

На правах рукописи

Доржеев Александр Александрович

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
БИОТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
ТРАКТОРАХ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства  
механизации сельского хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Красноярск – 2011

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор <b>Селиванов Николай Иванович</b>
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор <b>Матюшев Василий Викторович</b>  кандидат технических наук, с.н.с. <b>Горло Василий Васильевич</b>
Ведущая организация	<b>ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»</b>

Защита состоится «21» апреля 2011 г. в 14<sup>00</sup> на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 220.037.01 при ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан «19» марта 2011 г.  
Автореферат размещен «18» марта 2011 г. на сайте [www.kgau.ru](http://www.kgau.ru)

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Бастрон А.В.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** Ограниченность запасов нефти с одновременным повышением цен на дизельное топливо, неблагоприятная экологическая обстановка при возрастающем энергопотреблении в аграрном производстве повысила актуальность работ, направленных на поиск и обоснование применения альтернативных топлив из возобновляемых источников.

Удовлетворение возрастающей потребности в дизельном топливе на современном этапе развития автотракторной техники может быть достигнуто вовлечением в баланс альтернативных топлив, полученных на основе растительных масел. Их применение в дизелях сельскохозяйственных тракторов позволяет: снизить потребление дизельного топлива при значительном уменьшении негативного влияния на окружающую среду; использовать существующий и перспективный парк машин без существенных конструктивных изменений; заложить основу создания энергоавтономного сельскохозяйственного производства.

Однако ограниченный объём и противоречивые результаты исследований в этой области не позволяют однозначно судить о влиянии биотопливной композиции (70% рапсового масла и 30% дизельного топлива) на энергетические, топливно-экономические, экологические и др. показатели, формирующие технический уровень с.-х. тракторов. Поэтому разработка научно обоснованной технологии обработки и применения рапсового масла в качестве основы биотопливной композиции для повышения технического уровня с.-х. тракторов представляет перспективное направление экономии топливно-энергетических ресурсов и приобретает в настоящее время особую актуальность.

Работа выполнена в соответствии с программой научного обеспечения АПК РФ и планом НИР КрасГАУ (проблема IX, задания 01 и 03 на 2006–2010 гг.)

**Цель работы.** Разработка технологии приготовления и использования биотопливной композиции на основе рапсового масла для улучшения энергетических, топливно-экономических, экологических и общетехнических показателей с.-х. тракторов.

### **Задачи исследования:**

1. Обосновать структурную схему системы оценки эффективности технологии обработки и использования биотопливной композиции на основе рапсового масла в качестве альтернативного топлива на с.-х. тракторах.

2. Разработать математические модели и алгоритм обоснования технологических процессов приготовления и применения в тракторных дизелях биотопливной композиции на основе рапсового масла.

3. Обосновать по результатам моделирования эффективность и целесообразность предлагаемой технологии приготовления и использования моторного топлива на основе рапсового масла.

4. Разработать методику и провести экспериментальные исследования закономерностей процесса нейтрализации рапсового масла и взаимосвязей показателей технического уровня универсально-пропашных тракторов с характеристиками моторного топлива на его основе.

5. Дать экономическую оценку эффективности технологии производства и использования моторного топлива на основе рапсового масла при работе мобильных сельскохозяйственных агрегатов.

**Объект исследования.** Технология нейтрализации рапсового масла и процессы формирования показателей технического уровня с.-х. тракторов при использовании его в качестве основы моторного топлива.

**Предмет исследования.** Закономерности формирования и взаимосвязи энергетических, топливно-экономических, общетехнических и экологических показателей с.-х. тракторов с характеристиками и условиями применения моторного топлива на основе рапсового масла.

**Методы исследования** включали определение способов эффективного приготовления и использования моторного топлива на основе рапсового масла при работе с.-х. тракторов путём многоуровневого системного анализа, моделирования процессов и оптимизации оценочных показателей.

**Научную новизну работы** составляют:

- система оценки эффективности приготовления и использования биотопливных композиций на основе рапсового масла при работе с.-х. тракторов;
- способ производства моторного топлива на основе рапсового масла для тракторных дизелей (патент РФ № 2393209);
- результативные признаки эффективности технологии производства моторного топлива на основе рапсового масла в условиях АПК;
- результаты экспериментальной оценки технического уровня с.-х. тракторов при использовании биотопливных композиций на основе рапсового масла.

**Практическую значимость диссертации** представляют:

- технология обработки и использования рапсового масла в качестве основы моторного топлива на с.-х. тракторах;
- оценка технического уровня с.-х. тракторов при использовании биотопливных композиций на основе рапсового масла;
- методы адаптации серийных с.-х. тракторов для использования биотопливных композиций на основе рапсового масла.

**Реализация результатов:**

- рекомендации по обоснованию технологической линии производства смесового топлива на основе рапсового масла приняты КРОЗ ГОСНИТИ для разработки опытных образцов оборудования;
- технология производства смесового топлива на основе рапсового масла используется инженерно-технической службой АПК в ряде с.-х. предприятий Красноярского края;
- результаты исследований и рекомендации по обработке и использованию рапсового масла в качестве моторного топлива внедрены в учебный процесс КрасГАУ.

**На защиту выносятся:**

- технология приготовления и использования биотопливной композиции на основе рапсового масла на с.-х. тракторах;
- модели и методики формирования ресурсосберегающей технологии приготовления и использования моторного топлива на основе рапсового масла;
- оценки показателей технического уровня с.-х. тракторов при использовании биотопливных композиций на основе рапсового масла.

**Апробация работы.**

Основные положения и результаты работы доложены, обсуждены и одобрены в 2006–2010 гг. на международных (СибИМЭ, г. Новосибирск), всероссийских (МГАУ, г. Москва) и региональных (КрасГАУ, г. Красноярск) научно-практических конференциях, а также на III Красноярской общегородской научно-практической ассамблее в 2010 г.

**Публикации.**

По результатам исследований опубликовано 19 работ, в том числе 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 155 страницах основного текста, включающего 44 рисунка, 35 таблиц, список литературы из 110 наименований. Приложения составляют 12 страниц.

**Личный вклад.** Результаты лабораторных и полевых исследований, представленные в диссертации, получены автором лично. Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, заключается в обсуждениях и постановке задач на этапах научной работы, в получении, анализе, оформлении и внедрении полученных результатов.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, изложена научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

**В первом разделе** «Состояние вопроса и задачи исследования» проведён анализ использования с.-х. тракторов, рассмотрены перспективные виды и способы получения альтернативных моторных топлив, их влияние на энергетические, экономические, экологические и общетехнические показатели автотракторных дизелей. Большой вклад в разработку технологий производства и использования биотопливных композиций на основе растительных масел в качестве моторного топлива для автотракторных дизелей внесли отечественные учёные А.Р. Аблаев, О.И. Жегалин, А.А. Школьный, Д.В. Бубнов, Н.В. Краснощёков, В.А. Марков, Р.М. Баширов, А.Ю. Измайлов, В.Ф. Федоренко Г.С. Савельев, Е.А. и др. В работах этих авторов преимущественно рассматривается производство и использование метиловых эфиров рапсового масла – биодизеля.

Однако отсутствует фактический материал по оценке комплексного показателя технического уровня с.-х. тракторов при использовании рапсового масла в качестве основы моторного топлива. Разработка технологий производства моторного топлива из растительных масел направлена на промышленное получение биодизеля и не отражает внутрихозяйственную применимость в АПК.

На основании выполненного анализа состояния вопроса и цели работы были сформулированы задачи исследования.

