



УТВЕРЖДАЮ:  
Ректор КрасГАУ  
Н.В. Цугленок  
\_\_ июля 2013 г.

Технология производства и использования смесового топлива на основе рапсового  
масла для автотракторных дизелей

Рекомендации

Научный руководитель  
зав. каф. «Тракторы и автомобили»  
КрасГАУ, д.т.н., проф.

Селиванов Н.И.

Ответственный исполнитель  
к.т.н.

Доржеев А.А.

Красноярск 2013

## Содержание

Введение	2
1. Технология производства смесового топлива из семян рапса	5
2. Использование биотопливных композиций на основе рапсового масла в тракторных дизелях	7
3 Технический уровень машин при использовании смесового топлива	12
Заключение	15

## Введение

С учётом зависимости сельскохозяйственных предприятий от нефтяного топлива (непрерывно растущего в цене) и ужесточения экологической обстановки становится актуальной проблема разработки, производства и применения альтернативных топлив для АПК.

Существующие технологии производства жидкого биотоплива из растительных масел позволяют получать его из семян рапса, однако остаётся вопрос о качестве и себестоимости производства конечного продукта.

Биодизельное топливо получают из рапсового масла (РМ) по сложной технологии с использованием метанола в процессе этерификации (в одном варианте), либо растворителей в процессе экстракции (в другом), поэтому производство такого топлива требует больших затрат, особых мер безопасности и считается эффективным только в больших масштабах.

При большом многообразии мобильных и стационарных комплексов по производству биотоплива из семян рапса остаётся открытым вопрос о выборе технологической линии для сравнительно небольших хозяйств с потреблением 300 – 500 т/год топлива для дизельных двигателей. Поскольку речь идёт не только о переработке сырья на масло (как основы топлива), но и о получении рапсового жмыха, такое производство должно располагать комплектом оборудования, удовлетворяющим условиям хозяйственной деятельности (годовой потребности в топливе, обрабатываемой площади, возможности реализации или использование побочной продукции и т.д.).

Применение форпресса перед прессом основного и окончательного отжима позволяет максимально извлечь масло из семян, но требует дополнительных затрат энергии, причём съём масла более 30 % приводит к ухудшению свойств последнего, что негативно сказывается на качестве биотоплива. Выбор однократного отжима с последующим горячим отстаиванием, фильтрацией и нейтрализацией позволит достичь желаемых свойств получаемого топлива.

Коэффициент энергетической эффективности производства биотоплива на основе РМ, при определённых условиях, можно приблизить к дизельному топливу (ДТ) – 3,5 и более, если учитывать энергопродуктивность жмыха в виде корма для скота.

Общая величина расхода всех видов энергии на производство 1 кг биотоплива из РМ даёт представление о затратах энергии на возделывание, уборку, хранение, подготовку и прессование семян, а также подготовку масла к дальнейшему смешиванию с ДТ.

Энергетические показатели производства биотоплива из семян рапса приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Энергетические показатели производства биотоплива из семян рапса

Урожайность, $У$ , кг/га	Энергоёмкость, $Э$ , МДж/кг	Энергопродуктивность, $En$ , МДж/га		Энергетический доход, $\Delta E$ , МДж/кг		Коэффициент энергетической эффективности $\eta_{э}$	
		РМ	РМ + жмых	РМ	РМ + жмых	РМ	РМ + жмых
1000	42,1	12 000	34 400	- 2,1	29,9	0,95	1,71
1500	29,8	18 000	51 600	10,2	42,2	1,34	2,41
2000	23,6	24 000	68 800	16,4	48,4	1,69	3,05
2500	19,9	30 000	86 000	20,1	52,1	2,01	3,61

Суммарный коэффициент энергетической эффективности РМ и жмыха при урожайности 15 ц/га составит 2,41, что при существующей технологии производства биотоплива (себестоимостью не более 18,5 руб./кг), позволяет говорить об экономической целесообразности возделывания семян рапса для получения биотоплива.

Повысить энергетическую эффективность производства РМ можно за счёт увеличения урожайности (по семенам) более 15 ц/га, а также снижения энергоёмкости технологических процессов производства биотоплива в целом.

## 1. Технология производства смесового топлива из семян рапса

Производство растительных масел вне зависимости от способа начинается с подготовительного этапа. Учитывая стандартные технологии хранения и подготовки семян к переработке, существующие практически в каждом сельскохозяйственном предприятии, не включаем соответствующие операции и оборудование в проектируемую технологическую линию.

