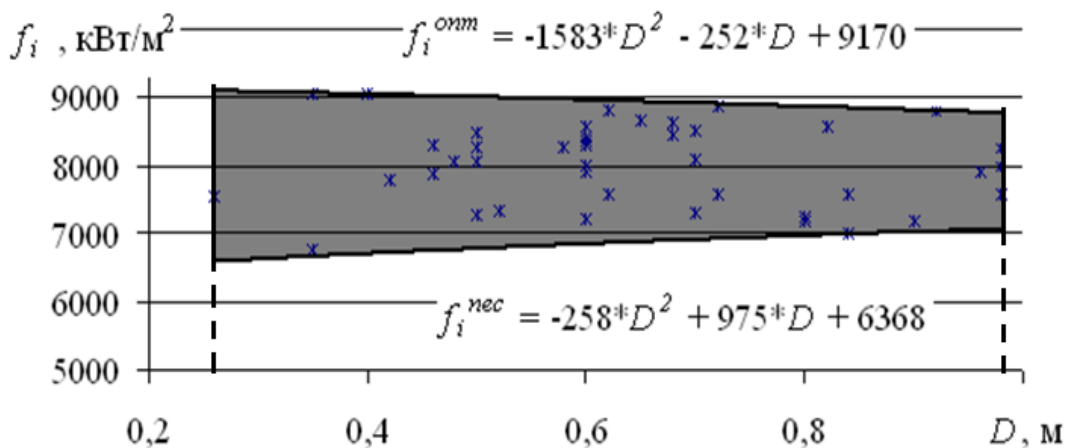


Рис. 4 - Область резерву підвищення ступеня форсування двотактних дизелів певна для номінальних режимах роботи

В результаті аналізу поля резерву (рис. 4), стало можливим виділити коефіцієнт ефективності форсування ($C_{озс}$) у групі двигунів за допомогою співвідношення песимістичної області графіка, обмеженою лінією тренда (9) і віссю абсцис і оптимістичною, обмеженою лінією тренда (10):

$$f_i^{nec} = -258 \cdot D^2 + 975 \cdot D + 6368, \quad (9)$$

$$f_i^{onm} = -1583 \cdot D^2 - 252 \cdot D + 9170. \quad (10)$$

Сумарна ефективність розглянутої групи, з метою одержання характеристики ступеня досконалості групи дизелів по ступені форсування, може бути оцінена співвідношенням у вигляді залежності:

$$C_{озс} = \int_{D_1}^{D_2} \frac{f_i^{nec}(D)}{f_i^{onm}(D)} dD \quad (11)$$

У **п'ятому розділі** «Експериментальні підтвердження і рекомендації щодо використання результатів дисертаційної роботи» виконані експериментальні підтвердження й рекомендації з використання результатів дисертаційної роботи.

Беручи до уваги, що в теорії й на практиці існують тенденції розвитку конструкції двотактних дизелів за рахунок зміни співвідношення між діаметром циліндра й ходом поршня, в роботі розглянуто умови впливу конструкції циліндропоршневої групи на об'ємну швидкість згоряння. У цьому зв'язку розглядалася графоаналітична залежність об'ємної швидкості згоряння $V_{об}$ ($\text{м}^3/\text{с}$) від діаметра циліндра D (м) і співвідношення ходу поршня до діаметра циліндра H/D на номінальних режимах (рис. 5).

У такий спосіб було визначено емпіричний вираз у вигляді:

$$V_{об} = -0,27 + 0,075 \cdot D + 0,076 \cdot (H/D) + 3,4 \cdot D^2 - 0,041 \cdot D \cdot (H/D) - 0,001 \cdot (H/D)^2, R^2 = 0,99. \quad (12)$$

