

Выводы

Использование смесевых биодизельных топлив на основе предложенной биодобавки способствует заметному улучшению показателей токсичности ОГ дизеля. В большей мере это касается выбросов оксидов азота. Однако снижение их в ОГ наблюдается только при содержании БД в смесевом топливе не выше 75 %. С ростом содержания БД увеличивается удельный эффективный расход топлива и снижается максимальная мощность, развиваемая дизелем.

Отрицательной стороной использования смесевых биодизельных топлив является повышенное нагарообразование на поверхностях камеры сгорания и закоксовывание отверстий распылителей форсунок через относительно непродолжительный промежуток работы дизеля.

Комплексный анализ результатов испытаний позволил выделить область содержаний БД в смесе-

вом топливе в пределах 25 – 35 %. В этом диапазоне наблюдаются наилучшие показатели работы дизеля по эффективному КПД, суммарной токсичности ОГ и характеристике изменения крутящего момента.

Список литературы:

1. *Biofuel for Transportation: Adapt the motors to the fuel // Sustainable Energy News. – 1994. – № 6. – P 10-11.*
2. Желєзна Т.А. Стан розвитку та перспективи виробництва і застосування рідких палив з біомаси / Т.А. Желєзна // *Екотехнології и ресурсосбережение. – 2004. – Ч.2, № 3. – С. 3–8.*
3. Варшавский И.Л. Токсичность дизельной сажи и измерение сажеобразования дизельного выхлопа / И.Л. Варшавский, Ф.Ф. Мачульский // *Сборник трудов ЛАНЭ. – 1969. – С. 120–157.*

УДК 629.5.03-08:621.431.36

В.М. Горбов, канд. техн. наук, В.С. Мітєнкова, асп.

КОМПЛЕКСНИЙ КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В СЕУ

Вступ

При коливанні вартості нафтових палив, при загостренні проблемі раціонального використання природних ресурсів і захисту навколишнього середовища від забруднення перед судновою енергетикою виникають проблеми пошуку, впровадження і ефективного використання альтернативних палив (АП). Застосування АП має значні перспективи, особливо якщо врахувати наявний досвід експлуатації суднових енергетичних установок (СЕУ) різних типів суден [1]. При порівнянні різних варіантів СЕУ оцінку та остаточний вибір слід проводити вже на стадії концептуального (передескізного) проектування. В зв'язку із впровадженням на судах АП постає задача вибору типу палива для СЕУ.

Аналіз публікацій показав, що для порівняння різних варіантів СЕУ використовуються різні методи оцінки та критерії. В загальному випадку вибір кращих варіантів рекомендується проводити на основі співставлення величин витрат та корисного ефекту, оцінки економічної ефективності СЕУ [2]. В інших випадках оцінка ведеться з урахуванням основних показників енергетичної установки [3]. Оскільки АП

застосовуються на судах порівняно недавно і не досить широко, не завжди можливо здійснити повну математичну формалізацію задач оцінки ефективності їх використання.

Метою дослідження є розробка структури комплексного критерію ефективності (ККЕ) використання палив в СЕУ на стадії концептуального проектування з урахуванням існуючих методів системного аналізу та порівняння складних технічних систем; визначення особливостей застосування ККЕ стосовно зрідженого природного газу (ЗПГ) та біодизельного палива (БД).

Розробка загальної структури ККЕ застосування АП в СЕУ

Для вирішення задачі порівняння різних варіантів СЕУ, до якої можна віднести і вибір типу палива, доцільно використовувати метод комплексної оцінки. Даний метод ґрунтується на обчисленні узагальнованої оцінки (з урахуванням оцінок за всіма критеріями) [4]. При визначенні ККЕ насамперед потрібно визначити, які показники СЕУ та яким чином будуть змінюватися при заміні нафтових палив АП. Тип обраного палива впливає переважно на такі показни-

ки СЕУ: потужності, енергетичної ефективності, масові, габаритні, надійності, живучості, автономності, маневреності, вартісні, екологічні, у меншій мірі – технологічні, патентно-правові, естетичні тощо. Досить детально ці показники описано в роботах [2, 3].