Более доступным и апробированным в условиях АПК является прессовый способ извлечения масла из семян шнековыми прессами.

Поскольку выход прессового масла более 30% приведёт снижению его качества, в технологической линии по производству биотоплива следует исключить такие операции как: обрушивание семян, сепарирование рушанки, измельчение ядра, влаготепловую обработку мятки и форпрессование мезги.

Ограничиваясь однократным отжимом, технология получения прессового масла для основы биотоплива позволит снизить стоимость комплекта оборудования и энергозатраты при производстве.

Для получения 300–500 т/год биотоплива на основе РМ производительность линии по семенам должна составлять 200–250 кг/ч (пресс ПШ-200/250).

Технологию производства топлива из семян рапса (рисунок 1) условно можно разделить на несколько основных этапов: прессование семян; предварительное отстаивание масла; фильтрация; щелочная нейтрализация и смешивание масла с ДТ.

Соответствующие требованиям семена рапса из засыпной ямы винтовым конвейером подаются к шнековому прессу. Жмых перемещается ленточным транспортёром в бункер. Масло из поддона пресса перекачивается центробежным насосом в свободный отстойник, где производится горячее отстаивание при температуре 65 – 70 °С.

Осадок сливается с помощью сливного крана снизу конусного дна отстойника. Слив контролируется с помощью смотрового патрубка, установленного перед сливным краном (отслеживается визуально). После отстаивания масло перекачивается в рамный

фильтр. Конструкция фильтра предусматривает наличие насоса, тонкость фильтрации составляет 4–5 мкм.

После фильтрации масло центробежным насосом перекачивается в нейтрализатор-смеситель, где сначала добавляется 0,3 % (от общего объёма масла) раствор щёлочи КОН, затем через 7 – 10\* минут с помощью сливного крана сливается от 5 до 7\* % осадка (соли тяжёлых кислот, вода, тяжёлые примеси омыляемых компонентов), после чего добавляется 30% дизельного топлива.

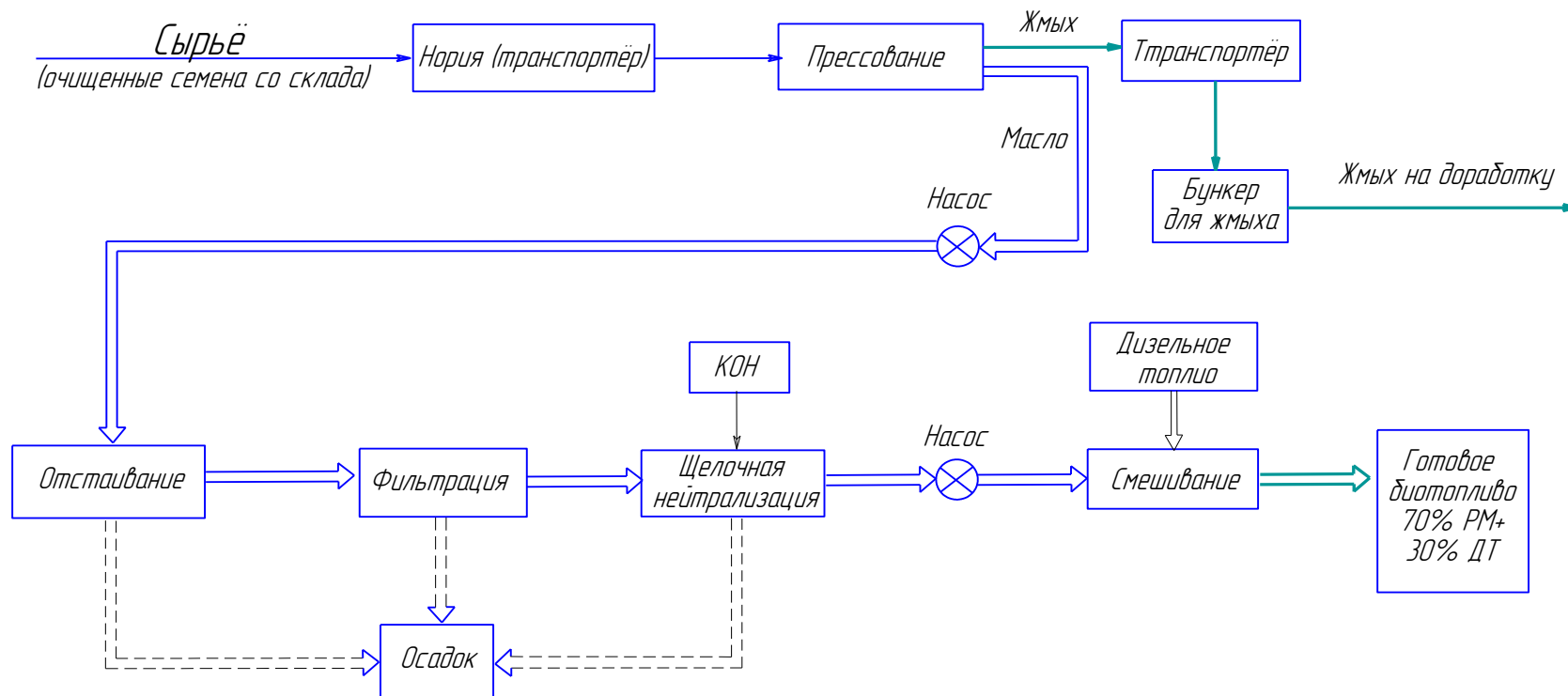
Температура масла во время реакции нейтрализации должна составлять 60 – 65 С°. Для ускорения реакции в нейтрализаторе-смесителе необходима лопастная мешалка без перегородок (во избежание налипания омыленных фракций). После выпадения осадка, при ясно выраженной границе разделения фаз, осадок сливается через кран также, как и после отстаивания.