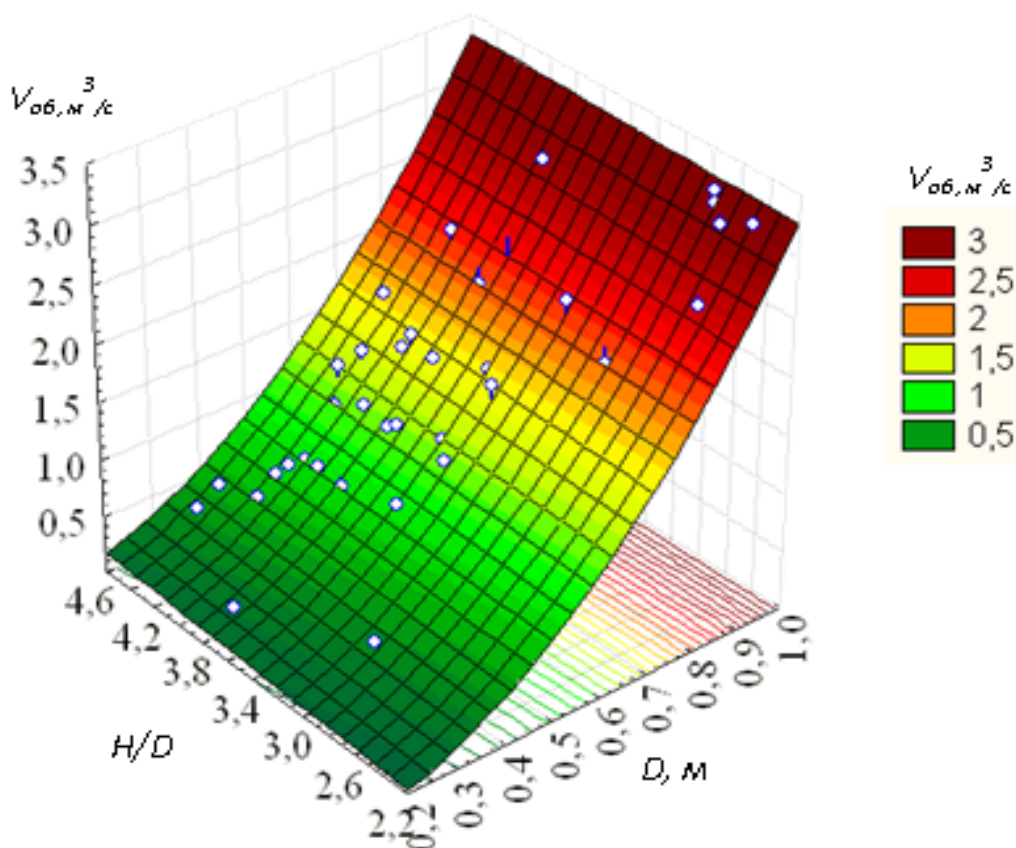


Рис. 5 - Зміна «об'ємної швидкості згоряння» в залежності від діаметра циліндру і співвідношення ходу поршня до діаметра для двохтактних дизелів

Використанням виразу (12) встановлено, що збільшення відносини H/D для двотактних дизелів приводить до порівняно меншого збільшення «об'ємної швидкості згоряння», чим від аналогічного збільшення діаметра. Так при збільшенні відносини H/D удвічі з 2,2 до 4,4 при діаметрі 0,3 м об'ємна швидкість згоряння збільшиться на $0,12 \text{ м}^3/\text{с}$ із $0,19 \text{ м}^3/\text{с}$ до $0,32 \text{ м}^3/\text{с}$, у той же час збільшення діаметра з 0,3 м до 0,6 м, для відношення $H/D = 2,2$ м призведе до збільшення об'ємної швидкості на $0,91 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким чином зміна швидкості згоряння може бути досягнута зміною конструкції дизеля, яка характеризується його масогабаритними параметрами. Наприклад, для досягнення того самого ефекту збільшення об'ємної швидкості на $0,12 \text{ м}^3/\text{с}$ може бути досягнуте за рахунок зміни діаметра циліндра на 0,06 м у порівнянні із дворазовою зміною відносини H/D . З позиції зміни об'ємної швидкості згоряння за рахунок геометричних співвідношень циліндропоршневої групи відзначено, що на номінальну питому витрату палива більший вплив робить діаметр циліндра, у порівнянні зі зміною ходу поршня, про що свідчить співвідношення (8).

Наведені в роботі положення забезпечують формування певних поглядів про можливе регулювання процесів згоряння за рахунок забезпечення їхньої керованості. Так, впливаючи на згоряння, можна пристосувати роботу дизеля до умов навантаження. Важливим моментом тут є пошук шляхів впливу на внутрішні циліндрові процеси, не тільки за рахунок кількісної зміни палива, але й за рахунок якості протікання процесів згоряння. До можливих факторів, що впливають на зміну умов згоряння, можна віднести: вплив електромагнітним полем, використанням ударних хвиль, іонізація й попередня обробка палива, введення присадок, застосування двоступінчатого наддуву, багатоступінчате упорскування, використання каталізаторів різного конструктивного виконання й т.п.

