

## УДК 621.436:519.876.5

В. П. ЛИТВИНЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експлуатація судових енергетических установок», Азовський морський інститут Одеської національної морської академії, ул. Чорноморська, 19, Маріуполь, Україна, 87517, тел. +38 (0629) 37 11 16, ел. пошта jltinski@mail.ru, ORCID 0000-0002-7814-4157

## ФОРМАЛИЗАЦІЯ МОДЕЛІ РАБОТИ ДИЗЕЛЯ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ СКОРОСТІ ПРОЦЕССОВ СГОРАНИЯ

**Цель.** В современных условиях используемые методы и модели проектирования и оценки эксплуатационных свойств дизелей не в полной мере учитывают специфику протекания процессов сгорания. Отчасти такое положение характеризуется сложностью учета многообразных по своей природе процессов, которые в полной мере не исследованы. В этой связи необходим поиск новых методов и моделей, которые бы обеспечивали относительно простые решения за счет применения обобщающих показателей, получаемых на основе анализа параметров используемых на транспорте дизелей. **Методика.** Предложенный алгоритм оценки процессов сгорания в виде объемной и линейной скоростей базируется на известных значениях мощности и среднего эффективного давления и обеспечивает возможность сопоставления эффективности их протекания в различных модификациях дизелей. **Результаты.** Автором установлено, что соотношение между линейной и объемной скоростями характеризуется некоторыми пределами и зависит от геометрических размеров цилиндропоршневой группы. За счет сделанных допущений представилось возможным рассматривать работу дизеля в виде системы, включающей в себя: 1) подсистему, обеспечивающую возможность получения тепловой энергии; 2) подсистему, обеспечивающую преобразование тепловой энергии; 3) подсистему, обеспечивающую поддержание необходимой мощности дизеля, в зависимости от условий сгорания топливовоздушной смеси. **Научная новизна.** Автором статьи предложены показатели объемной и линейной скоростей сгорания топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя, которые обеспечивают возможность получения сопоставимых характеристик в двигателях различной модификации с учетом возможного выбора оптимальных соотношений. **Практическая значимость.** Использование показателей объемной и линейной скоростей протекания процессов сгорания в цилиндрах двигателей в сочетании с математической моделью позволяют упростить методику расчета дизелей. Параметрические значения отмечаемых скоростей в дальнейших исследованиях обеспечат возможность определения эффективных направлений развития конструкции дизеля, а также оценку режимов его нагружения в процессе эксплуатации.

**Ключевые слова:** дизель; топливовоздушная смесь; процессы сгорания; объемная скорость сгорания; линейная скорость сгорания; система; подсистема; математическая модель

### Введение

Получение функциональных зависимостей и связей между физико-химическими и термодинамическими процессами, протекающими в дизеле, является одной из фундаментальных задач теории и практики их эксплуатации. Это обусловлено сложностью учета многообразных по своей природе процессов, которые в полной мере не исследованы, что при разработке моделей приводит к необходимости принятия допущений, упрощающих описание работы дизеля, используя известные результаты исследований и законы. В определенном смысле можно отметить, что современные методы и модели с позиций адекватного описания процессов ди-

зеля относятся к разряду оценки гипотез, применение которых в последующем подвергается проверке на предмет соответствия расчетных значений с фактически полученными данными. В этой связи разработка новых моделей представляется актуальной, хотя бы с позиций накопления информационного материала, обработка которого окажется полезной в дальнейших работах.

Значимым моментом при разработке моделей является согласование условий тепловыделения с режимами нагрузки дизеля, которые зависят от скорости сгорания топливовоздушной смеси.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**Цель**

Целью данной работы является формулирование математической модели, отображающей условия работы дизеля в зависимости от изменения параметров сгорания топливовоздушной смеси в цилиндре с учетом режимов его нагружения.

В общем виде можно отметить большое количество работ, посвященных моделированию процессов сгорания работы дизеля. Условно они могут быть разделены на работы, отображающие общий характер работы дизеля и посвященные локальным внутрицилиндровым проблемам [1–14]. Анализ таких работ показывает, что скорость сгорания оказывает решающее влияние на процессы, связанные с образованием давления в цилиндре двигателя и условиями протекания тепло-массообмена. В тоже время в сложившейся теории и практике эксплуатации дизелей прослеживается не достаточное количество данных, в том числе и математических моделей, где скорость сгорания рассматривается как функция управления работой дизеля при изменяющихся условиях его нагрузки.

