

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И
ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**РЕСПУБЛИКАНСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
«БЕЛАГРОСЕРВИС»**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВА ПРИ РАБОТЕ
ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ
ХОЗЯЙСТВЕ**

**МИНСК
ГИВЦ Минсельхозпрода
2012**

Использование биотоплива при работе дизельных двигателей в сельском хозяйстве / В.А. Войтов [и др.]. – Минск : ГИВЦ Минсельхозпрода, 2012. –116 с. - ISBN 978-985-6920-13-7.

В монографии представлены результаты научных исследований и даны практические рекомендации по эксплуатации дизельных двигателей сельскохозяйственной техники при использовании биотоплива. Рассмотрены зависимости технико-эксплуатационных и экологических показателей дизельных двигателей от состава биотоплива. Приведены рекомендации по эксплуатации топливной аппаратуры дизелей, использования биотоплива в зимний период и экспресс-анализ его качества.

Табл. 11. Ил. 19. Библиогр. 44 назв.

Рекомендовано к изданию решением Совета РО «Белагросевис»
от 9.06.2011 г.

Авторы:

Войтов Виктор Анатольевич
Лабушев Николай Аксенович
Маринич Леонид Адамович
Карпович Станислав Константинович
Миклуш Владимир Петрович
Науменко Александр Артемович
Тарасенко Виктор Евгеньевич
Якубович Анатолий Иванович

Рецензенты:

Катцевич В.М., доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой технологии металлов БГАТУ
Мисун Л.В., доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой безопасности
жизнедеятельности БГАТУ

СОДЕРЖАНИЕ

1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	10
1.1 Растительное сырье для производства биотоплива	10
1.2 Особенности рабочего процесса дизеля при работе на топливе из растительного сырья.....	23
1.3 Зарубежный опыт использования топлива из растительного сырья.....	29
1.4 Использование топлива из растительного сырья в Республике Беларусь	41
2 ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОТОПЛИВА	49
3 ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ БИОДИЗЕЛЯ	64
4 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОТОПЛИВА	70
5 ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЗАМЕНЫ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЕЙ НА БИОТОПЛИВЕ	83
6 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПУСКОВЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЕЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ	96
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	103
ЛИТЕРАТУРА.....	110

ВВЕДЕНИЕ

Аграрная политика государства ориентирует производителей и потребителей сельскохозяйственной продукции на высокие наукоемкие технологии и отечественные экологически чистые продукты питания.

Потребление энергии определяет степень механизации и развитость сельскохозяйственного производства. Количество и качество произведенной сельскохозяйственной продукции во многом зависит от количества потребленной энергии. Сельскохозяйственная продукция – это также аккумулированная энергия производственной деятельности человека. Следует заметить, что в самом общем виде закон сохранения энергии при производстве сельскохозяйственной продукции также сохраняется. Часть потребляемой энергии затрачивается на совершение полезной работы, результатом которой является произведенная продукция, а часть рассеивается в окружающем пространстве.

В мире, где постоянно усиливается взаимовлияние и взаимозависимость, энергетическая безопасность будет впредь во многом зависеть от того, как государства выстроят свои отношения друг с другом – на двусторонней или многосторонней основе. Сегодня задачи надежного и

всестороннего обеспечения безопасности в энергетической сфере приобретают особую актуальность и для нашей страны. От ситуации на рынке обеспеченности государства энергоресурсами в полном объеме и на приемлемых условиях во многом зависит как дальнейшее развитие отечественной экономики, так и рост благосостояния народа, общая социально-экономическая стабильность в стране. Главное на современном этапе для белорусского государства – уйти от сырьевой зависимости.

Количество известных и используемых источников энергии на Земле не безгранично, человечество все чаще задумывается о том, что наступит время, когда появится дефицит энергии. Поэтому рациональное, бережное отношение к источникам энергии, увеличение используемой ее полезной доли актуально уже сегодня [2].

Начиная с 70-х годов прошлого столетия экологи, обеспокоенные возможностью наступления экологического кризиса на Земле, начали поиск альтернативных источников энергии, в том числе и таких веществ, которые бы при сгорании выделяли в атмосферу меньше вредных выбросов. В отличие от двухатомных молекул азота (N_2) и кислорода (O_2), трехатомные молекулы CO_2 поглощают свет, что сопровождается их нагреванием и приводит к

парниковому эффекту. При сгорании топлива растительного происхождения в атмосферу выделяется столько же CO_2 , сколько было (приблизительно) употреблено растениями из атмосферы. Таким образом, в отличие от сгорания топлива минерального происхождения, накопление CO_2 в атмосфере почти не происходит. Следовательно, использование альтернативных топлив является важным способом борьбы с парниковым эффектом. В 1997 году большинство развитых стран присоединились к Киотскому протоколу, который ограничивает выбросы CO_2 .

Современные технологии извлечения масла основаны на механическом (прессование с подогревом) и химическом (экстракция растворами) процессах. После двукратного прессования в отжимках остается до 5% масла, экстракция позволяет удалить до 99%. Энергетический баланс при выработке растительного масла положительный. Только 26% от энергии, которая содержится в маслосеменах, расходуется на выращивание растений и переработку [30].

Для получения биотоплива обычно используется рапсовое масло (РМ) – которое одно из дешевых растительных масел. Но это горючее также можно делать из подсолнечного, кукурузного и любого другого масла-сырца. Технология производства биотоплива из рапса за-

ключается в переработке маслосемян и получении масла, которое поступает в этерификационную установку. Для получения биотоплива (метилового эфира) к рапсовому маслу добавляется метанол в соотношении 9:1 и небольшое количество катализатора – щелочи. Процесс этерификации происходит в специальных колоннах, при повышенных температурах. В результате химической реакции образуется метиловый эфир и глицерин. Полученный метиловый эфир имеет высокое цетановое число 56–58, что способствует лучшему воспламенению топлива. Это позволяет использовать его в дизельных двигателях без прочих стимулирующих воспламенение веществ. Благодаря такому свойству метиловый эфир, получаемый из растительных масел и жиров, был назван **биодизелем**. Из каждой тонны рапса можно получить около 300 кг (30%) рапсового масла, а из него – порядка 270 кг биодизельного горючего [30].

Большинство государств Евросоюза, США, Канада, Бразилия, Австралия сейчас активно развивают программы получения и использования биотоплива из растительного сырья.

В последние годы осуществляется быстрый переход к использованию биомассы как топлива. ЕС декларирует до 2030 года замещения четвертой части потребляемого

топлива для транспорта за счет жидких видов биотоплива. Это значительно снизит уровень зависимости стран ЕС от импорта ископаемых видов топлива.

Сейчас более 20 стран мира производят жидкое биотопливо для дизельных двигателей из различного растительного сырья. Построены более 150 заводов, которые выпускают в год около 3 млн. тонн жидкого биотоплива. В Европе для производства биотоплива используется 84 % рапса, 13 % подсолнечника, 1 % сои, 1 % пальмового масла и другие виды масличных культур [2].

В Японии сторонники применения биотоплива делают основной упор не на экономическую эффективность использования этого вида топлива, а на его экологические свойства (отсутствие выбросов серных окислов, более чем трехкратное снижение выбросов сажи по сравнению с обычным дизельным топливом, менее опасное воздействие на здоровье человека и окружающую среду в целом) [33].

Лидером в потреблении биотоплива является Германия, где уже к началу 1990 г. насчитывалось более 350 раздаточных колонок, а потребитель имел возможность заправить автомобиль или трактор биодизелем [33]. Сейчас в Германии производится и реализуется более чем 1 млн. тонн биотоплива и свыше тысячи АЗС по его продаже.

По данным UFOP (Объединение по содействию использования масличных и протеиносодержащих культур), биодизель способен заменить в Германии 5, 10%, а в ЕС — до 10% суммарной потребности в дизельном топливе [33].

Таким образом современные требования к решению экологических проблем, ограничения выбросов вредных веществ, которые приводят к парниковому эффекту, требования Киотского протокола обуславливают необходимость применения биодизеля на транспорте и в сельскохозяйственном производстве.

1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1.1 Растительное сырьё для производства биотоплива

Реализация программы энергосбережения в аграрном секторе экономики реальна при активной позиции к вопросам экономии топлива на тракторах. Решение этой общегосударственной задачи предполагает экономию нефтяных видов топлива, в том числе и путём замещения его альтернативными видами топлив.

Следует полагать, что в ближайшие 5-10 лет приобретут завершающий характер поисковые работы по экономии топлива нефтяного происхождения. Конструкторские бюро определятся с направлениями работ по модификации и разработкой новых дизелей, использующих альтернативные виды топлива.

С точки зрения завершенности научных исследований по альтернативным видам топлива значение имеет разработка газодизельных модификаций двигателей. Использование природного газа (содержание метана 80-90%) обеспечивает 75-80% экономии дизельного топлива (от расхода топлива при дизельном процессе), увеличение эф-

эффективной мощности до 8-10% и эффективного КПД на 3-4%, улучшение показателей по выбросам вредных веществ с выхлопными газами.

К числу других альтернативных топлив относятся топлива из растительных масел. Для Республики Беларусь наиболее перспективным является рапсовое масло. Первичной задачей в решении этого вопроса является адаптация дизелей для работы на растительном топливе из рапсового масла.

Предпочтение рапса в качестве сырья для биотоплива, объясняется следующим:

- рапс неприхотливая и высокоурожайная (2,5–4 т/га) сельскохозяйственная культура;

- рапс задерживает питательные вещества в почве и улучшает ее структуру, хорошо перерабатывает органические удобрения;

- рапсовое масло из всех растительных масел наиболее устойчиво к влиянию низких температур (до -10°C);

- рапсовое масло не токсично, не загрязняет грунтовые воды и водоемы (при утечках полностью разлагается в почве в течение трех недель);

- рапсовое масло пожаробезопасно (температура воспламенения 325°C);

– рапсовое масло практически не содержит серы [2].

По мнению ведущих ученых института растениеводства им. В.Я. Юрьева УААН, наиболее перспективными сырьевыми базами для производства биотоплива в Украине являются рапс, подсолнечник и соя [1].

По заказу Национального агентства Украины по вопросам обеспечения эффективного использования энергетических ресурсов Институтом технической теплофизики НАН Украины в 2008 году был исследован и проанализирован потенциал нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и выполнена оценка сельскохозяйственных отходов, отходов деревообработки, энергетических культур, биодизеля, биоэтанола, биогаза с отходов животноводства, торфа. Как показали расчеты экономический потенциал биомассы в Украине, доступной для получения энергии, составляет 27 млн. тонн условного топлива на год [1].

Использование биотоплива в России стало официально разрешенным после введения с 1 июля 2006 года национального стандарта ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2004), допускающего присутствие (до 5 %) в дизельном топливе метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) [31].

С учетом определенных видов сырья растительного происхождения проведены расчеты себестоимости изго-

товления биотоплива с определением следующих групп расходов [1]:

- расходы, связанные с выращиванием и сбором культур;

- расходы, связанные с получением растительного масла с учетом процента выхода масла.

Расчеты представлены в виде диаграмм (рис. 1.1 - 1.9), из которых видно, что конечная себестоимость 1 т биотоплива зависит от урожайности культур. При этом минимальную стоимость имеет биотопливо из рапсового масла.

При средней урожайности рапса 25 ц/га себестоимость 1 т биотоплива составляет 781 доллар США, а при урожайности 38 ц/га – 673,9 \$. Себестоимость 1 т биотоплива из подсолнечника при урожайности 27 ц/га будет составлять 725,3 доллара США, а из сои при урожайности 35 ц/га – 824,3 \$.

Отметим, что при достаточно высоком уровне обеспеченности хозяйств и высоком уровне урожайности можно получить себестоимость 1 т биодизеля меньше стоимости реализации дизельного топлива на АЗС.

Учитывая колебание цен на нефть и светлые нефтепродукты на мировом и внутреннем рынках, а также традиционное для рынка ежегодное сезонное подорожание дизельного горючего, можно сделать вывод о целесообразности развития производства и использования биотоплива [1].

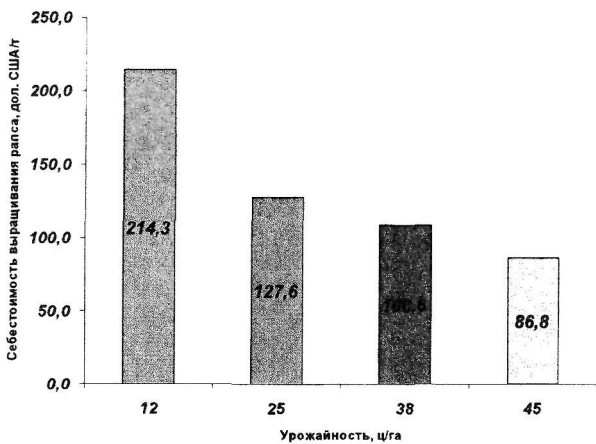


Рисунок 1.1 - Нормативная себестоимость выращивания рапса

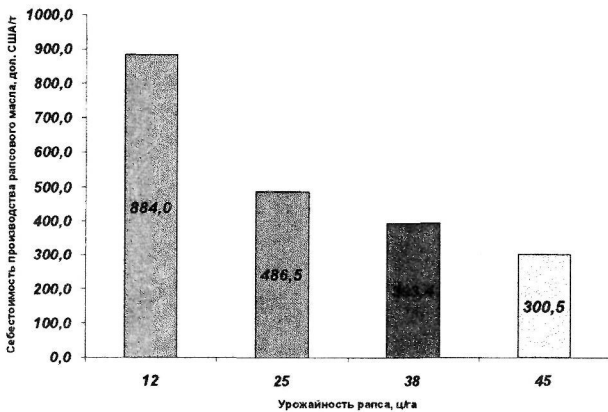


Рисунок 1.2 - Нормативная себестоимость получения рапсового масла

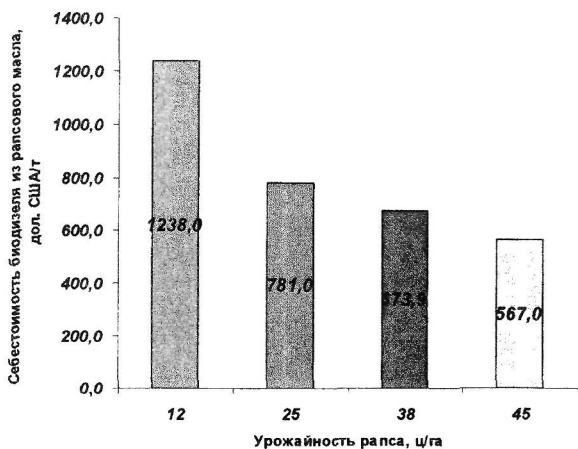


Рисунок 1.3 - Нормативная себестоимость получения биотоплива из рапсового масла

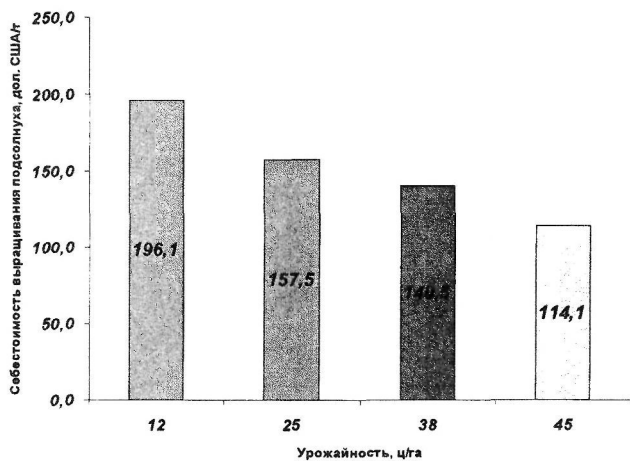


Рисунок 1.4 - Нормативная себестоимость выращивания подсолнечника

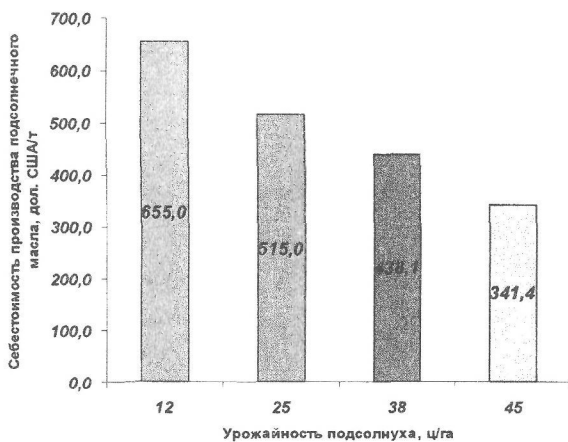


Рисунок 1.5 - Нормативная себестоимость получения подсолнечного масла

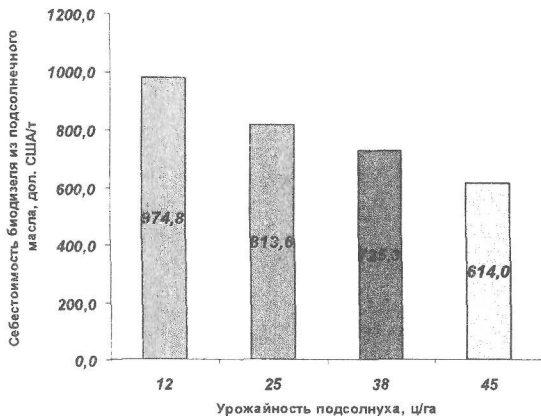


Рисунок 1.6 - Нормативная себестоимость получения биодизеля из подсолнечного масла

