

УДК 536.24

© Берестовой И.О.¹, Берестовая Г.В.²**ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОЙ СКОРОСТИ СГОРАНИЯ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
РАБОТЫ ДИЗЕЛЕЙ**

В статье рассматривается подход к оценке комплексной эффективности дизеля. Используемый в работе подход позволяет выявить новые и конкретизировать уже существующие пути решения проблемы повышения эффективности дизелей с учетом взаимообусловленности параметров, характеризующих эффективность его работы. Проведены статистические исследования современных двигателей и их анализ, на основе которых было сделано допущение о существовании взаимосвязи между удельным расходом топлива и рассматриваемыми параметрами дизеля. Предложена в результате обработки статистических данных для различных исследуемых дизелей функция, отображающая взаимосвязь объемной скорости сгорания, площади поршня и номинального теоретического удельного расхода топлива. Анализ полученной функции позволяет установить взаимосвязь между экономической эффективностью дизеля, показателем которой принят удельный расход топлива, и объемной скоростью сгорания и конструктивными особенностями дизеля.

Ключевые слова: дизель, объемная скорость сгорания, прогнозная модель, эффективность.

Берестовой И.О., Берестовая Г.В. Оцінка на основі об'ємної швидкості згорання економічної і технічної ефективності роботи дизелів. У статті розглядається підхід до оцінки комплексної ефективності дизеля. Використовуваний в роботі підхід дозволяє виявити нові і конкретизувати вже існуючі шляхи вирішення проблеми підвищення ефективності дизелів з урахуванням взаємообумовленості параметрів, що характеризують ефективність його роботи. Проведено статистичні дослідження сучасних двигунів та їх аналіз, на основі яких було зроблено припущення про існування взаємозв'язку між питомою витратою палива і розглянутими параметрами дизеля. Запропонована в результаті обробки статистичних даних для різних досліджуваних дизелів функція, що відображає взаємозв'язок об'ємної швидкості згорання, площі поршня і номінальної теоретичної питомої витрати палива. Аналіз отриманої функції дозволяє встановити взаємозв'язок між економічною ефективністю дизеля, показником якої прийнята питома витрата палива, та об'ємною швидкістю згорання і конструкційними особливостями дизеля.

Ключові слова: дизель, об'ємна швидкість згорання, прогнозна модель, ефективність.

I.O. Berestovoy, G.V. Berestovaya. Evaluation of economic and technical efficiency of diesel engines operation on the basis of volume combustion rate. The article deals with a new approach to evaluation of complex efficiency of diesel engines. Traditionally, cylinder's capacity, rotation frequency, average efficient pressure inside cylinder, piston's stroke, average piston's velocity, fuel specific consumption and other indices are used as generalizing criteria, characterizing diesel engine's efficiency, but they do not reflect interrelation between engine's complex efficiency and a set of economic, mass-dimensional, operational and ecological efficiency. The approach applied in the article makes it possible to reveal the existing and modify the existing methods of solving the problem of improving diesel engine's efficiency with due regard to interrelation of the parameters, cha-

¹ ст. преподаватель, Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь, bio1987@mail.ru

² аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, ainagoz.galina@mail.ru

racterizing efficiency of their operation. Statistic analyses were carried out, on the basis of which an assumption regarding the existence of interrelation between specific fuel consumption and the analyzed engine's parameters was made. Processing of statistical data for various analyzed functions of diesel engines helped offer a function, illustrating the link between volume combustion rate, piston's area and nominal theoretical specific fuel consumption. Interrelation between volume combustion rate, nominal parameters of diesel operation and efficiency indices, obtained by processing statistical data of more than 500 models of diesels of different series was evaluated, the main feature of it being a mathematical trend. The analysis of the obtained function makes it possible to establish an interrelation between economic efficiency of a diesel, its main index being specific fuel consumption and volume combustion rate and design peculiarities.

Keywords: diesel engine, volume combustion rate, predicted model, efficiency.

Постановка проблеми. При замене и подборе дизеля для вновь строящихся и модернизируемых силовых транспортных средств в современных условиях предъявляются дополнительные требования к экономическим, массогабаритным, техническим и экологическим параметрам его работы.