Для определения объёмного соотношения РМ и ДТ при смешивании в данной технологической линии предлагается использовать номограмму (рисунок 2). По номограмме и мернику оператор с точностью до 1 л определяет нужное количество ДТ, добавляемого в РМ. Объёмное соотношение ДТ и щелочи КОН (в данном случае) определяется пересечением вертикальных и горизонтальных линий и зависит от количества рапсового масла в нейтрализаторе-смесителе.

Полученная смесь (биотопливные композиции на основе рапсового масла) перекачивается в ёмкость для готовой продукции.

\*Для определения щелочного и кислотного числа масла необходима экспресс мини-лаборатория. Взятие проб производится до и после нейтрализации. По кислотному и щелочному числу определяют количество нейтрализатора (в среднем по данной технологии оно должно составлять до 0,3 % от общего объёма сырого масла).

Пат. 2393209 Российская Федерация, МПК<sup>51</sup> С 11 С 3/04. Способ производства биотоплива на основе рапсового масла для автотракторных дизелей / Селиванов Н.И., Санников Д.А., Доржеев А.А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО КрасГАУ. – № 2008140024/13; заявл. 18.10.2008; опубл. 20.04.2010, Бюл. № 11 (II ч.). – 3 с.



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- |        |                                 |     |                               |
|--------|---------------------------------|-----|-------------------------------|
| →      | Подача маслосемян               | →   | Добавление щёлочи             |
| ==>    | Движение масла по маслопроводам | ==> | Добавление дизельного топлива |
| →      | Движение жмыха                  | →   | Готовое диотопливо            |
| -----> | Сбор осадка в ёмкость           |     |                               |

Рисунок 1 – Технологическая схема производства смешанного топлива на основе рапсового масла

