

## К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА

А.И. Бобровник, докт. техн. наук, В.Е. Тарасенко, канд. техн. наук (БГАТУ); Н.С. Лесов, магистрант (Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жангир хана)

### Аннотация

*На основании мирового опыта использования растительного топлива рассмотрены особенности рабочего процесса дизелей, влияние физико-химических свойств топлива на компоненты системы питания. Представлены результаты экспериментальных исследований использования топлива из рапса на тракторах в Республике Беларусь и других странах.*

*On the basis of the world experience of the usage of vegetable fuel features of working process of diesels, the influence of its physical and chemical properties on power supply system components are considered. The results of experimental studies of the usage of fuel from a colza on tractors in Republic of Belarus and other countries are presented.*

### Введение

Широкое использование мобильных тяговых и транспортных средств является характерной чертой наступившего столетия.

Рост энерговооруженности сельского хозяйства при использовании тракторов, автомобилей, комбайнов и другой техники привел к интенсивному использованию нефтесодержащих видов топлива и активному их влиянию на экологическое состояние природы. Выбросы газообразных составляющих и имеющееся, к сожалению, попадание жидких фракций на почву наносят значительный ущерб природе [1].

Поиск заменителей традиционных видов топлива для транспорта и тракторной техники проводится в различных направлениях, одним из которых является использование растительных масел, как в переработанном виде, так и в натуральном, или в виде смесей с дизельным топливом. По результатам исследований в ряде стран, одним из видов сырья для производства топлива для двигателей являются растительные масла, которые получают из масличных культур (подсолнечник, соевые бобы, земляные орехи, цитрусовые, листья эвкалипта, хлопок, рапс и другие).

Для нашей климатической зоны наиболее приемлемым является использование в качестве топлива масел из рапса, который имеет стабильную урожайность на наших почвах. Вместе с тем, для его широкого применения требуется решение ряда проблем, в том числе и технических [1, 2].

Направления использования растительных масел в качестве топлива дизельных двигателей различны, в том числе:

- смеси растительных масел с другим топливом;
- эфирные виды топлива из растительных масел.

Обработка масел спиртами позволяет получать метиловый, этиловый и бутиловый эфиры с физико-химическими свойствами, близкими к нефтяному дизельному топливу.

Биодизель – это биотопливо на основе растительных или животных жиров (масел), а также продуктов их этерификации. Растительное масло пере-

этерифицируется метанолом, реже этанолом или изопропиловым спиртом (приблизительно, в пропорции на 1 т масла – 200 кг метанола с добавлением гидроксида калия или натрия) при температуре 60° С и нормальном давлении. Для получения качественного продукта необходимо выдержать ряд жестких требований.

Вопрос использования растительных масел в качестве топлива двигателей внутреннего сгорания в зарубежных странах решается в зависимости от соотношения цен на традиционные виды топлива (дизельные, бензин) и из растительных масел, а также с учетом требования максимального использования собственных ресурсов топлива и доведения до минимума зависимости от конъюнктуры импорта.

Работы по поиску видов топлива для двигателей внутреннего сгорания проводятся во многих странах мира. Основной целью является получение топлива по физико-химическим свойствам и энергетическим возможностям приближенного к стандартным нефтяным видам топлива.

Для Беларуси, лишь в незначительной степени обеспечивающей потребности в нефтепродуктах за счет собственной нефти, проблема поиска альтернативных видов топлива и, в первую очередь для двигателей, очень актуальна, как с экономической, так и с экологической точек зрения.

Необходимость в изменении отношения к использованию топлива из растительных масел актуальна в интересах нынешнего и будущего поколения людей.

### Основная часть

#### Особенности работы дизеля на растительном топливе

Влияние растительного топлива из масел различных культур на работу и техническое состояние дизельных двигателей примерно одинаково. Отмечается увеличение нагара и сажевых отложений на деталях поршневой группы, снижение мощности двигателя в пределах 8-10 %. Из всех масличных культур наибольшее применение имеет рапс. Энергетические характери-

ки рапсового масла позволяют получать достаточно эффективные виды растительного топлива [1].

Особенности протекания рабочего процесса дизеля автотракторного типа, работающего на растительном топливе, определяются прежде всего отличительными физико-химическими свойствами растительного топлива и его смесями с дизельным топливом. Важную роль играет высокая вязкость растительных масел. Рапсовое масло, к примеру, значительно более вязкое, чем дизельное топливо. Оно состоит из относительно крупных молекул с длинными цепочками жирных кислот. Высокая вязкость, с одной стороны, влияет на фильтруемость топлива, а с другой – вызывает чрезмерные механические нагрузки в топливных насосах и насосах высокого давления [3].

