

## МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 631.372 (662.6/8)

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ Д-243 НА РАПСОВОМ МАСЛЕ И ДИЗЕЛЬНОМ ТОПЛИВЕ

*д-р техн. наук, проф. А.Н. КАРТАШЕВИЧ, В.С. ТОВСТЫКА, Г.Н. ГУРКОВ*  
(Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, Горки)

*Рассмотрен мировой опыт по применению растительных масел в качестве топлива для дизеля. Приводится сравнительный анализ изменения эффективной мощности, часового и удельного расхода топлива, крутящего момента и эффективного коэффициента полезного действия в зависимости от среднего эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала двигателя при замене традиционного дизельного топлива на альтернативное рапсовое масло. Показано, что для сохранения мощностных показателей работы двигателя на уровне, установленном заводом-изготовителем, часовой расход топлива был увеличен на 15 %, так как рапсовое масло имеет низшую теплоту сгорания на 12 % ниже, чем дизельное топливо (42,5 МДж/кг против 37,3 МДж/кг). Поэтому переход работы дизеля на чистое рапсовое масло сопровождается повышением эффективной мощности на корректорной ветви внешней скоростной характеристики, номинального коэффициента запаса крутящего момента на 3 %, удельного расхода топлива на 15 %. При анализе нагрузочной характеристики наблюдается увеличение удельного расхода топлива, смещение его минимальной величины и эффективного КПД в сторону меньших нагрузок.*

В настоящее время более 70 % потребностей в энергии удовлетворяются ископаемыми источниками, причем рост потребления в последние 30 лет опережает рост численности населения. В среднем в мире человек потребляет 56 ГДж/(чел.год) энергии. В период с 1970 по 2000 год мировой автомобильный парк вырос с 220 до 730 млн. единиц, и в настоящее время на транспорт приходится до 40 % мирового потребления нефти. Топливо, получаемое из нефти, обеспечивает 96 % энергии, затрачиваемой в мире для перемещения людей и грузов. Постоянное повышение цен в мире на традиционные источники энергии, политическая и экономическая нестабильность в странах, являющихся основными поставщиками нефти и газа на мировые рынки, заставляет ведущие страны мира искать другие виды источников энергии [1, 2]. Беларусь также стремится повысить свою энергетическую безопасность путем замещения традиционных топлив возобновляемыми. Это закреплено в ряде нормативных актов Республики Беларусь.

Одним из потребителей нефтяных топлив является дизель – основной источник энергии грузовых автомобилей, тракторов и мобильных сельскохозяйственных машин. Кроме того, дизельные двигатели по сравнению с бензиновыми являются более экономичными, и их отработавшие газы содержат меньшее количество токсичных компонентов. На базе дизельного двигателя проще расширять перечень применяемых топлив, так как бензиновый двигатель, или двигатель с принудительным воспламенением, не может работать на тяжёлых топливах, которые плохо испаряются и не пригодны для карбюрации. В мировой практике в качестве альтернативного топлива широко стали исследоваться различные растительные масла (табл. 1). Их перечень довольно широк. Однако для европейских условий, в которых находится Республика Беларусь, наиболее пригодным считается рапсовое масло [3, 4].

Таблица 1

Физико-химические свойства растительных масел [4, 5, 6]

Масла	Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	Кинематическая вязкость при 20 °С, сСт	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Цетановое число	Температура воспламенения, °С	Температура застывания, °С
Рапсовое	915	84	37,3	36	317	-20
Подсолнечное	920...927	65,2	36,9	33,4	316	-18
Льняное	930...935	–	–	–	–	-27
Соевое	922...934	57,2	39	21	330	-18
Оливковое	914...925	74	–	–	–	-9
Арахисовое	917...925	81,5	37	36,6	233...290	-3
Хлопковое	917...936	84	34	–	318...322	-4
Кокосовое	910...921	51,9	–	–	320...324	–
Пальмовое	904...915	88,6	38	–	322...330	-8
Дизельное топливо	834	3...6	42,5	не менее 45	55	-12

Рассмотрим информационный материал, предназначенный для дифференциального обслуживания руководства, подготовленный «Научно-исследовательским институтом информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению» в 1991 году [4].