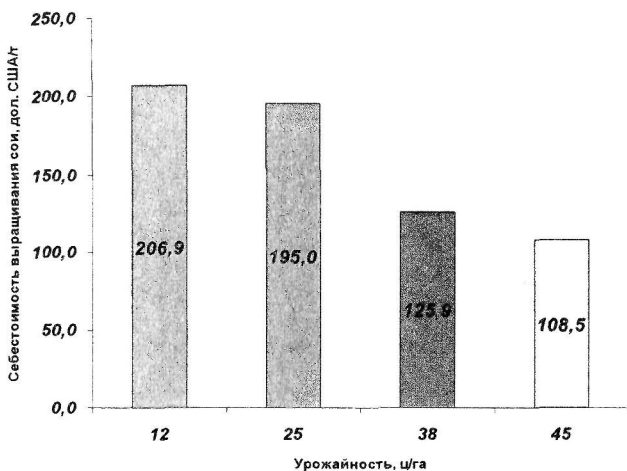


Рисунок 1.7 - Нормативная себестоимость выращивания сои

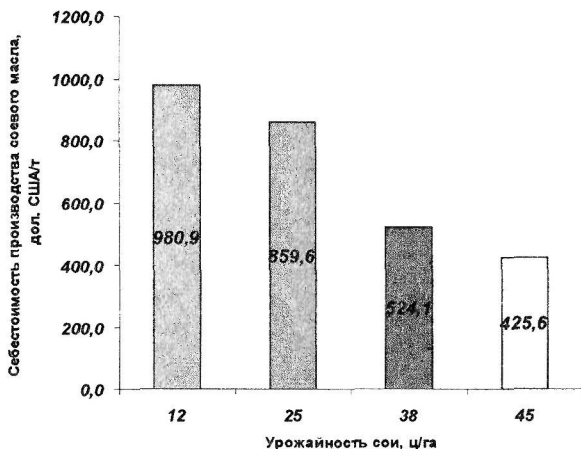


Рисунок 1.8 - Нормативная себестоимость получения соевого масла

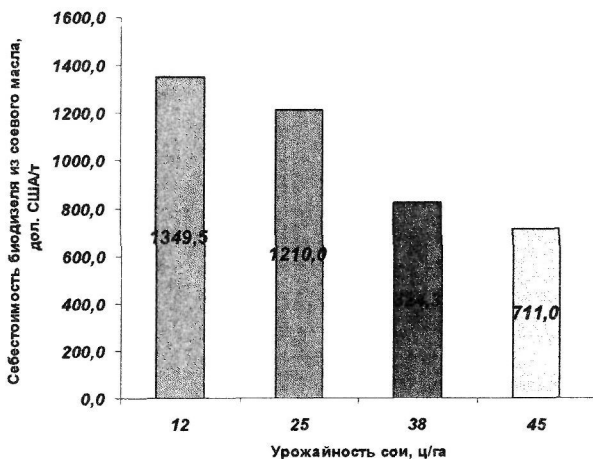


Рисунок 1.9 - Нормативная себестоимость получения биодизеля из соевого масла

Как отмечалось выше, для Республики Беларусь наиболее перспективным является рапсовое масло, которое может использоваться в виде смеси масла с добавлением дизельного топлива или в виде метиловых эфиров рапсового масла (МЭРМ).

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

Рост энерговооруженности сельского хозяйства при использовании мощных тракторов, автомобилей, комбай-

нов 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 приносят значительный ущерб природе.

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 учётом требования максимального использования собственных ресурсов топлива и доведения до минимума зависимости от конъюнктуры импорта.

При энергетическом использовании рапсового масла в качестве горючего возможны два пути: децентрализованного и централизованного производства.

Децентрализованное производство требует модификации дизельных моторов, допускающей использование фильтрованного рапсового масла или в смеси с дизельным топливом. Полученное масло фильтруется на месте, в малых отстойных ёмкостях и используется в модифицированных дизельных агрегатах.

Преимущество децентрализованной обработки растительных масел: сокращение транспортных расходов, небольшие энергозатраты и инвестиционные расходы, сохранение рабочих мест в сельскохозяйственных регионах.

В германском варианте децентрализованного использования биотопливо применяют в основном сельскохозяйственные производители. Фермеры или кооперативы фермеров покупают маломощные установки (300–3000 тонн в год), сами производят рапс и из него же получают биотопливо, которое используют в собственной технике. В Германии производится несколько марок дизельных двигателей для работы на чистом рапсовом масле. Основным поставщиком этих двигателей является фирма Deutz Fahr. Двигатели работают на топливной смеси из дизельного топлива и рапсового масла.

Централизованное производство, иногда называемое «Французским вариантом», предполагает модификацию рапсового масла – получение биодизеля (метилового эфира жирных кислот рапсового масла (МЭЖК)), и использование в дизельных моторах любых марок (полученное масло поступает на завод для химической переработки, а затем на заправочные станции).

Основным достоинством МЭЖК является суммарное уменьшение токсичности выхлопа.

При сгорании биотоплива в двигателях с открытой камерой сгорания выделяется в атмосферу на 10–12 % меньше CO_2 , на 10–35 % меньше HC , на 24–36 % меньше твердых частиц, на 52–50 % меньше сажи и лишь незначительно увеличивается оксид азота сравнительно с использованием обычного минерального дизельного топлива. При использовании биотоплива незначительно (5...10 %) снижается мощность двигателя и увеличивается расход топлива [2].

В выхлопных газах дизельных двигателей, которые работают на биодизеле, совсем отсутствует сера, являющаяся причиной выпадения кислотных дождей. Применение чистого МЭЖК в качестве дизельного топлива сдерживает его низкая химическая стабильность.

Основной потребитель биотоплива – агропромышленный комплекс, автотранспорт и автобусы, проезд которых в некоторых крупных городах и отдельных регионах на обычном дизельном топливе запрещен.

Производят данный продукт в основном централизованно на мощных установках 5–10 тыс. т в год.

При химической реакции в ректификационных колоннах растительное масло смешивается с метанолом и катали-

затором. При этом образуется биодизель и, побочный продукт, глицерин. В 2003 году принят единый стандарт для стран Евросоюза EN 14214:2003 Europe Biodiesel. На основе европейского стандарта подготовлен государственный стандарт Республики Беларусь СТБ 1657 – 2006 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. МЕТИЛОВЫЕ ЭФИРЫ ЖИРНЫХ КИСЛОТ (FAME) ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. Технические требования и методы испытаний» (табл. 1.1) [3].

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

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

Таблица 1.1 - Основные физико-химические показатели биодизеля по СТБ 1657 – 2006 (EN 14214:2003)

Показатели	Единицы измерения	Величина
Плотность при 15 °С	г/см ³	0,86–0,90
Вязкость при 40 °С	мм г/с	3,5–5,0
Температура вспышки	°С	120 мин
Сера	мг/кг	10 макс
Коксуемость (10% превышение)	% масс	0,3 max
Цетановое число		51,0 мин
Сульфатная зольность	% масс	0,02 макс
Содержание воды	мг/кг	500 макс
Испытания на медной пластине	3ч/50 °С	1
Окислительная стабильность	"час; 110°С"	6 часов мин
Кислотное число	мг КОН /г	0,5 макс
Йодное число		120 макс

1.2 Особенности рабочего процесса дизеля при работе на топливе из растительного сырья

Направление использования биотоплива дизельных двигателей различны, включая смеси растительных масел с другим топливом и 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.

Следует отметить, что влияние растительных топлив 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% и другие. Из всех масличных культур наибольшее применение имеет рапс, энергетические характеристики масла которого позволяют получать достаточно эффективные виды растительного топлива.

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 (ДТ). В качестве недостатков рапсового масла по сравнению с дизельным топливом можно отметить:

- высокая вязкость (в 2–10 раз выше);
- плохие низкотемпературные свойства;
- низкое цетановое число;

- высокая температура воспламенения;
- повышенная коксуемость;
- меньшая на 7–10 % теплотворная способность из-за наличия кислородосодержащих соединений;
- содержание в большем количестве, чем в дизельном топливе воды и механических примесей.

При нормальных температурных условиях (20 °С) вязкость РМ в 15 раз больше, чем у стандартного дизельного топлива. Значительное увеличение вязкости топлива способствует возрастанию гидравлического сопротивления в системе топливоподачи, что может привести к уменьшению объемной подачи топлива при прочих равных условиях по сравнению с работой дизеля на ДТ.

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

Существенная разница плотностей РМ и ДТ ведет к тому, что при одинаковой объемной подаче топлива, массовый расход на РМ будет выше, чем на ДТ примерно на 10 %.

К тому же, в процессе нагнетания по трубопроводу высокого давления и распыливания топлива с высокой вязкостью увеличивается нагрузка в приводе ТНВД. Следовательно, снижается надежность и долговечность деталей насоса высокого давления.

На надежность работы топливоподающей аппаратуры оказывает отрицательное влияние наличие воды и механических примесей в большем количестве в РМ, склонность его к образованию нагара и повышенной коксуемости.

Низшая теплота сгорания у РМ ниже на 7–10 %, чем у ДТ. Это связано с тем, что содержание в РМ кислорода на 11% больше, а углерода и водорода меньше на 8 % и 3 % соответственно (табл. 1.2). Наличие кислорода в РМ приводит к уменьшению на 17 % теоретически необходимого количества воздуха для сгорания 1 кг топлива (с 14,4 кг при использовании ДТ до 12,3 кг при использовании РМ). При равных значениях коэффициента избытка воздуха (α) это позволяет увеличивать цикловую подачу РМ и компенсировать снижение мощности, возникающее за счет меньшей теплотворной способности этого топлива [2].

Таблица 1.2 - Средний элементарный состав топлив

Вид топлива	Содержание по весу, %		
	углерода С	водорода Н	кислорода О
Дизельное топливо	86	13	1
Биотопливо на основе рапсового масла	78	10	12

Проблемы, связанные с высокой вязкостью чистого РМ, могут быть решены при подогреве топлива с 20 до 95 °С. При этом вязкость снижается с 75 до 10 мм²/с соответственно. Кроме того, при нагреве снижается плотность и поверхностное натяжение.

Данные обработки индикаторных диаграмм показали, что процесс подготовки биодизельной смеси к воспламенению удлиняется, о чем свидетельствуют возрастание продолжительности индукционного периода, а самосгорание (тепловыделение) в объемно-кинетической фазе рабочего цикла протекает более вяло и затянуто 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.

В неочищенном РМ в большем количестве, чем в ДТ содержится вода и механические примеси. Это обуславливает необходимость отстаивания и тщательной очистки масла перед применением.

Замена дизельного топлива на биотопливо существенно улучшает экологические качества дизеля. Выброс с отработавшими 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.

Несмотря на многие преимущества использования растительного топлива, до настоящего времени еще не найдены рациональные методы организации рабочего процесса с использованием топлив подобного вида. Вновь создаваемые двигатели на наш взгляд должны проектироваться с учетом возможности их эксплуатации на альтернативных видах топлива.

Для обеспечения эффективной работы дизеля на биотопливе и устранения негативных последствий его сгорания в цилиндре дизеля необходим комплекс мероприятий, включающих теоретические и экспериментальные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы. Приоритетным направлением, на наш взгляд, является обоснование параметров топливоподачи. 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.

1.3 Зарубежный опыт использования топлива из растительного сырья

Значительный опыт в области применения топлив 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 литров рапсового масла с одного га [6].

Разрешение на использование биотоплива дали 13 известных тракторостроительных фирм, в том числе «Fendt», «Case», «John Deer», «Massey-Ferguson», «Renault», «Same», «Steyr» и другие. Фирма «John Deer» дала разрешение на отдельные модели тракторов с гарантией 2 года или 1500 рабочих часов по наработке. Фирма «Same» дала разрешение на применение топлива биодизель на тракторах изготовления с 1980 г. с гарантией 4 года. Некоторые фирмы разрешали использовать топливо биодизель на новых моделях тракторов без ограничения гарантии.

Биотопливо может применяться без каких-либо проблем на любом дизельном двигателе. Тем не менее, определённые условия при использовании растительного топлива существуют. Биодизель легко растворяет старые отложения нефтяного дизельного топлива в топливных баках, топливопроводах, что может привести к засорению топливных фильтров. Производители тракторов рекомен-

дуют провести замену фильтров после 2-3 заправок баков растительным топливом.

Возможно «разбухание» топливных шлангов и уплотнителей, изготовленных из полиэтилена Ш-620. При использовании биотоплива рекомендуются топливные шланги и другие детали, контактирующие с топливом, изготавливать из фторкаучука или эластичных пластмасс на основе полиамида или полиэстеруретана.

При попадании несгоревшего растительного топлива, что возможно при длительной работе двигателя при большой нагрузке, в масляный картер 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 смывать.

Интерес к рапсу как энергетической культуре в Финляндии проявляется разработчиками сельскохозяйственных тракторов. В 80-х годах исследовательский центр «VACOLA» совместно с фирмой «Valmet» и исследовательской лабораторией по новым видам топлива провели исследования по использованию рапсового масла в качест-

ве топлива на тракторах моделей «Valmet-702» и «Volvo
bm valmet 605-4».

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 её 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 проведён анализ состояния цилиндро-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 гнёздах клапанов. Коленчатый вал, вкладыши коренные и шатунные в хорошем состоянии.

