

УДК 662.6/8

**А. Н. Карташевич, д-р техн. наук, проф., В. А. Белоусов, канд. техн. наук, доц.,  
В. С. Товстыка**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ Д-243 ПРИ ПОДАЧЕ НА ВПУСКЕ РАПСОВОГО МАСЛА**

Дан анализ применения альтернативного вида топлива на основе рапсового масла в системе питания дизельного двигателя. Приведены результаты экспериментальных исследований технико-экономических и экологических показателей работы дизельного двигателя Д-243 при подаче рапсового масла во впускной коллектор. Определена оптимальная концентрация подаваемого рапсового масла в пределах 5 % без изменения регулировок топливной аппаратуры двигателя.

Многие десятилетия теория и практика двигателестроения были направлены на улучшение конструкции и рабочего процесса двигателей, работающих на каком-либо одном виде топлива – на бензине или дизельном топливе (ДТ). Но исчерпаемость ископаемых видов топлива и усложняющаяся экологическая ситуация внесли свои коррективы в этот процесс и вынудили двигателестроителей искать замену ископаемым топливам. На первый план здесь выступает применение топлива, получаемого из растительного сырья. В Европе в качестве топлива растительного происхождения для дизельных двигателей широко используется биодизельное топливо. Возрастает интерес к этому топливу в России. Из-за повышения стоимости нефтяного дизельного топлива интенсивно налаживается производство данного типа топлива и в Республике Беларусь. Биодизель – это не что иное, как метиловый эфир, обладающий свойствами горючего материала. Преимущества биодизельного топлива это [1]:

- биодизельное топливо может использоваться в уже существующих дизелях;
- биодизельное топливо вырабатывается из возобновляемых источников и позволяет полностью или частично заменить топливо, получаемое из исчерпаемых природных ресурсов;
- экологичность: биодизельное топливо сгорает практически без токсичных отходов и, что очень важно, количество сажи

(твердых частиц) в продуктах сгорания уменьшается наполовину в сравнении с минеральным дизельным топливом, а сажа, как известно, является носителем канцерогенных соединений, которые вызывают раковые заболевания у людей; попадая в почву, биодизельное топливо в течение 28 дней практически полностью (на 90–99 %) разлагается микроорганизмами, содержащимися в почве; при сжигании биодизеля уменьшается количество углекислоты в продуктах сгорания, что снижает интенсивность возникновения парникового эффекта. При сгорании биодизеля выделяется ровно столько же углекислого газа, сколько было потреблено из атмосферы растением, являющимся исходным сырьем для производства масла. Дымность выхлопных газов снижается на 50–60 %. Следовательно, называть биодизель экологически чистым топливом неверно. Он дает меньшее количество выбросов углекислого газа в атмосферу, но не сводит их полностью. Биодизель, как показывают опыты, при попадании в воду не причиняет вреда ни флоре, ни фауне;

– биодизель может быть использован в машинах, техническое состояние которых не позволяет их дальнейшую эксплуатацию, используя минеральное дизельное топливо. Биодизель из рапсового масла отличается и большим количеством кислорода, по сравнению с обычным дизтопливом (10,8 %), поэто-

му он лучше сгорает в двигателе;

- низкая сернистость, повышающая срок службы катализаторов, которые минимизируют вредные выбросы с помощью оксиката, превращающего углеводороды и окись углерода в воду и углекислый газ. Оксикат чувствителен к присутствию в топливе серы, «отравляющей» катализатор на длительное время и приводящей к увеличению выброса остаточных частиц. Поэтому особенно важно, что биодизель в сравнении с минеральным дизтопливом почти не содержит серы ( $< 0,001$  % против  $< 0,2$  %). По требованиям Евростандарта, начиная с 2005 г., дизельное топливо должно содержать не более 50 ppm (0,05 %) серы;