В Австрии проводились длительные стендовые испытания двигателей Steyer WD 411.87 мощностью 55 кВт на рапсовом масле. Использование биотоплива привело к снижению мощности на 8 %. Исследователями было отмечено, что для различных двигателей этот показатель колеблется от 0,2 до 9,1 %. Также в Австрии испытывали 32 трактора различных марок. Было зафиксировано разжижение моторного масла, плохой запуск и забивка фильтров в зимний период [4].

В США проведены краткосрочные испытания тракторов «Эллис-Чалмерс 7010» и «Форд 7000» при использовании в двигателях смесей с различными концентрациями подсолнечного масла и дизельного топлива. На тракторе «Форд 7000» был установлен четырехцилиндровый двигатель с турбонаддувом мощностью 62,3 кВт, на «Эллис-Чалмерс» – шестицилиндровый мощностью 79,4 кВт. Отмечено, что при использовании рафинированного подсолнечного масла мощность двигателей снизилась незначительно, а удельный расход топлива увеличился. Были сделаны выводы, что на разные типы двигателей подсолнечное масло оказывает неодинаковое воздействие [4].

Испытания фирмы «Caterpillar Tractor Company» (Бразилия) среднескоростных двигателей показали, что использование в качестве топлива как смеси соевого масла с дизельным топливом, так и чистого соевого масла в течение 1000 ч не оказывает значительного влияния на износ их деталей. Фирма одобрила использование 30 % смеси соевого, подсолнечного, арахисового и рапсового масел с дизельным топливом в двигателях на строительной технике [4].

Исследования на двигателях фирмы «Elsbet» показали хорошие результаты при работе на чистом рапсовом масле. Эти двигатели являются полуадиабатическими и имеют конструктивные особенности. У них отсутствует жидкостное или воздушное охлаждение. Днище поршня и блок цилиндров изготавливается из серого чугуна. Для предотвращения отложения нагара на поверхности колец зазор между верхним краем поршня над верхним кольцом и стенкой цилиндра составляет порядка 0,02 мм. Поршень дизеля составной с полуоткрыто-конусообразной камерой сгорания. С целью снижения длины трубопроводов высокого давления нагнетательная секция высокого давления установлена непосредственно в головке цилиндров. Рабочий процесс происходит следующим образом: масло впрыскивается в центр полуоткрыто-конусообразной камеры сгорания через штифтовую форсунку, обладающую свойствами самоочистки от нагара в конце такта сжатия, где благодаря особому подводу всасываемого воздуха вращается горячий воздушный конус с интенсивным тангенциальным движением. В процессе сгорания под воздействием центробежных сил у стенок камеры образуется теплоизолирующий слой и происходит отделение избыточного воздуха от воздуха, участвующего в процессе сгорания [7].

По исследованиям, проведенным Д.Д. Матиевским, С.П. Кулманаковым, А.В. Шашевым на двигателе УК-2, представляющем собой одноцилиндровый отсек двигателя серии Д-440 и Д-460, при переходе на чистое рапсовое масло без принятия мер по оптимизации рабочего процесса наблюдается ухудшение экономичности (удельный индикаторный расход топлива увеличивается на 20...30 %, индикаторный КПД уменьшается на 15...20 %) [8].