**Методика**

В работе рассматривалось соотношение в виде функциональной связи:

$$V_{л} = f(N_{ei}; P_{ei}; n; T; D; V_{об}),$$

$$V_{об} = f(N_{ei}; P_{ei}; n; T; D; V_{л}),$$

где  $N_{ei}$  – эффективная мощность на  $i$ -ых режимах работы дизеля, кВт;  $P_{ei}$  – среднее эффективное давление на  $i$ -ых режимах работы дизеля, бар;  $n$  – число оборотов двигателя, об/мин;  $T$  – длительность сгорания, с;  $D$  – диаметр цилиндра, м;  $V_{об}$ ,  $V_{л}$  – объемная и линейная скорости сгорания м<sup>3</sup>/с и м/с соответственно.

При этом объемная и линейная скорости сгорания определялись из соотношений:

$$V_{об} = 0,01 \frac{dN_{ei}}{m \cdot dP_{ei}},$$

$$V_{л} = \frac{0,013 \cdot dN_{ei}}{m \cdot D^2 \cdot dP_{ei}} = \frac{0,013 \cdot V_{об}}{k \cdot D^2}.$$

Длительность сгорания при этом определялась в виде соотношения:

$$T = 78,5 \cdot D^2 \cdot H \cdot m \frac{dP_{ei}}{dN_{ei}},$$

где  $m$  – коэффициент тактности. Для двухтактных двигателей принимается равным  $m = 1$ , для четырехтактных  $m = 0,5$ .

В основу разработки математической модели были положены методы системного анализа и системотехники, позволившие рассматривать дизель как некоторую условную большую систему, конструктивно состоящую из трех подсистем.

К первой из названных подсистем отнесена подсистема  $\{A\}$ , обеспечивающая возможность получения тепловой энергии. Ко второй отнесена подсистема  $\{B\}$  – подсистема, обеспечивающая преобразование тепловой энергии в давление расширяющихся газов и получение механической работы. К третьей отнесена подсистема  $\{C\}$  – подсистема, обеспечивающая поддержание необходимой мощности двигателя в зависимости от условий сгорания топливовоздушной смеси. Отмеченные подсистемы находятся в постоянном взаимодействии и влияют на эффективность работы всей системы –  $\{\Sigma\}$ . Так что можно записать некоторое общее соотношение, определяющее состояние системы  $\{\Sigma\}$

$$\{\Sigma\} = f(\{A\}, \{B\}, \{C\}).$$

Функционирование подсистемы  $\{A\}$  определяется ее способностью трансформировать (преобразовывать) определенное количество подводимой энергии в движущую поршень силу –  $F_A$ , в зависимости от режимов нагружения подсистемы  $\{B\}$ . Так что можно отметить, что между движущей поршень силой  $F_A$  и силой, препятствующей работе подсистемы  $\{B\}$ , которую обозначим  $F_B$ , должно существовать определенное соотношение  $F_A/F_B$ ,

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

которое при работающей системе, вероятно, должно быть больше единицы,  $F_A/F_B \geq 1$ . Движущая поршень сила зависит от физико-химических процессов, предопределяющих условия нарастания давления в цилиндре двигателя  $\Delta P_A$ . Причем  $F_A$  определяется как произведение степени нарастания давления  $\Delta P_A$  на площадь поршня  $S$ ,  $F_A = \Delta P_A \cdot S$ .

В тоже время нарастание давления  $\Delta P_A$  зависит от величины сопротивления перемещению поршня в цилиндре, так что можно допустить  $\Delta P_A \sim F_B$ .