**Во втором разделе** «Моделирование технологии обработки и использования рапсового масла в качестве основы моторного топлива на сельскохозяйственных тракторах» обоснована структурная схема ресурсосберегающей технологии обработки и использования рапсового масла (РМ) в качестве моторного топлива на с.-х. тракторах.

Технологию производства и использования смесового топлива ( $СТ_n$ ) на основе рапсового масла по существу можно разделить на три взаимосвязанные и последовательно выполняемые процесса:

- 1) производство из семян растительного масла-сырца;
- 2) обработка масла-сырца для получения моторного топлива;
- 3) использование (сжигание) моторного топлива в цилиндрах тракторного дизеля при его работе.

Совершенство и эффективность указанных процессов с позиций ресурсосбережения определяют, в конечном итоге, энергетический потенциал, экологичность и стоимость моторного топлива, которые формируют потенциальные возможности трактора в составе МТА через показатели производительности и

надёжности, затрат на выполнение технологического процесса и содержания вредных выбросов в отработавших газах (ОГ). Совокупность указанных показателей определяет технический уровень трактора.

Исходя из поставленной задачи по оценке эффективности технологии обработки рапсового масла, процесс формирования и взаимосвязь технологических показателей производства с характеристиками моторного топлива из семян рапса следует рассматривать как систему последовательных приёмов и совокупность технических средств, функционирующую в реальных производственных условиях и направленную на получение продуктов (рапсового масла и смесового топлива) с наперёд заданными свойствами (рис. 1).

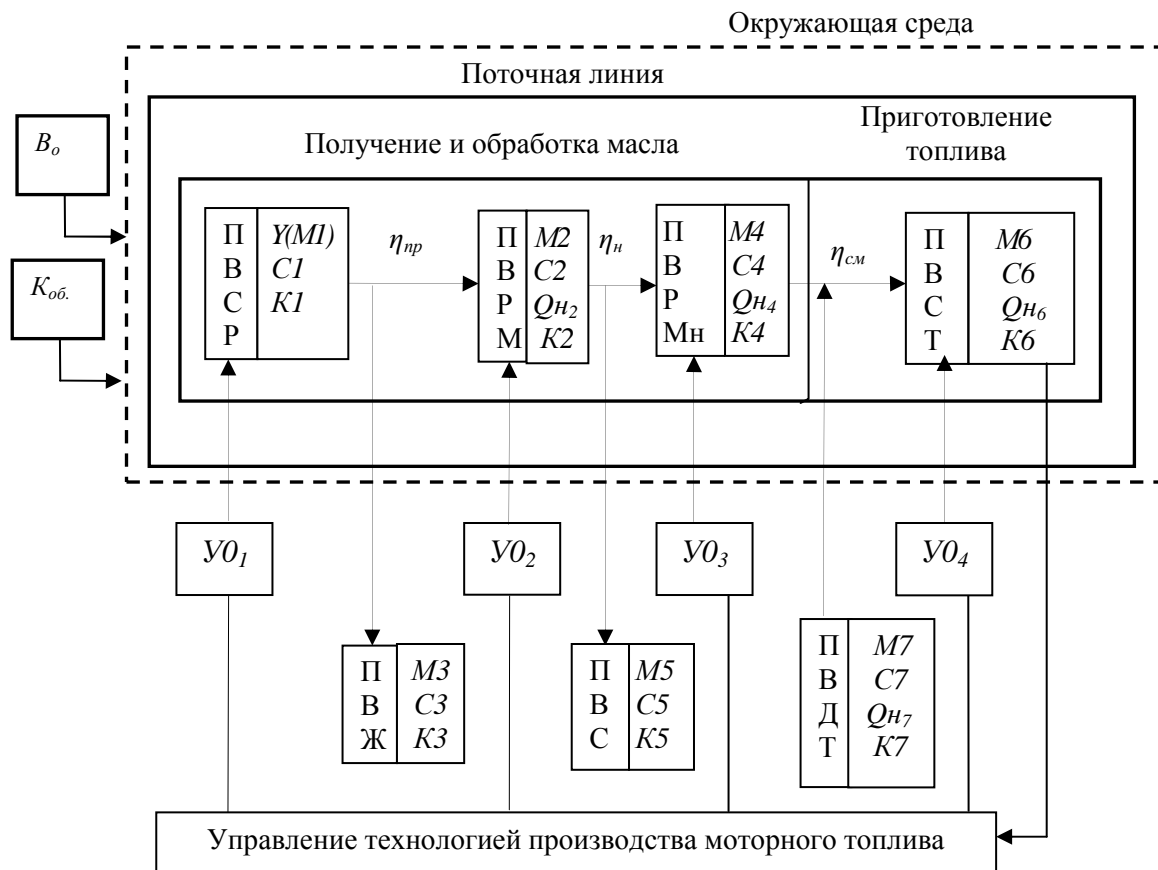


Рисунок 1 – Структурная схема технологии производства моторного топлива на основе рапсового масла

Обоснование выбора биотопливной композиции и вариантов её использования производится по показателям ресурсосбережения, взаимозаменяемости с основным топливом, безотказности, экологичности и безопасности. Управляющие воздействия  $У04$  по оценочным параметрам потенциальных возможностей топлива ПВСТ ( $Q_{H6}$ , – теплотворная способность и  $C6$  – цена биотоплива) принимаются на основе анализа информации и управляющих воздействий на предыдущих этапах  $У01$ ,  $У02$ ,  $У03$ . Первостепенной задачей в структурной схеме технологии производства моторного топлива на основе рапсового масла выступает обоснование потенциальных возможностей семян рапса (ПВСР), характеризующихся их изначальной массой  $M1$ , ценой  $C1$  и качеством  $K1$ .

Процесс отжима на первом этапе характеризуется эффективностью прессования  $\eta_{пр} \rightarrow \max$ , т.е. энергоёмкостью и выходом масла  $M2$ , после чего ПВСР

раскладываются на составляющие – потенциальные возможности РМ (ПВРМ) и потенциальные возможности жмыха (ПВЖ) с соответствующими показателями качества  $K2$  и  $K3$ .

Повышению ПВРМ и смесового топлива на его основе (ПВСТ) способствует улучшение качественных показателей  $K2$  и  $K4$  на стадии обработки и смешивания, зависящих от соответствующих КПД процессов  $\eta_n$  и  $\eta_{см}$ . Весь цикл производства моторного топлива из семян рапса зависит от параметров окружающей среды  $B_0$ , эффективности технологического оборудования  $K_{об}$  и управляющих воздействий на всех стадиях  $У01, У02, У03$ .

В конечную стоимость моторного топлива  $C6$  входит энергоёмкость процессов прессования, нейтрализации и смешивания, а также цена семян  $C1$  и дизельного топлива  $C7$ .

Эффективность технологии производства рапсового масла характеризуют внутреннее энергосодержание  $e$  и удельные затраты всех видов энергии на его получение  $\mathcal{E}$ . Их соотношение определяет энергетический доход  $\Delta E$  и энергетическую эффективность  $\eta_{\mathcal{E}}$ , показатели которых являются критериями оптимизации технологии

$$\begin{cases} \Delta E = e - \mathcal{E} \rightarrow \max; \\ \eta_{\mathcal{E}} = e/\mathcal{E} \rightarrow \max. \end{cases} \quad (1)$$

Параметр оптимизации представляет выход  $M2$  масла и побочных продуктов из семян рапса.