Экспертизой деталей двигателя трактора V-702 после 700 ч работы отмечено отсутствие существенных износов, все детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов находились в исправном состоянии, слой нагара 1...2 мм. Нагар тонкий, вязкий, тёмного цвета. Слой сажи формируется на впускном клапане и во всасывающем отверстии гнезда клапана. Износ вкладышей за период испытаний находился в пределах нормы.

Двигатели тракторов V-605 и V-702 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, толщина 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 биотоплива в дизельных двигателях возможно при выполнении следующих условий:

- физические свойства, химический состав, чистота рапсового масла должны обеспечивать применение рабочей смеси в двигателях при запуске;

- топливные фильтры, топливный насос и распылители форсунок не должны быть засорены;

- качество распыла топливной смеси должно обеспечивать её полное сгорание;

- поршневые кольца должны обеспечивать заданное рабочее давление при сжатии горючей смеси;

- рабочая смесь не должна оставаться на стенках цилиндров, что исключит перетекание её в масляный картер и ухудшит качества смазочного масла и работы всей смазочной системы.

Отмеченные условия определяют требования к используемому в качестве топлива маслу, которые, следует полагать, должны соответствовать дизельному топливу.

Таким образом, в смеси с дизельным топливом в соотношении 1:3 может использоваться в качестве топлива дизельного двигателя. 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 накопле-

ний на цилиндрической группе, что, однако, не нарушает работоспособность дизеля.

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

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

Стендовыми 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 65E, STEYR 8055 отмечено некоторое повышение мощности при работе на RME по сравнению с дизельным топливом, на номинальном

скоростном режиме мощности выравниваются. На тракторе JOHN DEERE 2250 отмечено снижение мощности при работе на RME на частичных режимах и также выравнивание её на номинальном режиме. Отклонение значений мощности при работе на RME по сравнению с дизельным топливом на испытуемых дизелях незначительны, поэтому заключение ученых, что «мощность остаётся 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. При работе дизелей на метил-эфирном топливе RME мощностные показатели дизелей обеспечиваются, сложных технических проблем при переводе дизеля на работу на топливе на RME не отмечено.

Исследования рапсового масла в качестве топлива в России проводились во Всероссийском научно-

исследовательском институте механизации сельского хозяйства. В качестве топлива принималась смесь рапсового масла и дизельного топлива в соотношении 75% рапсового масла и 25% дизельного топлива, указанная смесь названа «биодит». Испытания проводились на дизелях 6ЧН13/11,5 (СМД-62) и 4Ч11/12,5 (Д-243), конструкция камеры сгорания которых обеспечивает объемно-пленочное смесеобразование. Камера сгорания неразделенная, расположена в поршне. Смесеобразование обеспечивается вихревыми потоками горючей смеси. Впрыск топлива непосредственно в камеру сгорания осуществляется форсунками с четырехдырочным распылителем.

Испытания дизелей проводились на стендах путем снятия регулировочных и нагрузочных характеристик. Дизель 6ЧН13/11,5 при работе на дизельном топливе на номинальном режиме развивал мощность 122,3 кВт, на биодите – 117 кВт. Мощность дизеля на биодите уменьшилась на 4,5%, при одновременном увеличении расхода топлива на 5,2%. Увеличение расхода топлива обеспечивается большей плотностью биодита ($\rho_0 = 891 \text{ кг/м}^3$) по сравнению с дизельным топливом ($\rho_0 = 820 \text{ кг/м}^3$). Однако, несмотря на повышенный расход биодита расчетная мощность дизеля не обеспечивается, что является следствием более низкой теп-

лотворной способностью смеси рапсового масла с дизельным топливом. Снижение мощности дизеля при работе на биодите отмечается как на номинальном режиме, так и на частичных при одновременном увеличении расхода топлива. Испытаниями установлено увеличение расхода топлива на 6,4...12,7%. На холостом ходу удельный расход биодита увеличивается до 28,4%.

Оценка рабочего процесса, проведённая по эффективному КПД, показала снижение КПД при работе дизеля на биодите. Так при $p_e = 0,4$ МПа КПД рабочего процесса на биодите на 5,3% ниже эталона, а при $p_e = 0,2$ МПа – на 19,2%. Следует полагать, снижение эффективного КПД является следствием ухудшения смесеобразования и сгорания биодита.

Дизель 6ЧН13/11,5 способен работать при замещении 75% дизельного топлива по объёму рапсовым маслом.

Дизель 4Ч11/12,5 при работе на дизельном топливе показал параметры, соответствующие ТУ: номинальная мощность – 57,8 кВт, удельный расход топлива – 235 г/кВт·ч, корректорный запас крутящего момента – 14,7%, степень неравномерности регулятора – 2,4%. При работе на биодите номинальная мощность составила – 56,7 кВт, запас крутящего момента – 17,6%, степень неравномерно-

сти регулятора – 2,6%. Таким образом при работе на биодите дизель Д-243 полностью соответствует техническим условиям.

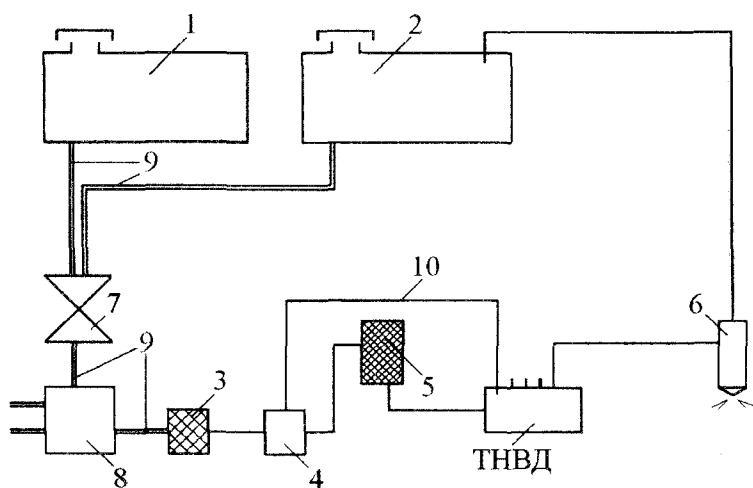
Удельный расход биодита на внешней и частичных характеристиках выше расхода дизельного топлива на 4,1–13,7%. Следует полагать, что топливopодающая аппаратура работает достаточно стабильно при повышенной вязкости топлива. Повышенный расход топлива компенсирует пониженное значение теплотворной способности биодита и обеспечивает расчётную мощность дизеля.

Оценка рабочего процесса дизеля 4Ч11/12,5 по значению эффективного КПД при работе на биодите показала, что на режимах близких к номинальным он практически равен значению при работе дизеля на дизельном топливе. Однако, при снижении нагрузки в 2 раза ($N_e = 29$ кВт) разница в КПД составляет 1,6%, а при снижении в 4 раза ($N_e = 14,5$ кВт) – 3,1% [9].

Дизель 4Ч11/12,5 более приспособлен для работы на топливах различного фракционного состава. Одним из факторов лучшей приспособляемости дизеля 4Ч11/12,5 для работы на смеси растительного масла и дизельного топлива является конструкция камеры сгорания в поршне, сферическая поверхность которой повышает интенсивность

движения воздуха, способствует лучшему смесеобразованию при подготовке горючей смеси.

Проведенные исследования показали, что дизельные двигатели 6ЧН13/11,5 и 4Ч11/12,5 способны работать на топливе из рапсового масла. Производителям дизелей необходимо провести исследования работы топливной аппаратуры на топливах большой вязкости, рассмотреть возможность снижения вязкости, например, при подготовке топлива, оптимизировать рабочие процессы для обеспечения работы дизеля как на биодите, так и на дизельном топливе.



1, 2 – топливные баки; 3 – фильтр грубой очистки; 4 – топливоподкачивающий насос; 5 – фильтр тонкой очистки; 6 – форсунка; 7 – трёхходовой кран; 8 – подогреватель воздуха; 9, 10 – топливопроводы

Рисунок 1.10 - Схема системы питания трактора «БЕЛАРУС-80.1» для работы на биотопливе

По результатам стендовых испытаний дизеля 4Ч11/12,5 разработана схема топливоподачи трактора «БЕЛАРУС-80.1» (рисунок 1.10) для работы на смеси дизельного топлива и рапсового масла в соотношении 1:3. Система топливоподачи, установленная на тракторе «БЕЛАРУС-80.1», 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.

1.4 Использование топлива из растительного сырья в Республике Беларусь

Исследования по использованию растительного масла в качестве топлива дизельных двигателей в Беларуси проводились на Минском тракторном заводе в 1990 – 1995 г.г. Основная цель работы – создание двухтопливных дизелей тракторов «БЕЛАРУС» способных работать на традиционном нефтяном топливе и альтернативном растительном. Особенность компоновки и два топливных бака,

размещённых на универсально-промышленном тракторе, обеспечивают возможность иметь на тракторе два вида топлива. Двухтопливный дизель в условиях возможного дефицита дизельного топлива при использовании рапсового масла, может обеспечить бесперебойную работу тракторной техники в напряженные периоды выполнения сельскохозяйственных работ.

Использование рапсового масла в качестве моторного топлива проводилось 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 второму направлению проводилась работа с моторным топливом, полученным из Польши, и топливом, полученном в результате совместных работ с НПО «Транстехника» и лабораторией термодинамики органических веществ БГУ [8].

Результаты испытаний дизеля 4С11/12,5 при работе на биотопливе, полученного в Польше (таблице 1.3) показали, что при переводе дизеля на биотопливо мощность уменьшается на 3,6 кВт или на 8,67% при частоте вращения 1700 мин^{-1} .

Таблица 1.3 Результаты испытаний

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

Стендовые испытания биотоплива «БДТ-1», произведённого в Республике, проводились на 4-х цилиндровом дизеле 4Ч11/12,5.

Дизель 4Ч11/12,5 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 4Ч11/12,5 при работе на биотопливе «БДТ-1» и дизельном топливе марки «Л» приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 Сравнительные показатели

Наименование показателя	Вид топлива	
	дизельное «Л»	биотопливо «БДТ-1»
Мощность эксплуатационная, кВт	58,53	56,52
Частота вращения, об/мин	2230	2230
Расход топлива, кг/г	13,75	14,85
Удельный расход топлива, г/кВт·ч	234,92	262,7
Максимальная частота вращения, мин ⁻¹	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

Мощность дизеля 4Ч11/12,5 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.

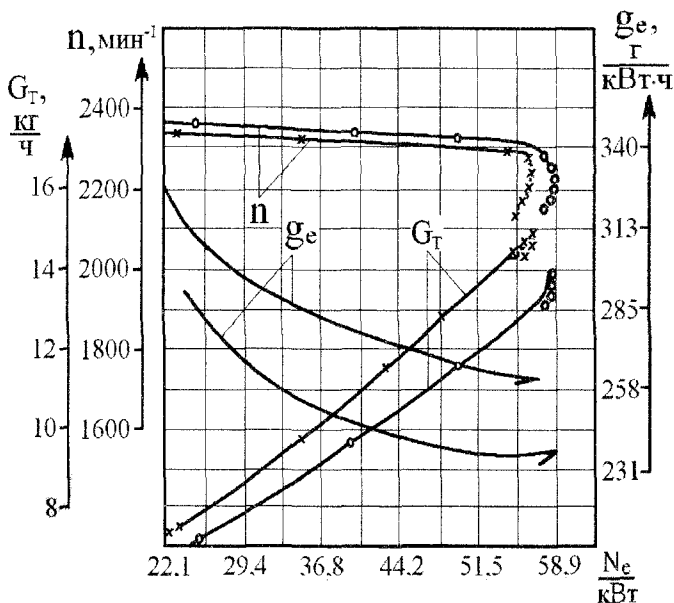


Рисунок 1.11 - Регуляторные характеристики дизеля 4Ч11/12,5 при работе

○ — на биотопливе «БДТ-1»;
 × — на дизельном топливе марки «Л»

Работа дизеля 4Ч11/12,5 оценивалась по регуляторным характеристикам при работе на биотопливе и дизельном топливе. Параметры дизеля при снятии регуляторной характеристики приведены на рисунке 1.11.

Из характеристик следует, что дизель 4Ч11/12,5 развивает максимальную мощность при частоте вращения $n_e = 2230 \text{ мин}^{-1}$, при работе на биотопливе $N_e = 56,52 \text{ кВт}$.

Мощность дизеля при работе на биотопливе «БДТ- 1» уменьшается на 3,43%, удельный расход топлива увеличивается на 11,8%.

Мощностные и экономические показатели дизеля 4Ч11/12,5 при работе на биотопливе «БДТ-1» и дизельном топливе в зависимости от угла опережения подачи топлива приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 Параметры дизеля 4Ч11/12,5 при работе на биотопливе

Угол опережения, град. до ВМТ	Биотопливо «БДТ-1»			дизельное марки «Л»		
	N_e , кВт	n_e , мин ⁻¹	g_e , г/кВт·ч	N_e , кВт	n_e , мин ⁻¹	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

При работе дизеля на биотопливе с увеличением угла опережения подачи с 23 до 26, ° удельного расхода топлива на 1,28%, мощность увеличивается на 0,23%. При работе на дизельном топливе увеличение угла опережения подачи 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 4Ч11/12,5 в серийном исполнении. При работе на биотопливе мощность дизеля уменьшается на 3 – 4%, удельный расход топлива при эксплуатационной мощности увеличивается до 11,8%. При работе дизеля на рабочей смеси рапсового масла и дизельного топлива марки «Л» в пропорции 1:1 по объёму 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. Биотопливо «БДТ-1» обеспечивает работу дизеля 4Ч11/12,5 в комплектации моторной установки трактора МТЗ-80. При работе на биотопливе дизель 4Ч11/12,5 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 4Ч11/12,5 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%.

Таким образом топливо из рапсового масла для дизелей тракторов в полной мере является альтернативой и одним из способов экономии нефтяных видов топлива. Основное преимущество топлив из растительных масел перед нефтяным дизельным состоит в том, что источники их получения возобновляемые, оказывают меньшее негативное воздействие на окружающую среду.

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.

2 ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОТОПЛИВА

Для оценки эффективной мощности, удельного расхода топлива и экологических показателей дизелей при применении биотоплива необходимо проведение сравнительных стендовых испытаний дизельного двигателя на разных типах биодизеля. Такие исследования выполнены в Харьковском национальном техническом университете сельского хозяйства им. П.Василенка [1]. Проведены стендовые испытания дизеля 4С12/14 (СМД-14Н), который был установлен на электротормозном стенде СТЭ-28-ГОСНИТИ, предназначенном для обкатки и испытания тракторных и комбайновых двигателей. Испытания проводились согласно ГОСТ 18509-88 с определением следующих показателей.

Крутящий момент дизеля:

$$M_{KP} = L \cdot P_T, \quad (2.1)$$

где L – плечо действия тормоза, м ($L = 0,716$ м);

P_T – показание измерительного устройства тормоза, Н.

Эффективная мощность дизеля:

$$N_e = 0,75 \cdot 10^{-4} \cdot n \cdot P_T, \quad (2.2)$$

где N_e – эффективная мощность, кВт;

n – частота вращения коленчатого вала дизеля, мин^{-1} .

Часовой расход топлива дизелем:

$$G_T = 3,6 \cdot \frac{\Delta G}{\tau}, \quad (2.3)$$

где G_T – часовой расход топлива, кг/ч ;

ΔG – расход топлива за опыт, г ;

τ – время расхода топлива, с .

Удельный эффективный расход:

$$g_e = \frac{G_T}{N_e}, \quad (2.4)$$

где g_e – удельный эффективный расход топлива, кг/кВт ч .