- хорошие смазочные и противоизносные характеристики. Известно, что минеральное дизтопливо при устранении из него сернистых соединений теряет свои смазочные свойства. Биодизель, несмотря на практически полное отсутствие серы, характеризуется хорошими смазочными показателями, что обусловлено его химическим составом и наличием в нем кислорода;

- при использовании биодизеля, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60 %, что весьма существенно, так как топливный насос является достаточно дорогим узлом в дизельном двигателе;

- температура вспышки в открытом тигле для биодизеля  $120$  °С (у дизельного топлива  $55$  °С), что позволяет назвать его пожаробезопасным топливом, которое можно использовать на стационарных установках в закрытых помещениях и на транспортных средствах для перевозки пожароопасных веществ и людей.

В странах СНГ появилось большое количество производителей биодизельного топлива, но из-за отсутствия стандарта на биодизельное топливо возникает проблема его качества. Низкокачественное топливо может приводить к нарушению работы двигателя и к сокращению времени нормальной эксплуатации. Основные проблемы применения такого топлива

следующие: потеря мощности; проблемы при холодном запуске; сбои в работе выпускных клапанов; быстрый выход из строя впрыскивающих насосов; сбои в камере сгорания.

Вместе с тем, в качестве альтернативы биодизельному топливу для дизельных двигателей предлагается использовать чистое рапсовое масло (PM), получаемое из семян рапса путем пресования и очистки. По отношению к биодизелю данный вид топлива обладает такими немаловажными преимуществами, как более простая технология производства, низкая стоимость, меньшая агрессивность химического изнашивания деталей двигателя. Но при использовании PM взамен дизтоплива возникает следующая проблема – масла не могут длительно применяться в обычных двигателях с непосредственным впрыском, так как сгорают не полностью. Это приводит не только к их смешению с моторным маслом, но и к отложению продуктов коксования на форсунках, деталях цилиндропоршневой группы. Причина – вязкость масел, которую можно понизить нагреванием или разжижением минеральным дизтопливом.

По своим физико-химическим свойствам рапсовое масло PM отличается от ДТ (табл. 1).

Отличие приведенных физико-химических свойств обуславливает особенности процессов испарения, смесеобразования и сгорания топлива, и в конечном итоге технико-экономические показатели работы двигателя. Анализ результатов работы тракторов, автомобилей, уборочных машин показывает, что отрицательных воздействий на показатели работы двигателей топливо с содержанием в нем до 10 % рапсового масла и 5 % коагулятора-разбавителя не оказывает [1]. При большем содержании рапсового масла требуется изменение конструкции как двигателя, так и топливной аппаратуры.

Табл. 1. Физико-химические свойства дизельного топлива и рапсового масла [2, 3]

Свойства	Единица измерения	ДТ	РМ
Плотность при 15 °С	г/см <sup>3</sup>	0,830	0,915
Кинематическая вязкость при 20 °С	мм <sup>2</sup> /с	4	75
Температура самовоспламенения	°С	270	320
Цетановое число	ед.	36	45
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	43,6	37,3
Содержание по весу С:Н:О	%	84:14:0	78:10:12
Температура помутнения	°С	-5	-9
Температура застывания	°С	-10	-18
Стехиометрическое отношение топлива к воздуху	кг/кг	0,069	0,065
Содержание серы	%	0,2	0,0012

В настоящий момент остается малоизученным и неопределенным вопрос о способах и методах подачи рапсового масла в камеру сгорания дизеля. Предлагаются различные варианты решения данного вопроса, из которых можно выделить три направления:

- подача смесового топлива, состоящего из РМ и ДТ;
- отдельная подача РМ и ДТ;
- работа дизеля на чистом РМ.

Исследователи, изучающие подачу дополнительного топлива во впускной коллектор дизельного двигателя, отмечают, что при этом интенсифицируется процесс смесеобразования и сгорания дизельного топлива. При добавлении дополнительного топлива уменьшается период задержки воспламенения.