Показателями эффективности технологии обработки рапсового масла, включающей его нейтрализацию и смешивание с дизельным топливом, при соответствующих им критериях  $\eta_n \rightarrow \max$  и  $\eta_{см} \rightarrow \max$ , являются низшая теплотворная способность  $Q_{нСТн}$  и стоимость  $C_{Тн}$  смесового топлива, которые выступают в качестве параметров оптимизации

$$\begin{cases} Q_{нСТн} = (Q_n X)_{PMn} + (Q_n X)_{DT} \rightarrow \max; \\ C_{СТн} = (CX)_{PMn} + (CX)_{DT} \rightarrow \min, \end{cases} \quad (2)$$

где  $X_m, X_{DT}=1-X_m$  – массовые доли в смесовом топливе нейтрализованного рапсового масла и дизельного топлива;  $C_{PMn}$  и  $C_{DT}$  – стоимость нейтрализованного рапсового масла и дизельного топлива с учетом затрат на их смешивание.

Для технологии получения моторного топлива из семян рапса коэффициент энергетической эффективности  $\eta_{\mathcal{E}}$ , определится из выражения

$$\eta_{\mathcal{E}} = \eta_{np} \cdot \eta_n \cdot \eta_{см} = \frac{Q_{нСТн}}{\mathcal{E}}. \quad (3)$$

Для снижения затрат и повышения качества оценки адаптации эксплуатационных параметров трактора к использованию альтернативного топлива предложена структура системы поэтапного формирования оценочных показателей режима рабочего хода с установленными критериями ресурсосбережения (рис. 2).

Входные воздействия системы представлены низшей теплотворной способностью  $Q_n$  и стоимостью  $C_T$  выбранного топлива, характеристикой окружающей среды и конструктивными параметрами двигателя  $K_{ДВ}$ .

На первом этапе проводится оценка эффективности теплоиспользования в рабочем цикле двигателя.

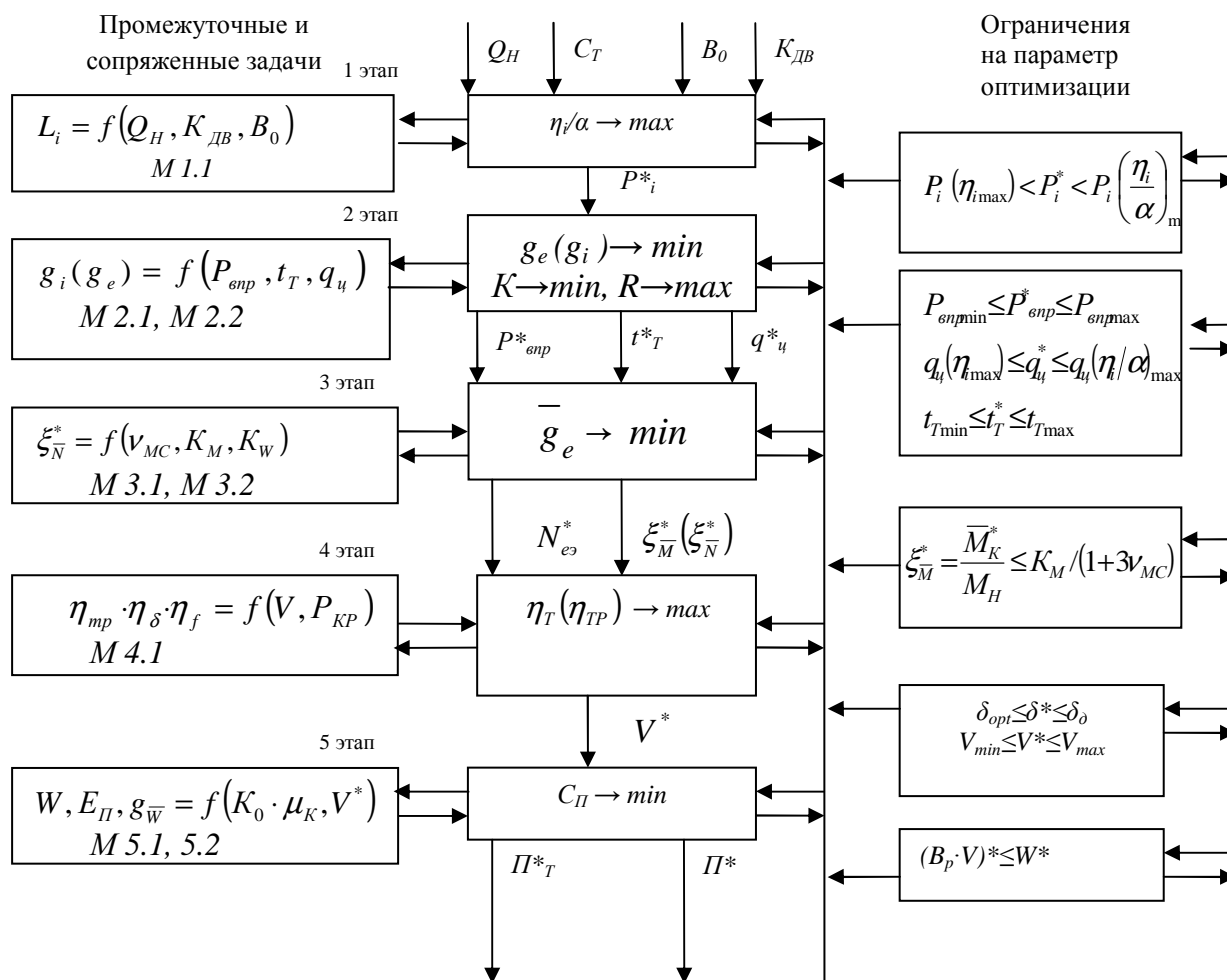


Рисунок 2 – Структурная схема системной адаптации трактора к использованию альтернативного топлива

При работе на различных видах топлива с разными  $Q_H$  подобная оценка возможна только на основе отношения индикаторного КПД к коэффициенту избытка воздуха  $\eta_i/\alpha$ , максимальное значение которого следует принять в качестве критерия энергосбережения. Сопряженные задачи этапа определяют значения вспомогательных величин, характеризующих в дальнейших расчетах индикаторную работу цикла.

$$L_i = f(Q_H, K_{ДВ}, B_0). \quad (4)$$

Параметром оптимизации (выходной величиной) этапа является среднее индикаторное давление  $P_i^*$ , которое следует выбрать из условия

$$P_i(\eta_{i\max}) < P_i^* < P_i(\eta_i/\alpha)_{\max}. \quad (5)$$

На втором этапе оценивается топливная экономичность, экологичность и ресурс резиновых уплотнений (РТИ) топливной системы двигателя при изменении цикловой подачи  $q_u$ , давления впрыскивания  $P_{впр}$  и температуры топлива  $t_T$ . Оценка проводится на основании показателей удельного расхода топлива  $g_e$ , дымности отработавших газов ( $K$ ) и состояния уплотнений, экстремальные значения которых выступают критериями оптимизации.

Сопряженные задачи включают определение взаимосвязей  $(g_i)g_e = f(P_{впр}, t_T, q_u)$ .

Параметрами оптимизации являются указанные качественные и количественные характеристики подачи топлива при ограничении  $q_u$ .



$$q_u(\eta_{i\max}) < q_u^* < q_u(\eta_i/\alpha)_{\max}. \quad (6)$$

Третий этап предусматривает оценку энергетических  $N_{eэ}$  и динамических  $K_M$  показателей работы двигателя на альтернативном (смесевом) топливе с учетом оптимальной адаптации его скоростной характеристики. Критерий оптимизации  $\bar{g}_e \rightarrow \min$  определяется из условия  $dG_T/d\bar{M}_K = 0$ .

Сопряженные задачи обеспечивают определение взаимосвязей режима работы двигателя с параметрами внешней нагрузки  $v_{MC}$  и регуляторной характеристики  $K_M$  и  $K_\omega$ .

