

УДК 621.431

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/45>**Дакі О.А.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Штрибець В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Трофименко А.О.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Ліганенко В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

Тришин В.В.

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Основні напрями економічного розвитку України передбачають підвищення всіх форм якості, ефективності, надійності й екологічної безпеки продукції машинобудування. Це повною мірою стосується перспектив розвитку дизелебудування, у тому числі суднового. Переважним джерелом енергії для водного транспорту, багатотоннажних наземних транспортних засобів і деяких видів стаціонарних енергетичних комплексів є дизельні двигуни. Усе це зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на розробку й упровадження в практику конструювання та виробництва дизельних двигунів теоретичних, експериментальних і розрахунково-аналітичних принципів обґрунтування їх якісних показників, виходячи з їх функціонального призначення.

На сучасному етапі створення нових прогресивних конструкцій, ураховуючи вимоги, що зростають, до якості двигунів, варто по-новому трактувати наукові основи прогресивного проектування, технологічного розвитку й конструювання дизелебудування.

Основними завданнями, що вимагають свого рішення, є раціональна організація робочого процесу дизеля при форсуванні, оцінка якості продукції, що виготовляється, відносна й кількісна, що є важливим економічним завданням, яке відіграє важливу роль і вимагає вирішення основних завдань.

Необхідний рівень економічності робочого циклу при заданих рівнях форсування двигуна досягається шляхом розумної комбінації обраного типу сумішоутворення, розмірів камери згоряння та її форми, установленими параметрами паливної апаратури та конструктивно-регульовальними показниками. Найбільш доцільним варіантом попередньої оцінки рівня показників робочого циклу є розрахунково-теоретичне дослідження на базі різних математичних моделей. У рамках роботи за основу взято метод визначення показників робочого циклу, швидкості тепловиділення й інтенсивності згоряння на основі дійсних індикаторних діаграм.

Ключові слова: дизельний двигун, кваліметрія, суднобудування, суднова енергетична установка, форсування.

Постановка проблеми. Основні напрями економічного розвитку України передбачають підвищення всіх форм якості, ефективності, надійності й екологічної безпеки продукції машинобудування. Це повною мірою стосується перспектив розвитку дизелебудування, у тому числі суднового. Переважним джерелом енергії для водного транспорту, багатотоннажних наземних транспортних засобів і деяких видів стаціонарних енергетичних комплексів слугують дизельні дви-

гуни. Усе це зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на розробку й упровадження в практику конструювання та виробництва дизельних двигунів теоретичних, експериментальних і розрахунково-аналітичних принципів обґрунтування їх якісних показників, виходячи з їх функціонального призначення. Значна частина сучасних досліджень з оцінки та прогнозування надійності двигуна пов'язує цей фактор тільки з кількісними показниками: середній ефективний тиск, час-

тота обертання колінчатого вала, рівень теплової напруженості, розміри циліндра тощо.

Однак надійність двигуна визначається змінами в процесі експлуатації первинних помилок у результаті зношування. Тут вихідним положенням є те, що параметрична надійність – це один із основних показників якості, який проявляється в часі та відображає зміни, що відбуваються в двигуні в процесі його експлуатації. Отже, правильне конструювання двигуна має супроводжуватися відповідним розрахунковим обґрунтуванням його надійності, у тому числі й надійності елементів (деталей, вузлів та агрегатів), що входять до його складу.

На сучасному етапі створення нових прогресивних конструкцій, ураховуючи вимоги, що зростають, до якості двигунів, варто по-новому трактувати наукові основи прогресивного проєктування, технологічного розвитку й конструювання дизелів. Тому науковою основою сучасного та перспективного дизелебудування є такий комплекс теоретичних, експериментальних і розрахунково-аналітичних досліджень, який, базуючись на загальних принципах фундаментальної науки й наукових основах прогресивної техніки й технології, має своєю кінцевою метою вирішення конкретних виробничих завдань виготовлення двигунів високої якості в необхідній кількості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

При виконанні досліджень використовувалися роботи вчених і фахівців у галузі теорії машин, конструювання, виробництва й експлуатації дизельних двигунів: В.А. Ваншейдта, М.М. Іванченка, П.А. Істоміна, М.М. Круглова, А.С. Орліна, Л.І. Погодаєва, В.М. Половінкіна, Ю.Г. Шнейдера, Ю.І. Матвєєва, В.М. Бочкарева, А.Ф. Дорохова, Н.Я. Ях'яєва.