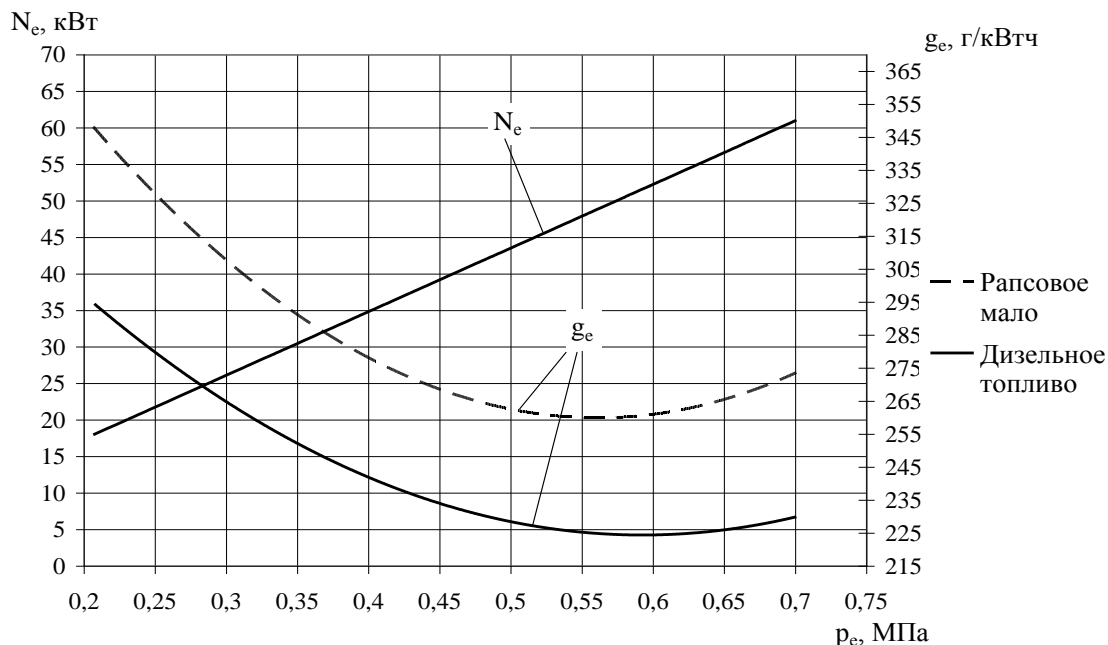
Анализируя информационный материал и научные публикации можно сделать вывод, что на изменение эффективных показателей при замене дизельного топлива на рапсовое масло оказывает влияние и тип применяемого двигателя. Кроме того, для сравнения экспериментальных данных должна применяться единая методика исследования.

Нами был проведен сравнительный анализ работы дизеля на рапсовом масле и дизельном топливе. При сравнении работы дизеля на двух топливах мы руководствовались условием сохранения мощностных показателей работы двигателя на уровне, установленном заводом-изготовителем. В связи с тем, что рапсовое масло имеет низшую теплоту сгорания на 12 % ниже, чем дизельное топливо (42,5 МДж/кг против 37,3 МДж/кг), часовой расход топлива был увеличен. Исследования проводились на двигателе Д-243 без изменения конструкции топливоподающей аппаратуры на дизельном топливе и чистом рапсовом масле. В процессе исследований регистрировались и определялись следующие основные показатели работы двигателя:

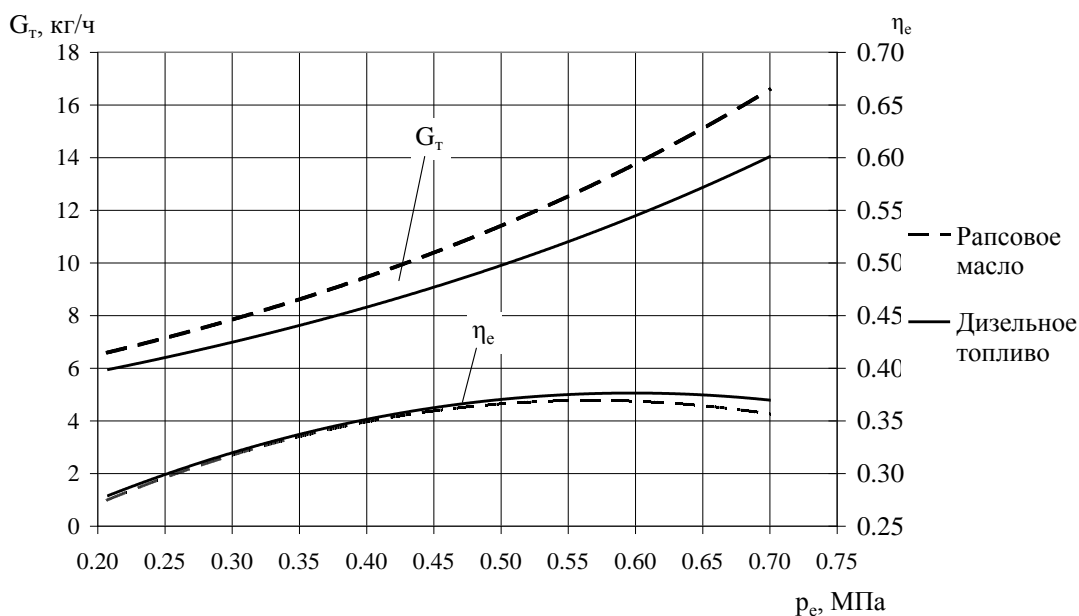
- эффективная мощность ( $N_e$ );
- часовой расход топлива ( $G_m$ );
- удельный расход топлива ( $g_e$ );
- крутящий момент  $M_k$ .

