

– скорость тепловыделения зависит в большей степени от плотности заряда, чем от скорости движения вытеснителя, поэтому при одинаковом перемещении вытеснителя скорость тепловыделения в районе ВМТ остается более значительной;

– нельзя выделить единого критерия оптимизации рабочего процесса по продолжительности продувки. Таких критериев существует, как минимум, два – по наибольшей мощности и по максимальной эффективности. При максимальной эффективности отмечается снижение мощности приблизительно на 15% по сравнению с максимальной.

**Список литературы:**

1. *Caton J.A., Rosegay K.H. A Review and Comparison of Reciprocating Engine Operation Using Solid Fuels //*

*«Transactions of the Society of Automotive Engineers», Vol. 82, №831362. – 1984. – P. 1108-1124. 2. Caton J.A. The Development of Coal-Fueled Diesel Engines: A Brief Review // «Energy Information Annual», Vol. 17. – 1992. – P. A89-A97. 3. Белоусов Е.В. Создание и совершенствование твердотопливных поршневого двигателя внутреннего сгорания. – Херсон: ОАО ХГТ, 2006. – 451с. 4. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов. Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с. 5. Белоусов Е.В., Тимошевский Б.Г., Белоусова Т.П. Усовершенствование слоевого метода сжигания твердых топлив в двигателях внутреннего сгорания. // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – № 6 (378). – С. 68–77.*

УДК 621.43.068.7+662.756.3

**А.И. Крайнюк, д-р техн. наук, И.П. Васильев, канд. техн. наук**

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ДИЗЕЛЯХ

### **Введение**

Истощение природных запасов углеводородных топлив порождает интерес к использованию топлив растительного происхождения (ТРП), апробируемыми разновидностями, которых в настоящее время являются спирты и маслосодержащие продукты переработки сельскохозяйственного сырья [1-3].

В Германии находит применение биодизельное топливо, полученное путем переработки растительных масел с показателями, нормируемыми общеевропейским стандартом. В Украине биодизельное топливо применяется в ограниченных объемах, что в

значительной степени связано с отсутствием стандартов на его производство [4].

Помимо биодизельного топлива на автозаправках Германии в качестве топлива для дизельных двигателей реализуется сырое (чистое) рапсовое масло [5]. Растительное масло, как продукт менее высокой технологической переработки, имеет более низкую относительно биодизельного топлива себестоимость, выделяемой при сгорании тепловой энергии. Однако его непосредственное использование в качестве топлива на дизеле предполагает переоснащение или дополнение (для двухтопливных установок) систем

питания специальными элементами топливной аппаратуры.

Привлекательность прямого использования растительного масла, например, в отдаленных сельскохозяйственных районах, прежде всего, обусловлено наличием воспроизводимого сырья, доступностью и невысокой стоимостью его переработки на месте [6-8]. Вместе с тем, при работе двигателя на растительном масле необходимо учитывать ряд эксплуатационных издержек, связанных с изменением моторесурса и снижением мощности установки на номинальной нагрузке, дополнительными затратами на обеспечение норм токсичности, удорожанием технологического обслуживания топливной аппаратуры, поршневой группы и нейтрализатора отработавших газов [9].

### 1. Формулирование проблемы

При решении вопроса о целесообразности использования той или иной разновидности ТРП в конкретных условиях необходима комплексная оценка, отражающая прямые и косвенные затраты на производство вырабатываемой двигателем единиц энергии с учетом эксплуатационных издержек. Такая оценка должна включать экономический показатель эффективности топлива и показатель эксплуатационных издержек его применения. Рассмотрим каждый из них.

### 2. Экономический показатель эффективности топлива

В сравнительных оценках эффективности топлив часто используются традиционные показатели работы ДВС, как удельный эффективный расход топлива ( $g_e$ ) и эффективный коэффициент полезного действия ( $\eta_e$ ) двигателя. Вместе с тем, неидентичность низшей теплоты сгорания различных топлив, а также различные затраты сырья, энергетических и

технологических ресурсов на производство единицы количества продукта затрудняет возможность использования  $g_e$  и  $\eta_e$  в качестве прямых экономических показателей целесообразности использования ТРП.

Непосредственным экономическим показателем эффективности топлива может служить стоимость топлива затрачиваемого на производство двигателем на эксплуатационных режимах единицы энергии (кВт ч) с учетом, сложившихся на сегодняшний день, различных цен на ТРП:

$$P_1 = g_e \cdot C_{\text{ТРП}}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{ТРП}}$  - стоимость ТРП (грн/кг).

Следует заметить, что сложившаяся на рынке оптовая цена ТРП, не всегда отражает реальную себестоимость нового топлива в силу конъюнктурных, региональных и географических факторов, однако учитывает расход сырья и технологические затраты на производство нового топлива, а также эффективность его сгорания в двигателе.

Для расчета экономического показателя эффективности различных топлив в лаборатории кафедры ДВС ВНУ им. В. Даля проводились исследования с целью определения эффективности показателей двигателя при работе на дизельном топливе (ДТ), биодизельном топливе и смесях растительного масла с ДТ.