По мере увеличения силы сопротивления ( $F_B$ ) увеличивается длительность времени, необходимого для протекания физико-химических процессов, обеспечивающих объемное воспламенение топливоздушную смеси, что способствует повышению интенсивности нарастания давления  $\Delta P_A$ . Как следствие, это приводит к увеличению среднего давления в цилиндре  $P$ . В частности, на такой результат указывают практические исследования [4], где отмечается изменение соотношений между давлением сгорания  $P_z$  и средним индикаторным давлением  $P_i$ . Вариационно такое соотношение  $P_z/P_i$  может достигать 7–10 единиц. Так что в теоретическом контексте можно пояснить такие вариации за счет полноты реакций, происходящих в цилиндре двигателя, благодаря увеличению периода времени, в течение которого они происходят. К аналогичному выводу можно прийти в результате рассмотрения индикаторных диаграмм, характеризующих работу двигателя, снятых на различных режимах его нагружения.

Наряду с рассматриваемыми процессами наиболее эффективным является экономичный режим работы двигателя, для которого минимальный расход топлива –  $g_{e \min}$ . Наличие такого режима является фактом, свидетельствующим о существовании резерва в оптимизации работы двигателя. В определенном смысле экономичный режим указывает на то, что регулирование работой дизеля на иных режимах достигается за счет ухудшения процессов сгорания. Эффект повышения мощности обеспе-

чивается исключительно благодаря большему количеству топлива, подаваемого в цилиндр двигателя, без изменения качественных составляющих, существенно влияющих на получение тепловой энергии. Такой подход обусловлен сложившимися и, на наш взгляд, не вполне оправданными представлениями о способности процессов, протекающих в дизеле, к саморегуляции.

В работе ставилась наиболее общая задача повышения эффективности работы дизеля, которая основывается на рассмотрении динамики изменения тепловыделения  $dQ/d\tau$ , скорости нарастания давления  $dP/d\varphi$  и динамики изменения скорости сгорания  $dN/dP$ , что обуславливается параметрической взаимосвязанностью процессов.

Отмеченные соотношения характеризуют эффективность функционирования ранее выделенных подсистем –  $\{A\}$ ,  $\{B\}$  и  $\{C\}$ , входящих в систему  $\{\Sigma\}$ . Так что можно записать, что выделенные подсистемы отображают ( $\rightarrow$ ) следующую связь:

$$\{A\} \rightarrow dQ/d\tau;$$

$$\{B\} \rightarrow dP/d\varphi;$$

$$\{C\} \rightarrow dN/dP.$$

Эти зависимости обособленно рассматриваются в известных работах [4, 10, 11] с целью получения частных характеристик дизеля. Однако их рассмотрение в виде некоторой системы уравнений рассмотрено в литературе явно недостаточно, хотя взаимообусловленность соотношений представляется оправданной. Таким образом, в случае рассмотрения системы  $\{\Sigma\}$  представляется определить ( $\Rightarrow$ ) некоторый наиболее общий показатель ( $\Omega$ ):

$$\{\Sigma\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{dQ}{d\tau} = 6n \frac{B_0}{\mu_r V} \cdot \frac{dx}{d\varphi} \\ \frac{dP}{d\varphi} = \left( \frac{k-1}{A \cdot V} \Psi B_0 Q_H^p \frac{dx}{d\varphi} - k \frac{P_H}{V} \frac{dV}{d\varphi} \right) \\ \frac{dN}{dP} = \frac{\xi FH}{m} \frac{d\varphi}{d\tau} \end{array} \right\} \Rightarrow \Omega, (1)$$

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

где  $dQ/d\tau$  – скорость тепловыделения, Дж/с;  $dP/d\phi$  – скорость нарастания давления, Па/п.к.в. и Па/с соответственно;  $dN/d\phi$  – скорость изменения мощности, Вт/°п.к.в.;  $n$  – число оборотов двигателя, с<sup>-1</sup>;  $B_0$  – цикловая подача топлива, кг;  $\mu_T$  – кажущаяся молекулярная масса топлива, г/моль;  $V$  – текущее значение объема цилиндра, м<sup>3</sup>;  $dx/d\phi$  – интенсивность выгорания топлива, °п.к.в.<sup>-1</sup>;  $k$  – показатель адиабаты;  $\Psi$  – коэффициент использования теплоты реального процесса;  $A$  – термический эквивалент работы;  $Q_p^H$  – низшая теплота сгорания топлива, Дж/кг;  $P_H$  – давление в начале процесса; Па;  $\xi$  – коэффициент пропорциональности;  $z$  – коэффициент тактности;  $dV/d\phi$  – скорость изменения объема, м<sup>3</sup>/°п.к.в.;  $F_{\Pi}$  – площадь поршня, м<sup>2</sup>;  $H$  – текущее значение хода поршня, м.