Результаты испытаний обработаны и представлены в виде графических зависимостей эффективной мощности, часового расхода топлива, удельного расхода топлива, крутящего момента и эффективного КПД ( $\eta_e$ ) от среднего эффективного давления ( $P_e$ ) и частоты вращения коленчатого вала двигателя (рис. 1, 2).

На рисунке 1 представлены нагрузочные характеристики дизеля Д-243 при работе на дизельном топливе и рапсовом масле при частоте вращения  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ . Во всём диапазоне изменения нагрузки часовой расход топлива выше при работе на масле. При среднем эффективном давлении  $P_e = 0,68 \text{ МПа}$  и работе на дизельном топливе расход  $G_{dm} = 13,65 \text{ кг/ч}$ , а при работе на рапсовом масле  $G_{pm} = 15,9 \text{ кг/ч}$ , т.е. повышение составляет 2,25 кг/ч, или 15 %.



а)



б)

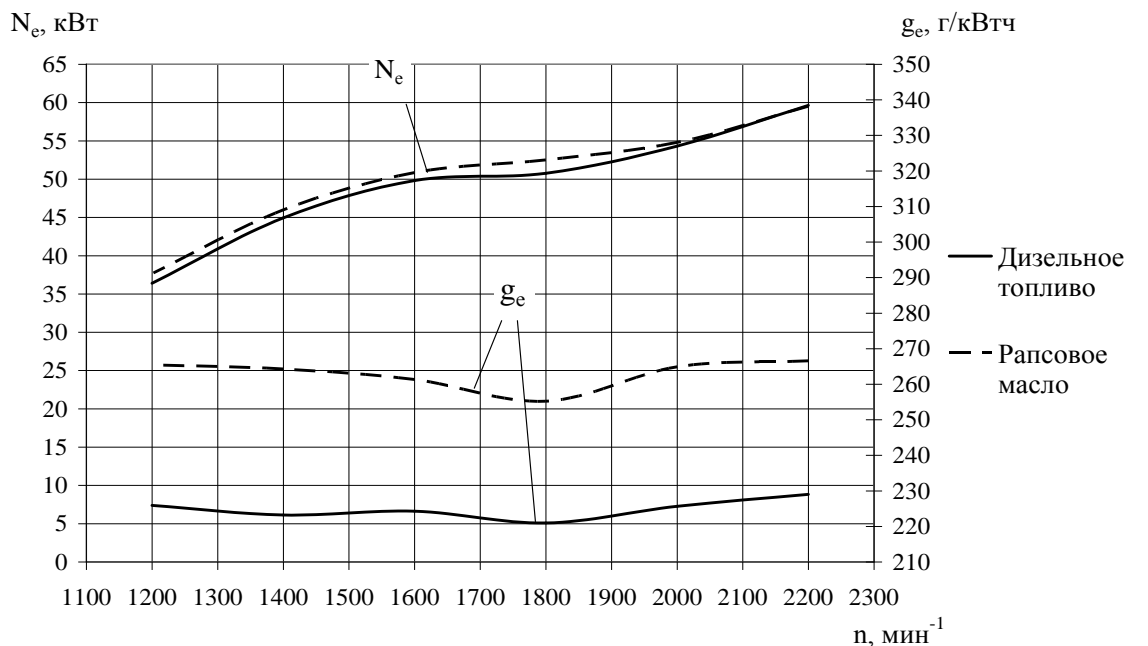
Рис. 1. Нагрузочная характеристика дизеля Д-243 при работе на дизельном топливе и рапсовом масле при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ : а – зависимость  $N_e$  и  $g_e$  от  $P_e$ ; б – зависимость  $G_m$  и  $\eta_e$  от  $P_e$

Как видно из графика (см. рис. 1), при понижении нагрузки разница между часовым расходом дизельного топлива и рапсового масла уменьшается. При среднем эффективном давлении  $P_e = 0,25 \text{ МПа}$  это повышение составляет уже 1 кг/ч, что также составляет 15 %.