Испытания дизеля проводились на следующих видах топлива:

– дизельное топливо в соответствии со стандартом [34] (эталонное топливо);

– 95% ДТ и 5% МЭРМ;

– 90% ДТ и 10% МЭРМ;

– 80% ДТ и 20% МЭРМ;

– 70% ДТ и 30% МЭРМ;

– 50% ДТ и 50% МЭРМ;

– 30% ДТ и 70% МЭРМ;

– 100% МЭРМ.

Метилловые эфиры рапсового, подсолнечного и соево-

го масел были предоставлены предприятием "Техносоюз", г. Донецк. Предоставленные образцы биодизеля отвечали требованиям стандарта [35] и имели сертификат качества.

По результатам испытаний построены регулирующие и регуляторные характеристики согласно ГОСТ 18509-88.

На рис. 2.1 представлена регулировочная характеристика дизеля при испытании на топливе 100% МЭРМ.

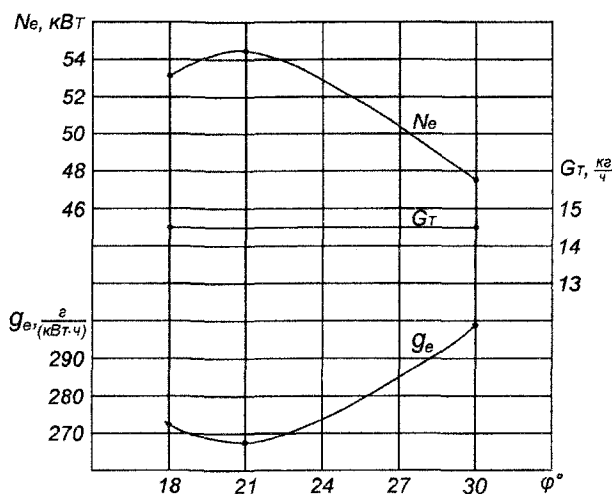
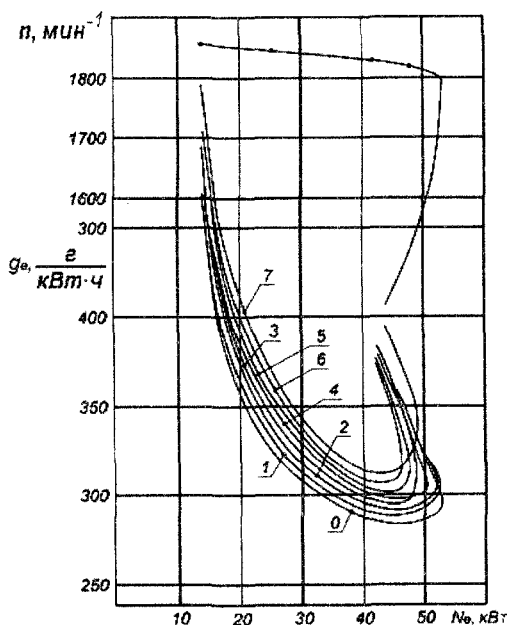


Рисунок 2.1 - Регулировочная характеристика по установленному углу опережения впрыскивания топлива

Как видно из рис. 2.1, оптимальный угол опережения равняется 21° . В соответствии с [10], его значение совпадает с углом, рекомендованным производителем дизеля ($20 \dots 22^\circ$).

Из других литературных источников подтверждается, что для всех альтернативных топлив его значение находится в вышеуказанных пределах. Поэтому в дальнейших экспериментах был использован неизменный угол опережения 21° .

По результатам обработки экспериментальных данных получены регуляторные характеристики (рис. 2.2) для работы дизеля на всех типах топлива, перечисленных выше.



0 - дизельное топливо; 1 - 95% дизельного топлива и 5% МЭРМ;
 2 - 90% дизельного топлива и 10% МЭРМ; 3 - 80% дизельного топлива и 20% МЭРМ; 4 - 70% дизельного топлива и 30% МЭРМ; 5 - 50% дизельного топлива и 50% МЭРМ; 6 - 30% дизельного топлива и 70% МЭРМ; 7 - 100% МЭРМ

Рисунок 2.2 - Регуляторная характеристика дизеля 4Ч12/14:

Выполненные исследования показали, что при использовании в качестве альтернативного топлива 100% МЭРМ эффективная мощность дизеля уменьшается на 12%, при одновременном увеличении удельного расхода топлива на 10...13%.

При использовании смесевых топлив (рис.2.2): 95% дизельного топлива и 5% МЭРМ; 90% дизельного топлива и 10% МЭРМ; 70% дизельного топлива и 30% МЭРМ, уменьшение эффективной мощности и увеличение удельного расхода топлива происходит на 3,5%, что существенно не повлияет на эффективность использования сельскохозяйственной техники.

Снижение эффективной мощности дизельного двигателя можно объяснить отличиями энергетических характеристик дизельного топлива и биодизеля.

Соотношение результатов для разных топлив отвечает соотношением низших значений теплоты сгорания, которые можно для смесевого топлива представить в виде:

$$Q_H^{Сум} = A \cdot Q_H^{ДП} + B \cdot Q_H^{АП}, \quad (2.5)$$

где $Q_H^{Сум}$ – низшая теплота сгорания смеси, МДж/кг;

A – доля дизельного топлива в смеси, $A=0...100\%$;

$Q_H^{ДП}$ – низшая теплота сгорания дизельного топлива,

$Q_H^{ДП} = 42,5$ МДж/кг;

B – часть альтернативного топлива в смеси,
 $B=0\dots 100\%$;

Q_H^{AP} – низшая теплота сгорания альтернативного топлива,

$Q_H^{AP} = 37$ МДж/кг.

Выполненные исследования и расчеты показали, что при содержимом МЭРМ в смесевом топливе 30% (соответственно, не меньше 70% ДТ) и номинальных значениях регулировочных параметров дизеля по углу опережения впрыскивания, мощность и удельный расход топлива изменяются незначительно, на 3...5%.

Как отмечалось выше, альтернативной сырьевой базой изготовления биодизеля для условий Украины также могут быть подсолнечник и соя.

Институтом растениеводства им. В.Я. Юрьева УААН (г. Харьков) получены гибриды подсолнечника, масло которых содержит 87% олеиновой кислоты. Из этих гибридов подсолнечника были изготовлены метиловые эфиры подсолнечного масла (МЭПМ) по однотипной технологии и на том же предприятии, где изготавливались метиловые эфиры рапсового масла ("Техносоюз", г. Донецк) [1].

Кроме того, с целью проведения сравнительных испытаний в то же время были получены метиловые эфиры соевого масла (МЭСМ).

Результаты стендовых испытаний дизеля 4С12/14 согласно ГОСТ 18509-88 с определением регулирующих и регуляторных характеристик, которые представлены на рис. 2.3 и рис. 2.4, позволяют сделать следующие выводы [1]:

1. Корректировку угла опережения впрыскивания топлива при работе на МЭПМ и МЭСМ проводить не нужно. Этот угол лежит в пределах, рекомендованных производителем дизеля. Регулирующая характеристика аналогична приведенной на рис. 2.1.

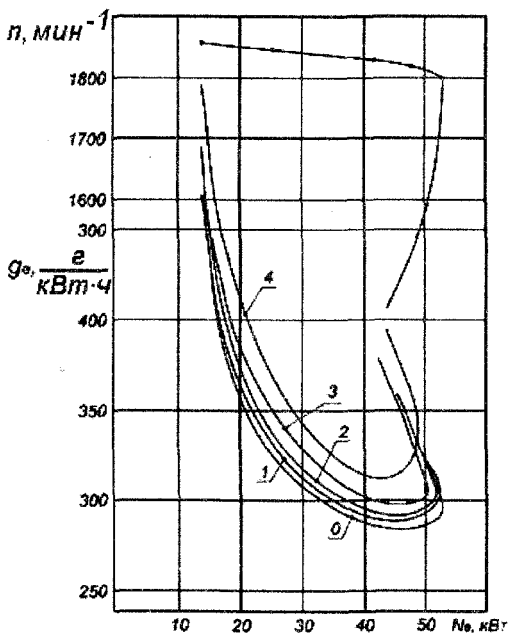
2. При использовании метиловых эфиров подсолнечного масла из высокоолеиновых гибридов подсолнечника эффективная мощность и удельный расход топлива дизеля, рис. 2.3, не отличаются от рапсового масла, то есть имеют почти одинаковые показатели, значение уменьшения и увеличения которых приведено выше.

3. При использовании метиловых эфиров соевого масла, рис. 2.4, показатели дизеля немного изменяются. Мощность почти не изменяется - зарегистрировано уменьшение мощности не более, чем на 5%, что в пределах погрешности измерений. Но при этом наблюдается увеличение удельного расхода топлива на 15...17% сравнительно с эталонным дизельным топливом.

В выхлопных газах дизеля содержатся такие вред-

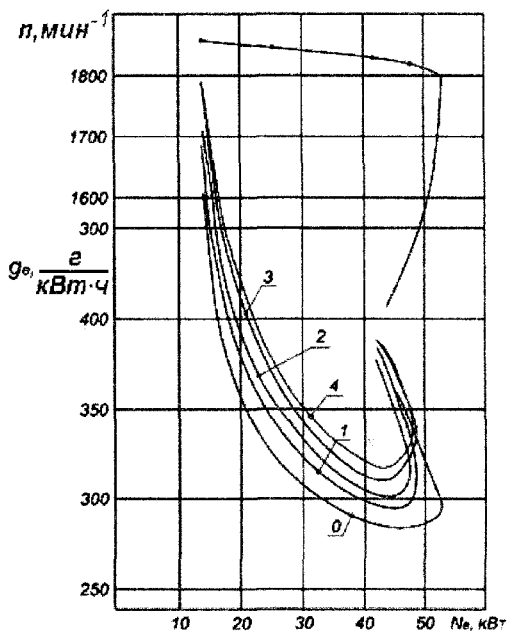
ные составляющие, как угарный газ CO (содержимое которого в десятки раз меньше, чем это свойственно карбюраторным двигателям, поскольку дизели работают со значительным избытком воздуха), оксиды азота NO_x (главный токсичный компонент), углеводороды CH и сажа.

Определение показателей отработанных газов дизеля 4Ч12/14 проводилось по параметрам: дымность и содержание CO и NO_x в отработанных газах.



0 - дизельное топливо; 1 - 95% дизельного топлива и 5% МЭПМ;
 2 - 90% дизельного топлива и 10% МЭПМ; 3 - 70% дизельного топлива и 30% МЭПМ; 4 - 100% МЭПМ

Рисунок 2.3 - Регуляторная характеристика дизеля 4Ч12/14



0 - дизельное топливо; 1 - 95% дизельного топлива и 5% МЭСМ;
 2 - 90% дизельного топлива и 10% МЭСМ; 3 - 70% дизельного топлива и
 30% МЭСМ; 4 - 100% МЭСМ

Рисунок 2.4 - Регуляторная характеристика дизеля 4C12/14

Оценка дымности отработанных газов выполнялась с помощью прибора "ИНА-109" согласно ГОСТ 17.2.2.02-98 и [36]. Указанные стандарты устанавливают показатели дымности и предельно допустимые значения дымности отработанных газов. Согласно стандартам использовался натуральный показатель ослабления светового потока $K, м^{-1}$, который является величиной, обратной толщине слоя отработанных

газов, проходя через которые поток излучения от источника света дымомера ослабляется в e раз.

Вторым показателем, согласно стандартам, был определенный коэффициент ослабления светового потока в результате поглощения и рассеивания света отработанными газами во время прохождения ими рабочей трубы дымомера N , %.

Во время измерения дымности для питания двигателя применялось эталонное дизельное топливо и указанные выше смеси дизельного топлива и МЭРМ.

Выхлопная система двигателя была смонтирована в соответствии с ГОСТ 17.2.2.02-98. Перед измерением двигатель был прогрет так, чтобы температура охлаждающей жидкости находилась в пределах диапазона рабочих температур по рекомендациям предприятия-производителя, т.е. 85...90 °С.

Дымность двигателя определялась на устойчивом режиме работы дизеля, при котором значение крутящего момента изменяется не более чем на 1%, частота вращения - не более чем на 10 мин⁻¹, а температура охлаждающей жидкости - не более чем на 2°С относительно средних значений.

Результаты измерений дымности приведены в таблице 2.1 [1].

Таблица 2.1 - Результаты измерений дымности

Состав топлива	Натуральный показатель ослабления светового потока K , m^{-1}	Коэффициент ослабления светового потока N , %
Дизельное топливо	1,72	52,3
95% дизельного топлива и 5% МЭРМ	1,67	50,7
90% дизельного топлива и 10% МЭРМ	1,63	49,7
80% дизельного топлива и 20% МЭРМ	1,59	48,6
70% дизельного топлива и 30% МЭРМ	1,55	47
50% дизельного топлива и 50% МЭРМ	1,49	45,5
30% дизельного топлива и 70% МЭРМ	1,44	43,9
МЭРМ	1,39	42,3

Следовательно, использование 100% МЭРМ снижает дымность отработанных газов на 19%. При применении смесевых топлив:

- 1) 70% дизельного топлива и 30% МЭРМ – на 10%;
- 2) 90% дизельного топлива и 10% МЭРМ – на 5%;
- 3) 95% дизельного топлива и 5% МЭРМ – на 3%.

В то же время с измерением дымности проводили измерение содержимого CO и NO_x в отработанных газах.

Измерение содержимого CO и NO_x осуществлялось с помощью прибора ОПТОГАЗ - 500.1С согласно ГОСТ 24585-81.

Изменение содержимого CO и NO_x оценивалось в процентах по отношению к аналогичному при работе на эталонном дизельном топливе.

Как показали результаты измерений, уменьшение CO является значительным и равняется 30...40% при работе на 100% МЭРМ. На вышеуказанных смесевых видах топлива уменьшение содержимого CO находилось в пределах 10...20%.

Измерения NO_x дали противоположные результаты. Зарегистрировано как уменьшение, так и увеличение содержимого NO_x в отработанных газах, зависящее от частоты вращения коленчатого вала дизеля и нагрузки. Можно констатировать, что среднее значение NO_x не изменяется по отношению к эталонному дизельному топливу.

Полученные результаты совпадают с результатами работ [11, 12].

Например, авторами работы [12] установлен рост выбросов NO_x. Автором работы [11] делается вывод, что содержимое NO_x зависит от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала дизеля и незначительно отличается от среднего значения.

Такие результаты можно объяснить увеличением на 8...9% содержимого кислорода в структуре биодизеля по

сравнению с дизельным топливом. Кислород увеличивает полноту сгорания биодизеля, что приводит к уменьшению выбросов углерода (сажа), уменьшению выбросов CO при одновременном увеличении CO₂ и неоднозначному изменению NO_x.

Авторами работы [13] дается объяснение неоднозначного изменения NO_x, связанного с механизмами образования "термических" и "быстрых" оксидов азота. В зависимости от действия термических или быстрых механизмов на разных режимах нагрузки дизеля будет изменяться и содержимое NO_x в отработанных газах в большую или в меньшую сторону.

Как следует из полученных результатов, 100% метиловые эфиры рапсового, подсолнечного или соевого масел существенно снижают содержимое загрязняющих веществ в отработанных газах при одновременном уменьшении эффективной мощности и увеличении удельного расхода топлива. Поэтому оптимальным типом биодизеля могут быть смесевые топлива, в которых содержимое метиловых эфиров растительных масел не превышает 30%, а дизельного топлива содержится не меньше чем 70% [1].