Целью данных исследований являлось экспериментальное исследование показателей работы дизеля Д-243 при отдельной подаче РМ и ДТ.

Объектом исследований являлся четырехцилиндровый дизельный двигатель Д-243 производства Минского моторного завода, оборудованный системой подачи РМ во впускной коллектор. В связи с этим во впускном коллекторе двигателя была установлена смесительная камера с распылителем РМ. При исследовании использо-

вался распылитель, позволяющий регулировать подачу РМ и параметры масляного факела в смесительной камере. При изменении соотношения подачи РМ и ДТ в качестве отправной точки использовался часовой расход дизельного топлива при номинальной мощности, равной 14,43 кг/ч. Исследованы четыре варианта топливоподачи в двигатель по скоростной характеристике.

1. Топливный насос высокого давления (ТНВД) настроен на номинальную подачу ДТ (14,43 кг/ч), рапсовое масло подавалось на впуске в количестве 10 % (1,443 кг/ч) от номинальной подачи ТНВД.

2. ТНВД настроен на номинальную подачу ДТ (14,43 кг/ч), рапсовое масло подавалось на впуске в количестве 5 % (0,67 кг/ч) от номинальной подачи ТНВД.

3. ТНВД настроен на подачу ДТ 90 % от номинальной (13 кг/ч), рапсовое масло подавалось на впуске в количестве 10 % (1,443 кг/ч) от номинальной подачи ТНВД.

4. ТНВД настроен на подачу ДТ 90 % от номинальной (13 кг/ч), рапсовое масло подавалось на впуске в количестве 5 % (0,67 кг/ч) от номинальной подачи ТНВД.

Подача РМ в пределах каждого варианта опыта оставалась постоянной.

В процессе исследований регистрировались и определялись следующие основные показатели работы двигателя: мощность  $N_e$ ; часовой расход дизельного топлива  $G_T$ ; суммарный удельный расход топлива  $g_{e\Sigma}$ ; дымность  $C$  и токсичность ( $NO_x$ ;  $CO$ ;  $CO_2$ ;  $CH$ ) отработавших газов.

Результаты экспериментальных исследований обработаны и представлены в виде графических зависимостей технико-экономических (рис. 1) и экологических (рис. 2) показателей работы от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