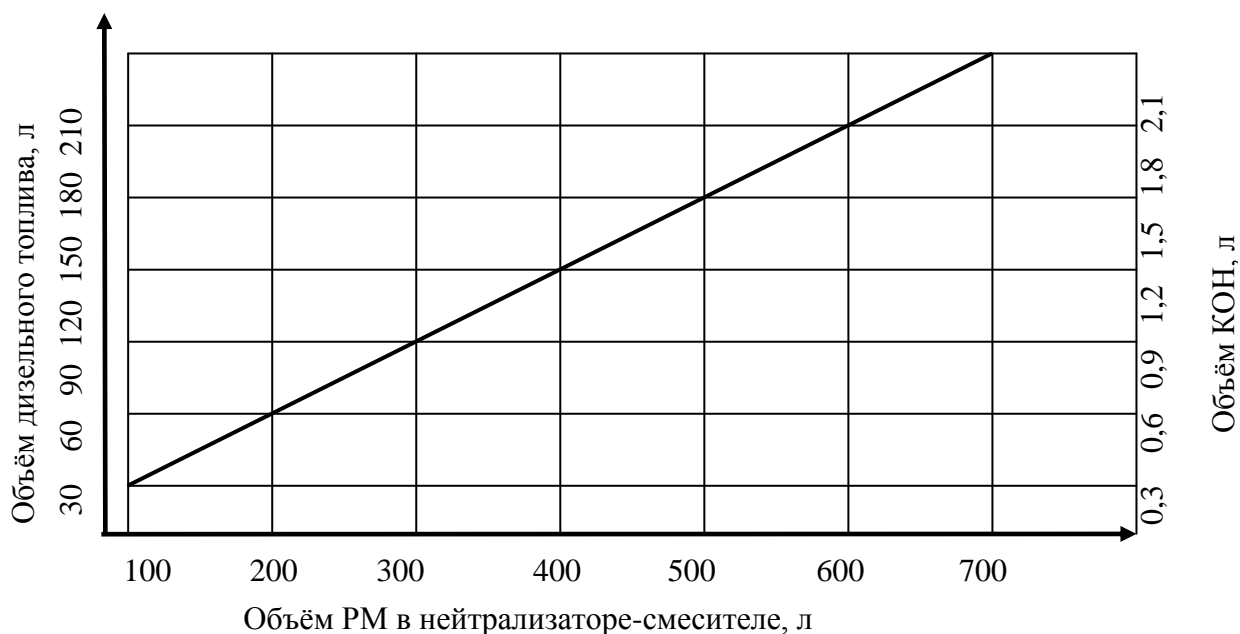


Рисунок 2 – Номограмма для определения состава СТ

Таблица 2 – Основные показатели технологической линии производства 300–500 т/год биотоплива на основе рапсового масла.

Наименование показателей, единиц измерения	Значение показателя
Производительность по биотопливу (70 % РМ + 30 % ДТ) при выходе масла 29 % и кол-ве осадка до 9 %, кг/ч	до 87,2
Выход масла (без нейтрализации и фильтрации), кг/ч	72,5
Выход жмыха, кг/ч	172,5
Расход щёлочи (КОН <sub>10%</sub> ), кг/ч	0,19
Установленная мощность оборудования, кВт	30,5
Конструктивная масса оборудования, кг	3740
Габаритные размеры комплекса, м	5,2×3,5×3,6
Обслуживающий персонал, чел. при эксплуатации	1
при монтаже, ТО и ремонте	3
Стоимость комплекта оборудования, тыс. руб.	1071
Годовой экономический эффект, тыс. руб.	1530
Окупаемость технологического оборудования, года	3,6



## 2. Использование биотопливных композиций на основе рапсового масла в тракторных дизелях

По установленной в закономерности эффективная работа дизеля обеспечивается предварительным подогревом смесового топлива до температуры 65–70 °С, что достигается установкой теплообменного аппарата в линию низкого давления перед фильтром тонкой очистки (рисунок 3).

Подогреватель запитан параллельно в систему охлаждения дизеля. Автоматическое поддержание заданной температуры топлива производится установленным перед теплообменным аппаратом клапаном-термостатом, регулирующим расход охлаждающей жидкости при изменении теплового режима двигателя. Повышение эффективности подогрева топлива в теплообменнике достигается противоточной схемой движения теплоносителей. Потребная мощность  $Q_n$  подогревателя при температуре на входе охлаждающей жидкости  $t_{ож} = 85^{\circ}C$  и топлива  $t_{cm} = 30^{\circ}C$  и на выходе  $t'_{ож} = 80^{\circ}C$  и  $t'_{cm} = 70^{\circ}C$  определится как  $Q_n = (0,00 \div 140) G_{T_3}$ , Вт, где  $G_{T_3}$  – эксплуатационный расход топлива, г/с.

Адаптированная система питания дизеля работает по следующему принципу. Из топливного бака 1 смесовое топливо подается насосом низкого давления 3 в фильтр грубой очистки 2 и далее в теплообменный аппарат 5, где нагревается до температуры 65–70 °С. Нагретое топливо подвергается тонкой очистке в фильтре 4 и подается ТНВД 6 через форсунки 7 в цилиндры. Утечки топлива из форсунок и излишки из ТНВД по дренажным топливопроводам 14 подаются в бак, обеспечивая локальный подогрев из зоны забора.