З метою перевірки гіпотези про можливу зміну швидкості згоряння в експлуатаційних умовах були проведені експериментальні дослідження впливу каталітичного фільтра на «об'ємну швидкість згоряння».

Експеримент проводився в умовах лабораторії СДВЗ кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Азовського морського інституту НУ «ОМА» на судовому дизель-генераторі 4DV - 224 (4С17,5/24) потужністю 100 к.с. (73,6 кВт).

Дизель 4DV – 224, який оснащено пристроєм для виміру витрати палива методом мірного бочка (місткістю 0,76 літра), навантажувався генератором постійного струму й блоком опорів, з'єднаних у паралельно-последовну схему з розрахунку навантаження двигуна – N_r , кВт на 25 %, 50 % і 75 % від його номінальної потужності із застосуванням каталізатора й без нього.

Порівняльний аналіз даних, який отримано на позначених режимах, виявив зменшення годинної витрати палива – G_{06} на 1,47 л/годину на холостих обертах. При використанні каталізатора витрата склала 3,85 л/годину, а без нього 5,32 л/годину, що стало свідченням підвищення якості згоряння палива. При навантаженні двигуна зазначений ефект був нівельовано. Отримані результати експерименту підтверджують вплив каталізатора на підвищення

«об'ємної швидкості згоряння», а як наслідок – зменшення питомої витрати палива. Графік зміни питомої витрати палива від потужності на генераторі з каталізатором і без нього представлений на рис. 6.

У процесі експерименту встановлено, що застосування каталізатора дозволило збільшити об'ємну швидкість згоряння на 38,2 %, при постійній подачі палива, що призвело до зниження: питомої витрати палива, жорсткості роботи дизеля та димності вихлопних газів.

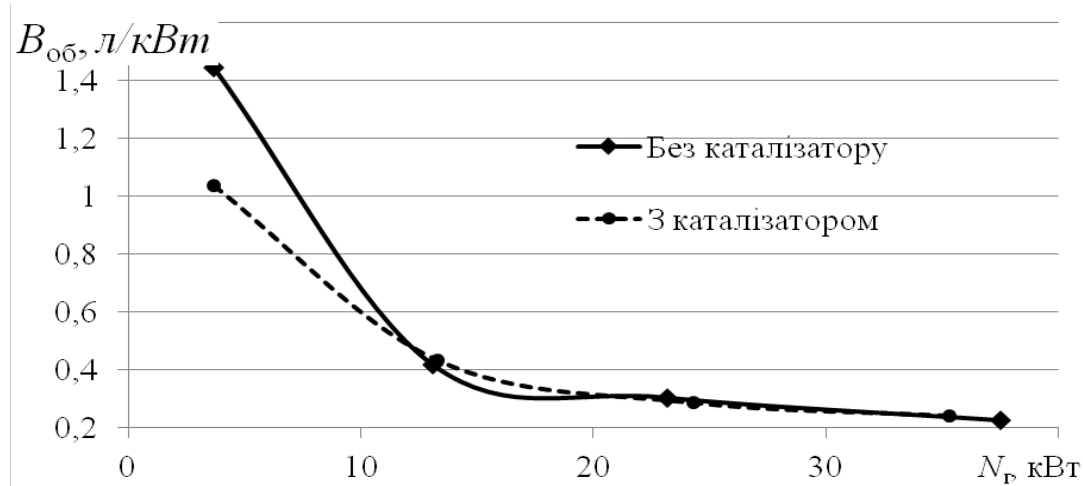


Рис. 6 - Експериментальні дані зміни питомої витрати палива від потужності на генераторі

З урахуванням результатів теоретичних і експериментальних досліджень у роботі розроблений метод підбора ефективного дизеля для судна з урахуванням взаємозалежних економічних, масогабаритних, технічних і екологічних показників, на основі використання показника «об'ємна швидкість згоряння». Підбор дизеля забезпечується рішенням системи рівнянь, яка взаємно погоджує відзначені параметри через «об'ємну швидкість згоряння».