При таком соотношении уменьшение эффективной мощности и увеличение удельного расхода топлива будут на-

ходиться в пределах 3...5%, а снижение содержимого загрязняющих веществ в отработанных газах будет существенным.

Проведенные стендовые испытания дизельного двигателя при работе на биодизеле, изготовленном на основе рапсового, подсолнечного и соевого масел позволяют сделать следующие выводы:

1. Сырьевыми базами для изготовления биодизеля в условиях Украины могут быть рапс, высокоолеиновые гибриды подсолнечника и соя, а для условий Республики Беларусь – рапс.

2. При эксплуатации дизельного двигателя на МЭРМ, МЭСМ и МЭПМ необходимость в корректировке угла опережения впрыскивания отсутствует.

3. Применение 100% биодизеля приводит к уменьшению эффективной мощности на 12% при одновременном увеличении удельного расхода топлива на 10...13%, при использовании МЭПМ – до 17%.

4. Применение 100% биодизеля приводит к снижению содержимого загрязняющих веществ в отработанных газах: дымность - на 19%; СО - на 40%. Содержимое NO_x в среднем не изменяется.

5. Наиболее оптимальным типом биодизеля могут быть смесевые топлива, в которых содержимое метиловых

эфиров рапсового, подсолнечного или соевого масел не превышает 30%, а дизельного топлива содержится не меньше чем 70%.

6. При работе на таких смесях уменьшение эффективной мощности дизелей и увеличение удельного расхода топлива будет находиться в пределах 3...5%, что существенно не повлияет на производительность сельскохозяйственной техники. Одновременно снижение содержания загрязняющих веществ (дымность и СО) в отработанных газах составит соответственно 10 и 30%.

3 ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ БИОДИЗЕЛЯ

Опыт летней эксплуатации дизельных двигателей на смесевых видах топлива (30% МЭРМ и 70% дизельного топлива) позволил установить ухудшение процесса фильтрации топлива через фильтры тонкой очистки и снижения срока их эксплуатации. Сроки замены фильтров на тракторах «БЕЛАРУС», ХТЗ, и грузовых автомобилях КамАЗ при этом были сокращены в 2...3 раза.

Такое явление требует тщательных исследований и объяснений, которые должны сопровождаться разработкой дополнений к руководству по эксплуатации дизельных двигателей, переведенных на питание биодизелем.

Из анализа литературных источников известно, что способность топлива к фильтрованию оценивается коэффициентом фильтрации. Этот коэффициент согласно ГОСТ 19006 определяется по формуле

$$K = \frac{t_2}{t_1}, \quad (3.1)$$

где K – коэффициент фильтрации;

t_2 – время фильтрации последних 2 см^3 топлива, с;

t_1 – время фильтрации первых 2 см^3 топлива, с.

При проведении исследований на разных смесях со-

гласно ГОСТ 19006 фильтруют одинаковое количество топлива - 45 см³.

Коэффициент фильтрации определялся для следующих видов топлива:

- топливо дизельное, зимнее (ДЗ);
- топливо дизельное, летнее (ДЛ);
- 10% МЭРМ и 90% ДЛ, В10;
- 30% МЭРМ и 70% ДЛ, В30;
- 100% МЭРМ.

Результаты исследований и расчетное значение коэффициента фильтрования приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Результаты исследований

Вид топлива	t_1 , с	t_2 , с	K
ДЗ	98	166	1,69
ДЛ	173	460	2,65
В10	181	1835	10,13
В30	183	2704	14,77
МЭРМ	550	22660	41,2

Анализ представленных результатов свидетельствует, что смесевые топлива и 100% МЭРМ имеют значительно высокие коэффициенты фильтрации, чем дизельное топливо.

Из работы [16] следует, что при увеличении K выше значения 6 срок службы бумажных фильтров тонкой очи-

стки необходимо уменьшить в три раза. На основе полученных значений и зависимостей, которые приведены в [16], можно утверждать, что срок эксплуатации фильтров при использовании 100% МЭРМ необходимо уменьшить в 10 раз (до 100 часов), а при использовании В30 и В10 - в 5 раз (до 200...250 часов).

Причиной таких высоких значений коэффициента фильтрации является наличие в МЭРМ фосфолипидов, воскообразных веществ, мыла и глицерина.

Полученные данные полностью совпадают с данными российских ученых [14], где приведены фотографии отложений мыла на деталях топливного фильтра.

Для устранения обнаруженных недостатков фильтрования биодизеля проведены исследования с использованием смесевых видов топлива, отстоянных после приготовления. Отстаивание проводилось от 25 часов до 200 часов с контролем коэффициента фильтрации через каждые 25 часов. Результаты исследований представлены на рис. 3.1.

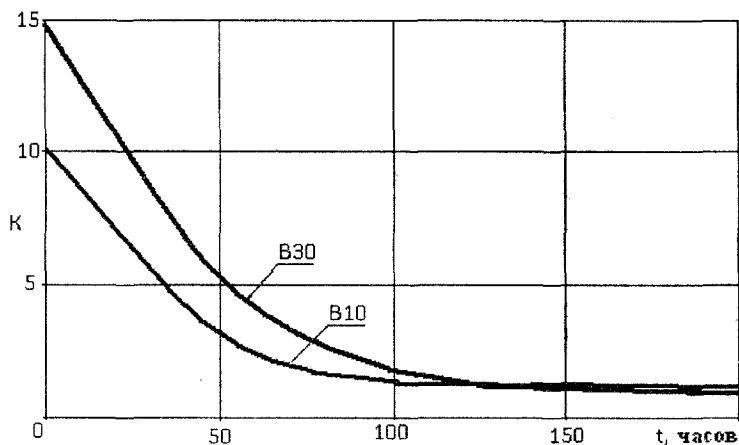


Рисунок 3.1 - Зависимость коэффициента фильтрации от времени отстаивания

Анализ полученных экспериментальных данных показывает:

1. Смесевые виды топлива B10 и B30 непосредственно после их смешивания имеют значение коэффициента фильтрации, которые превышают требования ГОСТ 305-82 (таблица 3.1).

Анализ поверхности фильтровальной бумаги под оптическим микроскопом позволил обнаружить частичное, а иногда и полное закупоривание пор. Причина - наличие в биодизеле фосфолипидов, воскообразных веществ, мыл и глицеринов, что допускает СТБ 1657 – 2006 и EN 14214.

2. С увеличением времени отстаивания смесевых топлив в объеме топлива происходят процессы агломерации (укрупнения) частиц указанных выше примесей и их осаждения в виде желтоватого осадка.

После слива отстоя были проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента фильтрации, которые дали возможность установить, что для смесей В10 и В30 коэффициент фильтрации уменьшается к значениям, отвечающим требованиям ГОСТ 305-82.

3. Зависимость коэффициента фильтрации от времени отстаивания (рис. 3.1) позволила установить, что наиболее интенсивно процессы агломерации происходят первые 50...75 часов. Увеличение времени отстаивания свыше 100 часов не дает значительного эффекта.

Анализ поверхности фильтровальной бумаги под оптическим микроскопом после испытаний отстоянных в течение 100 часов смесевых топлив дал возможность установить, что имеет место отложение осадка на поверхности бумаги, а иногда образование сводиков загрязнений.

Во избежание этих недостатков и для улучшения процесса фильтрования, было введено дополнительное фильтрование смесей перед использованием.

Значение коэффициентов фильтрации после отстаивания

вания в течение 100 часов и дополнительного фильтрования после слива отстоя приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Коэффициент фильтрации после отстаивания и дополнительного фильтрования

Вид топлива	Коэффициент фильтрации		
	после смешивания	после отстаивания	после отстаивания и фильтрования
ДЛ	–	1,7	1,44
В10	10,13	2,3	1,22
В30	14,77	2,4	1,4

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод, что дополнительное фильтрование после отстаивания обеспечивает уменьшение коэффициента фильтрации смесевых топлив В10 и В30 к значению 1,22...1,4, что отвечает всем эксплуатационным требованиям. Ресурс топливных фильтров при этом находится в диапазоне, предусмотренном руководством по эксплуатации (ТО-3).

Для длительной эксплуатации фильтров тонкой очистки в пределах сроков, которые установлены руководством по эксплуатации (ТО-3), необходимо после смешивания топлив осуществлять отстаивание в течение 75...100 часов и фильтрование после слива отстоя. Такие технологические операции обеспечивают уменьшение коэффициента фильтрации к значению менее 2, что удовлетворяет всем требованиям эксплуатации.

4 ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БИОТОПЛИВА

В настоящее время использование МЭРМ происходит без внесения изменений в базовые конструкции дизелей; в некоторых случаях используют дополнительные элементы - нагреватели топлива, подаваемого в дизель, с целью уменьшения вязкости.

Поскольку МЭРМ является агрессивным веществом, то топливные баки, топливопроводы и другие детали из пластмассы и резины, которые контактируют с МЭРМ, должны быть в специальном исполнении, устойчивом к МЭРМ. Смесевые топлива с содержанием МЭРМ до 30% являются значительно менее агрессивными веществами.

Отличие биодизеля заключается в повышенной вязкости, наличии массовой доли воды (не более 0,05%), механических примесей (не более 24 мг/кг) в виде нежировых примесей, воска и воскообразных веществ, фосфолипидов и глицерина (не более 0,25%). Кроме того, вышеупомянутые стандарты допускают остаток метанола (не более 0,2%) в биодизеле, чего нет в нефтяном дизельном топливе.

Работы ряда ученых [11, 13, 14, 17, 18] дают возможность сделать выводы о неоднозначном влиянии указанных от-

личий на ресурс и надежность топливной аппаратуры дизелей, в частности плунжерных пар насосов высокого давления и распылителей форсунок.

Для надежной эксплуатации дизелей необходимо проведение сравнительных лабораторных и стендовых испытаний на износостойкость и надежность плунжерных пар топливных насосов высокого давления и распылителей форсунок при их эксплуатации на биодизеле и смесевых видах топлива с разработкой практических рекомендаций.

Работоспособность топливной системы определяется ресурсом и надежностью узлов, к которым относится плунжерная пара топливного насоса высокого давления и форсунка. От функциональных возможностей этих элементов зависит процесс образования смеси и сгорания в цилиндрах дизеля, который отображается на его эксплуатационных показателях. На состояние рабочей поверхности прецизионных пар особое влияние имеют смазочные свойства топлива.

Биодизель, несмотря на практически полное отсутствие в нем серы, имеет хорошие трибологические характеристики благодаря своему химическому составу и повышенному содержанию кислорода.

Для оценки смазочных свойств топлив и определения их влияния на ресурс и надежность использовали четырехша-

риковую машину трения с определением показателей износа D_i , критической нагрузки $P_{кр}$ и нагрузка сваривания $P_{св}$ [1].

Показатель износа D_i равняется среднему диаметру пятен износа нижних шариков при нагрузке 196 Н в течение 60 минут. Чем ниже этот показатель, тем лучшими являются противоизносные свойства топлива.

Критическая нагрузка $P_{кр}$ (Н) характеризует наличие в топливе поверхностно-активных веществ и диапазон их работы. Чем больше возможностей у поверхностно-активных веществ противодействовать изнашиванию, тем более $P_{кр}$. Противодействие изнашиванию происходит за счет формирования на поверхности трения тугоплавких металлических мыл, которые значительно снижают скорость изнашивания и продлевают ресурс. После достижения $P_{кр}$ металлические мыла плавятся, что приводит к резкому росту скорости изнашивания и снижению ресурса.

Нагрузка сваривания $P_{св}$ (Н) характеризует противозадирные свойства топлива. Чем лучшие противозадирные свойства топлива, тем более значение $P_{св}$, которое способствует увеличению ресурса.

В испытаниях использовалось дизельное топливо летнее (ДЛ), смесевое топливо В10 (10% МЭРМ 90% ДЛ), В30 (30% МЭРМ 70% ДЛ) и В100 (100% МЭРМ).

Результаты лабораторных исследований на четырехшариковой машине трения представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Трибологические характеристики топлив

Показатель	ДЛ	В10	В30	В100
Показатель износа D_i , мм	0,7	0,63	0,6	0,55
Критическая нагрузка, $P_{кр}$, Н	314	392	392	490
Нагрузка сваривания $P_{св}$, Н	980	1235	1235	1420

Анализ данных таблицы 4.1 показывает, что противоизносные и противозадирные свойства МЭРМ (В100) на 20...45% лучше, чем у других топлив. Объясняется это наличием в МЭРМ фосфолипидов, которые при повышении температуры на поверхности трения вступают во взаимодействие с металлом и образуют металлические мыла, которые работают одновременно как противоизносная и противозадирная присадки.

Такой экспериментальный факт дает основание сделать предположение об увеличении ресурса плунжерных пар насосов высокого давления при их эксплуатации на МЭРМ и смесевых видах топлива В10 и В30. Для подтверждения этого факта проведено физическое моделирование процесса изнашивания пары плунжера с определением ресурса в часах. Физическая модель пары плунжера была выполнена из стали

ШХ15 (HRC 62...64) в виде трибосистемы кольцо-кольцо, установленной на машину трения 2070 СМТ-1 [19]. Испытание проводилось в соответствии с ГОСТ 23.224-86 "Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей" по группе А.

Группа А - это сравнительное экспресс-испытание, сущность которого заключается в определении соотношения скоростей изнашивания материалов трибосистемы (в данном случае сталь ШХ15) на таких смазочных материалах как дизельное топливо, В10, В30 и МЭРМ.

Испытания проводили при заблаговременно установленных идентичных условиях, то есть нагрузки и скорость скольжения были постоянными. Скорость изнашивания определялась методом искусственных баз согласно ГОСТ 23.301-78 "Обеспечение износостойкости изделий. Приборы для измерения износа методом вырезанных лунок. Технические требования". Результаты экспериментов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Значение скорости изнашивания при разных типах топлива

Показатель	ДЛ	В10	В30	В100
Скорость изнашивания I , мкм/ч	0,046	0,04	0,038	0,035

Используя методику и расчетные формулы, приведенные в работе [20], выполнен пересчет скорости изнашивания из физической модели трибосистемы на натурную плунжерную пару. Задавшись предельной величиной износа 10 мкм (при достижении которой плунжерную пару снимают из эксплуатации), получен ресурс плунжерной пары в часах.

В результате, при работе на дизельном топливе ресурс плунжерных пар топливных насосов высокого давления составил 2500 часов, при работе на В10 - 2800 часов, В30 - 3000 часов, В100 - 3500 часов.

Из полученных расчетных данных следует, что при использовании биодизеля ресурс плунжерных пар топливных насосов высокого давления увеличивается до 40% [1].

Расчетные данные подтверждены наблюдениями во время эксплуатации сельскохозяйственных тракторов в хозяйствах Харьковской и Днепропетровской областей.

Во время полевых испытаний с использованием биотоплива обнаружены негативные явления - разбухания резиновых колец уплотнителей насосных секций. В таком случае остаточное топливо попадает в картер насоса, который приводит к выбросам масла через сапун топливного насоса. Если система смазки топливного насоса объединена с системой смазки двигателя, то топливо будет попадать в картер двигателя.

Во избежание таких явлений необходимо через каждые 2000 часов наработки проверять герметичность уплотнений топливных насосов высокого давления согласно руководству по эксплуатации на двигатель.

Причиной разбухания является остаточный метанол в топливе, которого, не должно быть более 0,2% [1]. Метанол, являющийся мощным растворителем, будет вызывать не только разбухание резиновых деталей, но и растворять загрязнения внутри топливопроводов и топливного бака, что приведет к быстрому выходу из строя фильтров очистки топлива.