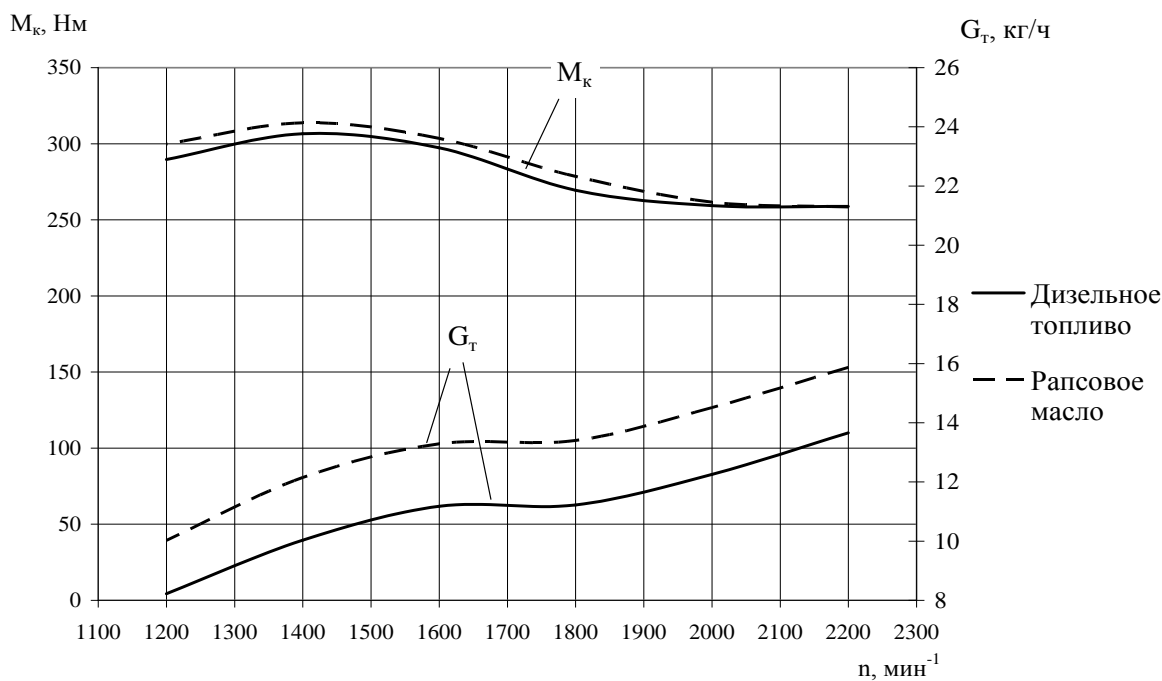
Значение эффективного КПД, учитывающего использование теплотворной способности топлива при работе дизеля на рапсовом масле, уменьшается, и при среднем эффективном давлении  $P_e = 0,68 \text{ МПа}$  это уменьшение составляет 2,5 %, по сравнению с работой на дизельном топливе. Однако максимум его

при переходе на масло сдвигается в сторону меньших нагрузок. Также сдвигается в сторону меньших нагрузок и минимум удельного эффективного расхода топлива при работе дизеля на рапсовом масле. Если при использовании дизельного топлива  $g_{e\min}$  достигается при  $P_e = 0,58$  МПа, то при работе на рапсовом масле он соответствует  $P_e = 0,56$  МПа. Очевидно, что подача рапсового масла нарушает оптимальное протекание процесса смесеобразования, имеющего место при работе дизеля на чистом дизельном топливе, вследствие повышения вязкости топлива.