Як приклад у роботі розглядалася система (13) для малооборотових двотактних дизелів:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{об} = 1972,4 \cdot n^{-1,6} \\ V_{об} = 0,00052 \cdot N_e \\ n = 244,33 \cdot H^{-0,968} \\ mN = 7,2337 \cdot \ln(V_{об}) + 24,817 \\ B = \frac{152,6}{\left(\frac{3,14 \cdot D^2}{4}\right)^{0,062}} \cdot V_{об}^{0,035} \\ V_{об} = -0,27 + 0,075 \cdot D + 0,076 \cdot \left(\frac{H}{D}\right) + 3,4 \cdot D^2 - 0,041 \cdot D \cdot \left(\frac{H}{D}\right) - 0,001 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^2 \\ -258 \cdot D^2 + 975 \cdot D + 6368 < \frac{4 \cdot N_e}{3,14 \cdot D^2} < -1583 \cdot D^2 - 252 \cdot D + 9170 \end{array} \right. \quad (13)$$

При цьому в систему (13) можливе введення інших параметрів роботи дизеля, які забезпечать його оцінку або дозволять уточнити вже існуючі рівняння у системі.

Результатом рішення системи (13) є параметри циліндропоршневої групи дизеля, якого треба обрати. Для перевірки «адекватності» отриманих залежностей, які представлені в системі (13), був проведений порівняльний аналіз розрахованих та фактичних характеристик дизеля, що отримані з інструкції дизеля 6S50 MC-C. Результати аналізу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 - Результати розрахунків за розробленим методом та фактичні дані

Характеристика дизеля	Позначення, розмірність	Фактичний	Розрахований	Похибка розрахунку
Об'ємна швидкість згоряння	$V_{об}, \text{м}^3/\text{с}$	0,82	0,85	3,66 %
Діаметр циліндра	$D, \text{м}$	0,5	0,51	2,40 %
Хід поршня	$H, \text{м}$	2	1,965	1,75 %
Циліндрова потужність	$N, \text{кВт}$	1580	1649	4,37 %
Кількість циліндрів	i	6	6	-
Питома вага двигуна	$mN, \text{кг} / \text{кВт}$	22	24	9,09 %
Питома витрата палива	$B, \text{г/кВт}$	171	170	0,58 %
Ступінь форсування	$f_b, \text{кВт/м}^2$	8051	8081	0,37 %

У роботі також було наведено приклад реалізації розробленого методу підбора дизеля для судна на основі «об'ємної швидкості згоряння».

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження містить теоретичне узагальнення й нове рішення науково-практичної задачі вибору дизеля для судна на основі єдиного показника – «об'ємна швидкість згоряння», що визначається відношенням ефективної циліндрової потужності до середнього ефективного тиску на номінальному режимі роботи дизеля й що дозволяє взаємозв'язати технічні, економічні, масогабаритні й екологічні показники дизеля. Найбільш важливим науковим і практичним результатом є метод вибору дизеля для морського судна з кінцевої безлічі дизелів різних серій і модифікацій, при якому одночасно може вироблятися технічна й економічна оцінки дизеля.

У результаті дисертаційних досліджень встановлене наступне.

1. Формування вимог до дизеля при його виборі для установки на морському судні, здійснюється на основі техніко-економічної оцінки з урахуванням умов експлуатації судна, нормативних вимог до конструкції судна, а також міжнародних конвенцій й положень, прийнятих на морському флоті. У якості основних технічних, економічних, масогабаритних і

екологічних показників при виборі дизеля приймають: циліндрову потужність, середній ефективний тиск, питому витрату палива, кількість обертів колінчатого вала, питомі викиди азоту, хід поршня, діаметр циліндра й питому масу дизеля. При цьому критерії до вибору дизеля за цими показниками взаємозалежні різнобічними вимогами, іноді суперечливими й не сумісними один з одним. У результаті – вибір дизеля здійснюється на основі багатокритеріальної задачі, рішення якої має певні складності внаслідок відсутності функціональних взаємозв'язків між основними показниками, які приймають при виборі дизеля.

2. На основі аналізу основних показників роботи дизеля встановлено, що одним із параметрів, що їх пов'язують, – є швидкість згоряння палива, яка різними дослідниками визначається при різноманітних та специфічних умовах проведення емпіричних досліджень, що приводить до складності визначення швидкості згоряння та безлічі її формулювань, наприклад, лінійна, масова, фундаментальна та ін., тому в якості найбільш прийнятної й простого показника, на нашу думку, може виступити «об'ємна швидкість згоряння».