Повышенное содержание метанола можно обнаружить анализом температуры вспышки топлива в закрытом тигле в соответствии с ГОСТ 6356 "Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле".

Согласно стандарту температура вспышки МЭРМ в закрытом тигле должна быть не ниже 120°C. При наличии в биодизеле остаточного метанола температура вспышки падает и может доходить до 70°C. При подтверждении данного факта топливо не допускается к эксплуатации и подлежит выбраковыванию.

Эксплуатационными исследованиями в хозяйствах также установлено более быстрое закоксовывание отверстий распылителей форсунок при их работе на биотопливе.

Исследователями разработаны разнообразные теории, которые использовались для объяснения причины коксования сопловых отверстий [21, 22]. Следует заметить, что и сегодня нет окончательного вывода относительно механизма этого процесса. Большинство теорий связывают коксование с заключительной фазой процесса истекания топлива из сопловых отверстий по завершению впрыскивания.

При использовании биотоплива, в котором количество легких фракций по сравнению с дизельным топливом незначительно, будет происходить более интенсивное коксование.

Механизм коксования, по мнению авторов работы [23], происходит следующим образом. В заключительной фазе впрыскивания колодец распылителя заполняется горячими газами, в составе которых есть кислород. Топливо под действием температур частично испаряется, причем прежде всего легкие фракции, а тяжелые (смолистые) остаются. Пленка топлива под действием высоких температур поверхности распылителя прогревается и в ней происходят процессы окисления и полимеризации молекул с выделением лаковой пленки.

В условиях эксплуатации такие явления приведут к повышенному расходу топлива, снижению эффективной мощности, ухудшению пусковых свойств и экологических

показателей. С целью исключения указанных выше недостатков возникла необходимость в разработке обоснованной стратегии технического обслуживания распылителей форсунок по параметрам их фактического технического состояния при работе на биодизеле и смесевых видах топлива.

В соответствии с ГОСТ 10578:2003 "Насосы топливные дизелей. Общие технические условия (ГОСТ 10578-96, ИДТ)" техническое состояние форсунок оценивается по следующим параметрам: гидроплотность, эффективное суммарное сечение, давление начала впрыскивания, отклонение струй топлива из отверстий распылителя, герметичность по запорному конусу и подвижность иглы. Первые четыре показателя являются количественными, то есть их можно определить путем измерения с помощью известных приборов, два последних - качественные, которые должны удовлетворять при проверке критериям "да-нет".

Проведенный анализ технического состояния распылителей форсунок, отработавших на смесевом топливе В30 в течение 500, 1000 и 1500 часов, дал возможность установить, что при работе на биодизеле, в связи с повышенным коксованием сопловых отверстий, в первую очередь необходимо контролировать эффективное суммарное сечение.

В соответствии с ГОСТ 10578:2003, отклонение значений эффективного сечения или пропускной способности распылителей от номинального значения должно быть не более чем $\pm 6\%$ при проверке на стенде постоянного давления, или не больше чем $\pm 1,5\%$ при прокручивании секции топливного насоса высокого давления [1].

Экспериментальное определение пропускной способности осуществлялось на стенде постоянного давления проливанием топлива В30 через распылители:

- новые (без наработки);
- с наработкой 500 часов на топливе В30;
- с наработкой 1000 часов на топливе В30;
- с наработкой 1500 часов на топливе В30.

Уменьшение пропускной способности распылителей от номинального значения позволили разработать коррективы к руководству из эксплуатации двигателей СМД, ЯМЗ, Д-240/243.

В первом приближении такая корректировка ("приведенная наработка") может быть получена делением числа часов T , отработанных двигателем до ТО-3, на корректировочный коэффициент K , учитывающий особенности биотоплива (В10, В30):

$$H = \frac{T}{K}, \quad (4.1)$$

где H – приведенная наработка, часов;

K – корректирующий коэффициент, определяемый по формуле:

$$K = 1 + \left(\frac{k_E}{100} \right)^P, \quad (4.2)$$

где k_E – содержимое биотоплива в дизельном топливе %;

P – эмпирический показатель степени.

На начальном этапе "приведенную наработку" можно рассчитать исходя из $P = 1$, поскольку нет достоверных данных о характере зависимостей изменения пропускной способности распылителей от времени наработки, для определения которых необходимо проведение длительных эксплуатационных испытаний. Поэтому сроки проведения технического обслуживания распылителей форсунок согласно (4.1) и (4.2) при условиях, что ТО-3 для вышеуказанных двигателей проводится по наработке 1000 часов, составляет:

– для топлива В10

$$H = \frac{1000}{1 + \frac{10}{100}} = 909 \text{ часов};$$

– для топлива В30

$$H = \frac{1000}{1 + \frac{30}{100}} = 769 \text{ часов};$$

– для топлива В100

$$H = \frac{1000}{1 + \frac{100}{100}} = 500 \text{ часов.}$$

Полученные данные дают возможность скорректировать сроки проведения технического обслуживания топливной системы двигателей.

Проведенные эксплуатационные исследования противоизносных и противозадирных свойств МЭРМ и смесевых видов топлива В10 и В30 дают возможность утверждать, что ресурс плунжерных пар топливных насосов будет увеличен на 12% при использовании В10 и на 20% при использовании В30. Объясняется это наличием в МЭРМ фосфолипидов, которые при повышении температуры вступают во взаимодействие с металлическими поверхностями трения и образуют на поверхностях металлические мыла, имеющие противоизносные и противозадирные свойства.

При применении МЭРМ необходимо контролировать наличие остаточного метанола в топливе. В качестве экспресс-анализа можно использовать определение темпе-

ратуры вспышки МЭРМ в закрытом тигле, которая должна быть не менее 120°C. При более низких температурах вспышки топливо необходимо браковать, поскольку его дальнейшее использование приведет к разбуханию резиновых уплотнений топливной аппаратуры и быстрому загрязнению бумажных топливных фильтров.

Для обеспечения эффективной эксплуатации дизелей на смесевых видах топлива необходимо сократить сроки технического обслуживания распылителей форсунок до 900 часов при использовании В10 и 750 часов при использовании В30 в связи с ускоренным закоксовыванием их отверстий.

5 ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЗАМЕНЫ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЕЙ НА БИОТОПЛИВЕ

Поскольку вязкость МЭРМ почти втрое превышает вязкость дизельного топлива, то при его впрыскивании ухудшается распыливание и повышается дальнобойность факела топлива. Это приводит к увеличению количества топлива, достигающего поршня. МЭРМ имеет температуру кипения свыше 320°C , что значительно больше, чем у дизельного топлива. Температура поршня дизелей автотракторного типа с непосредственным впрыскиванием имеет приблизительно такое же значение. Дальнейшее повышение этой температуры ограничено условиями прочности сплавов, из которых изготовляют поршни.

Поэтому топливо, которое попадает на поршень, не испаряется полностью. При частичной нагрузке и на холостом ходу температура поршня является еще меньшей. Вследствие этого, большая часть топлива, попадающего на поршень, не испаряется и не воспламеняется, а под действием поршневых колец перемещается вниз (к картеру), где попадает в масло. Поэтому для предотвращения отказов и разрушения дизеля сроки замены масла необходимо сокращать. При использовании смесового топлива степень

данного негативного фактора снижается.

Тип моторного масла, который определяет вязкость и группу эксплуатации, назначается производителем двигателя и приводится в руководстве к эксплуатации двигателя. Так, для двигателей Д-242, 243; СМД-62; ЯМЗ-236, 238 и КамАЗ-740 предусмотрено моторное масло М-10Г2к (согласно международной классификации SAE 30, API CC), для которого установлены сроки замены, - ТО-2, что отвечает наработке в 500 часов.

В основу определения сроков замены положено не только качество масла, но и качество топлива, используемого во время эксплуатации.

В свою очередь производитель двигателя ориентируется на дизельное топливо с массовым содержанием серы не более 0,2%. При использовании дизельного топлива с содержанием серы более 0,2%, сроки замены моторного масла необходимо сократить вдвое, то есть до 250 часов. Объясняется это тем, что сера во время сгорания в двигателе образует сернистые соединения, вызывающие коррозию гильз цилиндров и поршневых колец. В результате к механическому изнашиванию добавляется коррозионное, что значительно сокращает ресурс цилиндропоршневой группы дизеля.

Для нейтрализации сернистых соединений на дета-

лях цилиндропоршневой группы в моторное масло добавляется щелочная присадка, содержание которой не должно быть менее 7,5 мг КОН на 1г масла в случае применении дизельного топлива с содержанием серы до 0,2 %. Если содержание серы превышает значение 0,2%, то для эксплуатации с наработкой в 500 часов необходимо выбирать масло с содержанием щелочной присадки до 9 мг КОН на 1 г масла, или сократить сроки замены масла вдвое. В этом и есть основная разница между моторным маслом для бензиновых и дизельных двигателей.

Многочисленные исследования показали, что при увеличении содержания серы в топливе из 0,2% к 0,5% (согласно ГОСТ 305-82 содержание 0,5% является предельно допустимым уровнем) износ двигателя увеличивается приблизительно на 25%. Согласно ДСТУ 6081:2009 содержание серы в биотопливе не должно превышать 0,001%, что дает основание утверждать о ее практическом отсутствии.

При применении биодизеля или смесевых видов топлива содержание серы снизится, что позволит скорректировать сроки замены моторных масел в сторону увеличения, так как исследованиями [24-27] установлено, что в первую очередь в моторном масле для дизелей срабатывается щелочная присадка, что проявляется в снижении щелочного

числа. Замена масла становится необходимой, когда щелочное число уменьшится на 30...40% от исходной величины [23].

Согласно анализу информации американской корпорации "Lubrizol" [24] интервалы замены моторных масел, группы эксплуатации по API CG – 4, представляют около 30000 км пробега грузовых автомобилей, что эквивалентно 1000 часов наработки при условиях малосернистого топлива (0,05%).

При увеличении содержания серы в топливе (более 0,2%) средний пробег до замены, согласно [24], составляет 8000 км (250 часов).

Согласно руководству по эксплуатации дизелей СМД, ЯМЗ, Д-243 и КамАЗ, которые эксплуатируются в АПК, применяется моторное масло М-10Г2к (SAE 30, API CC), сроки замены которого составляют 500 часов наработки при условиях использования дизельного топлива с содержанием серы менее 0,2%. На двигателях с турбонадувом - 250 часов.

Для надежной эксплуатации дизелей сельскохозяйственной техники с использованием биотоплива необходимо провести эксплуатационные и лабораторные исследования изменения качества моторных масел и установить показатели поправок наряду с корректировкой сроков их замены.

Полевые испытания проводились в летний период на тракторах и грузовых автомобилях в двух хозяйствах Харьковской и одном хозяйстве Днепропетровской области. Хозяйства использовали смесевые топлива В30 (30% метиловые эфиры рапсового масла и 70% дизельного топлива) [1].

Полевые испытания проводились на следующих типах техники:

- трактор «БЕЛАРУС80/82» с двигателем Д-243;
- трактор ХТЗ 150 К-03 с двигателем СМД-62;
- трактор ХТЗ 150 К-09 с двигателем ЯМЗ-236;
- грузовые автомобили КамАЗ-5320 с двигателем

КамАЗ-740.

В процессе штатной эксплуатации через каждые 250 часов (ТО-1) из двигателей отбиралось 250 см³ моторного масла через трубку размещения масляного щупа. Моторное масло отбиралась вакуумным насосом на горячем, только что выключенном двигателе, по методике соответствует ГОСТ 2517-80. В лабораторных условиях, согласно рекомендациям работ [27-29], контролю подвергались: плотность (ГОСТ 3900-75); наличие воды (ГОСТ 26378.1-84); наличие механических примесей (ГОСТ 26378.2-84); вязкость (ГОСТ 26378.3-84); температура вспышки в открытом тигле (ГОСТ 26378.4-84); щелочное число (ГОСТ 11362-96).

Дополнительными параметрами, характеризующими действие противоизносных и противозадирных присадок, является показатель износа, критическая нагрузка, нагрузка сваривания и индекс задира, которые определяются на четырехшариковой машине трения (ГОСТ 9490-75).

Полевые испытания были прекращены при наработке двигателями 500 часов, что отвечало требованиям завода-производителя двигателя на замену моторного масла.

После наработки 500 часов проводили контроль всех выше отмеченных параметров в лабораторных условиях с расчетом процента снижения (увеличения) контролируемых параметров.

Все типы двигателей при выполнении тех или других видов работ были заправлены моторным маслом М-10Г2к с начальными характеристиками, определенными в лаборатории. Результаты исследований представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. Параметры моторного масла М-10Г2к
при наработке 250 и 500 часов

Показатель	Товарное масло	Масло с наработкой 250 часов	Масло с наработкой 500 часов	Изменение показателя, % (500 часов)
Вязкость кинематическая при 100°С, мм ² /с	10,8	9,8	9,0	16,6
Массовая часть механических примесей, %	—	2%	2%	2
Массовая часть воды, %	—	0,35	0,35	0,35
Температура вспышки в открытом тигле, °С	230	200	190	17
Щелочное число, мг КОН на 1 г масла	7,5	7,2	7,0	6
Показатель износа, мм	0,45	0,48	0,5	11
Критическая нагрузка, Н	980	900	870	11
Нагрузка сварки, Н	1568	1360	1235	21
Индекс задира	28,48	26,20	22,48	21

Как видно из таблицы 5.1, увеличение в моторном масле механических примесей и воды происходит до 250 часов наработки и потом стабилизируется. Стабилизация объясняется оп-

ределенным уровнем эффективной работы штатной системы очистки масла. При этом наличие механических примесей в 2% и воды в 0,35% не превышают допустимые значения и не могут выступать в качестве предельных показателей [27].

Уменьшение содержания щелочной присадки происходит лишь на 6%, что объясняется уменьшением содержания серы в дизельном топливе при добавке в последнюю биотоплива. Согласно выводам работы [27], значение данного параметра не может быть браковочным.

Противоизносные и противозадирные свойства масла уменьшаются на 11% и 21% и соответственно рекомендациям работы [27] не являются предельными показателями, которые не приводят к существенному изменению качества масла.

Показатели вязкости, снизившиеся на 16%, и температуры вспышки в открытом тигле, снизившиеся на 17%, выходят за порог допустимых значений в 10% [27].

Причиной уменьшения вязкости и температуры вспышки является попадание несгоревшего топлива через поршневые кольца в масляный картер двигателя. Происходит это по причине плохого испарения биотоплива по отношению к дизельному топливу. Испаряемость оценивается температурой вспышки топлива в закрытом тигле.

Согласно [34] температура вспышки дизельного то-

плива марки Л составляет 40°C . Согласно [35] температура вспышки биотоплива (МЭРМ) составляет 120°C . Поэтому на некоторых режимах эксплуатации дизеля не все топливо сгорает в камере сгорания, и часть топлива попадает в картер двигателя. Это подтверждается значением температуры вспышки моторного масла в открытом тигле. Уменьшение температуры вспышки от 230°C до 190°C свидетельствует о наличии в моторном масле таких легколетучих веществ как топливо.

Исходя из проведенных исследований, возникает необходимость в разработке дополнения к руководству по эксплуатации дизелей, работающих на смесевых видах топлива.

Так, через каждые 250 часов наработки нужно проводить контроль вязкости моторного масла, и при уменьшении значения на 10% выполнять его замену. Непрямым методом контроля является определение температуры вспышки масла в открытом тигле, которая не должна уменьшаться более, чем на 10%.