Повышенная вязкость масла и его смеси с дизельным топливом способствует повышению количества впрыскиваемого топлива вследствие уменьшения количества его утечек через зазоры прецизионных пар топливоподающей аппаратуры в ходе нагнетания возрастания угла опережения впрыскивания. Проведенными исследованиями [4, 5] отмечается ухудшение качества распыливания топлива, увеличение неоднородности размеров и среднего диаметра капель, а также глубины проникновения струи в воздушную среду.

Данные обработки индикаторных диаграмм показали, что процесс подготовки биодизельной смеси к воспламенению удлиняется, о чем свидетельствует возрастание продолжительности индукционного периода, а самосгорание (тепловыделение) в объемно-кинетической фазе рабочего цикла протекает более вяло и затянато по времени. Несколько возрастает и продолжительность основной (диффузионной) фазы сгорания. Увеличение длительности процесса сгорания в целом, очевидно, является причиной возрастания тепловых потерь в биодизельном цикле, на что указывает повышение удельного расхода топлива в среднем на 3 % по сравнению с дизельным циклом.

Биодизель легко растворяет старые отложения нефтяного дизельного топлива в топливных баках, топливопроводах, что может привести к засорению топливных фильтров. Изготовители тракторов рекомендуют провести замену фильтров после 2-3 заправок баков растительным топливом.

Возможно «разбухание» топливных шлангов и уплотнителей, изготовленных из пластмасс. При использовании топлива биодизель, рекомендуется топливные шланги и другие детали, контактирующие с топливом, изготавливать из фторкаучука или эластичных пластмасс на основе полиамида или полиэстеруретана.

При попадании несгоревшего растительного топлива в масляный картер, что возможно при длительной работе двигателя при большой нагрузке, происходит снижение вязкости масла. Изготовители двигателей рекомендуют уменьшать периодичность смены масла в 2 раза.

Топливо биодизель легко растворяет лаковые покрытия, поэтому рекомендуется при попадании топлива на соответствующие места сразу же удалить его с поверхности.

Замена дизельного топлива на биотопливо существенно улучшает экологические качества дизеля. Выброс с обработавшими газами оксидов азота снижается

на номинальном режиме работы дизеля на 15 %, сажи – на 35 %, газообразных токсичных продуктов неполного сгорания (СО и СН) – в среднем на 19 %. Подобное улучшение экологических качеств, достигнутое без применения специальных антитоксичных устройств, обуславливает целесообразность проведения дальнейших работ по доводке рабочего процесса биодизеля [1].

Несмотря на многие преимущества использования растительного топлива, до настоящего времени еще не найдены рациональные методы организации рабочего процесса с использованием топлива подобного вида. Для обеспечения эффективной работы дизеля на биотопливе и устранения негативных последствий сгорания биотоплива в цилиндре дизеля, необходим комплекс мероприятий, включающих теоретические и экспериментальные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Приоритетным направлением, по мнению авторов, является обоснование параметров топливоподдачи. Здесь должны быть теоретически и экспериментально определены оптимальные значения давления впрыска, хода плунжера и закона подачи, обоснованы форма, размеры и количество топливных факелов форсунки, прежде всего для неразделенных камер сгорания.

#### Опыт использования растительного топлива из рапса за рубежом

Значительный опыт в области применения топлива из растительных масел накоплен в Германии.

Топливо биодизель в Германии получают из масличной культуры рапса. Рапс выращивается, как правило, на выведенных из севооборота земельных угодьях. Посевы рапса повышают биологическую активность, улучшают структуру почвы. Рапс выполняет функции очистителя почвы от азота, что способствует снижению нитратной нагрузки на грунтовые воды [6].

При возделывании технического рапса не требуются значительные расходы на удобрения, средства защиты. Из рапса получают от 1000 до 1200 л рапсового масла с одного га [6].

Разрешение на использование растительного топлива биодизель дали многие мировые тракторостроительные фирмы, в том числе «Fendt», «Case», «John Deer», «Massey-Ferguson», «Renault», «Same», «Steyr» и другие. Фирма «John Deer» – на отдельные модели тракторов с гарантией 2 года или 1500 рабочих часов по наработке. Некоторые фирмы разрешали использовать топливо биодизель на новых моделях тракторов без ограничения гарантии.