Четвертый этап предусматривает обоснование скоростного режима работы трактора при адаптированном уровне мощности  $N_{eэ}^*$ , коэффициенте её использования  $\xi_N^*$  и установленных ограничениях. Критерием оптимизации следует принять максимум тягового КПД трактора  $\eta_T = \eta_f \cdot \eta_\delta \cdot \eta_{mp}$ .

Пятый этап завершает решение задачи оптимизации эксплуатационных параметров трактора и оценку технического уровня при использовании смесевого топлива. Параметрами оптимизации являются обобщенный показатель технического уровня  $\Pi_T$  трактора и техническая производительность агрегата  $\Pi$ . Критерий оптимальности соответствует минимуму удельных эксплуатационных затрат  $C_\Pi \rightarrow \min$ . Математические модели представляют уравнения взаимосвязей показателей оптимизации с эксплуатационными параметрами, характеристиками, условиями и режимами работы трактора

$$\begin{cases} \Pi_T = f(\Pi, C_\Pi, K, R); \\ \Pi = f(\xi_N^*, N_{eэ}, \eta_{TP}, \mu_K). \end{cases} \quad (7)$$

Промежуточные задачи рассматривают модели взаимосвязи чистой производительности  $W$ , удельных энергетических  $E_n$  и топливных затрат с характеристикой  $K_0 \mu_K$  сопротивления рабочей машины и скорости движения  $V^*$   $W, E, g_w = f(K_0, \mu_K, V^*)$ .

Значение средней скорости движения трактора с установленными массоэнергетическими параметрами (эффективной мощностью  $N_{eэ}$ , эксплуатационной массой  $m_э$ ) при известных КПД трансмиссии  $\eta_{mp}$ , буксования  $\eta_\delta$  и сопротивления качению  $\eta_f$  определится из выражения

$$V^* = \frac{\xi_N^* N_{eэ} \eta_{mp}}{m_э g} \left( \frac{\eta_\delta}{\varphi_{кр} + f} \right)_{\max}. \quad (8)$$

Потери мощности на качение трактора выражаются через КПД сопротивления качению  $\eta_f$ , при известных коэффициентах сцепления  $\varphi$  и использование сцепного веса трактора  $\varphi_{кр}$ . Тогда чистая производительность агрегата на режиме предельно допустимого буксования

$$W^* = \frac{\xi_N^* N_{eэ} \eta_{mp} \eta_{\delta\delta} (\varphi_{\max} - f)}{K_0 \mu_K \varphi_{\max}}, \quad (9)$$

где  $\mu_K = 1 + \Delta K(V^2 - V_0^2)$ ;  $\Delta K$  – приращение удельного сопротивления  $K_0$  от скорости.

Удельные (на единицу обрабатываемой площади) энергетические  $E_n$  (кДж/м<sup>2</sup>) и топливные  $q_w$  (кг/га) затраты при этом выразятся как

$$E_n = \xi_N^* N_{eэ} / W = K_0 \mu_K / \eta_{m.\delta} = K_0 E_k; \quad (10)$$

$$q_w \approx 2,77 q_{ен} E_n, \quad (11)$$

где  $\eta_{m.д} = \eta_{mp} \eta_f \eta_{\delta m}$  – тяговый КПД трактора на режиме допустимого буксования.

Техническая производительность агрегата  $P^*$  (га/ч) в функции от  $W^*$  определится из выражения

$$P^* = 0,36W^* \tau = 0,36 \frac{(h_w - a_w W^*)}{(1 + K_w W^*)} W^*, \quad (12)$$

где  $h_w$ ,  $a_w$ ,  $K_w$  – коэффициенты, характеризующие природно-производственные условия.

Удельные энергозатраты (кВтч/га) и топливные (кг/га) затраты при этом

$$\begin{cases} E'_n = E_n / 0,36\tau; \\ qw' = qw / \tau w. \end{cases} \quad (13)$$

Относительный показатель технической производительности для сравнительной оценки трактора при работе на смесевом топливе ( $СТ_n$ ) выразится как

$$\lambda_n = P_{СТ_n}^* / P_0^* = \lambda_{\xi \bar{N}} \cdot \lambda_{N_{e\bar{a}}} \cdot \lambda_{\eta m} \cdot \lambda_{\tau} / \lambda_{\mu k}. \quad (14)$$

Для оценки экологических показателей трактора можно принять соотношение коэффициентов дымности отработавших газов (ОГ) на основном нагрузочно-скоростном режиме работы дизеля при использовании смесевого  $K_{СТ_n}$  и дизельного  $K_o$  топлива

$$\lambda_{\vartheta} = 1 - K_{СТ_n} / K_o, \quad (15)$$

где  $K_z = T_o / (T_o + T_e)$ ,  $T_o$  – наработка на отказ;  $T_e$  – среднее время восстановления работоспособности узла или агрегата топливной системы (двигателя).

Для сравнительной оценки изменения надежности целесообразно использовать относительный показатель

$$\lambda_n = (K_z \cdot T_o)_{СТ_n} / (K_z \cdot T_o)_o. \quad (16)$$

Относительный показатель удельных денежных затрат с учетом изменения стоимости смесевого топлива  $\lambda_{C_T} = C_{СТ_n} / C_{T_o}$  и цены трактора  $\lambda_{\mu} = \mu_{СТ_n} / \mu_o$  при его модернизации выразится как

$$\lambda_{C_w} = \lambda'_{qw} \cdot \lambda_{C_T} \cdot \lambda_{\mu}. \quad (17)$$

Комплексный показатель технического уровня трактора при использовании альтернативного топлива определится как функция обобщенных относительных показателей производительности  $\lambda_n$ , стоимости  $\lambda_{C_w}$ , экологичности  $\lambda_{\vartheta}$  и надежности  $\lambda_n$ :

$$\lambda_{nm} = f(\lambda_n, \lambda_{C_w}, \lambda_{\vartheta}, \lambda_n). \quad (18)$$

Результатами моделирования параметров рабочего цикла, индикаторных и эффективных показателей дизелей в пределах корректорной ветви установлена их существенная зависимость от характеристики применяемого топлива. Замена дизельного топлива (ДТ) на смесевое (СТ) в соотношении 70%РМ+30%ДТ приводит к обеднению рабочей смеси на 3–5 %, что сопровождается соответствующим снижением среднего индикаторного давления цикла и ростом на 0,5–1,0 % индикаторного КПД двигателя. С учётом снижения теплотворной способности смеси, указанное приводит к ухудшению энергетических, топливных и динамических показателей двигателя, что подтверждают ранее полученные результаты. Снижение эффективной мощности и топливной экономичности в пределах корректорной ветви регуляторной характеристики дизелей Д-240 и Д-21А составило 6–9 и 8–10% соответственно при ухудшении на 1,2–2,3 % динамических свойств (рис.3). Указанное сопровождается соответствующим снижением технико-экономических показателей МТА (табл. 1).