Испытания проводились на четырехтактном вихрекамерном дизеле 5Д2 (Ч8,5/11) при эффективной мощности 1,94 кВт и частоте вращения коленчатого вала 1000 мин<sup>-1</sup>. Степени сжатия - 17, объем вихревой камеры сгорания с соединительным каналом 27 см<sup>3</sup>. Форсунка штифтовая РШ 6×2×25 (диаметр иглы 6 мм, диаметр распыливающего отверстия 2 мм, угол распыливающего конуса 25°), давление затяжки иглы форсунки 14,5 МПа, геометрический угол опережения начала подачи топлива соответствует 18° п. к. в. до ВМТ.

Расход воздуха на контрольном режиме ( $N_e=1,94$  кВт) составлял 20,1...20,4 кг/ч. Расход топлива изменялся в диапазоне 0,723...0,986 кг/ч, соответственно коэффициент избытка воздуха-1,8...1,94.

При исследованиях использовались следующие топлива: БИО ЭСТ – биодизельное топливо из соевого масла, изготовленное по отлаженной промышленной технологии (удаление остаточного метанола, вакуумная дистилляция и т. д.); БП–биодизельное топливо из подсолнечного масла (ПМ), изготовленное по упрощенной технологии; ПМ:ДТ - 25:75-

смесь подсолнечного масла с дизельным топливом в соотношении 25 об. % к 75 об. %. Низшая теплота сгорания составляет для биодизельных топлив, ПМ и ДТ, соответственно, 37200, 37000, 42700 кДж/кг. При расчете показателя  $P_1$  применялись розничные цены на топливо, сложившиеся в Украине на декабрь 2006 г.: ДТ- 3,65 грн/л (4,32 грн/кг); ПМ- 3,5 грн/кг; БП- 3,5 грн/л (3,97 грн/кг); БИО ЭСТ-3,3 грн/л (3,73 грн/кг). Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели работы вихрекамерного дизеля 1Ч8,5/11 на различных топливах

Топливо	Расход топлива, кг/ч	КПД двигателя	Цена топлива, грн/кг	$P_1$ , грн./кВт·ч	Изменение показателя $P_1$ , %
ДТ «Л»	0,723	0,226	4,32	1,561	-
БИО ЭСТ	0,824	0,228	3,73	1,537	-1,5
БП	0,866	0,217	3,92	1,697	+8,7
ПМ:ДТ - 25:75	0,786	0,215	4,11	1,615	+3,4
ПМ:ДТ - 50:50	0,816	0,215	3,91	1,595	+2,1
ПМ:ДТ - 75:25	0,83	0,219	3,715	1,53	-2

Из таблицы следует, что БИО ЭСТ имеет несколько лучший (более низкий) экономический показатель эффективности относительного ДТ «Л». Худший показатель  $P_1$  из рассматриваемых ТРП имеет биодизельное топливо БП. Показатель  $P_1$  смеси ПМ:ДТ зависит от процентного содержания подсолнечного масла в топливе: при увеличении содержания масла показатель  $P_1$  улучшается. Последнее объясняется преобладающим влиянием более низкой стоимости масла относительно фактора меньшей теплотворной способности. По мере ожидаемого повышения цен на ДТ и совершенствования технологий производства ТРП уже в ближайшие годы вероятно повышение показателя эффективности последних.

### 3. Показатель эксплуатационных издержек

Наиболее сложной, в силу недостаточного опыта эксплуатации различных по назначению и конструкции двигателей в тех или иных условиях при работе на ТРП, является стоимостная оценка эксплуатационных издержек. К числу основных составляющих эксплуатационных издержек относятся:

- изменение мощностных и экономических показателей двигателя;
- удорожание базового двигателя вследствие переоснащения системы питания и модернизации топливной аппаратуры;
- увеличение выбросов оксидов азота с отработавшими газами;
- изменение дымности отработавших газов;

- снижение моторесурса поршневой части двигателя, элементов топливной аппаратуры и нейтрализатора ОГ;

- сокращение срока службы смазочного масла;
- увеличение периодичности и удорожание стоимости технического обслуживания.

Обоснование оценки отмеченных составляющих эксплуатационных издержек предполагает необходимость дополнительных исследований по выявлению особенностей работы двигателя на новых топливах, накопления статистических данных отказов и ресурса основных узлов.

Показатель эксплуатационных издержек ( $P_2$ ) может быть представлен в виде совокупности всех эксплуатационных издержек в денежном эквиваленте за период межремонтной наработки двигателя, отнесенной к общему количеству произведенной двигателем энергии в кВт ч за этот же период.

Таким образом, комплексный показатель эффективности применения ТРП может быть представлен в виде следующей суммы:

$$P_k = P_1 + P_2. \quad (2)$$

Согласно приближенным оценкам, биодизельные топлива имеют лучший комплексный показатель  $P_k$  относительно растительных масел, что связано с большими эксплуатационными издержками работы двигателя на маслах.

### Заключение

1. В качестве комплексного показателя эффективности применения новых видов топлива целесообразно использовать стоимостную оценку производства двигателем единицы механической энергии с учетом сырьевых, производственно-технологических и эксплуатационных факторов.