В этих условиях возникает необходимость разработки комплексной оценки эффективности судового дизеля, на основании которой, посредством сопоставления конкретного дизеля с исследуемой группой, можно выделить особенности в конструкции конкретного дизеля, влияющие на его параметры, и применить их на другом модернизируемом дизеле группы. Данный подход позволит выявить новые, а также конкретизировать уже существующие решения проблемы повышения эффективности дизелей с учетом взаимообусловленности параметров, характеризующих эффективность его работы.

Анализ последних исследований и публикаций. В теории и практике в настоящее время используют широкую гамму показателей оценки эффективности работы дизелей силовых транспортных средств, которые условно можно разделить на три большие группы, объединенные по энергетическим, экономическим и эксплуатационным признакам [1].

К группе энергетических показателей принято относить эффективную и индикаторную мощность, крутящий момент на выходном валу, среднее эффективное и среднее индикаторное давление, частоту вращения коленчатого вала [1, 2].

К числу экономических показателей относят удельный эффективный, индикаторный и часовой расходы топлива [3].

К эксплуатационным показателям относят тепловую и механическую напряженность дизеля – температура выпускных газов, температура системы охлаждения, максимальное давление сгорания, давление в конце сжатия, движущая сила, температура и температурные перепады в деталях цилиндра-поршневой группы, а также другие показатели, характеризующие тепловые показатели работы дизеля [1-4].

В этих условиях целесообразно выделить еще и конструкционные показатели дизеля: диаметр поршня, ход поршня, масса дизеля, линейные размеры дизеля, степень сжатия и прочие показатели.

Безусловно, большинство показателей работы дизеля функционально взаимосвязаны друг с другом, что приводит к затруднению установления влияния на них особенностей конструкций и поиску решений, обеспечивающих повышение эффективности работы дизеля.

В качестве обобщающих критериев, характеризующих эффективность работы дизеля, обычно используют мощность цилиндра, частоту вращения, среднее эффективное давление в цилиндре, среднюю скорость поршня, ход поршня, удельный расход топлива и другие показатели, но они не описывают взаимосвязь комплексной эффективности дизеля с совокупностью экономической, массогабаритной, технической и экологической эффективностей.

Следует отметить, что под комплексной эффективностью дизеля понимается совокупность следующих эффективностей: экономической, массогабаритной, технической и экологической. Указанные эффективности представляется возможным связать между собой с помощью понятия «объемная скорость сгорания» - $V_{ог}$ [5-7].

Целью статьи является оценка экономической и технической эффективности работы ди-

зеля на основе показателя объемной скорости сгорания.

Изложение основного материала. Под объемной скоростью сгорания предполагается скорость изменения рабочего объема в цилиндре дизеля за счет сгорания топлива в процессе его работы.

Для выявления взаимосвязи объемной скорости сгорания с экономической и технической эффективностью работы дизелей в [5] предложена следующая зависимость

$$V_{об} = z \frac{N_e}{P_e}, \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность цилиндра, Вт;

P_e – эффективное давление, Па.

На основании данной зависимости был выполнен расчет показателя $V_{об}$. При этом рассматривался статистический ряд параметров дизелей различных серий от ЧН8,25/8,2 до ЧН64/90 (рис. 1).



Рис. 1 – Изменение средней объемной скорости от диаметра поршня для различных типов дизелей (точки - опытные значения; кривые – расчетные значения)

Дальнейшая оценка взаимосвязи объемной скорости сгорания с номинальными параметрами работы дизеля и показателями эффективности осуществлялась путем обработки статистических данных более 500 моделей дизелей различных серий (рис. 1), важнейшей частью которой является основная тенденция развития – математический тренд [8].

Математический тренд или математическое описание тенденции изменения объемной скорости сгорания используется для наглядности и анализа процесса, а также для принятия решения в вопросах повышения эффективности дизеля методом структуризации и ранжирования его показателей [9, 10].