В структурно логическом отношении поставленная задача формулируется следующим образом. Требуется определить такой оптимальный интегральный показатель ( $\Omega$ ), который отображает характер интенсивности образования внутренней энергии сгорающих газов за счет интенсивности выделяемого тепла  $dQ/d\tau$  в цилиндре двигателя во взаимосвязи с изменяющимся объемом  $dV/d\phi$  при нарастании давления  $dP/d\phi$  и изменении скорости сгорания  $dN/d\phi$ , в наибольшей степени соответствующий режиму нагружения двигателя.

## Результаты

Исследование рассматриваемых зависимостей (1–3) производилось по результатам данных более 200 моделей двигателей, фрагмент которых приведен в табл. 1. При соответствующем ранжировании значений были получены кривые, отображающие функциональную связь между изменениями мощности двигателя в зависимости от линейной и объемной скоростями сгорания,  $N_{ei} = f(V_{л})$  и  $N_{ei} = f(V_{об})$ , а также между линейной и объемной скоростями,  $V_{л} = f(V_{об})$ . Отмеченные функциональные связи показаны на рис. 1–3.

В результате рассмотрения приведенных зависимостей сделан вывод о том, что увеличение мощности двигателей связано с изменением скорости сгорания топливоздушного смеси. Причем характер влияния линейной скорости на мощность двигателя соответствует полиномиальной зависимости, см. рис. 1.

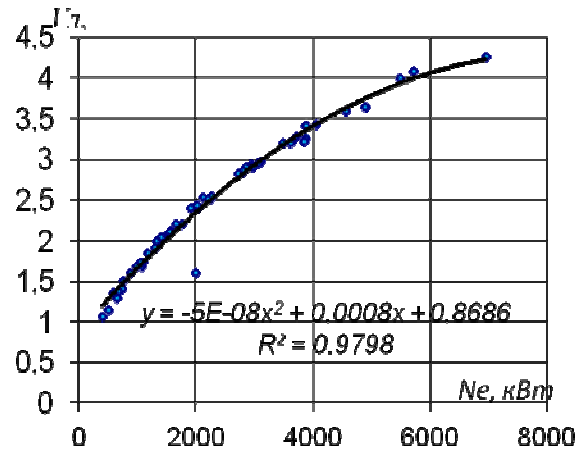


Рис. 1. Изменение мощности дизеля от линейной скорости сгорания

Fig. 1. Change the diesel power from the linear velocity of combustion

В тоже время, связь между объемной скоростью и мощностью выражается линейно, см. рис. 2., что свидетельствует о прямом влиянии количества поданного в цилиндр двигателя топлива на его мощность.

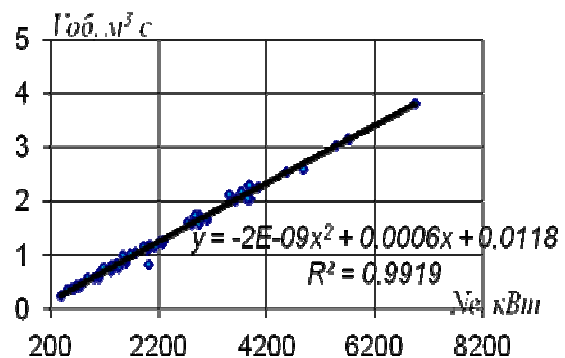


Рис. 2. Изменение мощности от объемной скорости сгорания

Fig. 2. Change the power from the volume velocity of combustion

Наряду с отмеченной специфичностью характера влияния линейной и объемной скоростей сгорания на мощность двигателя в ходе

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

исследования была отмечена закономерность их взаимообусловленности при высоком уровне доверительной вероятности, см. рис. 3.