Интенсивность нагрева смесового топлива при прогреве дизеля достигается увеличением расхода охлаждающей жидкости через теплообменный аппарат посредством термостата 11. При стабилизации теплового режима дизеля (85–90 °С) расход жидкости через теплообменник уменьшается. При повышении температуры СТ до 75 °С термостат 11

дополнительно уменьшает до нуля расход охлаждающей жидкости через теплообменник. Переход на дизельное топливо осуществляется отключением теплообменного аппарата от системы охлаждения посредством перекрытия потока охлаждающей жидкости запорным краном 13, установленным перед термостатом.

Вследствие понижения цетанового числа смесового топлива затрудняется пуск холодного двигателя, поэтому для адаптирования дизеля к моторному топливу на основе рапсового масла предлагается использовать электрофакельный подогреватель 8 воздушного заряда, установленный во впускном коллекторе.

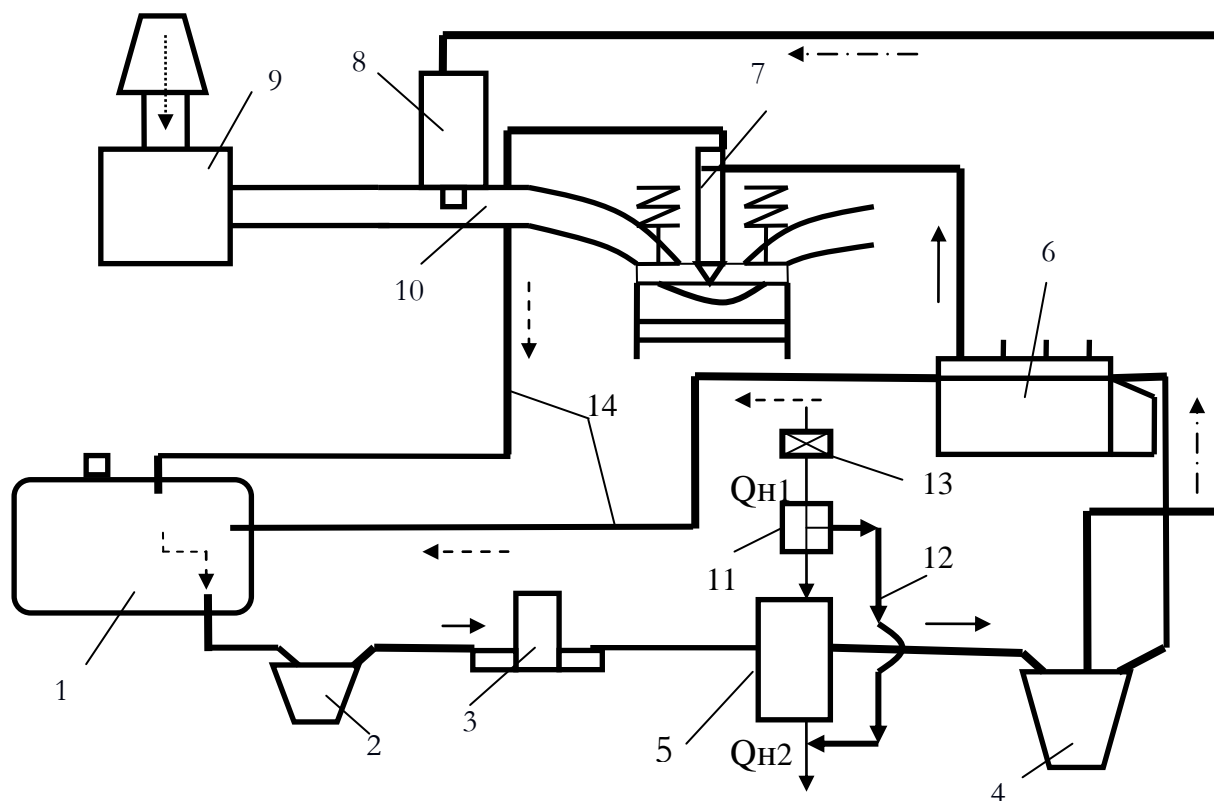


Рисунок 3 – Схема адаптированной системы питания дизеля с жидкостным охлаждением:

1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки топлива; 3 – топливный насос низкого давления; 4 – фильтр тонкой очистки топлива; 5 – теплообменник; 6 – топливный насос высокого давления; 7 – форсунки; 8 – электрофакельный подогреватель ЭФП-8101500; 9 – воздухоочиститель; 10 – впускной коллектор; 11 – термостат; 12 – обводной канал; 13 – запорный кран; 14 – дренажный топливопровод

Электрофакельный подогреватель включается за 1 мин перед запуском дизеля и должен работать 3–4 мин. При работе трактора на смесевом топливе, независимо от времени года, следует использовать средства для улучшения пусковых качеств дизеля.