Авторами була запропоновано методику визначення ККЕ, розроблену з урахуванням аналізу результатів впливу АП на показники СЕУ, та існуючого досвіду експлуатації суден. На рис. 1 наведена структурна схема методики визначення ККЕ застосування АП на суднах. Безпосередньо значення критерію визначається наступним чином [4]:

1. Знаходяться ваги критеріїв, що представляють собою числові оцінки їх важливості (V_i).

2. Оцінки об'єктів за критеріями приводяться до безрозмірного вигляду.

3. Визначаються ваги критеріїв, що відображують розкид оцінок:

3.1. середні оцінки за кожним критерієм:

$$P_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N P_{ij}, \quad i = 1, \dots, M, \quad (1)$$

де M – кількість критеріїв; N – кількість об'єктів; P_{ij} – безрозмірні оцінки.

3.2. Величини розкиду за кожним критерієм:

$$R_i = \frac{1}{N \cdot P_i} \sum_{j=1}^N |P_{ij} - P_i|, \quad i = 1, \dots, M. \quad (2)$$

3.3. Сума величин розкиду:

$$R = \sum_{i=1}^M R_i. \quad (3)$$

3.4. Ваги критеріїв, що відображують розкид оцінок:

$$Z_i = \frac{R_i}{R}, \quad i = 1, \dots, M. \quad (4)$$

4. Визначаються узагальнені ваги критеріїв:

$$W_i = \frac{V_i + Z_i}{2}, \quad i = 1, \dots, M. \quad (5)$$

5. Визначаються середньозважені оцінки:

$$E_{ij} = P_{ij} \cdot W_i, \quad i = 1, \dots, M, \quad j = 1, \dots, N. \quad (6)$$

6. Визначаються комплексні оцінки:

$$E_j = \sum_{i=1}^M E_{ij}, \quad j = 1, \dots, N. \quad (7)$$

Узагальнені ваги критеріїв (5) можна визначати також лише за розкидом значень або за результатами ранжування.



Рис. 1. Структурна схема методики визначення ККЕ застосування АП в СЕУ

Розглянемо більш докладніше етапи методики визначення ККЕ для випадків застосування БД та ЗПГ на суднах.

Особливості методики визначення ККЕ при використанні біодизельних палив

1. Біодизельні палива можна розглядати як альтернативу легким нафтовим паливам, причому для тих випадків, коли дизельне паливо (ДП) є основним типом палива. Перспективним сегментом флоту для використання БД та його сумішей є невеликі судна прибережного та внутрішнього районів плавання із середнь- (СОД) або високооборотними двигунами (ВОД).

2. Застосування БД не потребує кардинальної зміни СЕУ. Можливі такі варіанти при використанні БД порівняно із ДП: змінюється модель двигуна, на таку, виробники якої рекомендують застосовувати біодизельні палива (Caterpillar, John Deere, Cummins та інші); на судні передбачається одна універсальна паливна система (ПС), придатна для обох палив, або дві системи зі взаємним резервуванням основного обладнання та можливістю приготування паливних сумішей на борту судна; двигун працює на 100% БД (B100) протягом рейсу увесь час або частково, використовуються суміші із різним вмістом БД; наявність

або відсутність додаткового обладнання для очищення вихідних газів двигунів; використовуються БД з різної сировини з фізико-хімічними характеристиками та вартістю, що відрізняються.

3. Визначення ККЕ при використанні біодизельних палив включає наступні етапи. Визначаються, які параметри СЕУ та окремого основного обладнання, які зміняться при використанні В100 та його сумішей. Необхідно враховувати зміну метало- та енергоємності паливної системи (ПС), що пов'язано із наявністю додаткового обладнання, зміну енерговитрат на перекачування та підігрів палив, погіршенням надійності системи через ускладнення схем ПС тощо.