Влияние рапсового масла на изменение эффективных показателей дизеля можно рассмотреть и по скоростным характеристикам (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Скоростная характеристика дизеля Д-243 при работе на дизельном топливе и рапсовом масле: а — зависимость  $N_e$  и  $g_e$  от  $n$ ; б — зависимость  $M_k$  и  $G_m$  от  $n$

Из графиков (см. рис. 2) видно, что работа дизеля на масле изменяет его эффективные показатели – кривые значения эффективной мощности и крутящего момента для работы дизеля на альтернативном топливе находятся выше аналогичных кривых для дизельного топлива на корректорной ветви внешней скоростной характеристики. Если при работе на дизельном топливе номинальный коэффициент запаса крутящего момента составляет 19 %, то при переходе дизеля на рапсовое масло этот показатель увеличивается и составляет уже 22 %.

При замене традиционного дизельного топлива на альтернативное рапсовое масло на изменение часового расхода топлива влияет более высокая плотность и вязкость масла. Повышенная плотность увеличивает массу порции топлива, подаваемого одной форсункой за цикл. Повышенная вязкость способствует недостаточно полному заполнению надплунжерного пространства, что должно привести к снижению цикловой подачи. В то же время вязкость снижает утечки через неплотности плунжерных пар. При более низких частотах вращения время на заполнение надплунжерного пространства вязким рапсовым маслом увеличивается, соответственно, будет увеличиваться и цикловая подача по сравнению с работой на дизельном топливе. Поэтому с понижением частоты вращения коленчатого вала двигателя превышение часового расхода топлива при работе на рапсовом масле над часовым расходом топлива при работе на дизельном топливе увеличивается. Так, при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$  это превышение составляет 15 %, а при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$  – 20 %.

На скоростной характеристике так же, как и на нагрузочной, мы наблюдаем увеличение удельного расхода топлива. На номинальном режиме увеличение составляет 15 %.

**Заключение.** В связи с тем, что рапсовое масло имеет низшую теплоту сгорания на 12 % ниже, чем дизельное топливо (42,5 МДж/кг для ДТ против 37,3 МДж/кг для РМ), для сохранения мощностных показателей работы двигателя на уровне, установленном заводом-изготовителем, часовой расход топлива был увеличен на 15 %. Поэтому переход работы дизеля на рапсовое масло сопровождается повышением эффективной мощности на корректорной ветви внешней скоростной характеристики, номинального коэффициента запаса крутящего момента на 3 % и удельного расхода топлива на 15 % при рассмотрении внешней скоростной характеристики. При анализе нагрузочной характеристики наблюдается увеличение удельного расхода топлива, смещение  $g_{emin}$  и значения эффективного КПД в сторону меньших нагрузок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Камфер, Г.М. Научные основы эффективного применения топлив различного состава в автотракторных дизелях: дис. ... д-ра техн. наук: 05.04.02 / Г.М. Камфер. – М.: РГБ, 2004.
2. Карташевич, А.Н. Возобновляемые источники энергии: науч.-практ. пособие / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка. – Горки: БГСХ, 2007. – 264 с.
3. Марков, В.А. Топливо и топливоподача многопливных и газодизельных двигателей / В.А. Марков, С.И. Козлов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 296 с.
4. Использование растительных масел в качестве альтернативного топлива за рубежом: система ДОР. – М., 1991. – 10 с.
5. Белов, В.М. Применение в дизелях топлива растительного происхождения / В.М. Белов, С.Н. Девянин, О.Н. Слепцов // Вести Моск. гос. агроинж. ун-та. – 2003. – Вып. 4. – С. 15 – 21.
6. Лютко, В. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лютко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.
7. Гусаков, С. Особенности применения чистого рапсового масла в качестве топлива в малоразмерных высокооборотных дизелях / С. Гусаков, П. Вальехо // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2006. – № 4. – С. 58 – 62.
8. Матиевский, Д.Д. Решение вопросов оптимизации рабочего процесса дизеля с объёмно-плёночным смесеобразованием на чистом рапсовом масле / Д.Д. Матиевский, С.П. Кулманаков, А.В. Шашев // сб. науч. тр. по материалам междунар. конф. Двигатель-2007, посв. 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 572 с.

Поступила 16.03.2009