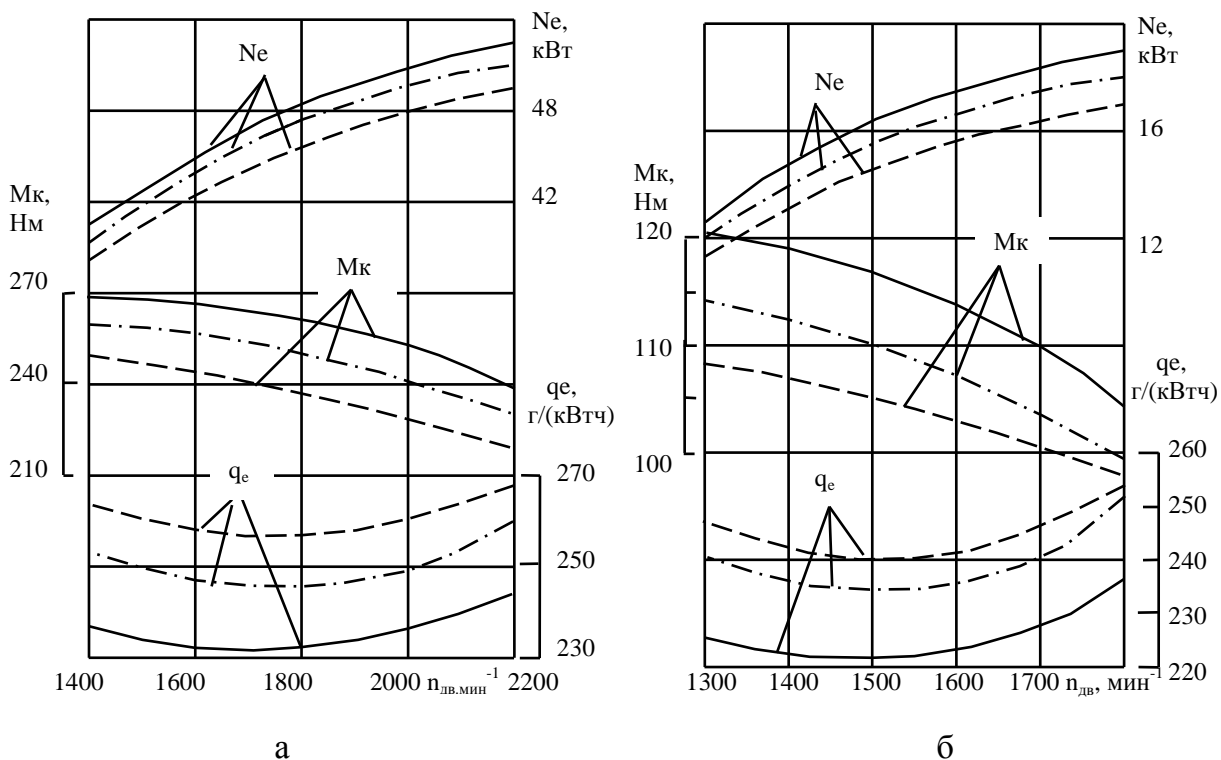


Рисунок 3 – Корректорная ветвь регуляторной характеристики дизелей:  
 а – Д-240; б – Д-21А (— ДТ; - - - - - СТ; - · - · - СТ<sub>н</sub>)

Применение биотопливной композиции на основе нейтрализованного рапсового масла СТ<sub>н</sub>, за счёт улучшения параметров рабочего цикла, обеспечивает в среднем до 4% повышение эффективной мощности и топливной экономичности при сохранении коэффициента приспособляемости по крутящему моменту на одинаковом для дизельного топлива уровне. Снижение, по сравнению с ДТ, технической производительности и ухудшение топливной экономичности составляет 3,1–4,2 и 4,0–5,0% соответственно.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что наиболее оптимальным вариантом адаптации дизелей к использованию СТ<sub>н</sub> является сохранение неизменными регулировочных параметров топливоподачи ТНВД, поскольку в данном случае достигается наибольшая экономичность цикла. Максимально допустимые значения показателей стоимости СТ и РМ по удельным денежным затратам при  $\lambda_{\text{и}} = 1,008$  и  $\lambda_{\text{св}} \leq 1$  (табл. 2) ограничивают эффективность использования биотопливных композиций по их стоимости.

Таблица 1 – Результаты моделирования технико-экономических показателей почвообрабатывающего и транспортных агрегатов

Показатель	MT3-82.1+КПЭ-3,8			MT3-82.1+ПТС-4			T-25A+ПТС-4		
	ДТ	СТ	СТ <sub>н</sub>	ДТ	СТ	СТ <sub>н</sub>	ДТ	СТ	СТ <sub>н</sub>
$\zeta_N^*$	0,880	0,842	0,866	0,685	0,670	0,683	0,699	0,694	0,697
$\bar{V}^*$	1,880	1,690	1,770	3,740	3,740	3,560	2,710	2,441	2,620
$\lambda_n$	1,000	0,915	0,958	1,000	0,945	0,968	1,000	0,915	0,969
$\lambda_{E_n}'$	1,000	0,985	0,981	1,000	1,024	1,000	1,000	0,999	0,980
$\lambda_{q_w}'$	1,000	1,087	1,043	1,000	1,073	1,050	1,000	1,065	1,040

Таблица 2 – Максимально допустимые значения показателей стоимости смесового топлива и цены рапсового масла по удельным денежным затратам

Марка трактора	Вид работы	СТ			СТ <sub>н</sub>		
		$\lambda'_{q_w}$	$\lambda_{CT_{max}}$	$\lambda_{PM_{max}}$	$\lambda'_{q_w}$	$\lambda_{CTH_{max}}$	$\lambda_{PMH_{max}}$
MT3-82.1	Культивация	1,087	0,913	0,876	1,043	0,951	0,930
	Транспортная операция	1,073	0,921	0,887	1,050	0,945	0,921
T-25A	Транспортная операция	1,065	0,930	0,900	1,040	0,954	0,934

В третьем разделе «Методика экспериментальных исследований» представлены программа и методы проведения лабораторных, стендовых и производственных испытаний, а также параметры и характеристики объектов исследования, регистрационно-измерительной аппаратуры, оборудования для подтверждения основных теоретических положений по оценке эффективности технологии производства и использования моторного топлива на основе рапсового масла при работе с.-х. тракторов.

На первом этапе производилась оценка эффективности технологий обработки рапсового масла для использования в качестве моторного топлива в дизелях, включающая обобщение исходной информации по влиянию физико-химических свойств биотопливной композиции на энергетические, топливные, экологические показатели дизеля и его надёжность.

Второй этап предусматривал реализацию моделей оценки эффективности адаптации тракторных дизелей со свободным впуском к использованию биотопливных композиций в качестве моторного топлива. В основу положены научно обоснованные принципы и критерии оптимизации процесса преобразования тепловой энергии топлива в механическую работу, формирующих показатели и режимы работы двигателя.

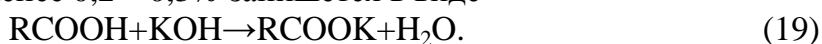
На третьем этапе оценивался технический уровень тракторов при использовании смесового топлива. В основу положены результаты сравнительных лабораторно-полевых испытаний тракторов на почвообработке и транспортных операциях. Сравнительные экспериментальные исследования проводились при выполнении основной обработки почвы трактором MT3-82.1 с культиватором КПЭ-3,8 в характерных для Восточной Сибири условиях, а также при использовании тракторов MT3-82.1 и T-25A на транспортных операциях.

Расчёты и получение параметрических моделей в виде уравнений и графической интерпретации данных производились с помощью составленных программ и приложений в Microsoft Office 2007 (EXEL с приложением «Анализ данных»), Maple и Data Fit (version 9.059 Oacdale Engineering).

В четвёртом разделе «Результаты экспериментальных исследований» проведена комплексная оценка эффективности процессов нейтрализации, приготовления и использования смесового топлива.

По результатам планирования эксперимента ( $3^2$ ) в лабораторных условиях получены значения количества солей жирных кислот  $Y$  ( $V_{CO_2}$ , %) в зависимости от концентрации щёлочи  $x_1$  (KOH, %) и температуры  $x_2$  ( $t_{обp}$ , °C).