4. Основними вхідними параметрами для розрахунків є характеристики суден (габаритні розміри, дедвейт, призначення судна, тривалість та протяжність рейсу, швидкість, тип двигунів і передачі) та палив. Потужність двигуна визначається розрахунками ходовості або задається наявними аналітичними залежностями за відомим дедвейтом судна. Інші параметри визначаються аналітично в залежності від його потужності або обираються для даної моделі. Задаються характеристики основного обладнання та принципові схеми паливних систем, необхідні коефіцієнти (значення ККД різних елементів, коефіцієнти змінення викидів різних шкідливих речовин тощо). Формуються масиви даних: «Характеристики БД та їх сумішей», «СОД та ВОД», «Варіанти схем та комплектації паливних систем СЕУ», «Характеристики основного обладнання паливних систем БД». Замість деяких масивів можна використовувати відповідні аналітичні залежності. Насамперед оцінюються показники, які можна безпосередньо визначити розрахунковим шляхом із отриманням числових значень.

5. Розраховуються показники потужності, заздалегідь задається умова, чи коригується витрата палива та переналагоджується паливна апаратура, щоб забезпечити однакову потужність двигуна при роботі на всіх паливах, що розглядаються. Потім визначаються показники енергетичної ефективності, питома витрата палива, якщо вона невідома, перераховується відповідно із нижчою теплоотою згоряння. Розраховуються ефективний та пропульсивний ККД, витрата палива на одиницю пройденого шляху. Визначається необхідна маса та об'єм запасів палива. Розраховуються параметри основного обладнання

ПС СЕУ. Визначається питома та відносна маса та габарити двигунів. При відомій витраті кожного палива за рейс розраховуються викиди основних компонентів емісії. Визначаються витрати на паливо за рейс. Інші показники також можна розрахувати або оцінити непрямо.

6. Всі показники для кожного з розрахованих варіантів приводяться до безрозмірного вигляду в інтервалі від 0 до 1, формується масив даних. При розгляданні значної кількості варіантів вже на цьому етапі деякі з них можна виключити як явно непридатні. Для цього потрібно визначити множину Парето.

7. Хоча ранжування є звичайно одним із етапів багатокритеріального вибору альтернатив, виділення його в окремий етап пов'язано з декількома причинами. По-перше, в багатьох випадках ранжування відбувається з використанням методів експертних оцінок, а це досить трудомістка процедура, яка складається з багатьох етапів. По-друге, міра важливості того чи іншого показника залежить від багатьох факторів. Для одного і того ж судна вагомість параметрів може істотно змінюватися. На цьому етапі можна запропонувати декілька варіантів ранжування одиниць показників для так званих «сценаріїв», тобто можливих специфічних випадків експлуатації. Вже на стадії концептуального проектування це дасть змогу оцінити ефективність цих варіантів для декількох більш ймовірних умов експлуатації. Наприклад, часто найголовнішим критерієм виступає економічна ефективність, експлуатаційні витрати, де вагому частину складає вартість палива. Але при експлуатації судна в районах з жорсткими екологічними обмеженнями на перший план можуть виходити екологічні параметри.

8. Визначається та порівнюються значення комплексних критеріїв ефективності варіантів, що увійшли до множини Парето. Можна визначити значення цих критеріїв ще і для різних умов експлуатації, і порівняти значення ККЕ для одного варіанту, але при різних «сценаріях». При зміні міри вагомості показників більш раціональними можуть бути різні варіанти.

9. Аналізуються отримані результати, формується висновки та рекомендації. Даний етап передуює розробленню детального технічного завдання для варіанту, який був визначений як раціональний за даних умов. На цьому етапі можливо повернення до попередніх етапів з метою розглядання нових варіан-

тів, «сценаріїв», зміни та корегування вхідних даних тощо.

В табл. 1 наведено приклад розрахунку ККЕ для лоцманського боту «Tiger». Визначається ефективність використання ДП, В100 та В20 (20% БД, 80% ДП). Представлено відповідно до розробленої методики значення показників СЕУ у безрозмірному

вигляді та вагові коефіцієнти. Для оцінки значущості показників проводилося їх ранжування шляхом вибору більш та менш важливих в залежності від класу суден та умов їх експлуатації відповідно до рекомендацій, наведених в спеціальній літературі, наприклад [2, 3]. Кожному показнику виставлялися бали прямо пропорційно їх значущості за убунанням.