При работе дизеля с воздушным охлаждением подогрев смесового топлива предлагается осуществлять с помощью тепловой энергии отработавших газов (рисунок 4). В данном случае, как и в дизеле с жидкостным охлаждением, теплообменный аппарат 5 следует устанавливать в линию низкого давления перед фильтром тонкой очистки 4.

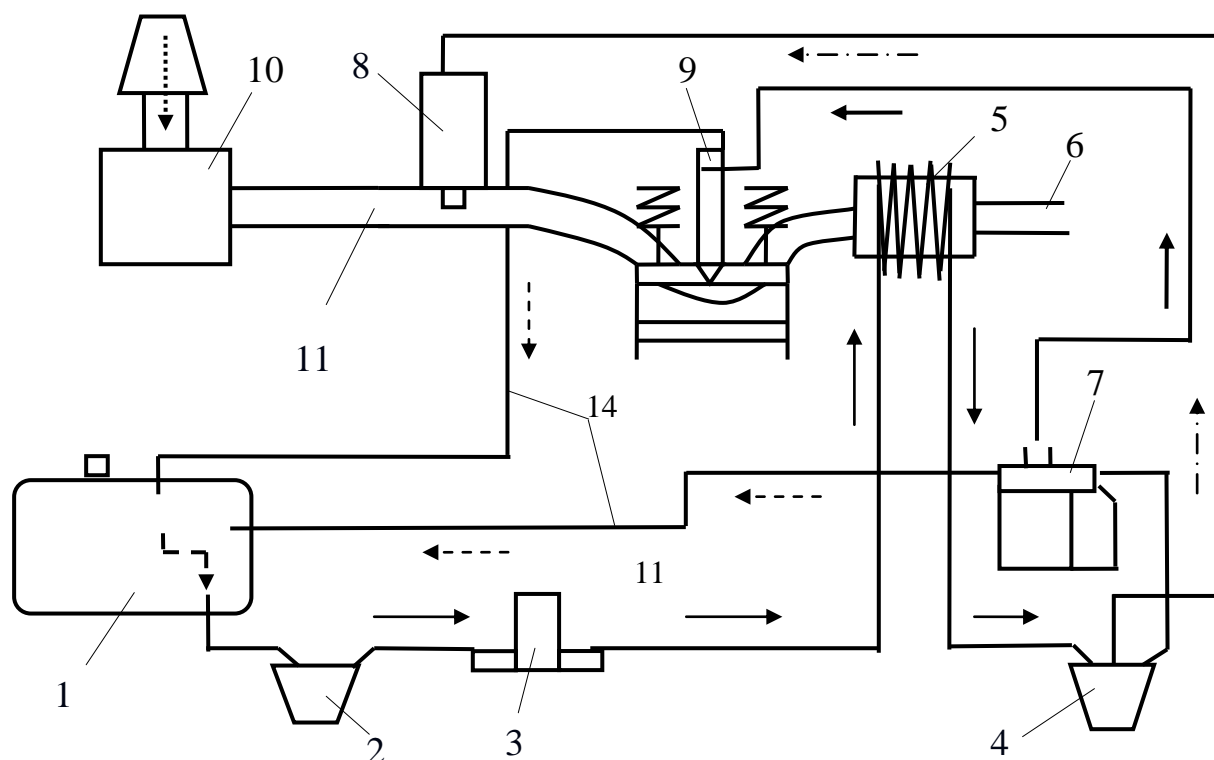


Рисунок 4 – Схема адаптированной системы питания дизеля с воздушным охлаждением:

1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки топлива; 3 – топливный насос низкого давления; 4 – фильтр тонкой очистки топлива; 5 – теплообменник; 6 – глушитель; 7 – топливный насос высокого давления; 8 – электрофакельный подогреватель ЭФП-8101500; 9 – форсунка; 10 – воздухоочиститель; 11 – впускной коллектор; 12 – дренажный топливопровод

Адаптированная система питания дизеля с воздушным охлаждением работает следующим образом. Смесевое топливо из бака 1 подается насосом низкого давления 3 в фильтр грубой очистки 2, затем в теплообменный аппарат 5, установленный на глушителе 6, где нагревается до температуры 65–70 °С, а далее подвергается тонкой очистке в фильтре 4 и подается в ТНВД 7 через форсунки 9 в цилиндры. Утечки топлива из форсунок и излишки из ТНВД по дренажным топливопроводам 12 подаются в бак, обеспечивая локальный подогрев из зоны забора.

### 3 Технический уровень машин при использовании смесевого топлива

Использование метода экспертных оценок позволило установить приоритеты обобщенных показателей в формировании комплексного показателя технического уровня (таблица 3). Наибольшей весомостью (0,383) обладает показатель технической производительности  $\lambda_{\Pi}$ , показатели стоимости технологического процесса  $\lambda_{C_w}$ , экологичности  $\lambda_{\lambda}$  и надежности  $\lambda_n$  имеют коэффициенты весомости 0,333, 0,100 и 0,183 соответственно.

Использование при регрессионном анализе моделей позволило получить зависимость комплексного показателя технического уровня (1) по четырем относительным показателям в виде

$$\bar{\lambda}_{\Pi_m} = 0,030 + 0,383\lambda_{\Pi} + 0,322\lambda_{C_w}^{-1} + 0,175\lambda_n + 0,09\lambda_{\lambda}. \quad (1)$$

По степени влияния на комплексный показатель технического уровня обобщенные показатели распределились следующим образом: производительность; удельная стоимость процесса; надежность агрегатов топливной системы дизеля; дымность отработавших газов. Коэффициент уравнения регрессии  $a_0=0,030$  представляет собой характеристику влияния неучтенных параметров на комплексный показатель технического уровня трактора. Достоверность и значимость коэффициентов уравнения регрессии подтверждена величиной коэффициента детерминации 0,86 при доверительной вероятности 0,9.

Таблица 3 – Показатели оценки технического уровня универсально-пропашных тракторов при использовании биотопливных композиций

Вид топлива	$\bar{\lambda}_П$	$\lambda_{q_w}$	$\lambda_{CT_{max}}$	$\bar{\lambda}_э$	$\bar{\lambda}_H$	$\bar{\lambda}_{ПТ}$	$\bar{\lambda}_{ПТ}^o$
ДТ	1,000	1,000	1,000	0,000	1,000	0,910	1,00
СТ	0,920	1,083	0,925	0,214	0,653	0,836	0,919
СТ <sub>н</sub>	0,968	1,040	0,950	0,357	1,000	0,930	1,022

Показатель технического уровня тракторов на дизельном топливе равен 0,910, что ниже экстремального (максимального) на 0,09 из-за высокой дымности отработавших газов ( $\lambda_э = 0$ ).

Его значение на СТ при максимально-допустимой стоимости  $\lambda_{CT_{max}} = 0,925$  достигает 0,836, в основном из-за низкого показателя надежности  $\bar{\lambda}_H = 0,653$  (рисунок 5).

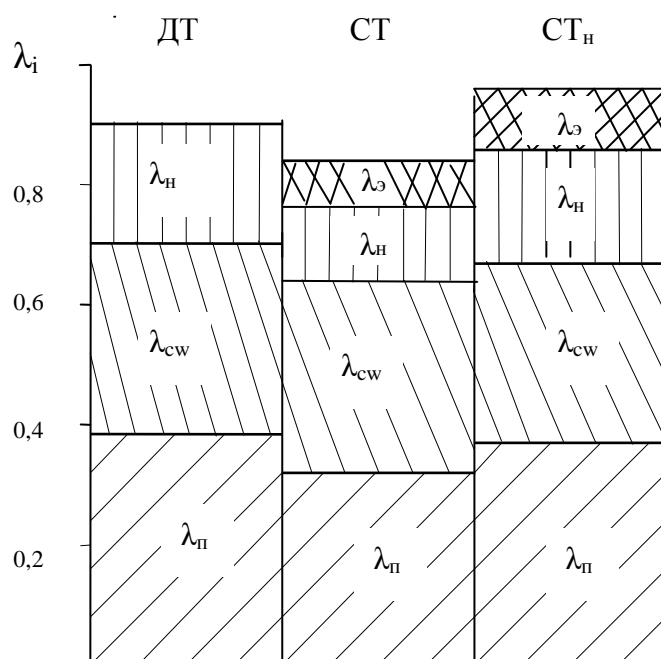


Рисунок 5 – Показатели оценки технического уровня универсально-пропашных тракторов при использовании биотопливных композиций