Завданням статті є аналіз напрямів модернізації (удосконалення конструкції) малорозмірних двигунів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Сучасна технологія виробництва суднових дизелів побудована на класичних принципах двигунобудування [1; 2] і полягає в такому:

- виробництво має бути забезпечене заготовками тільки високої якості (повинні використовуватися матеріали зі спеціальними хімічними складами, отримання заготовок має проводитися методами, відповідними до форми готової деталі);
- повинні досягатися високі значення коефіцієнтів запасів міцності й оптимальних припусків на обробку;
- має забезпечуватися принцип єдності й постійності баз;

- прагнення до максимально можливої рівномірності зняття зовнішніх і внутрішніх припусків;
- виробництво здійснюється з використанням програмно-керованого обладнання зі встановленими оперативними системами управління;
- максимально знімається припуск при виконанні операцій чорнової обробки;
- здійснюється багатоінструментальна та багатопозиційна обробка деталей на верстатах агрегатного й карусельного типів;
- забезпечується перехідність операцій фінішної та суперфінішної обробки, при складанні активно використовуються методи повної й групової взаємозамінності.

У результаті, забезпечуючи виконання всіх перерахованих вище принципів, можна досягти необхідного рівня якості двигунів.

Інновація – підсумковий результат упровадження наукового досягнення з метою задоволення потреб ринку (виробництва) шляхом зміни об'єкта управління або одержання економічного, соціального, екологічного, науково-технічного або іншого виду ефекту. Інноваційні процеси являють собою сукупність прогресивних, якісно нових змін у технічному, економічному, організаційному, юридичному й соціальному підході до розвитку суб'єктів господарювання та існування організаційних систем. Нововведення розробляються в науковому середовищі, а розбудовуються в виробничій сфері, утворюючи єдину, цілісну й гармонічну систему.

Отже, інноваційна якість – це якість, яка відповідає його традиційній характеристиці [3] і придбана шляхом упровадження наукових досягнень як оформленого результату прикладних або фундаментальних наукових досліджень у виробництво певного виду промислової продукції.

Дизельні двигуни належать до промислової продукції, згідно з методикою оцінки якості цього виду продукції, виділяється 8 груп показників якості:

- показники призначення – визначають корисний ефект, одержаний від використання обладнання за призначенням, і задають ділянку його застосування;
- показники технологічності – визначають ефективність конструктивно-технологічних рішень, застосованих при виробництві та ремонті продукції, з метою забезпечення високої продуктивності праці;
- показники надійності – характеризують безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість виготовленої продукції;

– показники стандартизації та уніфікації – визначають ступінь використання у виготовленій продукції стандартизованих виробів, а також рівень уніфікації складових частин виробу;

– економічні показники – відображають витрати на розробку, виготовлення й експлуатацію виробів, а також економічну ефективність експлуатації продукції;

– ергономічні показники – визначають систему «людина – виріб – середовище» й ураховують комплекс фізіологічних, антропологічних і гігієнічних властивостей людини, що проявляються у виробничих і побутових процесах;

– патентно-правові показники – визначають ступінь патентоспроможності виготовленої продукції;

– естетичні показники – визначають зовнішні властивості продукції, такі як оригінальність, виразність, відповідність середовищу й стилю.

Оцінка якості продукції, що виготовляється, відносна й кількісна, є важливим науково-технічним завданням. Створення й удосконалення всіх методів оцінки якості, як диференційних, так і комплексних (інтегральних), прогнозування рівня якості, виявлення закономірностей і взаємозв'язків між різними показниками якості, параметрами призначення продукції є завданням наукової дисципліни «кваліметрія». Кваліметрія розглядає якість виробу як ієрархічну сукупність властивостей, що становлять інтерес для кінцевого споживача продукції. Якість у цілому у кваліметрії розглядається на найнижчому рівні ієрархічної сукупності властивостей, а її складники, менш узагальнені властивості – найбільш високому, першому, рівні ієрархії. У свою чергу, кожна з виділених властивостей також може складатися з деякого числа ще менш загальних властивостей, що лежать на ще більш високому (другому) рівні ієрархії. Так утворюється ієрархічне «дерево властивостей», у якому кількість рівнів розгляду може постійно зростати [3].