3. При підборі дизеля для нових та модернізованих суден варто брати до уваги, що дизелі, які випускаються, можуть мати при однаковій потужності різні діапазони економічних, масогабаритних, технічних і екологічних параметрів, що є одним з факторів, які ускладнюють вибір дизеля, у зв'язку із чим запропоновано при рішенні цієї проблеми використовувати взаємопов'язуючий показник - «об'ємна швидкість згоряння», у якості якого виступає відношення ефективної циліндрової потужності до середнього ефективного тиску на номінальному режимі роботи дизеля.

4. На підставі експериментальних досліджень статистичного ряду значень основних технічних, економічних, масогабаритних і екологічних показників певної безлічі дизелів установлені трендові моделі взаємозв'язку «об'ємної швидкості згоряння» і основних показників, які використовують при виборі дизеля.

5. Запропоновано метод вибору ефективного дизеля для судна й алгоритм його реалізації, в основу якого покладені трендові моделі взаємозв'язків економічних, масогабаритних, технічних і екологічних параметрів, на основі «об'ємної швидкості згоряння», що дозволяє підібрати дизель, з певної безлічі розглянутих, який відповідає висунутим вимогам.

6. Реалізація розробленого методу вибору дизеля для балкера «Метеора» дедвейтом 58480 т. (ІМО: 9368845, ММСІ: 319653000), на якому встановлений дизель 6S50 MC-C7, дозволяє вибрати дизелі, наприклад RTA48 T-D або S50 ME-B8, з меншими показниками питомої витрати палива в порівнянні із установленим на судні, що скоротило б витрату палива до 2 г/кВт· год, а при перерахунку на номінальну потужність дизеля одержати економію палива до 16,8 кг/ч.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові статті:

1. Берестовой И. О. Методологические основы логистического подхода к структуризации и повышению эффективности систем преобразования энергоносителей [Электронный ресурс] / И. О. Берестовой, А. М. Берестовой, О. А. Хлестова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля. – 2011. – № 5 (159). – Ч. 1. – С. 39 – 44. – Режим доступа 21.10.15: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/VSUNU/2011_5_1/6Berestovoy.pdf.
2. Берестовой И. О. Структуризация и ранжирование логистических потоков в транспортно–технологических процессах промышленных производств [Электронный ресурс] / И. О. Берестовой, О. А. Хлестова, А. А. Лысый // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля. – 2011. – № 5 (159). – Ч. 2. – С. 267 – 272. Режим доступа 21.10.15 : http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/VSUNU/2011_5_2/51Hlestova.pdf.
3. Берестовой И. О. Исследование и оценка затрат природно–сырьевых ресурсов в транспортно–технологических процессах металлургического производства на многокритериальной основе [Электронный ресурс] / И. О. Берестовой, О. А. Хлестова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля. – 2011. – № 11 (165). – Ч. 2. – С. 90 – 95. – Режим доступа 21.10.15 : http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/VSUNU/2011_11_2/015.pdf
4. Берестовой И. О. Метод оценки энергозатрат разогрева – охлаждения твердого тела [Текст] / И. О. Берестовой, Е. А. Капустин // Вісник Приазовського державного технічного університету : серія технічні науки : зб. наукових праць. – Маріуполь : ПДТУ , 2011. – Вип. 22. – С. 151-155.
5. Берестовой И. О. К методу оценки взаимосвязи внутрицилиндровых процессов с эффективностью работы двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс] / И. О. Берестовой, В. П. Литвиненко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля. – 2012. – № 6 (177). – Ч. 1. – С. 216 – 221. – Режим доступа 21.10.15: http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/Soc_Gum/VSUNU/2012_6_1/42Litvinenko.pdf.
6. Берестовой И. О. Теоретические аспекты механизмов образования оксидов азота при сгорании топливовоздушной смеси в судовых дизелях [Текст] / И. О. Берестовой, В. П. Литвиненко, Е. Н. Крючкова // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон : ХДМА. – 2012. – № 2 (7). – С. 102 – 107.
7. Берестовой И. О. Разработка метода выбора двигателя внутреннего сгорания на основе оценки условий теплообмена при модернизации и ремонте энергопреобразующих объектов [Текст] / И. О. Берестовой, В. А. Маслов, Г. В. Берестовая // Вісник Приазовського державного технічного університету :

серія технічні науки : зб. наук. праць. – Маріуполь : ПДТУ, 2015. – Вип. 30. – Т. 1. – С. 171-176.