Принципиальная схема процесса получения солей жирных кислот рапсового масла при избытке щёлочи не менее 0,2 – 0,3% запишется в виде



Адекватное уравнение регрессии, полученное математической обработкой, имеет следующий вид

$$Y_{\text{оср}} = 37,7 + 7,5 \cdot x_1 + (-27,59) \cdot \ln(x_2) + 4,55 \cdot \ln(x_2)^2. \quad (20)$$

Графическая зависимость (рис. 4) изменения количества выпавшего осадка, полученная по уравнению регрессии (23), подтверждает наиболее существенное влияние на его величину температуры процесса, при одновременном (но менее важном) влиянии количества нейтрализатора, что соответствует характеристикам производства биотоплива на основе рапсового масла (патент РФ 2393209).

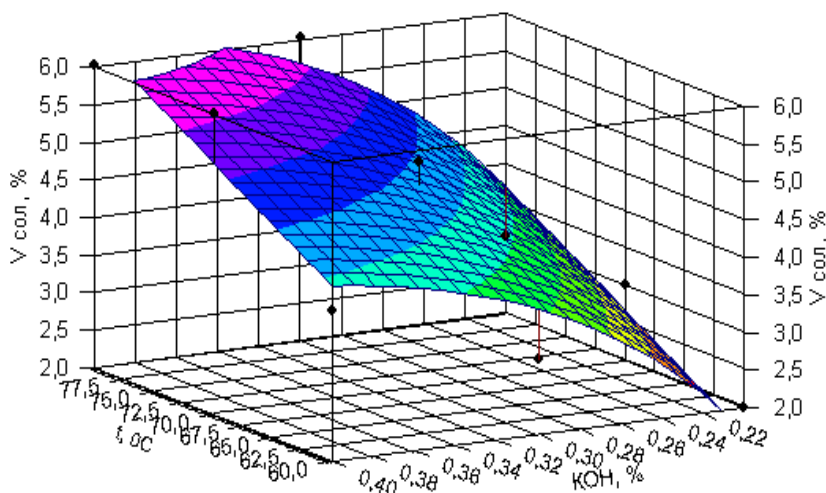


Рисунок 4 – Влияние температуры и количества нейтрализатора на объём выпавшего осадка

После полного протекания реакции и дальнейшего отстаивания осветления не наблюдается, что является особо важным с технологической позиции, применительно к данному виду топлива.

В результате обработки 72,5 кг/ч рапсового масла-сырца количество выпавшего осадка составило 4,35 кг, выход нейтрализованного масла – 68,4 л (табл. 3).

Таблица 3 – Расход сырья и выход продукции технологической линии производства 300–500 т/год моторного топлива на основе рапсового масла, кг/ч

Наименование показателя	Значение показателя
Производительность по СТн (70 % РМ + 30 % ДТ) при выходе масла масла-сырца 29 % и кол-ве осадка до 6 %	До 97,71
Выход масла-сырца	72,5
Выход нейтрализованного масла	68,4
Выход жмыха	177,5
Выход осадка	4,35
Расход щёлочи (KOH <sub>20%</sub> )	0,275

Для разработанной технологической линии на базе шнекового пресса ПШ-250, полные удельные затраты на прессование семян, отнесённые к теплотворной способности рапсового масла ( $Q_{PM}$ ), составили 41,200 МДж/кг, при выходе сырого масла  $K_{\text{вых}} = 0,29$  (табл. 4).

Удельные затраты на обработку рапсового масла, определяющиеся установленной потребной мощностью используемого оборудования, расходом щёлочи и коэффициентом выхода нейтрализованного РМ, составили 0,436 МДж/кг.

При выходе из нейтрализатора-смесителя 6% осадка и 94% нейтрализованного РМ<sub>н</sub>, оптимальной температурой процесса является 70°C, а объёмное количество нейтрализатора (KOH) – 0,3%. В данных условиях наблюдается ярко выраженная граница разделения фаз между осветлённой частью суспензии и осадком.

Таблица 4 – Энергетические показатели производства моторного топлива из семян рапса

Технологическая операция	Полные удельные затраты $i$ -го процесса Э, МДж/кг	КПД $i$ -го процесса $\eta$	Выход $i$ -го продукта $K_{вых}$	Энергосодержание, продукта $Q_n$ , МДж/кг
Прессование	41,200	0,892	(РМ) 0,29	37,450
Нейтрализация	0,436	0,958	(РМ <sub>н</sub> ) 0,94	37,868
Смешивание	1,438	0,990	(СТ <sub>н</sub> ) 1,0	39,292

На стадии смешивания 70% РМ<sub>н</sub> с 30% ДТ значение показателя энергосодержания биотопливной композиции приближается к нефтяному топливу и достигает 39,292 МДж/кг, а общий КПД поточно-технологической линии производства моторного топлива на основе рапсового масла ( $\eta_{Э}$ ) равен 0,846.

Анализ образцов полученной смеси нейтрализованного РМ<sub>н</sub> с ДТ в соотношении 0,7:0,3 показал снижение вязкости на 15–20% в температурном диапазоне 25–75 °С и плотности на 3%, т.е. с 865 до 845,5 кг/м<sup>3</sup> по сравнению с СТ.

Снижение вязкости и плотности полученной биотопливной композиции на основе РМ<sub>н</sub> улучшает прокачиваемость по системе питания и снижает эмиссию вредных веществ при работе дизеля.

По результатам планирования эксперимента (3<sup>2</sup>) в лабораторно-стендовых условиях получены значения (табл. 4) цикловой подачи  $Y$  ( $V_{Ц}$ , мг/цикл) в зависимости от давления начала впрыскивания  $x_1$  ( $P_{впр}$ , МПа) и температуры  $x_2$  ( $t_T$ , °С).

Математическая обработка позволила получить численные значения коэффициентов адекватного уравнения регрессии

$$V_{Ц} = 48,76 + 3,48x_1 + 0,39x_2 - 0,006x_1x_2 + 0,092x_1^2 + -0,0024x_2^2. \quad (21)$$

Полученное уравнение протабулировано в соответствии с различными сочетаниями  $x_1$  и  $x_2$  на интервалах  $x_1 = (16–20 \text{ МПа})$  и  $x_2 = (50–90 \text{ °С})$ , что позволило определить графическую зависимость результативного признака оптимизации от факторов воздействия.

Графическая интерпретация (рис. 5) изменения цикловой подачи, полученная по (21), показывает наиболее существенное влияние на её величину температуры смесового топлива.

Нагрев СТ<sub>н</sub> с 50 до 70 °С, при сохранении заводской регулировки давления начала впрыскивания (18 МПа), обеспечивает повышение цикловой подачи, что объясняется уменьшением гидравлического сопротивления на перекачивание жидкости и улучшением наполнения надплунжерного объема из-за указанного понижения плотности и вязкости. Снижение давления начала впрыскивания до 16 МПа приводит к незначительному увеличению цикловой подачи (до 2 мг/цикл) в диапазоне температур от 50 до 70 °С.

Повышение температуры от 70 до 90 °С вызывает снижение цикловой подачи в среднем 1,5 мг/цикл на каждые 10 °С, вследствие возросшей сжимаемости и утечек СТ<sub>н</sub> в насосной секции. Повышение давления начала впрыскивания до 20 МПа приводит к снижению цикловой подачи СТ<sub>н</sub> независимо от температуры.