Такой подход позволяет подобрать наиболее эффективный дизель для силовых транспортных средств при их постройке, а также при модернизации и ремонте в эксплуатации.

Значения средней объемной скорости сгорания в цилиндре представлены в виде зависимости (рис. 1).

$$V_{об} = \varphi(D; n). \quad (2)$$

Рассматриваемые дизели по количеству оборотов разделены на малооборотные, среднеоборотные, дизели повышенной оборотности и высокооборотные дизели в соответствии с общепринятой классификацией.

Для выбранных четырех типов дизелей была проведена соответствующая статистическая обработка данных, ранжированных по скорости сгорания и номинальным параметрам работы дизеля. Такая обработка позволяет выявить направления повышения эффективности при проектировании и при эксплуатации современных дизелей силовых транспортных средств с учетом неформального подхода к решению рассматриваемых проблем и опытом лица, принимающего решение и осуществляющего моделирование [11].

При анализе зависимости (2) для малооборотных двухтактных дизелей прогнозная модель, тренд зависимости объемной скорости ($V_{об}$, м³/сек) от диаметра цилиндра (D , М), получена в виде

$$V_{об.мо} = 1,3 \cdot d^2 - 0,041 \cdot d, \text{ м}^3/\text{с} \quad \text{при} \quad r^2 = 0,98. \quad (3)$$

Для дизелей среднеоборотных четырехтактных прогнозная модель зависимости объемной скорости ($V_{об}$, м³/сек) от диаметра цилиндра (D , М) имеет следующий вид

$$V_{об.со} = 2,5 \cdot d^2 - 0,33 \cdot d, \text{ м}^3/\text{с} \quad \text{при} \quad r^2 = 0,97. \quad (4)$$

Для четырехтактных дизелей повышенной оборотности ($750 \text{ мин}^{-1} < n_{об} < 1500 \text{ мин}^{-1}$) тренд зависимости объемной скорости ($V_{об}$, м³/сек) от диаметра цилиндра (d , м)

$$V_{об.но} = 1,9 \cdot d^2 - 0,075 \cdot d, \text{ м}^3/\text{с} \quad \text{при} \quad r^2 = 0,85. \quad (5)$$

А для высокооборотных четырехтактных дизелей прогнозная модель зависимости объемной скорости ($V_{об}$, м³/сек) от диаметра цилиндра (D , М) получена в виде

$$V_{об.во} = 1,9 \cdot d^2 + 0,018 \cdot d, \text{ м}^3/\text{с} \quad \text{при} \quad r^2 = 0,93. \quad (6)$$

На основе результатов обработки статистических данных было сделано допущение о существовании взаимосвязи между экономическим показателем удельного расхода топлива и рассматриваемыми параметрами дизеля. Вышеупомянутая взаимосвязь была определена использованием графоаналитического метода на основании допущения об отображении удельного расхода в виде функции

$$B = \varphi(\bar{S}; V_{об}) = \frac{a}{\bar{S}^n \cdot V_{об}^k}, \quad (7)$$

где a, n, k – коэффициенты, определяемые посредством сопоставления расчетного значения параметра (В) с известным по технической характеристике методом оптимизированного перебора корней.

Таким образом, получена эмпирическая функция, отображающая взаимосвязь объемной скорости сгорания $V_{об}$, площади поршня \bar{S} (м²) и номинального теоретического удельного расхода топлива B (г/кВт·ч) для различных типов дизелей

$$B = \frac{140}{\bar{S}^{0,062} \cdot V_{об}^{0,035}}. \quad (8)$$

По выражению (8) был проведен расчет номинального удельного расхода топлива, и полученные результаты были сопоставлены с фактическими (рис. 2).

Величина достоверности аппроксимации полученной функции - $R^2=0,92$, средняя квадратическая погрешность результатов расчета по (8) относительно статистических данных определялась по выражению (9) и составила 10,24.

$$E_S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2}{n-1}} = 10,24, \quad (9)$$

где E_S – средняя квадратическая погрешность результатов расчета, г/кВт·ч;

n – количество исследуемых дизелей (в расчете $n=500$);

\bar{x}_i, x_i – расчетный и фактический (указанный в характеристике дизеля) удельный расход топлива соответственно, г/кВт·ч.