У кваліметрії оцінка якості проводиться двома можливими способами:

1) знаходженням абсолютного значення показника P_{ij} ;

2) визначенням відносного значення показника якості K_{ij} .

У кваліметрії поняття «вимір» та «оцінка» розділяються. Вимір – це обчислення значення показника P_{ij} , який визначає абсолютне значення цієї властивості в заданих одиницях виміру. Поняття «оцінка» означає результат, отриманий у результаті порівняння значення P_{ij} з відповідним йому «базовим» значенням $P_{ij\text{баз}}$, прийнятим за еталон.

Базовим значенням показників якості вважаються значення показників якості для базової моделі вітчизняного або закордонного виробництва, найвищий рівень якості, що існує на цей момент. Але в цьому випадку необхідно пам'ятати, що ці оцінки завжди будуть суб'єктивними, тому що вибір базової моделі найчастіше є необ'єктивним і прямо залежить від кваліфікації, поінформованості людини, що приймає рішення.

При порівнянні значень показників якості продукції з їх базовими значеннями отримуємо її відносну характеристику, тобто визначимо рівень якості продукції.

Для низки властивостей, які перебувають в ієрархічній структурі дерева властивостей якості, шляхом вимірів або обчислень можна отримати чисельні значення P_{ij} . Це абсолютні показники властивостей якості (j – кількість властивостей, що знаходяться на i -му рівні; $j = 1, 2, \dots, n$). Відносний показник якості K_{ij} можна обчислити формулою порівняння абсолютного показника якості P_{ij} і його базового значення $P_{ij\text{баз}}$:

$$K_{ij} = f_1(P_{ij}, P_{ij\text{баз}}) \text{ або } K_{ij} = f_2\left(\frac{P_{ij}}{P_{ij\text{баз}}}\right). \quad (1)$$

Усі показники, що визначають якість і надійність, можна розділити на дві групи: показники з більшим і показники з меншим ступенем очевидності.

До неочевидних показників можна віднести ресурсні показники (показники довговічності). Порівнювати показники двигунів вітчизняного й іноземного виробництва складніше за все. Пов'язано це з тим, що кожна фірма просуває свій підхід до об'єму і трудомісткості технічного обслуговування й ремонту вироблених нею двигунів.

Одним із найголовніших складників якості є надійність двигунів, що виготовляються. Тема надійності суднових дизелів є невід'ємною частиною загальної теорії надійності двигунів [1].

Надійність – це властивість об'єкта зберігати в часі в установлених часових рамках значення всіх своїх показників, які характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, ремонтів, технічного обслуговування, зберігання й транспортування.

У цьому випадку, якщо прийняти в якості узагальненого показника надійності якийсь умовне число, допустиме в межах від 0 до нескінченності, визначальне надійність за його значенням, що наростає, і, позначивши його символом D (dependable – надійність), можна записати наявну функціональну залежність:

$$D = f_{\Sigma}(N_i, n_i, g_i, t_i, S, R, Y), \quad (2)$$

де f_{Σ} – сукупність показників, які характеризують роботу дизеля, при різних експлуатаційних режимах: $i = 1 \dots k$; N – потужність двигуна; n – частота обертання колінчатого вала; g – питомі витрати палива й мастила; R – усі види ресурсів; t_i – регламентний час наробітку; S – кількість систем, механізмів і вузлів у складі двигуна з власним регламентом; Y – зовнішні експлуатаційні умови функціонування дизеля (вид навколишнього середовища, періодичність використання).