Экстремальное значение цикловой подачи СТ<sub>н</sub> обеспечивается при давлении начала впрыскивания, соответствующем техническим требованиям (17,5 МПа) и температуре 65–70 °С. Указанное позволяет принять условие сохранения неизменной регулировки топливной форсунки тракторного дизеля.

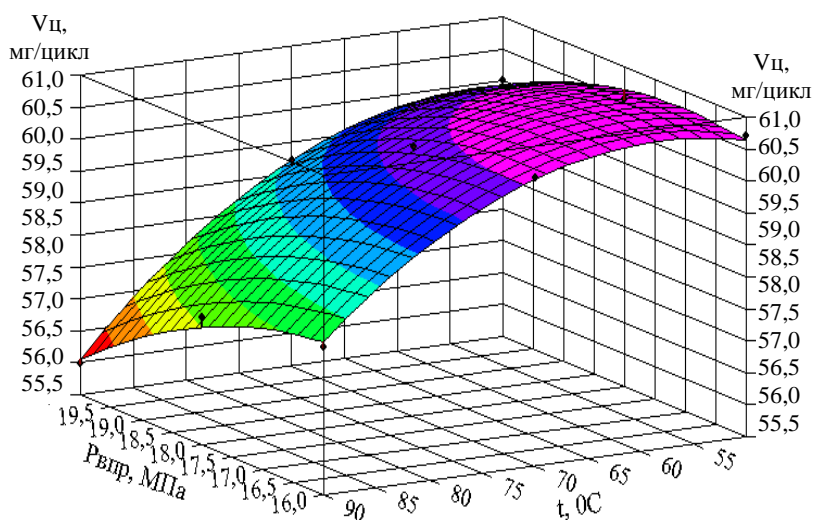


Рисунок 5 – Влияние температуры и давления начала впрыскивания на цикловую подачу смесевое топлива

Предварительно нагретое СТ<sub>н</sub> до 65–70 °С обеспечивает стабильную работу ТНВД. Исследования влияния физико-химических свойств смесевое топлива на номинальную цикловую подачу насосов НД-21/2 и 4УТНМ показали, что, независимо от конструкции плунжерной пары, использование СТ<sub>н</sub> вызывает уменьшение объемной подачи по регуляторной характеристике в среднем на 3–5% по сравнению с СТ.

По установленной экспериментальными закономерности, эффективная работа дизеля обеспечивается предварительным подогревом СТ до температуры 65 – 70 °С, что достигается установкой теплообменного аппарата в линию низкого давления перед фильтром тонкой очистки (патент РФ № 2305791).

Органолептическая оценка состояния РТИ ТНВД в испытуемых образцах биотопливных композиций на основе РМ показала, что в течение 72 ч произошло изменение внешнего вида и структуры изделий, залитых СТ (появилась отчётливо заметная их поверхностная разрыхленность и отклонение до 30% от изначальной формы), что отсутствует у изделий, находившихся в нейтрализованном образце (СТ<sub>н</sub>).

Указанное изменение размеров и структуры РТИ объясняется высокой агрессивностью биотопливной композиции на основе масла-сырца. Повышенная кислотность (более 5 мг КОН/г) снижает термоокислительную стабильность рапсового масла и смеси в целом, что приводит к коррозированию используемых материалов даже с повышенными маслостойкими свойствами.

На основании вышеизложенных результатов произведена оценка комплексного показателя надёжности топливной системы и двигателя в целом при использовании альтернативного топлива. Коэффициент готовности трактора при использовании СТ составил 0,94, на СТ<sub>н</sub>–0,96. Относительный показатель надёжности на СТ снизился до 0,65.

Экспериментами установлена высокая достоверность расчётного моделирования энергетических и топливно-экономических показателей дизелей. Применение смесевое топлива на основе РМ<sub>н</sub> сопровождается улучшением вышеприведённых показателей, приближая их к значениям, полученным на ДТ.

При работе дизелей на СТ без нейтрализации РМ происходит снижение мощности на 7–8% и увеличение часового расхода топлива на 7–9% по сравнению с ДТ. При работе на смеси 70% нейтрализованного РМ<sub>н</sub> и 30% ДТ наблюдается улучшение указанных показателей на 3–4 % по сравнению с образцом предыдущего испытуемого топлива.

Показатель дымности ОГ при полной нагрузке на ДТ снижается от 0,21 м<sup>-1</sup> при n=1450 мин<sup>-1</sup> до 0,14 м<sup>-1</sup> при 1850 мин<sup>-1</sup>. На смесевом топливе это снижение составляет 0,23 до 0,11 м<sup>-1</sup>. При нейтрализации смесевое топлива показатель K в указанном скоростном диапазоне снизится от 0,20 до 0,09 (рис. 6). Аналогичные показатели получены на режимах холостого хода и свободного ускорения. Таким образом, применение нейтрализованного рапсового масла в смесевом топливе

позволяет на основных нагрузочно-скоростных режимах работы дизеля по регуляторной характеристике уменьшить дымность отработавших газов с 0,15–0,14 до 0,10–0,09 м<sup>-1</sup>, т.е. в 1,5 раза.

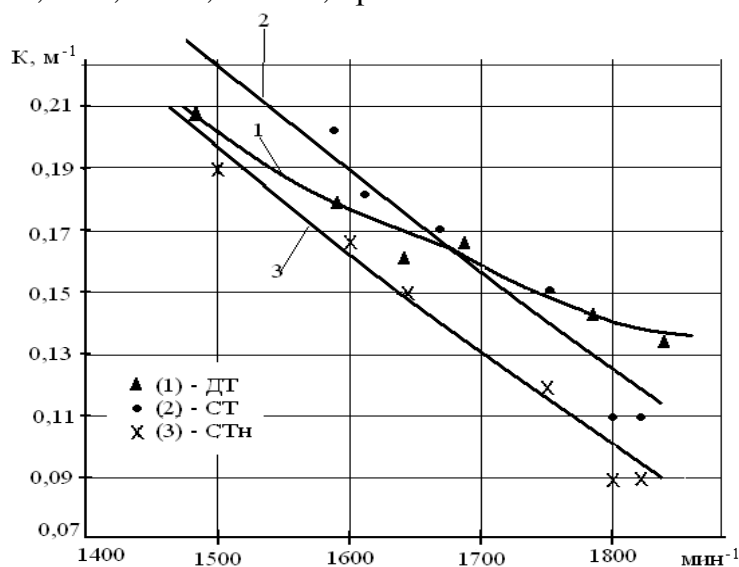


Рисунок 6 – Показатель дымности отработавших газов дизеля Д-21А на корректорной ветви регуляторной характеристики (режим полной нагрузки)

Указанное снижение дымности отработавших газов при нейтрализации рапсового масла объясняется, в первую очередь, уменьшением вязкости и плотности смесового топлива, что приводит к более быстрому и полному его сгоранию. Это имеет существенное значение при работе трактора в закрытых животноводческих помещениях и теплицах.

Сравнительная оценка экспериментальных и расчетных значений показателей использования времени смены  $\lambda_{\tau} = \tau_{ст} / \tau_{дт}$ , технической

производительности  $\lambda_{\Pi} = \Pi_{СТ} / \Pi_{ДТ}$ , энергетических  $\lambda'_{E_{\Pi}} = E_{\Pi_{см}} / E_{\Pi_{дм}} \cdot \lambda_{\tau}$  и топливных  $\lambda'_{q_w} = \lambda_{q_w} / \lambda_{\tau}$  затрат при использовании биотопливных композиций на основе рапсового масла (табл. 5) позволила установить их количественные характеристики для определения комплексного показателя технического уровня универсально-пропашных тракторов.