По причине высокой вязкости рапсового масла мембранные насосы, используемые для подачи топлива из бака к насосу высокого давления, менее подходят для работы с рапсовым маслом, чем поршневые насосы. Поэтому в Германии некоторые компании, занимающиеся переоборудованием техники, устанавливают дополнительный подающий насос, позволяющий прокачивать масло сквозь фильтр. Системы впрыска также должны быть адаптированы для работы на альтернативном топливе. Особенно это касается распределительных топливных насосов высокого давления (Lucas, Bosch, Stanadyne), которые смазываются топливом.

В Германии существуют два принципиально различных метода переоборудования двигателей для работы на биотопливе, один из них позволяет работать ис-

ключительно на рапсовом масле (используется только один вид топлива). Второй предусматривает запуск двигателя трактора на дизельном топливе, а работу – на рапсовом топливе (применение двух видов топлива). Производители однопаливных систем – «Vereinigten Werkstaetten fuer Pflanzenoeltechnologie» (VWP) в Аллерсберге, «Siegfried Hausmann» в Вельферсхаузен и компания «Eoil» из Альфельд. Компания VWP специализируется исключительно на переоснащении двигателей Deutz с топливной системой насос-топливопровод-форсунка. Особенность переоборудования двигателей – наличие электрической системы нагрева форсунок и топлива (фирмы VWP и «Siegfried Hausmann») [3].

Интерес к рапсу как энергетической культуре в Финляндии проявляется разработчиками сельскохозяйственных тракторов. Исследовательский центр «VACOLA» совместно с фирмой «Valmet» и исследовательской лабораторией по новым видам топлива провели исследования по использованию рапсового масла в качестве топлива на тракторах моделей «Valmet» и «Volvo bm valmet».

В качестве топлива использовалась смесь рапсового масла и дизельного топлива, обозначаемая «R-33» и состоящая из 1/3 рапсового масла и 2/3 дизельного топлива.

Испытаниями установлено, что энергетическая эффективность рабочей смеси рапсового масла и дизельного топлива в принятом соотношении достаточная при применении ее в качестве топлива дизельных двигателей. Мощностные и экономические параметры дизелей при работе на смеси R33 незначительно отличаются по сравнению с работой дизеля на дизельном топливе.

Финскими исследователями проведен анализ состояния цилиндрично-поршневой и кривошипной групп, деталей клапанного механизма, распылителей форсунок дизеля трактора V605 после работы 1056 часов на смеси R33 [4]. Отказов дизеля в течение испытаний не отмечалось, не замечено значительного износа деталей. На головках поршней слой нагара не более 1,0 мм, кольца подвижны, хорошо очищаются. Нагар накопился в верхних частях гильз, распылителей форсунок, толщина которого не превышает 1,0 мм. На клапанах износа не отмечено, дефекты также отсутствуют, имеется тонкий слой нагара на выпускных клапанах и тонкий слой сажи на впускных клапанах и гнездах клапанов. Коленчатый вал, вкладыши коренные и шатунные находятся в хорошем состоянии.

Экспертизой деталей двигателя трактора «Valmet» после 700 часов работы отмечено отсутствие значительных износов, все детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов находятся в исправном состоянии, слой нагара – 1...2 мм. Нагар тонкий, вязкий, темного цвета. Слой сажи формируется на впускном клапане и во всасывающем отверстии гнезда клапана. Износ вкладышей за период испытаний – в пределах нормы.

Двигатели тракторов «Valmet» отработали без специальной доработки на выполнении сельскохозяйственных и лесных работ на смеси рапсового масла и дизельного топлива, соответственно, 1000 и 700 часов. Техническое состояние деталей двигателей без видимых повреждений, значительных износов, тол-

щина слоя нагара и сажи не превышает 1...2 мм. Действие смеси R33 примерно такое, как и дизельного топлива. При применении смеси R33 нет необходимости вносить какие-либо изменения в двигателе.

Использование в качестве топлива смеси рапсового масла и дизельного топлива обеспечивает заданные мощностные и экономические показатели дизеля (отклонение  $\pm 4...6\%$ ), способствует несколько повышенному нагарообразованию и отложению сажевых накоплений на цилиндрической группе, что не влияет на работоспособность дизеля.

Исследования финских ученых [4] подтверждают возможность применения рапсового масла в качестве топлива дизельных двигателей. Рапсовое масло является альтернативой в обеспечении энергетическим сырьем сельскохозяйственного производства.