Таблица 1. Визначення ККЕ при використанні на судні ДП, В100 та їх суміші

| Показники СЕУ | Вагові коефіцієнти показників першого і другого рівнів ($\Sigma = 1$) | Варіанти палив | | |
|---|---|----------------|-------|--------|
| | | ДП | В100 | В20 |
| Потужності | 0,102 | | | |
| – потужність ДВЗ | 0,102 | 1 | 0,7 | 0,9 |
| Енергетичної ефективності | 0,123 | | | |
| – ефективний ККД | 0,123 | 1 | 0,859 | 0,973 |
| Масові | 0,058 | | | |
| – маса запасів палива, кг | 0,058 | 1 | 0,859 | 0,972 |
| Габаритні | 0,08 | | | |
| – об'єм запасів палива | 0,08 | 1 | 0,914 | 0,984 |
| Автономності | 0,044 | | | |
| – температура спалаху | 0,04 | 0,61 | 1 | 0,69 |
| – температура самозаймання | 0,04 | 0,8 | 1 | 0,9 |
| Маневрові | 0,138 | | | |
| – підготовка двигуна до пуску | 0,138 | 1 | 0,5 | 0,7 |
| Економічні | 0,145 | | | |
| – витрати на паливо на рейс | 0,145 | 1 | 0,483 | 0,841 |
| Екологічні | 0,123 | | | |
| – швидкість розкладання (за 8 днів), % | 0,01156 | 0,5125 | 1 | 0,6125 |
| – рівень РАН (поліциклічні ароматичні вуглеводні) | 0,0139 | 0,14 | 1 | 0,28 |
| – рівень СО (монооксид вуглецю) | 0,0139 | 0,65 | 1 | 0,783 |
| – рівень ТНС (загальний рівень вуглеводнів) | 0,0139 | 0,63 | 1 | 0,606 |
| – рівень CO ₂ (діоксид вуглецю) | 0,01624 | 0,983 | 0,993 | 1 |
| – рівень NO _x (оксиди азоту) | 0,01857 | 1 | 0,905 | 0,955 |
| – рівень SO ₂ (діоксид сірки) | 0,01857 | 0,05 | 1 | 0,0595 |
| – рівень РМ (тверді частки або сажа) | 0,01624 | 0,18 | 1 | 0,277 |
| Надійність | 0,109 | | | |
| – мастильні властивості | 0,0545 | 0,5 | 1 | 0,9 |
| – сумісність із елементами СЕУ | 0,0545 | 1 | 0,8 | 0,95 |
| Значення ККЕ, % | | 100 | 87 | 94 |

При використанні методу комплексної оцінки для визначення ККЕ вагові коефіцієнти визначалися з використанням ранжування без урахування розкиду значень окремих показників. Значення критерію, розраховані саме цим методом, найбільш близькі до значень економічної ефективності, яка була прийнята в якості критерію перевірки отриманих значень, як більш розповсюджений засіб оцінювання якості технічного рішення.

Наведемо коментарі щодо обґрунтування вибору значень та вагових коефіцієнтів деяких показників. Хоча представлені показники енергетичної ефективності пов'язані з економічними, їх виділяють у окрему групу оскільки вони дають змогу оцінити

ККД суднової енергетичної установки в цілому (тобто корисно використану теплоту та її втрати), розробити заходи щодо зменшення існуючих втрат теплоти [2].

Хоча масогабаритні показники та автономність також пов'язані, стосовно суднових умов їх розглядають окремо. Маса запасів палива входить до загальної маси енергетичного комплексу судна, тому цей показник виділено як окремий. Об'єм паливних запасів безпосередньо пов'язаний із об'ємом та протяжністю приміщень, які займає СЕУ, а також нормативними вимогами щодо відстані та місця розташування окремих елементів в цих приміщеннях. При проектуванні СЕУ слід по можливості зменшувати її

масогабаритні показники при збереженні дефайту судна.