Если после наработки моторным маслом 500 часов вязкость и температура вспышки не достигли предельных значений, то эксплуатацию моторного масла можно продлить.

Сроки продления эксплуатации моторного масла в зависимости от типа топлива можно получить расчетным

путем, используя методический подход и формулу, приведенную в работах [27-29]:

$$t = \frac{1}{3600} \cdot \left(\frac{G_M^{3/4} \cdot G_\partial^{3/4}}{N_\lambda^{3/4} \cdot S} \cdot \left[\frac{\ln \frac{E_0 \cdot P_0^{2/3}}{\eta_0^2 \cdot C_0^{5/3}} - \ln \frac{E_{пред} \cdot P_{пред}^{2/3}}{\eta_{пред}^2 \cdot C_{пред}^{5/3}}}{\alpha} \right] \right)^{4/9}, \quad (5.1)$$

где t – сроки эксплуатации моторного масла в часах;

G_M – объем моторного масла в системе смазки двигателя;

G_∂ – объем доливания моторного масла на угар за 500 часов;

E_0, P_0, η_0, C_0 – начальные значения товарного моторного масла, характеризующие противоизносные и противозадирные свойства, содержащее щелочной присадки, кинематическую вязкость и склонность образовывать лаки и отложения;

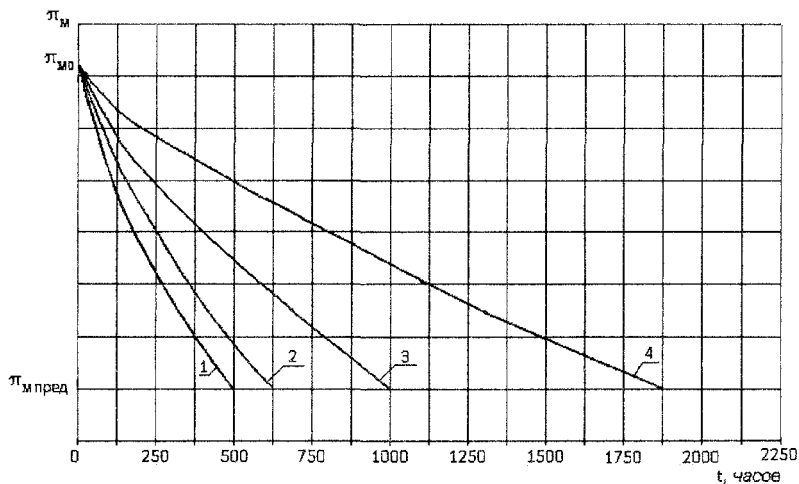
$E_{cp}, P_{cp}, \eta_{cp}, C_{cp}$ – граничные показатели, при достижении которых моторное масло снимается с эксплуатации, значение которых определено в работе [27];

N_λ – литровая мощность двигателя;

S – содержащее серы в топливе;

α – коэффициент, учитывающий группу эксплуатации масла по API [29].

С учетом изменения параметра (наличие серы в топливе) от значения 0,2% (2 г на кг топлива) к значениям 0,001% (0,01 г на кг топлива) расчетные значения продления сроков эксплуатации в зависимости от содержащего МЭРМ в дизельном топливе можно представить графически, рис. 5.1.



1 – ДЛ (летнее дизельное топливо), 2 – В10 (10% метилового эфира рапсового масла и 90% летнего дизельного топлива), 3 – В30 (30% метилового эфира рапсового масла и 70% летнего дизельного топлива), 4 – В100 (100% метилового эфира рапсового масла)

Рисунок 5.1 - Зависимости времени эксплуатации от комплексного параметра, учитывающего наличие в моторном масле всех отмеченных выше свойств

Комплексный параметр, учитывающий наличие в моторном масле смазочных свойств, согласно работе [28]

имеет вид:

$$\pi_M = \frac{E \cdot P^{2/3}}{\eta^2 \cdot C^{5/3}}. \quad (5.2)$$

Таким образом можно констатировать:

1. При эксплуатации дизелей моделей ЯМЗ, СМД, Д-240/243 и КамАЗ-740 на смесевых видах топлива (дизельное топливо и МЭРМ) сроки замены моторного масла М-10Г2к (SAE 30, API CC) при использовании разных видов топлива будут следующими:

- дизельное топливо (массовая часть серы не более 0,2%) - время до замены составляет 500 часов;
- 10% МЭРМ и 90% ДЛ (В10) - время до замены составляет 625 часов;
- 30% МЭРМ и 70% ДЛ (В30) - время до замены составляет 1000 часов;
- 100% МЭРМ - время до замены составляет 1875 часов.

Такие сроки эксплуатации моторного масла возможно использовать только при условии контроля вязкости масла через каждые 250 часов. Снижение вязкости приведет к потере гидродинамического режима смазывания в трибосистемах дизеля, в первую очередь, на деталях кривошипно-шатунного механизма и быстрому износу вкладышей. При снижении вязко-

сти больше чем на 10% моторное масло необходимо заменить.

2. В предыдущих разделах сделан акцент на нецелесообразность эксплуатации дизелей на 100% биотопливе (метиловых эфирах растительных масел). Это связано с существенным уменьшением эффективной мощности, увеличением удельного расхода топлива, ухудшением процесса фильтрования, более быстрым закоксовыванием отверстий распылителей форсунок. Кроме того, худшее испарение биотоплива будет вызывать трудности в запуске дизеля в зимний период с неполным сгоранием топлива, что приведет к снижению вязкости моторного масла.

Основным выводом из сказанного выше является то, что эксплуатацию дизелей необходимо проводить на смесевых видах топлива. В зимний период использовать не более 10% метиловых эфиров рапсового или подсолнечного масла, остальное – дизельное топливо.

3. Эфиры на базе соевого масла или животных жиров в зимний период эксплуатации создадут трудности в фильтровании и прокачке топлива по топливопроводам.

4. В летний период эксплуатации допустимо использование не более 30% биотоплива из соевого масла и животных жиров, остальное – дизельное топливо.

6 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПУСКОВЫХ СВОЙСТВ ДИЗЕЛЕЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ

Основными факторами, усложняющими внедрение биотоплива вместо дизельного топлива, является его повышенная вязкость и высокая температура вспышки в закрытом тигле.

В процессе эксплуатации дизелей в летний и зимний периоды указанные факторы приводят к следующим трудностям:

1. Повышенная вязкость топлива приводит к сокращению срока замены топливных фильтров тонкой очистки.
2. Повышенная вязкость топлива приводит к ухудшению качества (тонкости) распыления топлива форсунками (увеличиваются дальнобойность топливного факела и средний диаметр капель топлива).

Указанные причины приводят к ухудшению пусковых свойств дизеля или невозможности запуска дизеля в холодную погоду (температура воздуха ниже нуля) и повышают расходы топлива на номинальных режимах работы дизеля.

3. Высокая температура вспышки в закрытом тигле, которая равняется 120°C (что по сравнению с дизельными

нефтяным топливом выше втрое), характеризует испаряемость топлива, то есть пусковые качества. Поэтому в зимний период эксплуатации применение биотоплива приведет к затруднению запуска.

Изложенные выше негативные явления при применении МЭРМ требуют проведения мероприятий с целью улучшения пусковых свойств, фильтрования и эффективного распыливания топлива распылителями форсунок.

Одним из путей улучшения пусковых свойств и эффективности распыливания топлива является применение смесевых видов топлив.

Как показали стендовые испытания дизелей, применения смесевых видов топлив: 5% МЭРМ и 95% ДТ; 10% МЭРМ и 90% ДТ; 30% МЭРМ и 70% ДТ незначительно ухудшает эксплуатационные показатели дизеля (эффективную мощность и удельный расход топлива. Вместе с тем применение указанных выше смесей при эксплуатации в зимний период будет вызывать трудности при запуске дизеля и фильтровании топлива через фильтры тонкой очистки и препятствовать эффективному распыливанию топлива форсунками. Поэтому улучшение пусковых свойств и эффективного распыливания топлива достигается путем подогрева топлива перед форсунками. На воз-

возможность такого подхода указывает ряд публикаций в научных изданиях.

Для обоснования применения подогрева топлива, улучшения пусковых свойств в зимний период, фильтрация топлива через фильтры тонкой очистки и эффективное распыливание топлива форсунками разработана система подогрева топлива (объединена с системой контроля перепада давления на фильтре), которая монтируется на фильтр тонкой очистки топлива.

Система содержит электронный блок 1, два датчика давления 2, нагревательный элемент и датчик температуры, вмонтированные в кожух фильтра 3. Внешний вид системы подогрева представлен на рис. 6.1.

Питание системы подогрева топлива происходит от бортовой сети трактора напряжением 24В, сила тока потребления представляет 5А (при включенном нагревателе). Система подогрева топлива и контроля перепада давления разработана Научно-исследовательским технологическим институтом ХНТУСХ им. П.Василенка (НИТИ ХНТУСХ).

На рис. 6.2 показана система подогрева топлива, смонтированная на корпус фильтра тонкой очистки дизеля Д-243.

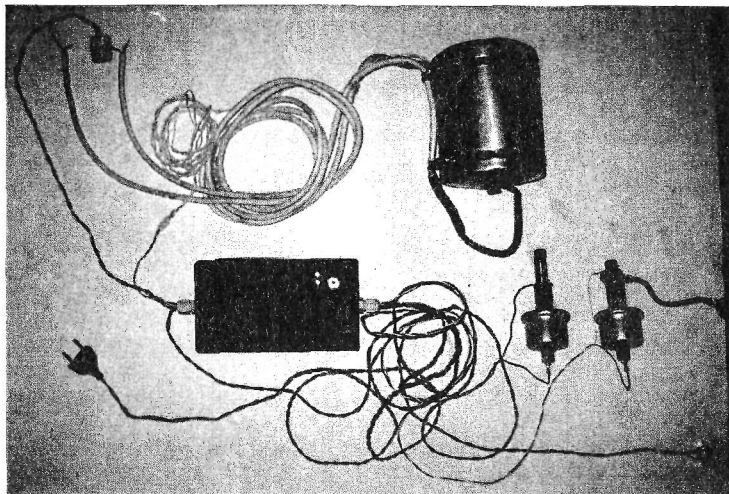


Рисунок 6.1 - Внешний вид системы подогрева топлива

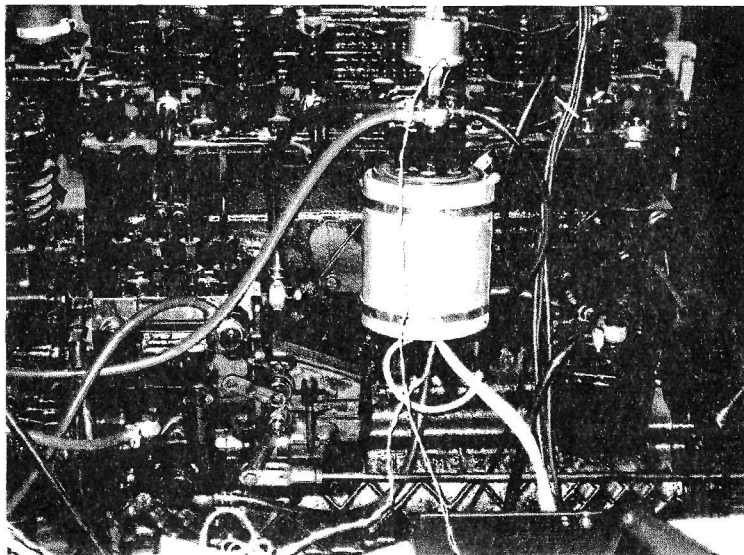


Рисунок 6.2 - Монтаж системы подогрева топлива на корпус фильтра тонкой очистки дизеля Д-243

Подогрев топлива осуществляется в фильтре тонкой очистки. Для этого на боковой и нижней конусообразной поверхностях фильтра укладывается обмотка из одного слоя обогревательного провода. Сверху обмотки нагревателя располагается слой теплоизоляционного материала - паронит. Обогревательный провод и паронит защищаются от внешних влияний гнутым корпусом из листового оцинкованного железа. При разработке системы подогрева топлива решено конструктивно соединить ее с системой контроля перепада давления на фильтре тонкой очистки.

В частности, управление данными системами осуществляется от одного электронного блока - блока контроля фильтра БКФ. Это не только упрощает конструкцию обеих систем, но и облегчает их монтаж на тракторе и работу с ними. Следовательно, блок контроля фильтра БКФ постоянно осуществляет контроль перепада давления на фильтре, а обогрев фильтра осуществляется лишь при необходимости - после того, как будет включенный выключатель "Нагрев" на корпусе блока.

Для контроля процесса нагревания топлива используется датчик температуры, устанавливаемый между боковой поверхностью фильтра и обогревательной обмоткой. Сигнал от датчика температуры поступает к аналого-

цифровому преобразователю микропроцессора, который является основным элементом блока контроля фильтра. По результатам измерения температуры и сравнения его с запрограммированным значением осуществляется управление светодиодным индикатором "Температура" и электронным ключом, который направляет ток к нагревателю.

Этот индикатор, как и индикатор "Давление", является двухцветным: удовлетворительному значению параметра отвечает зеленый цвет свечения индикатора, а неудовлетворительному - красный.

Таким образом, в состав системы подогрева топлива и контроля фильтра входят:

- обогреваемый фильтр тонкой очистки;
- блок контроля фильтра БКФ;
- датчик давления топлива с переходником (2 шт.).

С целью определения изменения эффективной мощности двигателя и изменения удельного расхода топлива при применении системы подогрева топлива проведены стендовые испытания двигателя Д-243 согласно методике в соответствии с ГОСТ 18509-88 [13].

Основным направлением повышения пусковых свойств дизелей, фильтрования биотоплива через фильтры тонкой очистки и улучшение эффективности распыления

топлива распылителями форсунок являются одновременное применение смесевых видов топлив и подогрев смесевых видов топлива.

Подогрев биотоплива через корпус фильтра тонкой очистки дает возможность не только улучшить пусковые свойства дизеля, но и обеспечить фильтрование биотоплива через бумажные фильтры тонкой очистки в зимний период эксплуатации.

Подогрев биотоплива до температуры, когда вязкость биотоплива равняется вязкости дизельного топлива, улучшает качество распыливания биотоплива распылителями форсунок.

Качественное распыливание форсунками (уменьшение дальнобойности факела и снижения диаметра капель) улучшает пусковые свойства и эксплуатационные показатели дизеля (эффективную мощность и удельный расход топлива).

Проведенные стендовые испытания дизеля показали эффективность подогрева биотоплива через корпус фильтра тонкой очистки.

Полученные данные свидетельствуют, что подогрев топлива способствует повышению эффективной мощности на 5% и снижению удельного расхода топлива на 6%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно-исследовательские работы по поиску альтернативных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания проводятся во многих странах мира. Основной целью является получение топлив по физико-химическим свойствам и энергетическим возможностям приближенных к стандартным нефтяным видам.

Биодизель – топливо дизельных двигателей, допускающее альтернативу минеральному нефтепродукту. Являясь конечным продуктом процесса этерификации (эфиризации) растительных масел и жиров спиртами, он представляет метиловые или этиловые эфиры, свойства которых близки к топливу нефтяного происхождения.