8. Berestovoy I. Diesel operation efficiency improvement based on modelling of fuel carburetion process [Electronic recourse] / I. Berestovoy, G. Aynagoz, M. Berestovoy // ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin : Rzeszow. – 2013. – № 3. – Vol. 13. – P. 9 – 14. – Access mode 21.10.15 : http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot13_3/Teka_13_3.pdf

9. Berestovoy I. Assessment of the natural and energy resources utilization in the transportation flow chart of the industrial production [Electronic recourse] / I. Berestovoy, o. Khlestova // ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin : Rzeszow. – 2013. – № 3. – Vol. 13. – P. 84 – 89. – Access mode 21.10.15: http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot13_3/Teka_13_3.pdf

Матеріали конференцій:

10. Берестовой И. О. Структуризация и ранжирование логистических потоков сырьевых материалов в транспортно-технологических процессах морских портов [Текст] / И. О. Берестовой, А. М. Берестовой, А. А. Лысый // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні тенденції і перспективи розвитку морегосподарського комплексу України». – Маріуполь : АМІ ОНМА. – 2011. – С. 81 – 95.

11. Берестовой И. О. Обоснование надежности судовых двигателей по условию форсирования [Текст] / И. О. Берестовой, В. П. Литвиненко, К. Е. Чичкарев // Матеріали науково-технічної конференції «Суднові енергетичні установки: експлуатація та ремонт», 21.03.2012-23.03.2012. – Одеса : ОНМА. – 2012. – Ч. 1. – С. 45 – 47.

12. Берестовой И. О. Влияние конструктивных параметров дизелей морских судов на их эксплуатационные показатели [Текст] / И. О. Берестовой, В. П. Литвиненко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку судноплавства в Азовському морі». – Маріуполь : АМІ ОНМА. – 2012. – С. 177 – 181.

13. Берестовой И. О. Обеспечение условий регенерации тепла в процессах совершенствования работы двигателей внутреннего сгорания [Текст] / И. О. Берестовой, В. П. Литвиненко, Е. Н. Крючкова, В. М. Житаренко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Ефективні шляхи розвитку морської галузі». – Маріуполь: АМІ ОНМА. – 2013. – С. 89 – 96.

АНОТАЦІЯ

Берестовой И.О. Вибір суднового дизеля шляхом синтезу його конструктивних характеристик та енергетичних показників.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.03 - двигуни та енергетичні установки. – Національний університет «Одеська морська академія», МОН України, Одеса, 2016.

У роботі проведені теоретичні та експериментальні дослідження, на підставі яких вперше розроблений метод вибору дизеля для судна на основі показника «об'ємна швидкість згорання» – відносини ефективної циліндрової

потужності до середнього ефективного тиску, що дозволяє взаємозв'язати економічні, масогабаритні, енергетичні й екологічні показники дизеля.

Практична значимість результатів полягає в тому, що запропонований метод підбору дизеля для морського судна дозволяє адекватно задати критерії до вибору дизеля й спростити процедуру підбора ефективного дизеля. На основі експериментальних досліджень установлені трендові моделі взаємозв'язку основних показників дизелів на номінальних режимах їхньої роботи. Приклад реалізації розробленого методу при виборі малооборотного дизеля показав, що його застосування дозволить скоротити питому витрату палива в експлуатації до 2 г/(кВт·год), а при перерахунку на номінальну потужність дизеля до – 16,8 кг/год.

Ключові слова: морське судно, вибір дизеля, взаємозв'язок показників, показник що узагальнює, об'ємна швидкість згорання, робочий процес дизеля.

АНОТАЦІЯ

Берестовой И.О. Выбор судового дизеля путем синтеза его конструктивных характеристик и энергетических показателей.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. – Национальный университет «Одесская морская академия», МОН Украины, Одесса, 2016.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме выбора главного и вспомогательных дизелей для морских судов, с учетом эксплуатационных условий работы судов, а также обеспечения рационального использования топливно-энергетических ресурсов и защиты окружающей среды.