Окрім впливу на показники СЕУ при виборі АП слід враховувати їх специфічні властивості, які можуть обмежити область їх використання. Так, наприклад БД має більш високе значення температури застигання, ніж ДП, що утруднює використання його взимку, біодизельне паливо є нестабільним схильним до окиснення (за різними джерелами В100 можна зберігати 3-8 місяців при дотриманні певних умов). Але вплив цих та деяких інших недоліків можна компенсувати різними методами: додаванням спеціальних присадок, використанням БД високої якості, підігрівом в паливних системах тощо.

Особливості методики визначення ККЕ при використанні ЗПГ

1. ЗПГ – це альтернатива як ДП, так і ВП. Його можна використовувати і в головних двигунах і в дизель-генераторах. Перспективний сегмент флоту для використання ЗПГ – це відносно невеликі судна з рейсовими лініями переважно в районах із жорсткими екологічними обмеженнями, де є можливість буксування ЗПГ (пороми, круїзні та пасажирські судна, судна обслуговування газодобувних платформ тощо). Обмеження щодо розмірів пов'язані із відносно невеликою максимальною встановленою потужністю газодизельних двигунів (ГДД) порівняно із дизельними малооборотними (МОД).

2. Використання ЗПГ потребує кардинальних змін ПС, заміни двигуна, іноді типу пропульсивної установки. При формуванні варіантів слід враховувати, що ГДД сьогодні використовуються переважно у складі дизель-електричних установок, і лише на одному судні газодизелі працюють в складі дизель-механічної СЕУ. При використанні ЗПГ як палива для головних двигунів можуть порівнюватися МОД та СОД у складі пропульсивних установок різних типів на ВП та ДП. Для дизель-генераторів можливо два варіанти: дизельний СОД на ДП та ГДД на ЗПГ.

3. Визначаються, які параметри СЕУ та окремого основного обладнання зміняться при використанні

ЗПГ. Обов'язково потрібно розраховувати окрім маси та об'єму палива масогабаритні показники вмістич для ЗПГ.

4. Основними вхідними параметрами для розрахунків є характеристики суден та палив. Для зрідженого природного газу важливим показником є тиск зберігання, який визначає ряд інших теплофізичних властивостей палива, що впливають на характеристики вмістич. Порядок визначення вхідних параметрів такий самий, як і для БД з урахуванням специфічних особливостей ЗПГ. Етапи 5-9 аналогічні методиці оцінювання ефективності застосування біодизельних палив на суднах.

Висновки

Методика визначення ККЕ використання АП враховує вплив на основні показники СЕУ типу палива та умов експлуатації конкретного судна.

При відносно невеликому програті у сумарній ефективності додатковим аргументом на користь використання АП є наявність в багатьох країнах світу відповідної законодавчої бази щодо збільшення обсягів споживання альтернативних відновлюваних палив, в тому числі, вимоги обов'язкового додавання до ДП біодизелю в кількості від 1% до 10% (до 20% в Малайзії).

Подальші дослідження в цьому напрямку будуть спрямовані на створення нових та уточнення існуючих методик розрахунку ККЕ для різних типів АП та на розроблення методик проектування СЕУ при використанні альтернативних палив.

Список літератури:

1. Горбов В. М. Альтернативные топлива для судовых энергетических установок / В. М. Горбов, В. С. Митенкова // Судостроение. – 2007. – № 3 (128). – С. 54–55.
2. Голубев Н. В. Проектирование энергетических установок морских судов: учеб. пособие / Голубев Н.В. – Л.: Судостроение, 1980. – 312 с.
3. Горбов В. М. Выбор показателей энергетической установки, характеристик СЭУ и судна на начальных стадиях проектирования судов транспортного флота: учеб. пособие / В. М. Горбов, Ю. А. Шаповалов, Г. Г. Курчев. – Николаев: УГМТУ, 1997. – 141 с.
4. Гудков П. А. Методы сравнительного анализа: учеб. пособие / Гудков П. А. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. – 81 с.