Наилучший показатель технического уровня  $\bar{\lambda}_{П_m} = 0,930$  имеют тракторы при использовании СТ<sub>н</sub>, что обусловлено наиболее высоким показателем экологичности  $\lambda_9 = 0,357$ .

При  $\bar{\lambda}_{П_{ДТ}}^o = 1,0$  значения указанного относительного показателя составляют  $\bar{\lambda}_{П_{СТ}}^o = 0,919$  и  $\bar{\lambda}_{П_{СТ_n}}^o = 1,022$ .

Для обеспечения  $\bar{\lambda}_{П_{СТ}}^o = 1,0$  показатель стоимости  $\lambda_{СТ}$  не должен превышать 0,753. А цена рапсового масла для его приготовления соответственно  $C_{PM} \leq 0,650 C_{ДТ}$ . Снижение показателя стоимости СТ<sub>н</sub> до  $\lambda_{СТ_n} = 0,790$  при указанной цене РМ обеспечивает  $\bar{\lambda}_{П_{СТ_n}} = 1,00$  или  $\lambda_{П_{СТ_n}}^o = 1,099$ .

Анализ полученных результатов показал, что использование приготовленной по разработанной технологии биотопливной композиции на основе нейтрализованного рапсового масла позволяет достигнуть и даже превысить при  $\lambda_{PM} \leq 0,945$  технический уровень универсально-пропашных тракторов на дизельном топливе.

Установленное по результатам сравнительных стендовых испытаний улучшение энергетических и топливно-экономических на (3–4%) и экологических (в 1,5–2, раза) показателей тракторных дизелей со свободным впуском, а также повышение в 1,54 раза ресурса РТИ их топливной системы за счёт нейтрализации рапсового масла подтвердило эффективность и целесообразность предлагаемой технологии обработки и применения его в качестве основы смесового топлива.

Выполненные оценки тягово-динамических и топливно-экономических свойств тракторов в условиях эксплуатации подтвердили с высокой сходимостью результаты моделирования параметров, режимов и показателей эффективности функционирования энергосберегающих агрегатов разного технологического назначения при использовании биотопливных композиций на основе сырого и нейтрализованного рапсового масла.

## Заключение

Результатами экспериментов установлено, что замена предлагаемой биотопливной композицией дизельного топлива приводит к снижению производительности и топливной экономичности почвообрабатывающих и транспортных агрегатов соответственно на 3,0–3,4% и 3,2–3,9% при улучшении экологических показателей за счёт уменьшения дымности отработавших газов в 1,5–2,1 раза. Ухудшение указанных показателей при использовании смесового топлива на основе сырого рапсового масла достигает 8,7 и 10,6% при уменьшении дымности на 13,0%.

Использование предлагаемой биотопливной композиции при стоимости рапсового масла не более 94,5% от стоимости дизельного топлива обеспечивает наивысшее значение комплексного показателя технического уровня универсально-пропашных тракторов за счёт лучшего показателя экологичности ( $\lambda_3 = 0,357$ ) при незначительном (3–4%) снижении производительности и топливной экономичности. Более низкое значение показателя технического уровня тракторов на дизельном топливе (0,910) обусловлено высокой дымностью ОГ ( $\lambda_3 = 0$ ), а на СТ (0,835) – существенным снижением показателей надёжности топливной системы, производительности и топливной экономичности.

Максимальная стоимость смесового топлива не должна превышать (0,913–0,930) цены ДТ (руб./кг). Этому соответствует максимально допустимая цена рапсового масла (0,876–0,900).

Максимально допустимая стоимость СТ<sub>н</sub> выше на 2,6–4,2 % и составляет (0,945–0,954) цены ДТ при цене нейтрализованного рапсового масла (0,921–0,934) цены ДТ.