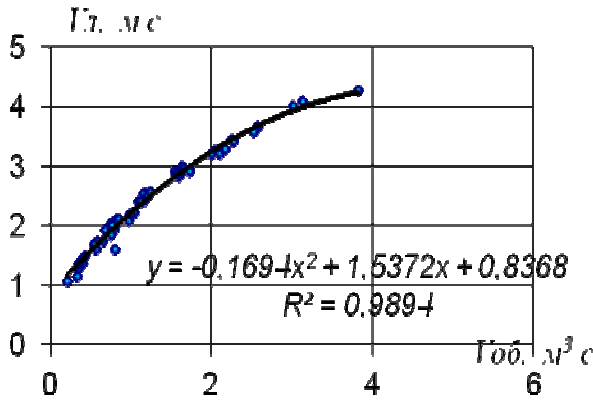


Рис. 3. Взаимосвязь линейной и объемной скоростей сгорания

Fig. 3. The relationship of the linear and volume velocities of combustion

При этом отмечалось варьирование соотношений между линейной и объемной скоростью сгорания,  $V_{л}/V_{об}$ . Они составили 4,5 при минимальных значениях и 1,12 при максимальных значениях. Таким образом, отмечалась целесообразность в дальнейших исследованиях влияния объемной и линейной скорости на эффективность работы дизеля и разработке математической модели.

Таблица 1

Фрагмент статистической обработки данных, используемых в исследовании

Table 1

Block of statistical data used in the study

Модель двигателя	Параметры			
	$V_{об}, м³/с$	$V_{л}, м/с$	H, м	T, с
RTA84T	3 880	18	74	840
S90MC-C	4 890	19	76	900
S80MC-C	3 880	19	76	800
S80MC	3 840	19	79	800
L90MC-C	4 890	19	83	900
S70MC-C	3 105	19	91	700

Окончание табл. 1

End of table 1

Модель двигателя	Параметры			
	$V_{об}, м³/с$	$V_{л}, м/с$	H, м	T, с
RTA84T	2,155	3,268	3 150	0,809
S90MC-C	2,573	3,642	3 188	0,787
S80MC-C	2,042	3,251	3 200	0,787
S80MC	2,021	3,218	3 056	0,759
L90MC-C	2,573	3,642	2 916	0,720
S70MC-C	1,634	2,974	2 800	0,659

Научная новизна и практическая значимость

В ходе исследования процессов сгорания были привнесены понятия объемной и линейной скорости распространения фронта пламени в цилиндрах дизеля. Использование этих понятий в качестве критериев обеспечивает возможность качественной оценки процессов сгорания, и, как следствие, эффективности работы дизеля. Используемый подход предопределялся известными положениями молекулярно-кинетической теории, в соответствии с которыми были сформулированы понятия объемной и линейной скоростей распространения фронта пламени в цилиндре дизеля.

Благодаря сделанным допущениям представилось возможным сформулировать общую задачу эффективной работы дизеля, выраженную в виде системы (1). Решение такой системы во многом упрощается за счет использования понятий скорости сгорания, в отличие от известных подходов расчета двигателей.

В инженерном отношении, при условии более глубокой проработке рассматриваемого вопроса, использование скорости сгорания обеспечивает возможность выполнения параметрических расчетов дизелей как при их проектировании, так и при соответствующей модернизации. В эксплуатационном плане эти параметры могут быть использованы для оценки эффективности работы дизеля в зависимости от режимов его нагрузки.

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

**Выводы**

1. Выполненные исследования позволяют осуществлять анализ эффективности процессов сгорания в дизеле. При этом процесс анализа в значительной мере упрощается.

2. Решение сформулированной модели работы дизеля в виде системы (1) обеспечивает возможность поиска оптимизационных решений в конструкции дизеля.