Альтернативные виды топлива для тракторов и автомобилей на основе рапсового масла в Швейцарии изучались исследовательским институтом сельскохозяйственной экономики и техники. Исследования топлива из рапсового масла начаты в 1989 году [7]. В качестве топлива принят рапсовый метил-эфир (RME), произведенный в австрийском институте сельскохозяйственной техники (г. Весельбург).

Стандовыми испытаниями определены параметры мощности, удельного расхода топлива, эмиссии выхлопных газов при работе дизелей на растительном топливе RME и дизельном топливе. Приведенные в работе [7] мощностные характеристики  $N_e = f(n_e)$  показывают, что на частичных скоростных режимах на тракторах SAME, STEYR отмечено некоторое повышение мощности при работе на RME по сравнению с дизельным топливом, на номинальном скоростном режиме мощности выравниваются. На тракторе JOHN DEERE отмечено снижение мощности при работе на RME на частичных режимах и также выравнивание ее на номинальном режиме. Отклонения значений мощности при работе на RME по сравнению с дизельным топливом на испытуемых дизелях незначительны. Поэтому заключение [7] ученых: «мощность останется такой же» следует считать справедливым.

Увеличение удельного расхода топлива при работе на RME составляет от 9,5 до 17,3 %. Среднестатистическое значение увеличения и удельного расхода топлива по испытуемым машинам равно 12,8 %. Увеличение расхода топлива пропорционально меньшей теплотворной способности топлива RME по сравнению с дизельным топливом.

Испытание дизелей различной конструкции и назначения показали, что метил-эфирное топливо из рапсового масла RME является альтернативой дизельному топливу.

### **Исследования топлива из рапса в Беларуси**

Работы по использованию растительного масла в качестве топлива дизельных двигателей в Беларуси проводились на Минском тракторном заводе. Основная цель работ – создание двухтопливных дизелей тракторов «БЕЛАРУС», способных работать на традиционном нефтяном топливе и альтернативном растительном.



Использование рапсового масла в качестве моторного топлива прорабатывалось по двум направлениям. Первое – смесь рапсового масла с дизельным топливом в соотношении: 75 % рапсового масла и 25 % дизельного топлива; второе направление – моторное топливо из рапсового масла. По этому направлению проводилась работа с моторным топливом, полученным из Польши, и топливом, полученным в результате совместных работ с НПО «Транстехника» и лабораторией термодинамики органических веществ БГУ [8].

Результаты испытаний дизеля Д-243 при работе на биотопливе, полученном в Республике Польша (табл. 1), показали, что при переводе дизеля на биотопливо мощность уменьшается на 3,6 кВт или на 8,67 % при частоте вращения 1700 мин<sup>-1</sup>.

**Таблица 1. Некоторые показатели работы дизеля Д-243 при использовании биотоплива, полученного в Польше**

Наименование параметров	Вид топлива	
	дизельное марки «Л»	биотопливо (Польша)
Мощность, кВт	41,45	37,87
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1702	1700
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	221,5	–
Условия испытаний: температура, °С	25	25

Стендовые испытания биотоплива «БДТ-1», произведенного в Беларуси, проводились также на дизеле Д-243.

Дизель Д-243 имел наработку в лабораторных условиях – 800 часов, по мощностным и экономическим параметрам соответствовал техническим условиям ТУ 23.1. ЭД 1. 90-95.

Физико-химические исследования показали, что биотопливо «БДТ-1» по основным показателям соответствует дизельному топливу марки «Л». Показатели биотоплива «БДТ-1» и биотоплива других стран отличаются по цетановому числу, кинематической вязкости, другие показатели сопоставимы.

Мощностные и экономические показатели дизеля Д-243 при работе на биотопливе «БДТ-1» и дизельном топливе марки «Л» приведены в табл. 2.

Мощность дизеля Д-243 при работе на биотопливе «БДТ-1» уменьшается на 2,01 кВт или на 3,4 % при одинаковых условиях испытаний. Удельный расход топлива при мощности 56,52 кВт увеличивается на 27,8 г/кВт·ч или на 11,8 %. Температура выхлопных газов находится в пределах 510...530°С.

Работа дизеля Д-243 оценивалась по регуляторным характеристикам при работе на биотопливе и дизельном топливе. Параметры дизеля при снятии регуляторной характеристики приведены на рис. 1.