2. Уже на сегодняшний день комплексный показатель применения ТРП приближается к показателю дизельного топлива. По мере удорожания нефти

и совершенствования технологии получения ТРП экономическая целесообразность применения новых топлив будет неуклонно возрастать.

### Список литературы:

1. Werner Korbitz. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe // SAE Techn. Pap. Ser.- 1995. – № 952768.- pp. 249-254. Craig L. Chase, Charles L. Peterson, Gary Lowe, Paul Mann, Jeffrey A. Smith, Norman Y. Kado. A 322,000 kilometer (200,000 mile) Over the Road Test with HySEE Biodiesel in a Heavy Duty Truck // SAE Techn. Pap. Ser.- 2000. – № 2000-01-2647.- pp. 1-22. 2. Kyle Althoff, Cole Ehmke, Allan W. Gray. Economic Analysis of Alternative Indiana State Legislation on Biodiesel // Center for Food and Agricultural Business Department of Agricultural Economics. –Submitted to the Indiana Soybean Board in completion of funded project number OFH63. Revised July 2003. Purdue University, pp. 1-119. 3. Марченко А. П., Минак А. Ф., Семенов В. Г., Линьков О. Ю., Шнаковский В. В., Обозный С. В. Расчетно-экспериментальные исследования по оценке влияния подогрева альтернативных топлив на показатели работы дизеля // Вестник Национального технического университета «ХПИ», Двигатели внутреннего сгорания, Харьков: 2005. - № 1. - С.8-17. 4. Schön H. Begleitforschung zur Standardisierung von Rapsöl als Kraftstoff für pflanzenölaugliche Dieselmotoren in Fahrzeugen und BHKW // Technische Universität München Bayerische Landesanstalt für Landtechnik. 2000. – 219 S. 5. Крайнюк А. И., Васильев И. П., Петренко А. Е., Корчанова Ю. А. Применение растительного масла в дизелях в качестве добавки к топливу // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2001. - № 6. - С. 16-20. 6. Матиевский Д. Д., Кулманаков С. П., Лебедев С. В., Шашев А. В. Применение топлива на основе рапсового масла в дизелях / Ползуновский вестник. Барнаул (Россия) - 2006. - № 4. - С. 118-127. 7. Bannikov M. G., Tyrlovoy S. I., Vasilev I. P. Chattha

*A. J. Investigation of characteristics of a fuel injection pump of a diesel engine fuelled with viscous vegetable oil-diesel oil blends // Proc. Instn. Mech. Engrs. Part D. Journal of Automobile Engineering, 2006. - vol. 270.- № 6. - pp. 787-792. 9. Звонов В. А., Симонова Е. А., Ше-*

*ховцов Ю. И. Физико-химические и токсикологические характеристики частиц, выбрасываемых дизельными двигателями в окружающую среду (обзор) // Экотехнологии и ресурсосбережение. - 2005. - №2. - С. 37-47.*

УДК: 621.43.018

**В.Г. Дьяченко, д-р техн. наук**

## **ДВИГАТЕЛЬ С ИСКРОВОМ ЗАЖИГАНИЕМ И ПРОДОЛЖЕННЫМ РАСШИРЕНИЕМ**

### **Введение**

Первые попытки создания двигателя внутреннего сгорания с продолженным расширением предпринимались и Н. Отто и Р. Дизелем на базе трехцилиндровых двигателей [1]. В двух крайних рабочих цилиндрах осуществлялись четырехтактные циклы, а средний цилиндр большего диаметра использовался для дополнительного расширения продуктов сгорания, поступающих из крайних цилиндров. Повышение коэффициента полезного действия (КПД) двигателя вследствие увеличения механических потерь, гидравлических потерь при перетекании продуктов сгорания из рабочих цилиндров в средний расширительный, тепловых потерь было незначительным при значительном усложнении конструкции. Поэтому в течение нескольких последующих десятилетий разработки двигателей внутреннего сгорания к этой идеи не возвращались. Практически идея использования продолжительного расширения продуктов сгорания была реализована в системах газотурбинного наддува, а затем и в комбинированных двигателях с силовой газовой турбиной.

В двигателях с газотурбинным наддувом использование расширения продуктов сгорания до давления окружающей среды при прочих равных условиях (идентичных камерах сгорания, одинаковых значениях коэффициента избытка воздуха, идентичных характеристиках топливоподачи и т.д.) не влияет на термический и индикаторный КПД. Некоторое (до 5 %) повышение эффективного КПД двигателя с наддувом возможно за счет снижения насосных потерь, повышения механического КПД.

В комбинированных двигателях с силовой газовой турбиной и турбокомпрессором расширение продуктов сгорания до давления окружающей среды позволяет повысить эффективный КПД на режиме номинальной мощности на 5–7 % [2].

Применительно к двигателям с искровым зажиганием перспективным направлением повышения эксплуатационной экономичности является использование продолженного расширения продуктов сгорания непосредственно в надпоршневой полости. Предпочтительней при этом использовать двухтактный цикл (рис. 1), непосредственный впрыск топлива в камеру сгорания, клапанный механизм газорас-