Научной новизной работы является то, что впервые разработан метод выбора дизеля для судна, с учетом оценки внутрицилиндровых процессов на основе показателя «объемная скорость сгорания», который определяется отношением эффективной цилиндрической мощности к среднему эффективному давлению на номинальном режиме работы дизеля. Такой показатель позволяет связать экономические, массогабаритные, энергетические и экологические показатели дизеля, и как следствие упростить выбор дизеля, адаптированного к морскому судну и обеспечить рациональное комплексное использование топливно-энергетических ресурсов, с учетом требований предъявляемых к защите окружающей среды.

Одновременно усовершенствован метод оценки использования природно-энергетических ресурсов в процессе преобразования энергии в дизеле, отличающийся тем, что при его реализации учтены затраты, структурированные по логистическим критериям. Это позволило выявить пути повышения эффективности комплексного использования топливно-энергетических ресурсов.

Также получил дальнейшее развитие метод ранжирования при многокритериальной оценке процесса преобразования энергии в дизеле, путем применения численных значений рангов при условии, что их общая сумма

равняется единице. Это позволяет выявить приоритетность совершенствования процессов и объектов дизеля.

Практическая значимость полученных научных результатов заключается в том, что предложенный метод подбора дизеля для морского судна позволяет адекватно задать критерии к выбору дизеля, выделить из них наиболее важный (имеющий больший вес), сузить мониторинг параметров дизелей, удовлетворяющих выдвигаемым требованиям, производить одновременно техническую и экономическую оценки дизеля, упростить процедуру подбора эффективного дизеля для судна, а также обеспечить рациональное использование топливно-энергетических ресурсов и защиту окружающей среды.

Экспериментальные исследования, основанные на статистической обработке основных параметров малооборотных, среднеоборотных, повышенной оборотности и высокооборотных дизелей различных модификаций (более 700 видов дизелей), позволили установить трендовые модели взаимосвязи экономических, массогабаритных, энергетических и экологических показателей дизелей на номинальных режимах их работы.

Пример реализации разработанного метода при выборе малооборотного дизеля, показал, что его применение позволит сократить удельный расход топлива в эксплуатации до 2 г/(кВт·ч), а при перерасчете на номинальную мощность дизеля до 16,8 кг/ч.

Одним из факторов, влияющих на изменение объемной скорости сгорания, является подготовка топлива с использованием катализатора. В результате проведенных исследований установлено, что возможно снижение: жесткости работы дизеля, дымности выхлопных газов и расхода топлива до 1,47 л/час на холостых оборотах.

Результаты исследований настоящей работы могут быть использованы на других видах транспорта, а также в областях техники, где рассматриваются вопросы подбора силовых агрегатов, повышения их эффективности использования топливно-энергетических ресурсов, а также защиты окружающей среды.

Ключевые слова: морское судно, выбор дизеля, взаимосвязь показателей, обобщающий показатель, объемная скорость сгорания, рабочий процесс дизеля.

ABSTRACT

Berestovoy I.O. Selection of marine diesel by synthesis of its design characteristics and energy performance. – A manuscript.

A thesis for a degree of a candidate of engineering science (Ph.D.) , speciality index 05.05.03 – engines and power plants. National University "Odessa Maritime Academy", Ministry of Science and Education of Ukraine, Odessa, 2016.

The work contains a description of the theoretical and experimental investigations performed, that made it possible to develop for the first time a method of choosing a diesel engine for vessels, which is based on the “ volumetric combustion rate” index , i.e. the relation of efficient cylindrical power to average

efficient pressure, it allowing to correlate mutually economic, mass-dimensional, power and ecological indices of a diesel engine. The practical value of the results of the work is in the fact that the proposed method of specification of a diesel engine for a sea-going vessel allows application of adequate criteria for choosing of an engine and simplifying the procedure of making a choice for an appropriate efficient engine. On the basis of experimental investigations trend models of interrelations between the main indices at nominal operation modes were found out. An example of implementation of the developed method for a choice of a low-speed diesel engine showed that its application could reduce specific fuel consumption at exploitation to 2 g/(kWt·h), or at a recalculation per a diesel nominal capacity to 16.8 kg/h.

Key words: sea-going vessel, choice of a diesel engine, interrelation of indices, generalizing index, volumetric combustion rate, operation process of a diesel engine.

Підп. до друку 23.02.2016. Формат 60x84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,16.
Тираж 100 пр. Зам. № И16-02-69

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003