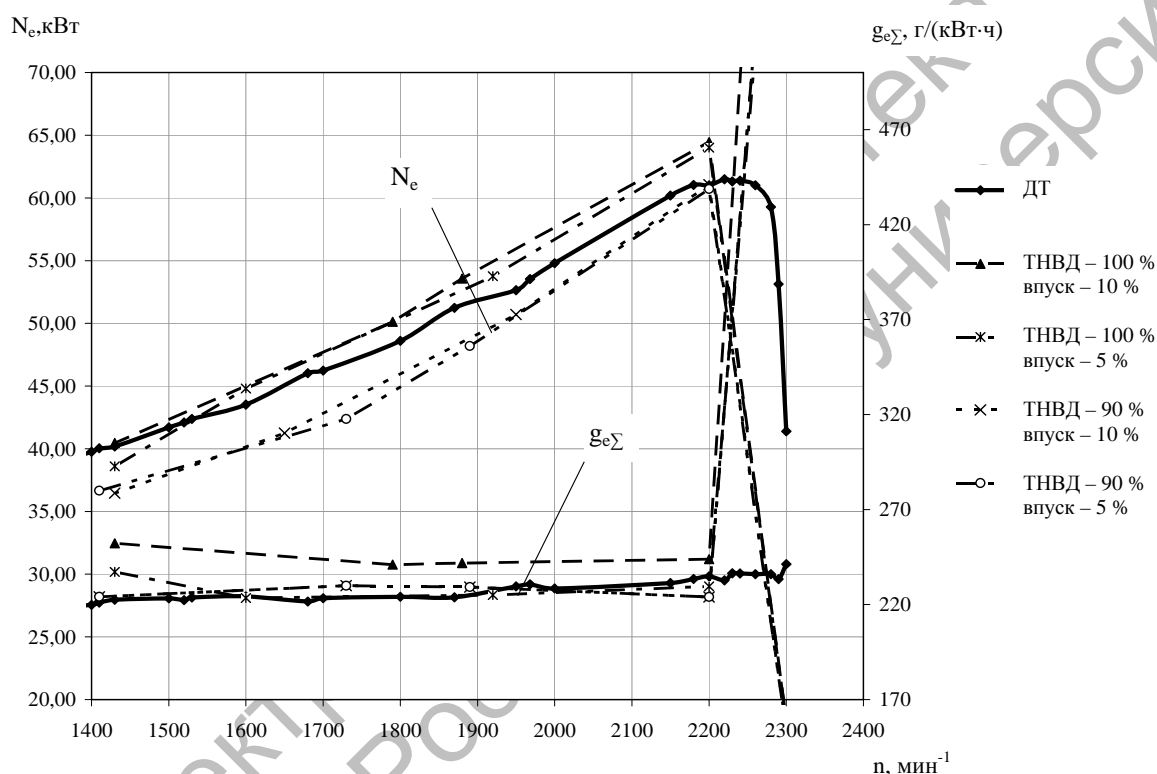


Рис. 1. Зависимость технико-экономических показателей работы дизеля Д-243 от частоты вращения коленчатого вала:  $N_e$  – эффективная мощность;  $g_{e\Sigma}$  – суммарный удельный расход топлива

Данные, представленные на рис. 1, показывают, что при настройке ТНВД на подачу ДТ 90 % от номинальной и подачу рапсового масла на впуске в количестве 5 % происходит уменьшение мощности дизеля в среднем на 7,3 % по сравнению с его работой на одном ДТ при практически неизменном удельном расходе топлива. При увеличении подачи РМ (ДТ 90 %) во впускной коллектор с 5 до 10 % изменение мощности и удельного расхода топлива практически не произошло. При переходе

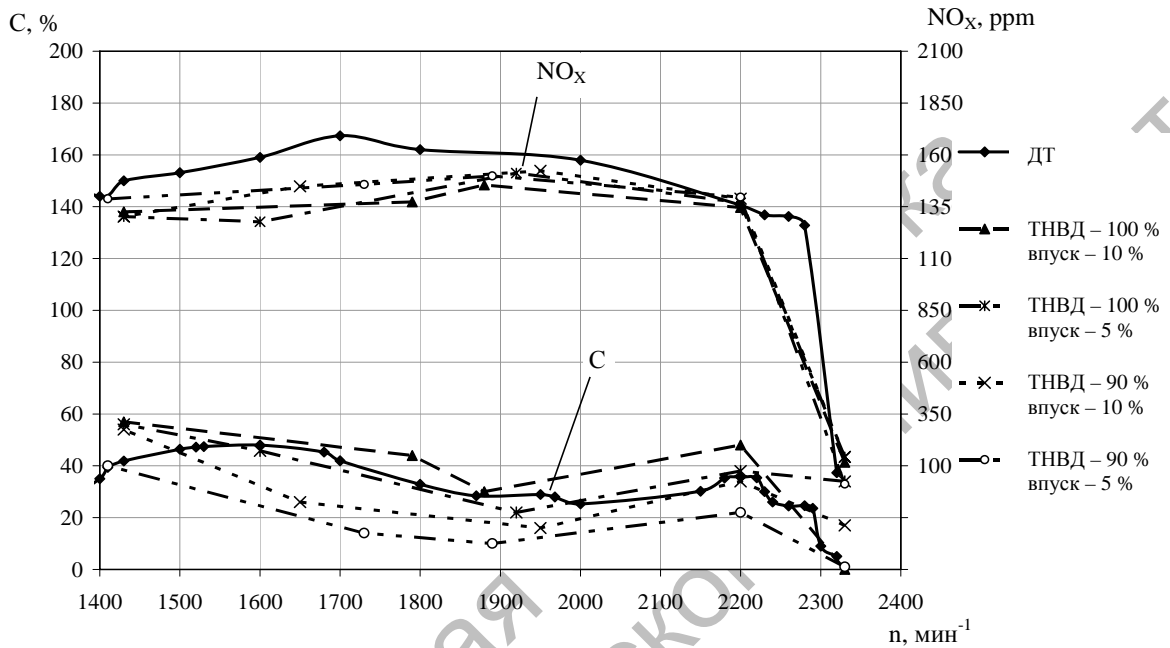
на третий вариант топливоподачи – настройке ТНВД на номинальную подачу ДТ и добавлении во впускной коллектор 5 % РМ – произошло увеличение мощности на 4,7 % (на номинальном режиме), при этом удельный расход топлива не изменился. Увеличение подачи рапсового масла до 10 % практически не изменило мощность, но увеличило средний удельный расход топлива на 5,2 %.