Показник надійності можна представити у вигляді більш явної залежності – як трансцендентне рівняння:

$$D = \Sigma K (g^y S^m t^z R^x N^r n^h Y^q)^{-1} \quad (3)$$

де x, y, z, m, k, r, h, q – показники ступеня, які характеризують вагомість кожного аргументу рівняння (2), K – коефіцієнт пропорційності [3].

При вивченні характеристик якості значну роль відіграє математичне моделювання [3]. Моделювання надійності проводиться з метою формалізації процесів, пов'язаних із виникненням відмов елементів у часі. Залежно від діючих навантажень і внутрішніх властивостей елементів моделювання надійності проводиться з метою формального опису з позиції надійності процесу функціонування системи як процесу взаємодії її елементів при виконанні поставленого завдання.

Насамперед якість і надійність поршневих двигунів, у тому числі суднових, визначаються набором функціональних характеристик, певних для того або іншого двигуна при проектуванні. Здатність конструкторів і безпосередніх виробників досягати необхідного набору характеристик шляхом високоякісної організації робочого процесу, використання якісних матеріалів, задіявши сучасні технологічні методи складання й обробки, методи діагностики та регламентувавши технічне обслуговування, задавши рекомендоване паливо й мастила для двигунів, а головне, урахувувати реальні умови експлуатації, створює передумови для якісної й надійної роботи двигунів у всіх можливих потужнісних і швидкісних діапазонах роботи.

Зростання енергетичної ефективності (ЕЕ) ДВЗ може бути забезпечене шляхом збільшення питомої (літрової) потужності за рахунок форсування двигунів за середнім ефективним тиском (p_e) або за частотою обертання колінчатого вала (n). Форсування за p_e використовується частіше за все застосуванням газотурбінного або комбінованого наддування, є найпоширенішим способом форсування всіх типів дизелів – високооборотних (ВОД), середньооборотних (СОД) і малооборот-

них (МОД). Форсування за n характерно для двигунів з невеликими діаметрами циліндрів (80 ÷ 120 мм) у силу невеликих розмірів, що дає змогу в разі підвищення n мати прийнятні значення сил інерції та використовувати досить малогабаритні схеми механізмів зрівноважування.

Створення малорозмірних дизелів із прогресивними показниками, незалежно від того здійснюється воно на основі модернізації наявних моделей або на основі розробки нових двигунів, пов'язано з вирішенням низки технічних проблем. З одного боку, це – розробка конструкції, що забезпечує надійну роботу при заданих рівнях форсування та необхідних масогабаритних показниках. З іншого боку, відпрацювання робочого процесу для досягнення необхідної паливної економічності, динамічних показників, пускових властивостей.

Основними завданнями, що вимагають свого вирішення, є раціональна організація робочого процесу дизеля при форсуванні, що вимагає вирішення таких основних завдань (рис. 1).

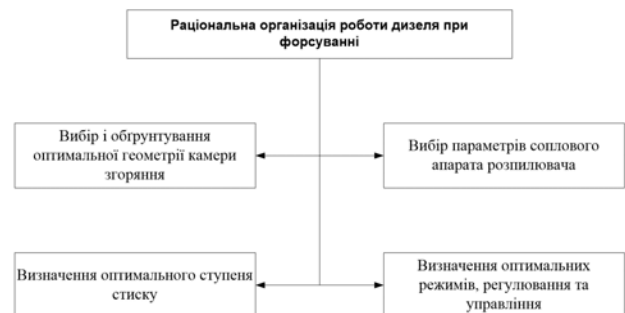


Рис. 1. Завдання, які вирішуються під час організації робіт із модернізації (форсування) двигунів

Стосовно малорозмірних дизелів повинен бути виконана низка досліджень щодо забезпечення якісного газообміну при більших частотах обертання колінчатого вала.

Висновки. Необхідний рівень економічності робочого циклу при заданих рівнях форсування двигуна досягається шляхом розумної комбінації обраного типу сумішоутворення, розмірів камери згоряння та її форми, установленими параметрами паливної апаратури й конструктивно-регульовальними показниками.

Найдоцільнішим варіантом попередньої оцінки рівня показників робочого циклу є розрахунково-теоретичне дослідження на базі різних математичних моделей. В основу статті покладено метод визначення показників робочого циклу, швидкості тепловиділення та інтенсивності згоряння на основі дійсних індикаторних діаграм.