3. Проведенные исследования показали целесообразность использования комплексных подходов в решении проблемы дальнейшего совершенствования конструкции и эксплуатации дизеля. Одним из таких направлений является организация процессов сгорания топливовоздушной смеси в согласованном режиме с особенностями тепловыделения и режимов нагружения дизеля.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- Берестовой, И. О. К методу оценки взаимосвязи внутрицилиндровых процессов с эффективностью работы двигателей внутреннего сгорания / И. О. Берестовой, В. П. Литвиненко // Вісн. Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ, 2012. – № 6 (177), ч. 1. – С. 216–221.
- Боднар, Б. Є. Визначення методу фільтрації сигналу нерівномірності частоти обертання колінчастого вала дизеля / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Д. В. Черняєв // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. – 2013. – № 1 (43). – С. 113–118. doi: 10.15802/stp2013/9583.
- Брилинг, Н. Р. Быстроходные дизели / Н. Р. Брилинг, М. М. Вихерт, И. И. Гутерман. – Москва : ОНТИ, 1951. – 521 с.
- Ваншейдт, В. А. Дизели : справочник / В. А. Ваншейдт, Н. Н. Иванченко, Л. К. Колеров. – Ленинград : Машиностроение, 1977. – 480 с.
- Вибе, И. И. Новое о рабочем цикле двигателей. Скорость сгорания и рабочий цикл двигателя / И. И. Вибе. – Москва ; Свердловск : Машгиз, 1962. – 270 с.
- Гаврилов, В. В. Моделирование процесса распыливания топлива в судовом дизеле / В. В. Гаврилов // Журн. ун-та водн. коммунікацій. – 2009. – Вып. 2. – С. 91–96.
- Литвиненко, В. П. О некоторых тенденциях параметрических соотношений в двигателях внутреннего сгорания / В. П. Литвиненко // Перспектива розвитку судноплавства в Азовському морі : матер. міжнар. наук.-практ. конф. (20.04.2012) / Азов. мор. ін-т Одес. нац. мор. акад. – Маріуполь, 2012. – С. 122–133.
- Литвиненко, В. П. Особенности исследования геометрических характеристик цилиндрической поршневой группы двигателей с учетом условий зарождения и гибели цепных реакций / В. П. Литвиненко, Е. Н. Крючкова // Судові енергетичні установки: Експлуатація та ремонт : матер. наук.-тех. конф. / Одес. нац. мор. акад. – Одеса, 2012. – С. 47–49.
- Методи нерозбірного діагностування дизелів при експлуатації рухомого складу / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Д. В. Черняєв, О. Я. Децюра // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 56–60.
- Рожанский, Г. С. Судовые двигатели внутреннего сгорания / Г. С. Рожанский. – Ленинград : Судостроение, 1989. – 423 с.
- Сомов, В. А. Судовые многопливные двигатели / В. А. Сомов, Ю. Г. Ищук. – Ленинград : Судостроение, 1984. – 240 с.
- A Physics and Tabulated Chemistry Based Compression Ignition Combustion Model: from Chemistry Limited to Mixing Limited Combustion Modes / N. Bordet, C. Caillol, P. Higelin, V. Talon // Oil & Gas Science and Technology : Rev. IFP Energies nouvelles. – 2011. – Vol. 66, № 5. – P. 823–843. doi: 10.2516/ogst/2011138.
- Berestovoy, I. Diesel operation efficiency improvement based on modeling of fuel carburetion process / I. Berestovoy, G. Aynagoz, M. Berestovoy // ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, № 3. – P. 9–14.
- Varbanets, R. Analyse of marine diesel engine performance / R. Varbanets, A. Karianskiy // J. of Polish CIMAC. Energetic Aspects. – 2012. – Vol. 7, № 1. – P. 269–275.

В. П. ЛИТВИНЕНКО<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Експлуатація суднових енергетичних установок», Азовський морський інститут Одеської національної морської академії, вул. Чорноморська, 19, Мариуполь, Україна, 87517, тел. +38 (0629) 37 11 16, ел. пошта jltinski@mail.ru, ORCID 0000-0002-7814-4157