Из характеристик следует, что дизель Д-243 развивает максимальную мощность при частоте вращения  $n_e = 2230$  мин<sup>-1</sup>, при работе на биотопливе  $N_e = 56,52$  кВт. Мощность дизеля при работе на биотопливе «БДТ-1» уменьшается на 3,43 %, удельный расход топлива увеличивается на 11,8 %.

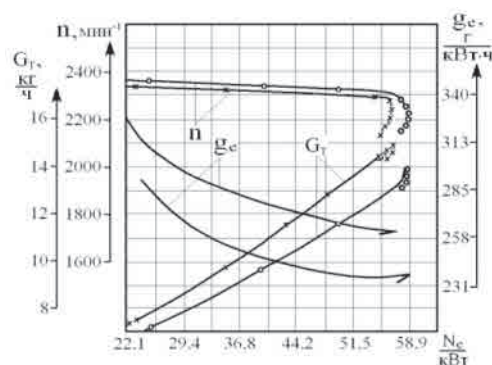
**Таблица 2. Некоторые показатели работы дизеля Д-243 при использовании биотоплива, полученного в Беларуси**

Наименование показателя	Вид топлива	
	дизельное «Л»	биотопливо «БДТ-1»
Мощность эксплуатационная, кВт	58,53	56,52
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>	2230	2230
Расход топлива, кг/г	13,75	14,85
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	234,92	262,7
Максимальная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	2362	2368
Оценочный удельный расход топлива, г/кВт·ч	247,66	276,35
Температура выхлопных газов, °С	530	510
Условия испытаний: температура, °С:		
- окружающей среды;	25	25
- охлаждающей жидкости;	85	86
- смазочного масла;	95	96
- топлива в головке насоса	52	54

Мощностные и экономические показатели дизеля Д-243 при работе на биотопливе «БДТ-1» и дизельном топливе в зависимости от угла опережения подачи топлива приведены в табл. 3.

При работе дизеля на биотопливе при увеличении угла опережения подачи топлива с 23 до 26° и увеличении удельного расхода топлива на 1,28 % мощность увеличивается на 0,23 %. При работе на дизельном топливе увеличение угла опережения подачи топлива с 23 до 26° уменьшает мощность на 1,15 % и удельный расход топлива на 2,29 %. По удельному расходу топлива при работе дизеля на биотопливе «БДТ-1» наиболее приемлемым является угол опережения подачи топлива – 23°, а при работе на дизельном топливе марки «Л» – 26°.

Биотопливо «БДТ-1» обеспечивает работу дизеля Д-243 в серийном исполнении. При работе на биотопливе мощность дизеля уменьшается на 3-4 %, удельный расход топлива при эксплуатационной



**Рисунок 1. Регуляторные характеристики дизеля Д-243 при работе:**

- на биотопливе «БДТ-1»;
- ✕ на дизельном топливе марки «Л»

**Таблица 3. Некоторые показатели работы дизеля Д-243 при использовании биотоплива и дизельного топлива**

Угол опережения, град. до ВМТ	Биотопливо «БДТ-1»			Дизельное марки «Л»		
	$N_e$ , кВт	$n_e$ , мин <sup>-1</sup>	$g_e$ , г/кВт·ч	$N_e$ , кВт	$n_e$ , мин <sup>-1</sup>	$g_e$ , г/кВт·ч
23	56,38	2200	258,6	58,9	2200	239,6
26	56,51	2200	261,9	58,22	2200	234,1
29	54,62	2200	273,6	56,29	2200	239,3

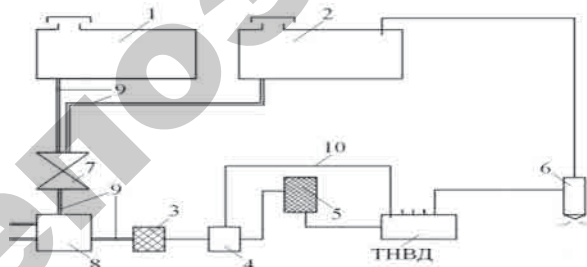
мощности увеличивается до 11,8 %. При работе дизеля на рабочей смеси рапсового масла и дизельного топлива марки «Л» в пропорции 1:1 по объему эксплуатационная мощность уменьшается на 1,5 %, удельный расход топлива увеличивается до 6,4 %.