Список літератури:

1. Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие. Санкт-Петербург, 2014. 324 с.
2. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов. *Вестник МГТУ*. 2014. Том 17. № 1. С.7–12.
3. Бисенов А.Р. Выбор основных эксплуатационных показателей перспективных форсированных малоразмерных судовых дизелей. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Морская техника и технология»*. Астрахань, 2011. № 1. С. 79–83.
4. Возницкий И.В., Пунда А.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания : в 2 т. Санкт-Петербург : Моркнига, 2010. Т. 1 : Теория и эксплуатация двигателей. 384 с.
5. Гаврилов В.В., Мащенко В.Ю. Автоматизированный расчёт рабочего цикла судового ДВС : учебное пособие. Санкт-Петербург : ГУВК, 2007. 58 с.
6. Дорохов А.Ф. Разработка методологии, принципов проектирования и модернизации производства судовых малоразмерных дизелей : дисс. ... докт. техн. наук. Санкт-Петербург : ГУВК, 1997. 361 с.
7. Дорохов А.Ф., Проватар А.Г., Воробьёв А.В. Качество и надёжность судовых дизелей. *Вестник Астраханского Государственного Технического Университета. Серия «Морская техника и технология»*. Астрахань : Издательство АГТУ, 2015. № 2. С. 48–55.
8. Исаев А.П. Рабочий процесс судового ДВС с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия : дисс. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2012. 170 с.
9. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта : учебное пособие. Москва : Машиностроение, 2005. 512 с.
10. Корнилов Э.В., Бойко П.В., Голофастов Э.И. Технические характеристики современных дизелей : справочник. Одесса, 2008. 272 с.
11. Макарова В.И., Бобренева К.Л. Инновационно-инвестиционная деятельность стратегического развития предприятия. *Машиностроитель*. 2010. № 8. С. 45–52.
12. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции / пер. с англ., автор предисловия и научн. редактор Н.В. Гличев. Москва : Экономика, 1996. С. 98.
13. Яхьяев Н.Я. Прогнозирование работоспособности судовых двигателей внутреннего сгорания по износу деталей в узлах трения : дисс. ... докт. техн. наук. Санкт-Петербург : Институт проблем машиноведения РАН, 2003. 304 с.
14. Diesel Progress International Ed. May – June 2000. P. 16–53.
15. Gusev A.I., Rempel A.A. Nanocrystalline Materials. Cambridge : Cambridge International Science Publishing, 2004. 351 p.

Daki O.A., Shtrybets V.V., Trofymenko A.O., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V. METHODS OF INCREASING THE FUNCTIONAL INDICATORS OF MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES

The main directions of economic development of Ukraine include improving all forms of quality, efficiency, reliability and environmental safety of engineering products. This fully applies to the prospects for the development of diesel engineering, including shipbuilding. Diesel engines are the main source of energy for water transport, multi-tonnage land vehicles and some types of stationary energy complexes. All this determines the relevance of research aimed at developing and implementing in the design and manufacture of diesel engines theoretical, experimental and calculation-analytical principles of substantiation of their quality indicators, based on their functional purpose.

At the present stage of creation of new progressive designs, taking into account the growing requirements for the quality of engines, it is necessary to reinterpret the scientific basis of progressive design, technological development and design of diesel engineering.

The main tasks that need to be solved are the rational organization of the diesel work process during forcing, assessment of the quality of manufactured products, relative and quantitative, is an important economic task that plays an important role and requires solving major problems.

The required level of cycle economy at given levels of engine boost is achieved by a reasonable combination of the selected type of mixture, the size of the combustion chamber and its shape, the set parameters of fuel equipment and design and control parameters. The most appropriate option for preliminary assessment of the level of performance indicators is a computational-theoretical study based on various mathematical models. In the framework of this work, the method of determining the indicators of the operating cycle, heat dissipation rate and combustion intensity on the basis of valid indicator diagrams was taken as a basis.

Key words: diesel engine, qualimetry, shipbuilding, ship power plant, forcing.