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ РОБОТИ ДИЗЕЛЯ З УРАХУВАННЯМ ОЦІНКИ ШВИДКОСТІ ПРОЦЕСІВ ЗГОРЯННЯ

**Мета.** У сучасних умовах методи та моделі, що використовуються у проектуванні й оцінці експлуатаційних властивостей дизелів, не у повній мірі враховують специфіку протікання процесів згоряння. Частково таке положення характеризується складністю обліку різноманітних за своєю природою процесів, які у достатній мірі не досліджені. Через це є необхідним пошук нових методів і моделей, які б забезпечували відносно прості рішення за рахунок застосування узагальнюючих показників, отриманих на основі аналізу параметрів дизелів, що використовуються на транспорті. **Методика.** Запропонований алгоритм оцінки процесів згоряння у вигляді об'ємної та лінійної швидкостей базується на відомих показниках потужності й середнього ефективного тиску та забезпечує можливість зіставлення ефективності їх протікання у різноманітних модифікаціях дизелів. **Результати.** Автором встановлено, що співвідношення між лінійною та об'ємною швидкостями характеризується деякими обмеженнями й залежить від геометричних розмірів циліндропоршневої групи. За рахунок зроблених припущень виявилось можливим розглядати роботу дизеля у вигляді системи, що включає в себе: 1) підсистему, яка забезпечує отримання теплової енергії; 2) підсистему, яка забезпечує перетворення теплової енергії; 3) підсистему, що забезпечує підтримання необхідної потужності дизеля, залежно від умов згоряння паливоповітряної суміші. **Наукова новизна.** Автором статті запропоновані показники об'ємної та лінійної швидкостей згоряння паливоповітряної суміші в циліндрі двигуна, які забезпечують можливість отримання зіставних характеристик у двигунах різноманітної модифікації із урахуванням можливого вибору оптимальних співвідношень. **Практична значимість.** Використання показників об'ємної та лінійної швидкостей протікання процесів згоряння в циліндрах двигунів у поєднанні з математичною моделлю дозволяє спростити методику розрахунку дизелів. Параметричні значення відзначених швидкостей у подальших дослідженнях забезпечать можливість визначення ефективних напрямів розвитку конструкції дизеля, а також оцінки режимів його навантаження у процесі експлуатації.

*Ключові слова:* дизель; паливоповітряна суміш; процеси згоряння; об'ємна швидкість згоряння; лінійна швидкість згоряння; система; підсистема; математична модель

V. P. LITVINENKO<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Ship's Power Plants Operation», Azov Maritime Institute of Odesa National Maritime Academy, Chernomorskaya St., 19, Mariupol, Ukraine, 87517, tel. +38 (0629) 37 11 16, e-mail jltinski@mail.ru, ORCID 0000-0002-7814-4157

## FORMALIZATION OF DIESEL ENGINE OPERATION CONSIDERING THE EVALUATION OF VELOCITY DURING THE COMBUSTION PROCESSES

**Purpose.** Under modern conditions the applying methods and design models as well as the evaluation of the operational characteristics of diesel engines do not completely take into consideration the specifics of the combustion processes. In part, such situation is characterized by the complexity of considering of varied by its nature processes that haven't been completely investigated. In this context it is necessary to find the new methods and models which would provide relatively simple solutions through the use of integrated factors based on the analysis of parameters of diesel engines. **Methodology.** The proposed algorithms for the estimating of the combustion process in the form of volumetric and linear velocities is based on the well-known parameters of power and mean effective pressure and allows to compare the efficiency of their behavior in various versions of diesel engines. **Findings.** The author specified that the volumetric / linear velocity ratio is characterized by some strength and depends on the geometric di-

## ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

mensions of the cylinder-piston group. Due to the assumptions it has become possible to consider the operation of a diesel engine as a system comprising: 1) the subsystem that provides the possibility of obtaining the thermal energy; 2) the subsystem providing the thermal energy transformation; 3) the subsystem that provides the necessary diesel engine power depending on terms of combustion of air-fuel mixture. **Originality.** The author of the paper proposed the indices of volumetric and linear combustion velocity of air-fuel mixture in the engine cylinder, that allow to obtain the comparative value in different modifications taking into account the possible choice of optimum ratio. **Practical value.** The usage of indices of volumetric and linear velocities of the combustion processes in the engine cylinder combined with a mathematical model will simplify the method of diesels calculating. Parametric indices of the mentioned velocities will provide the following effective researches in diesel engine design as well as the evaluation of their loading during the operation.