Биотопливо «БДТ-1» из рапсового масла является альтернативным видом топлива для дизелей тракторов Минского тракторного завода с незначительным изменением мощностных и экономических показателей. При работе на биотопливе дизель Д-243 сохраняет мощностные и экономические параметры. При переводе работы дизеля с дизельного топлива на биотопливо «БДТ-1» мощность изменилась на 2,0 кВт или на 3,4 %. Удельный расход топлива увеличился на 28,6 г/кВт·ч или на 11,8 %.

При работе дизеля Д-243 на рабочей смеси рапсового масла и дизельного топлива марки «Л» в отношении 1:1 мощность уменьшилась на 0,88 кВт или на 1,5 % при увеличении удельного расхода топлива на 14,96 г/кВт·ч или на 6,4 %.

По результатам стендовых испытаний дизеля Д-243 была разработана схема топливоподдачи трактора «БЕЛАРУС-80.1» (рис. 2) для работы на смеси дизельного топлива и рапсового масла в соотношении 1:3. Система топливоподдачи собрана из комплектующих, разработанных и изготовленных на Минском тракторном заводе. Эксплуатационные испытания макета трактора «БЕЛАРУС-80.1», приспособленного для работы на растительном рапсовом масле в смеси с дизельным топливом, подтвердили, что рапсовое масло в смеси с дизельным топливом обеспечивает эффективную работу дизеля и является одним из способов экономии нефтяных видов топлива.

Дизель Д-243 достаточно приспособлен для работы на топливах различного фракционного состава. Одним из



**Рисунок 2. Схема системы питания трактора «БЕЛАРУС-80.1» для работы на биотопливе: 1, 2 – топливные баки; 3 – фильтр грубой очистки; 4 – топливоподкачивающий насос; 5 – фильтр тонкой очистки; 6 – форсунка; 7 – трехходовой кран; 8 – подогреватель воздуха; 9, 10 – топливopроводы**

факторов лучшей приспособляемости дизеля Д-243 для работы на смеси растительного масла и дизельного топлива является конструкция камеры сгорания в поршне, сферическая поверхность которой повышает интенсивность движения воздуха, способствует лучшему смешиванию при подготовке горючей смеси.

### Заключение

1. Топливо из рапсового масла для дизелей тракторов в полной мере является альтернативой и одним из способов экономии нефтяных видов топлива. Основное преимущество топлива из растительных масел по сравнению с нефтяным дизельным топливом состоит в том, что источники их получения возобновляемые, оказывают меньшее негативное воздействие на окружающую среду.

2. Работа дизеля на топливе из растительного масла получила экспериментальное подтверждение. Различные методы использования рапсового масла в качестве топлива дизелей показывают, что наиболее приемлемый оптимальный способ не определен, как нет и научных исследований и обоснований рабочего процесса дизеля при использовании этого вида топлива.

3. Особенность компоновки и два топливных бака, размещенных на тракторе «БЕЛАРУС-801», обеспечивают возможность иметь два вида топлива. Двухтопливный дизель на тракторе в условиях возможного дефицита дизельного топлива при использовании рапсового масла может обеспечить бесперебойную работу тракторной техники в периоды, особенно важные для сельскохозяйственного производства.

4. Проблема использования рапсового масла в качестве топлива получит завершающий характер, когда будут выполнены работы по конверсии дизелей для их работы на растительных видах топлива.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Использование биотоплива при работе дизельных двигателей в сельском хозяйстве: монография / В.А. Войтов [и др.]. – Минск: ГИВЦ Минсельхозпрода, 2012. – 116 с.
2. Якубович, А.И. Экономия топлива на тракторах: монография / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: БНТУ, 2009. – 229 с.
3. Доверие решает все. Переоборудование для работы на рапсовом масле // Сельхозтехника. – С. 76-79.
4. Растительные масла как топливо для дизельных моторов / В. Шеффер [и др.]. – Вакола, 1986.
5. Лабораторные исследования работы дизельного двигателя Д-243 трактора МТЗ-80/82 при переводе с дизельного топлива на биотопливо марки «БДТ-1» из рапсового масла: отчет / ПО «МТЗ». – Минск, 1995.
6. K. Scharmer. Umweltauswirkungen Wirtschaftlichkeit Energiebilanz. UFOp. Projekt-Nr. 530/951. – August, 1995.
7. Ulrich Wolfensberger. Rapeseed merhylester as a Fuel. Measurings end experiences in Switzerland. OE CD test engineers conference. 4 to 8 October, 1993.
8. Техничко-экономическое обоснование производства на сырьевой базе республики нового вида биологического моторного топлива (рапсовое масло). Заключительный отчет ГБ-8-91-95. – Минск, 1994.