Таким образом, добавление РМ во впускной коллектор двигателя интен-

сифицирует процесс смесеобразования и сгорания дизельного топлива, что приводит к незначительному увеличению мощности дизеля. Но количество подаваемого масла должно составлять в среднем 5 % от

номинальной подачи ДТ, так как дальнейшее увеличение подачи масла ухудшает экономические показатели работы двигателя.

а)



б)

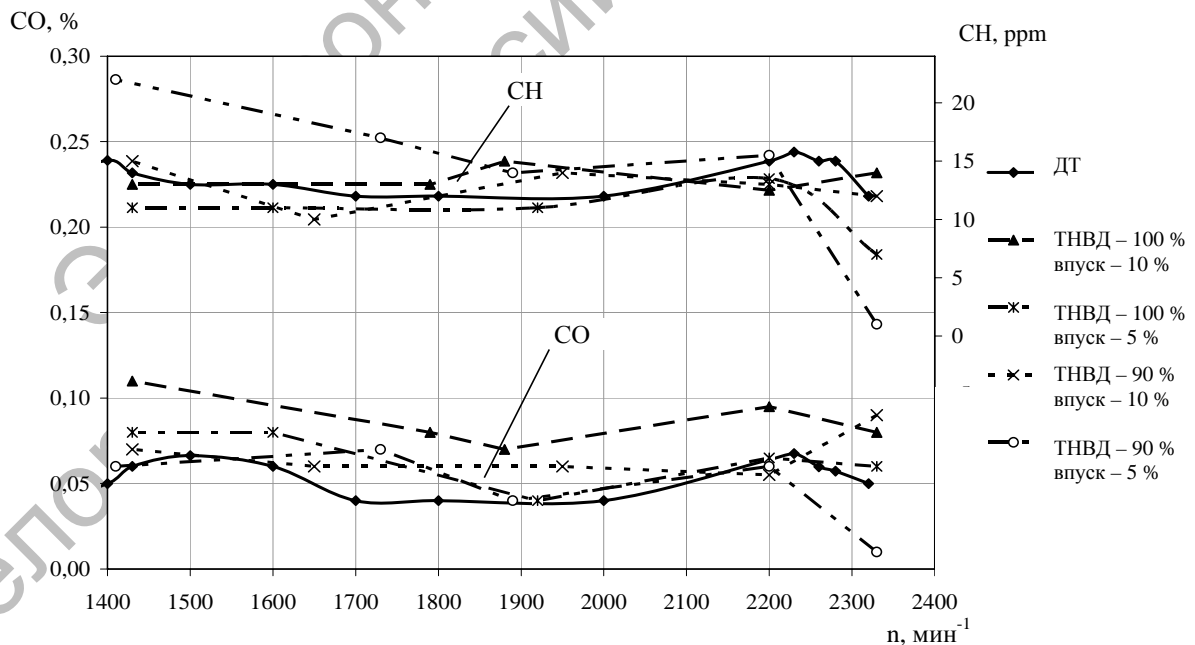


Рис. 2. Зависимость экологических показателей работы дизеля Д-243 от частоты вращения коленчатого вала: а – дымность С и концентрация NO<sub>x</sub> в отработавших газах; б – концентрация СН и СО в отработавших газах