*Keywords:* diesel; fuel-air mixture; combustion processes; volumetric combustion velocity; linear combustion velocity; system; subsystem; mathematical model

## REFERENCES

1. Berestovoy I.O., Litvinenko V.P. K metodu otsenki vzaimosvyazi vnutritsilindrovyykh protsessov s effektivnostyu raboty dvigateley vnutrennego sgoraniya [The method of assessing the relationship within the cylinder processes with the efficiency of internal combustion engines]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Dalia* [Bulletin of East Ukrainian National University named V. Dahl], 2012, no. 6 (177), part 1, pp. 216-221.
2. Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B., Chernyayev D.V. Vyznachennia metodu filtratsii syhnalu nerivnomirnosti chastoty obertannia kolinchastoho vala dyzela [Definition method signal filtering irregularity crankshaft speed of diesel]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2013, no. 1 (43), pp. 113-118. doi: 10.15802/stp2013/9583.
3. Briling N.R., Vikhert M.M., Guterman I.I. *Bystrokhodnyye dizeli* [High-speed diesel engines]. Moscow, ONTI Publ., 1951. 521 p.
4. Vansheydt V.A., Ivanchenko N.N., Kolerov L.K. *Dizeli* [The diesel engines]. Leningrad, Mashinostroeniye Publ., 1977. 480 p.
5. Vibe I.I. *Novoye o rabochem tsikle dvigateley. Skorost sgoraniya i rabochiy tsikl dvigatelya* [New about the working cycle of engines. The speed of combustion and working cycle of the engine]. Moscow, Sverdlovsk, Mashgiz Publ., 1962. 270 p.
6. Gavrilov V.V. Modelirovaniye protsessa raspylivaniya topliva v sudovom dizele [The modeling of the atomization of fuel in marine diesel engine]. *Zhurnal universitetata vodnykh kommunikatsiy – Journal of Water Communications University*, 2009, issue 2, pp. 91-96.
7. Litvinenko V.P. O nekotorykh tendentsiyakh parametricheskikh sootnosheniy v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya [About some parametric trends of the ratios in internal combustion engines]. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Perspektyva rozvytku sudnoplavstva v Azovskomu mori (20.04.2012)»* [Materials of the Intern. Sci. and Practical Conf. «The Prospect of the Development of Navigation in the Azov sea» (20.04.2012)]. Mariupol, 2012, pp. 122-133.
8. Litvinenko V.P., Kryuchkova Ye.N. Osobennosti issledovaniya geometricheskikh kharakteristik tsilindroporshnevoy gruppy dvigateley s uchetom usloviy zarozhdeniya i gibeli tsepnykh reaktsiy [Features of the study of geometric characteristics of cylinder piston engine, taking into account the conditions of the birth and death of chain reactions]. *Materialy naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Sudovi enerhetychni ustanovky: Ekspluatatsiia ta remont»* [Materials of the Sci. and Technical Conf. «Ship power plants : Operation and maintenance»]. Odesa, 2012, pp. 47-49.
9. Bodnar B.Ye., Ochkasov O.B., Cherniaev D.V., Detsiura O.Ya. Metody nerozbirnoho diahnostuvannia dyzeliv pry ekspluatatsii rukhomoho skladu [Methods of nonseparable diagnostics of diesel engines in operation of rolling stock]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 56-60.
10. Rozhanskiy G.S. *Sudovyye dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Marine internal combustion engines]. Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1989. 423 p.
11. Somov V.A., Ishchuk Yu.G. *Sudovyye mnogotoplivnyye dvigateli* [Multi-fuel marine engines]. Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 1984. 240 p.



ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

---

12. Bordet N., Caillol C., Higelin P., Talon V. A Physics and Tabulated Chemistry Based Compression Ignition Combustion Model: from Chemistry Limited to Mixing Limited Combustion Modes. *Oil & Gas Science and Technology: Rev. IFP Energies nouvelles*, 2011, vol. 66, no. 5, pp. 823-843. doi: 10.2516/ogst/2011138.
13. Berestovoy I., Aynagoz G., Berestovoy M. Diesel operation efficiency improvement based on modeling of fuel carburetion process. *ТЕКА. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 2013, vol. 13, no. 3, pp. 9-14.
14. Varbanets R., Karianskiy A. Analyse of marine diesel engine performance. *Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 269-275.

*Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. М. Берестовым (Украина); д.т.н., проф. В. А. Габринцом (Украина)*

Поступила в редколлегию: 02.07.2015

Принята к печати: 10.10.2015