С целью повышения эффективности использования ресурсов в процессе производства биодизеля проведена технико-экономическая оценка себестоимости его изготовления из различных сырьевых баз. Установлено, что начальные издержки производства находятся в прямой зависимости от урожайности культур. При его среднем показателе расходы ранжируются по степени приоритетности в следующем виде – метиловые эфиры рапсового масла (МЭРМ), метиловые эфиры подсолнечного масла (МЭПМ) и метиловые эфиры соевого масла (МЭСМ). На сегодняш-

ний день при средней урожайности, себестоимость самого выгодного МЭРМ из рапсового масла равняется стоимости ДТ. При этом энергетические характеристики рапсового масла позволяют получать достаточно эффективные виды растительного топлива.

Влияние растительных топлив 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% и другие. При работе двигателя на маслах наблюдается уменьшение выбросов оксида углерода (СО) на 30...40%, несгоревших углеводородов (СН_x) на 70...80% и повышение концентрации оксида азота (NO_x) до 10...20%. Отмечено снижение дымности. Более низкая теплота сгорания масла приводит к повышению удельного эффективного расхода топлива на 10...25%. Однако из-за повышенного нагарообразования в камере сгорания и на распылителе форсунки, применение масел в качестве топлива ограничено.

Как показывают исследования, параметры двигателя при их работе на разных видах биодизеля находятся в широких пределах и зависят от конструкции дизеля.

Биотопливо на основе рапсового масла является альтернативным видом топлива для дизелей тракторов Минского тракторного завода с незначительным изменением мощностных и экономических показателей. При переводе двигателя Д-243 с дизельного топлива на биотопливо мощность изменяется на 2,0 кВт или на 3,4%. Удельный расход топлива увеличивается на 28,6 г/кВт·ч или на 11,8%. Снижение эффективной мощности дизельного двигателя объясняется отличием низшей теплоты сгорания ДТ и биодизеля.

В результате испытаний установлено, что увеличение в смесевом составе доли биологического топлива приводит к снижению дымности отработавших газов для топлива В5 на 3%, В10 на 5%, В30 на 10%, В100 на 19%. По результатам исследований оптимальный угол опережения впрыскивания топлива корректировке не подлежит.

Установлено, что оптимальным типом биодизеля может быть смесевой состав, для зимней эксплуатации – не более 10% биодизеля, остальные (90%) ДТ, для летней эксплуатации – не более 30% биодизеля, остальные (70%) ДТ. При таком соотношении снижение эффективной мощности и увеличение удельного расхода топлива будет находиться в пределах 3...5% при существенном снижении

содержимого загрязняющих веществ в отработавших газах.

В процессе летней эксплуатации дизельных двигателей на смесевом виде топлива В30, выявлено снижение сроков эксплуатации бумажных фильтров, обусловленное ухудшением процесса фильтрования топлива через фильтры тонкой очистки. Сроки замены фильтров на тракторах МТЗ, ХТЗ и грузовых автомобилях КАМАЗ при этом были сокращены в 2...3 раза.

В результате исследований установлено, что смесевые топлива и 100% МЭРМ имеют коэффициент фильтрования, значительно превышающий нормированный показатель, значение которого согласно ГОСТ 305-82 равняется 3. Так, для смесевых топлив В10 данный коэффициент равен 10, для В30 – 14, для В100 – 41. На основании полученных значений и зависимостей срок эксплуатации фильтров при использовании 100% МЭРМ уменьшается в 10 раз (до 100 часов), при использовании В30 и В10 в 5 раз (до 200...250 часов). В конечном итоге, для эксплуатации фильтров тонкой очистки в пределах сроков, установленных руководством по эксплуатации (ТО-3), рекомендовано, после смешивания топлив осуществлять его отстаивание в течение 75...100 часов с последующим сливанием отстоя и выполнением предварительного фильтрования. Данная техноло-

гия обеспечит снижение значения коэффициента фильтрации до 2, что будет удовлетворять всем требованиям эксплуатации.

Биодизель, несмотря на практически полное отсутствие в нем серы, за счет своего химического состава и повышенного содержания кислорода владеет хорошими трибологическими характеристиками. Для оценки его смазочных свойств и определения степени влияния на ресурс и надежность топливной системы проведен ряд сравнительных лабораторных и стендовых испытаний на износостойкость и надежность плунжерных пар топливных насосов высокого давления (ТНВД) и распылителей.

Эксплуатационные исследования противоизносных и противозадирных свойств МЭРМ и смесевых видов топлива В10 (10% МЭРМ 90% ДТ) и В30 (30% МЭРМ 70% ДТ) дают возможность утверждать, что ресурс плунжерных пар топливных насосов может быть увеличен на 12% при использовании В10 и на 20% при использовании В30. Объясняется это наличием в МЭРМ фосфолипидов, которые при повышении температуры вступают во взаимодействие с металлическими поверхностями трения и образуют на поверхностях металлические мыла, имеющие противоизносные и противозадирные свойства.

Эксплуатационными исследованиями в хозяйствах установлено повышенное закоксовывание распылителей форсунок при их работе на биодизеле, что приводит к повышению расхода топлива, снижению эффективной мощности, ухудшению пусковых свойств и экологических показателей. Для обеспечения эффективной эксплуатации дизелей на смесевых видах топлива необходимо сократить сроки технического обслуживания распылителей форсунок до 900 часов при использовании В10 и 750 часов при использовании В30.

При эксплуатации дизелей моделей ЯМЗ, СМД, Д-240/243 и КамАЗ-740 на смесевых видах топлива (дизельное топливо и МЭРМ) сроки замены моторного масла М-10Г2к (SAE 30, API CC) рекомендуются следующими: дизельное топливо (массовая часть серы не более 0,2%) – 500 часов; 10% МЭРМ и 90% ДТ (В10) – 625 часов; 30% МЭРМ и 70% ДТ (В30) – 1000 часов; 100% МЭРМ – 1875 часов. Указанные сроки эксплуатации моторного масла применимы только при условии контроля его вязкости через каждые 250 часов. При снижении данного показателя более чем на 10% моторное масло подлежит замене, поскольку дальнейшее снижение вязкости приведет к потере гидродинамического режима смазки в трибосистемах дизеля.

Для улучшения пусковых свойств двигателей в зимний период эксплуатации, фильтрации топлива через фильтры тонкой очистки и эффективного распыливания топлива форсунками необходимо использовать систему подогрева топлива (объединенная с системой контроля перепада давления на фильтре), которая монтируется на фильтр тонкой очистки топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Войтов, В.А. Особливості експлуатації дизелів сільськогосподарської техніки на біопаливі та його сумішах / В.А. Войтов, А.Б. Калюжний, П.М. Климов и [др.] за ред. Д.І. Мазоренка і Л.М. Тищенка. – Харків: ХНТУСГ, 2009. – 74 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. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. метиловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Технические требования и методы испытаний: СТБ 1657-2006 (ЕН 14214:2003). – Введ. 01.02.07. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2007. – 22 с.

4. Винфрид Шеэффер, Вейко Луоме, Туомо Палва, Симо-Пекка Пормала, Юкка Ахокас. Растительные масла, как топливо для дизельных моторов. Доклад-исследование № 42. Вакола, 1986. Перевод.

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. Отчёт ПО МТЗ. – Мн., 1995.

6. K. Scharmer. Umweltauswirkungen Wirtschaftlichkeit Energiebilanz. UFOp. Projekt-Nr. 530/951. August 1995. Ulrich Wolfensberger. Rapeseed methyl ester as a Fuel. Measurements and experiences in Switzerland. OE CD test engineers conference. 4 to 8 October 1993.

8. Технично-економическое обоснование производства на сырьевой базе республики нового вида биологического моторного топлива (рапсовое масло). Заключительный отчет ГБ-8-91-95. – Мн., 1994.

9. Якубович, А.И. Работа тракторного дизеля на растительном топливе из рапсового масла / А.И. Якубович, В.Е. Тарасенко // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии : тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф., Гродно, 27-28 сентября 2007 г. / ГНУ НИЦПР НАНБ; редкол.: А.И. Свириденко (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2007. – С. 40-41.

10. Дизели СМД. Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990.

11. Парсаданов, И.В. Результаты исследований показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизеля при работе на рапсовометилловом эфире // Вестник науки и техники, НТУ (ХПИ). – 2005. – Вып. 1. – С. 21-26.

12. Семенов, В.Г. Використання біодизельного палива у двигунах сільськогосподарського призначення / В.Г. Семенов, А.И. Атамаев // Вісник ХНТУСТ. – 2009. – Вип. 77. – С. 375-379.

13. Девянин, С.Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С.Н. Девянин, В.А. Марков, В.Г. Семенов. – Х.: Новое слово, 2007. – 600 с.

14. Звонов, В.А. Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив / В.А. Звонов, А.В. Козлов, А.С. Теренченко // Российский химический журнал. – 2008. – Т. LI, №6. – С. 147-151.

15. Biodiesel Handling and Use Guidelines, 3rd Ed., U.S. department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Springfield, VA, USA, Sept. 2006, 69 pp.

16. Григорьев, М.А. Очистка в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев, Г.В. Борисова. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.

17. Ефанов, А.А. Улучшение экологических характеристик дизеля регулированием состава смесового биотоплива. Автореф. дис. ... к-та техн. наук: 05.04.02 – Тепловые двигатели / МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М., 2008. – 19 с.

18. Фокин, Р.В. Разработка комплексной технологии получения смесового топлива с улучшенными свойствами для дизельных двигателей. Автореф. дис. ... к-та техн. наук: 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве / Мичуринский государственный аграрный университет. – Мичуринск-Наукоград, 2008. – 24 с.

19. Войтов, В.А. Универсальная машина трения / В.А. Войтов, В.А. Баздеркин // Трение и износ. – 1992. – т.13. – С. 501-506.

20. В.А. Войтов. Конструктивная износостойкость узлов трения гидромашин. Часть II. Методология моделирования граничного трения в гидромашинах. – Харьков: Центр Леся Курбаса, 1997. – 154 с.

21. Мичкин, И.А. О закоксовании сопловых отверстий многодырчатых распылителей / И.А. Мичкин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1996. – №6. – С. 20-24.

22. Греков, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Греков, Н.А. Ивашенко, В.А. Марков. – М.: Легион-автодата, 2004. – 172 с.

23. Трусов, В.И. Форсунки автотракторных дизелей / В.И. Трусов, В.П. Дмитренко, Г.Д. Масляный. – М.: Машиностроение, 1977. – 193 с.

24. Гергель, У. Періодичність заміни дизельних масел. – Корпорація «Лубризол», Уиклифор, Огайо, США, 1997. – 54 с.

25. Скиднер, Н.И. О необходимости систематического контроля качества работающих моторных масел / Н.И. Скиднер, Ю.А. Гурьянов // Химия и технология топлив и масел. – 2003, №5. – С. 28-30.

26. Гасвик, Д.Г. Повышение эксплуатационной надежности отечественной автотранспортной и сельскохозяйственной техники / Д.Г. Гасвик. – М., 2000. – 248 с.

27. Войтов, В.А. Разработка и обоснование браковочных показателей моторных масел в процессе эксплуатации ДВС / В.А. Войтов, В.А. Мазепа // Проблемы трибологии. – 2005. – №4. – С. 186-194.

28. Войтов, В.А. Критериальный подход для оценки снижения служебных свойств моторных масел в процессе эксплуатации и определение сроков их смены / В.А. Войтов, В.А. Мазепа // Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин: Сб. науч. тр. ХГТУСХ. – 2003. – Вып. 14. – С. 104-108.

29. Войтов, В.А. Системный подход для эксплуатации моторных масел по техническому состоянию / В.А. Войтов, В.А. Мазепа // Проблемы трибологии. – 2006. – №1. – С. 108-117.

30. Карташевич, А.Н. Двигатели внутреннего сгорания: основы теории и расчета. Учебное пособие // А.Н.

Каргашевич, Г.М. Кухаренок. Горки: Белорусская сельскохозяйственная академия, 2011. 313 с.

31. Фокин, Р.В. Разработка комплексной технологии получения смесового топлива с улучшенными свойствами для дизельных двигателей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Р.В. Фокин. – Мичуринск-Наукоград, 2008. – 219 л.

32. Бубнов, Д.Б. Адаптация дизеля сельскохозяйственного трактора для работы на рапсовом масле: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Д.Б. Бубнов. – Москва, 1996. – 231 л.

33. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. Научный аналитический обзор. – Москва, 2007. – 130 с.

34. Топливо дизельное. Технические условия: ДСТУ 3868-99. – Введ. 08.04.1999. – Киев : Госстандарт Украины, 1999. – 11 с.

35. Топливо моторное. Метилловые эфиры жирных кислот растительных масел и жиров для дизельных двигателей. Технические требования: ДСТУ 6081:2009. – Введ. 01.01.2010. – Киев : Госстандарт Украины, 2009.– 16 с.

36. Нормы и методы измерений дымности отработавших газов автомобилей с дизелями или газодизелями: ДСТУ 4276:2004. – Введ. 01.07.2005. – Киев: Госстандарт Украины, 2005.– 14 с.

37. EN 116:1997 Diesel and domestic heating fuels – Determination of cold filter plugging point. (Дизельное топливо и топливо коммунально-строительного назначения. Определение граничной температуры фильтрующей способности в холодном фильтре).

38. ISO 3675:1998, Crude petroleum and liquid petroleum products – Laboratory determination of density or relative

density – Hydrometer method (ISO 3675:1998). (Нефтяная сера и жидкие нефтепродукты. Лабораторное определение плотности или Ареометрический метод).

39. EN ISO 3104:1996/C:1999 Petroleum products – Transparent and opaque liquids – Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity (ISO 3104:1994, including Cor. 1:1998 and Cor. 2:1999). (Нефтепродукты. Жидкости прозрачные и непрозрачные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости (ISO 3104:1994, включающем поправку 1:1998 и поправку 2:1999)).

40. EN ISO 10370:1995 Petroleum products – Determination of carbon residue (Micromethod) (ISO 10370:1993). (Нефтепродукты. Определение коксового излишка. (Микрометод). (ISO 10370:1995)).

41. ISO 3987:1994 Petroleum products – Lubricating oils and additives – Determination of sulfated ash. (Нефтепродукты. Масла и присадки. Определение сульфатной золы).

42. EN 12662:1998 Liquid petroleum products – Determination of contamination in middle distillates. (Редкие нефтепродукты. Определение загрязнения в средних дистиллятах).

43. EN ISO 2160:1998 Petroleum products – Corrosiveness to copper – Copper strip test (ISO 2160:1998). (Нефтепродукты. Коррозия. Исследования на медной пластине (ISO 2160:1998)).

44. EN 14538:2006 Fat and oil derivatives – Fatty Acid Methyl Esters (FAME) – Determination of Ca, K, Mg and Na content by optical emission spectral analysis with inductively coupled plasma (ICP OES). (Производные масла. Метилловые эфиры жирных кислот (МЕЖК). Определение содержания Ca, K, Mg и Na методом спектрального анализа с индуктивно связанной плазмой (ICP OES)).

Научное издание

Войтов Виктор Анатольевич
Лабушев Николай Аксенович
Маринич Леонид Адамович и др.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВА ПРИ РАБОТЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Ответственный за выпуск *Н.А. Лабушев*
Редактор-корректор *Е.В. Русинова*
Компьютерная верстка *В.Е. Тарасенко, О.Е. Королько*

Подписано в печать 20. 04. 2012.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Печать.
Усл. печ. л. 6,74. Уч.-изд. л. 2,79.
Тираж 200 экз. Заказ № 33.

Издатель и полиграфическое исполнение:
УП «ГИВЦ Минсельхозпрода».
ЛИ № 02330/0150343 от 05.09.2008.
Ул. Кропоткина, 44, 2200002, г. Минск.
Тел/факс: 237-74-54