Изменение экологических показателей, представленных на рис. 2, происходит разнонаправлено. Повышение выбросов сажи наблюдалось по мере увеличения общего количества топлива, подаваемого в цилиндр двигателя. При этом второй вариант топливоподачи (ТНВД – 100 %, выпуск 5 %) характеризуется таким же количеством сажи в выхлопных газах дизеля, как и при его работе на чистом дизельном топливе.

Количество выбросов окислов азота на корректорной ветви уменьшилось для всех вариантов топливоподачи в среднем на 6,3 %. На номинальном режиме работы двигателя выбросы  $\text{NO}_x$  с подачей рапсового масла на впуске соответствуют выбросам при работе двигателя на дизельном топливе. Уменьшение доли  $\text{NO}_x$  свидетельствует о понижении температуры внутри цилиндра двигателя во время сгорания топлива [4].

Выбросы углеводородов практически не изменились, кроме четвертого варианта топливоподачи (ТНВД – 90 %, РМ – 5 %). Увеличение выбросов СН на корректорной ветви связано с наличием холодных пристеночных слоев в камере сгорания и зазорах у стенок цилиндра. В этих условиях основным источником несгоревших углеводородов являются зоны бедного срыва пламени [4]. Уменьшение выбросов СН на холостом ходу объясняется тем, что основная доля дизельного топлива не достигает стенок камеры сгорания и его концентрация в ядре струи невысока.

Количество оксида углерода увеличилось при добавлении на впуске рап-

сового масла. Наиболее значительное увеличение произошло при первом варианте топливоподачи (ТНВД – 100 %, выпуск 10 %) почти в 2 раза. Одной из причин, объясняющих данное обстоятельство, может послужить то, что уменьшился коэффициент избытка воздуха, в силу чего увеличилось количество отдельных участков с богатой смесью.

В заключение необходимо отметить, что при работе дизельного двигателя с подачей рапсового масла на впуске оптимальная доза рапсового масла составляет 5 %, при этом регулировки ТНВД не изменяются. Наблюдается увеличение мощности дизеля на 4,7 %, и уменьшение выбросов  $\text{NO}_x$  на 6,3 %. Остальные показатели остаются на уровне показателей работы двигателя на ДТ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Карташевич, А. Н.** Возобновляемые источники энергии : науч.-практ. пособие / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки : БГСХ, 2007. – 264 с.
2. **Вальехо, П.** Применение раздельной подачи топлива растительного происхождения в малоразмерный дизель с целью улучшения его экологических показателей : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М. : 2000. – 35 с.
3. **Гусаков, С. А.** Особенности применения чистого рапсового масла в качестве топлива в малоразмерных высокооборотных дизелях / С. А. Гусаков, П. Вальехо // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2006. – № 4. – С. 58–62.
4. **Лиханов, В. А.** Снижение токсичности автотракторных дизелей / В. А. Лиханов, А. М. Сайкин. – М. : Агропромиздат, 1991. – 208 с.

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия  
Материал поступил 21.04.2008

**A. N. Kartashevich, V. A. Belousov, V. S. Tovstyka**  
**Experimental research into D-243 diesel engine operation**  
**when supplying rapeseed oil at intake event**

The analysis of application of alternative kind of fuel on the basis of rapeseed oil in the fuel system of the diesel engine is given in the article. The results of experimental research of technical and economic and ecological characteristics of D-243 diesel engine operation when supplying rapeseed oil into intake manifold are given. The optimum concentration of supplied rapeseed oil within 5 % without adjustment of the fuel equipment of the engine is defined.