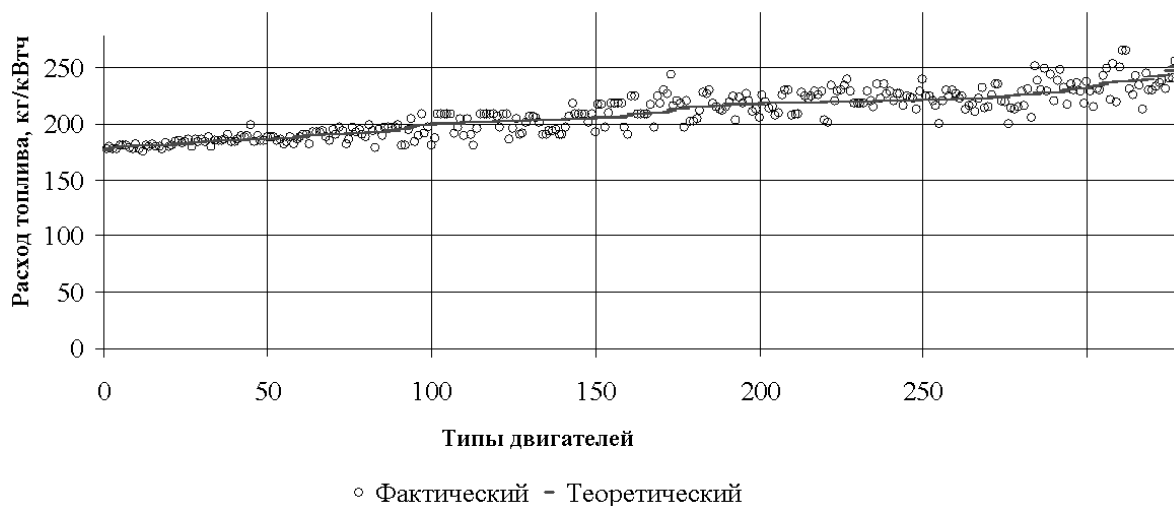


Рис. 2 – Сравнение теоретического и фактического расхода топлива различных дизелей

Анализируя полученную зависимость (8) можно предположить целесообразность ее применения и необходимость ее более глубокого исследования.

Выражение (8) по определению удельного расхода топлива коррелирует с данными, полученными эмпирическим путем, которые приведены в характеристике дизеля. Оно отображает зависимость удельного расхода топлива от объемной скорости сгорания топлива.

Выводы

1. На основе статистических исследований показателей дизелей различных серий с учетом диаметра цилиндра и количества оборотов разработаны прогнозные модели по определению объемной скорости сгорания для малооборотных двухтактных дизелей, среднеоборотных, повышенной оборотности и высокооборотных четырехтактных дизелей силовых транспортных средств, что позволяет подобрать для судна наиболее эффективный дизель с требуемыми конструктивными параметрами.

2. В результате обработки статистических данных предложена для различных дизелей функция, отображающая взаимосвязь объемной скорости сгорания, площади поршня и номинального теоретического удельного расхода топлива, которая устанавливает взаимосвязь между экономической эффективностью дизеля, показателем которой принят удельный расход топлива, с объемной скоростью сгорания и конструктивными особенностями дизеля.

Список использованных источников:

1. Захаров Г.В. Техническая эксплуатация судовых дизельных установок // Г.В. Захаров. – М. : ТрансЛит. – 2009. – 256 с.
2. Пахомов Ю.А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания // Ю.А. Пахомов. – М. : ТрансЛит. – 2007. – 528 с.
3. Возницкий И.В. Судовые двигатели внутреннего сгорания // И.В. Возницкий, А.С. Пунда. – М. : Моркнига. – 2008. – Т. 2. – 470 с.
4. Берестовой И.О. Влияние конструктивных параметров дизелей морских судов на их эксплуатационные показатели / И.О. Берестовой, В.П. Литвиненко // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку судноплавства в Азовському морі». – Мариуполь : АМІ ОНМА. – 2012. – С. 177-181.
5. Берестовой И.О. К методу оценки взаимосвязи внутрицилиндровых процессов с эффективностью работы двигателей внутреннего сгорания / И.О. Берестовой, В.П. Литвиненко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля. – № 6(177), ч. 1. – 2012. – С. 216-221.
6. Костин А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации / А.К. Костин, Б.П. Пугачёв, Ю.Ю. Кочинев. – Л. : Машиностроение. – 1989. – 286 с.

7. Кузнецова С.А. Пожаробезопасность при эксплуатации резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.26.03 / С.А. Кузнецова; Уфимский гос. нефт. техн. ун-т. – Уфа, 2005. – 22 с.
8. Самарский А.А. Математическое моделирование. Идеи, методы, примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М. : Наука. – 2001. – 320 с.
9. Berestovoy I. Assessment of the natural and energy resources utilization in the transportation flow chart of the industrial production / I. Berestovoy, O. Khlestova // ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin : Rzeszow. – 2013. – Vol. 13, № 3. – P. 84-89.
10. Миргород В.Ф. Особенности применения трендовых статистик при обработке данных в системах технической диагностики / В.Ф. Миргород, Г.С. Ранченко // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005. – № 4. – С. 25-27.
11. Акофф Р. Основы исследования операций / Р. Акофф, М. Сосиени. – М. : Мир. – 1971. – 534 с.

Bibliography:

1. Zakharov G.V. Technical operation of ship diesel installations // G.V. Zaharov. – М. : TransLit. – 2009. – 256 p. (Rus.)
2. Pakhomov Y.A. Ship power plants with internal combustion engines // Y.A. Pakhomov. – М. : TransLit. – 2007. – 528 p. (Rus.)
3. Voznitskiy I.V. Ship internal combustion engines, including 2 // I.V. Voznitskiy, A.S. Punda. – М. : Morkniga. – 2008. – Vol. 2. – 470 p. (Rus.)
4. Berestovoy I.O. Influence of the design parameters of diesel ships on their operational performance / I.O. Berestovoy, V.P. Litvinenko // Proceedings of the international scientific conference «Prospects of development of navigation in the Azov Sea». – Mariupol : ONMA AMI. – 2012. – P. 177-181. (Rus.)
5. Berestovoy I.O. The method of assessing the relationship intracylinder processes with the efficiency of internal combustion engines / I.O. Berestovoy, V.P. Litvinenko // News Shidnoukraiïnskogo natsionalnogo universitetu name V. Dalya. – Lugansk : NUS name Dal. – № 6(177), Part 1. – 2012. – P. 216-221. (Rus.)
6. Kostin A.K. Work under operating conditions of diesel engines // A.K. Kostin, B.P. Pugachev, Y.Y. Kochinev. – L. : Mashinostroenie. – 1989. – 286 p. (Rus.)
7. Kuznetsova S.A. Fire safety in the operation of storage tanks for oil and petroleum products : Phd. thesis : 05.26.03 / S.A. Kuznetsova; Ufa state oil tehn. univ. – Ufa, 2005. – 22 p. (Rus.)
8. Samarskiy A.A. Math modeling. Ideas, methods, examples / A.A. Samarskiy, A.P. Mikhaylov. – Moscow : Nauka. – 2001. – 320 p. (Rus.)
9. Berestovoy I. Assessment of the natural and energy resources utilization in the transportation flow chart of the industrial production / I. Berestovoy, O. Khlestova // ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin : Rzeszow. – 2013. – Vol. 13, № 3. – P. 84-89.
10. Mirgorod V.F. Features of the application of trend statistics in data processing systems of technical diagnostics / V.F. Mirgorod, G.S. Ranchenko // Technology and design of electronic equipment. – 2005. – № 4. – P. 25-27. (Rus.)
11. Akoff R. Fundamentals of operations research. / R. Ackoff, M. Cosiyeni. – М. : Mir. – 1971. – 534 p. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 22.03.2016