Таблица 5 – Сравнительная оценка показателей эффективности универсально-пропашных тракторов при использовании биотопливных композиций

Операция	Топливо	Полевые испытания			Моделирование			$\lambda_{\Pi}^o$	$\lambda'_{q_w}$
		$\lambda_{\Pi}$	$\lambda'_{E_{\Pi}}$	$\lambda'_{q_w}$	$\lambda_{\Pi}$	$\lambda'_{E_{\Pi}}$	$\lambda'_{q_w}$		
Культивация сплошная	СТ	0,913	0,987	1,106	0,915	0,985	1,087	0,998	1,017
	СТ <sub>н</sub>	0,966	0,972	1,049	0,958	0,981	1,043	1,008	1,006
Перевозка грузов	СТ	0,927	1,005	1,060	0,930	1,012	1,070	0,997	0,991
	СТ <sub>н</sub>	0,970	0,988	1,032	0,968	0,990	1,045	1,002	0,988

С учетом полученных результатов для оценки технического уровня универсально-пропашных тракторов при использовании биотопливных композиций на основе рапсового масла можно принять следующие значения обобщенных показателей производительности и топливной экономичности: для СТ –  $\lambda_{\Pi} = 0,92$ ,  $\lambda'_{q_w} = 1,083$ ; для СТ<sub>н</sub> – соответственно 0,968 и 1,040.

Использование при регрессивном анализе разработанных моделей позволило получить зависимость комплексного показателя технического уровня по четырем относительным показателям в виде

$$\bar{\lambda}_{\Pi\Gamma} = 0,030 + 0,383\lambda_{\Pi} + 0,322\lambda_{C_w}^1 + 0,175\lambda_n + 0,09\lambda_{\epsilon} \quad (22)$$

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  $a_o=0,030$  представляет собой характеристику влияния неучтенных параметров на комплексный показатель технического уровня трактора. Достоверность и значимость коэффициентов управления регрессии подтверждена величиной коэффициента детерминации 0,86 при доверительной вероятности 0,9.

Действительные  $\bar{\lambda}_{IT}$ , рассчитанные по уравнению (25) и приведенные относительно  $\bar{\lambda}_{IT}$  на дизельном топливе, относительные значения комплексного показателя технического уровня  $\bar{\lambda}_{IT}^o$  представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели оценки технического уровня универсально-пропашных тракторов при использовании биотопливных композиций

Вид топлива	$\bar{\lambda}_{IT}$	$\lambda_{q_w}$	$\lambda_{CT_{max}}$	$\bar{\lambda}_g$	$\bar{\lambda}_n$	$\bar{\lambda}_{IT}$	$\bar{\lambda}_{IT}^o$
ДТ	1,0	1,0	1,0	0	1,0	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	1,0	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 ( $\lambda_g=0$ ). Его значение на СТ при максимально-допустимой стоимости  $\lambda_{CT_{max}}=0,925$  достигает 0,836, в основном из-за низкого показателя надёжности  $\bar{\lambda}_n=0,653$ . Наилучший показатель технического уровня  $\bar{\lambda}_{IT}^o=0,930$  имеют тракторы на СТ<sub>н</sub>, что обусловлено наиболее высоким показателем экологичности  $\bar{\lambda}_g=0,357$ .

При  $\bar{\lambda}_{IT_{ДТ}}^o=1,0$  значения указанного относительного показателя составляют  $\bar{\lambda}_{IT_{СТ}}^o=0,919$  и  $\bar{\lambda}_{IT_{СТн}}^o=1,022$ . Для обеспечения  $\bar{\lambda}_{IT_{СТ}}^o=1,0$  показатель стоимости  $\lambda_{CT}$  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  $\lambda_{CTн}=0,790$  при указанной цене РМ обеспечивает  $\bar{\lambda}_{IT_{СТн}}^o=1,00$  или  $\lambda_{IT_{СТн}}^o=1,099$ .

Анализ полученных результатов показал, что использование приготовленной по разработанной технологии биотопливной композиции на основе нейтрализованного рапсового масла позволяет достигнуть и даже превысить технический уровень универсально-пропашных тракторов на дизельном топливе.

**В пятом разделе** «Оценка эффективности технологии обработки и использования рапсового масла в качестве моторного топлива на сельскохозяйственных тракторах» приведен расчёт технико-экономических показателей производства биотопливной композиции на основе РМ и использование их при работе МТА. Годовая прибыль от внедрения технологии производства и использования СТ<sub>н</sub> на предлагаемых тракторах МТЗ-82.1 и Т-25А составит 128,4228 и 40,0531 тыс. руб/год при сроке окупаемости ПТЛ 3,68 года.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. По результатам анализа состава и условий эксплуатации с.-х. тракторов, а также способов производства и применения биотоплива обоснована структурная схема и модели инновационной ресурсосберегающей технологии обработки и использования рапсового масла в качестве моторного топлива, включающей нейтрализацию жирных кислот с последующим смешиванием масла с дизельным топливом в соотношении (0,7РМ<sub>н</sub>+0,3ДТ) по объёму и подачу подогретой до 60–65 °С биотопливной композиции СТ<sub>н</sub> в цилиндры без существенных конструктивных изменений в дизеле и неизменных регулировочных параметрах топливной аппаратуры.

2. Предложенные математические модели и критерии позволили реализовать систему поэтапной оценки эффективности процессов обработки рапсового масла и применения предлагаемой биотопливной композиции с установлением закономерностей формирования и алгоритма сравнительной оценки показателей эксплуатационных свойств и технического уровня с.-х. трактора.

3. По результатам поэтапного моделирования показателей эффективности, определяющих технический уровень универсально-пропашных тракторов, установлено:

– на основной обработке почвы и транспортной операции использование СТ приводит к снижению потенциальной производительности и ухудшению топливной экономичности соответственно на 5,5–8,7 и 7,3–8,5 %;

– применение СТ<sub>н</sub> на основе нейтрализованного рапсового масла до 4 % улучшает технико-экономические показатели агрегатов, приближая их к полученным на ДТ значениям;

– эффективность использования СТ<sub>н</sub> по удельным денежным затратам обеспечивается при его стоимости  $C_{СТ_{н, макс}} \leq (0,945-0,954)C_{ДТ}$ .

4. Полученные результаты стендовых испытаний позволили:

– подтвердить достоверность положений теоретического анализа и установить рациональную по эффективности циклическую технологию (патент РФ № 2393209) обработки рапсового масла 20% щелочью КОН для нейтрализации жирных кислот при выходе 94% нейтрализованного масла и 6% глицерина: оптимальная температура процесса в нейтрализаторе-смесителе 70 °С, количество КОН – 0,3%, частота вращения лопастей мешалки – 60 мин<sup>-1</sup>, продолжительность процесса – 5–7 минут при энергетическом КПД – 0,958;

– определить основные показатели качества смесового топлива на основе нейтрализованного рапсового масла (0,7 РМ<sub>н</sub>+0,3 ДТ<sub>л</sub>), которые не значительно отличаются ( $Q_{н}=39,292$  МДж/кг; ЦЧ=41;  $\rho_{70}=845$  кг/м<sup>3</sup>;  $v_{70}=7,5$  сСт) от соответствующих показателей летнего дизельного топлива, что характеризует возможность его эффективного использования в тракторных дизелях при подогреве до 60–70 °С без изменения регулировочных параметров и периодичности технического обслуживания дизельной топливной аппаратуры;

– установить, что использование для приготовления смесового топлива СТ<sub>н</sub> нейтрализованного рапсового масла РМ<sub>н</sub> обеспечивает улучшение энергетических и топливно-экономических показателей на 3–4%, снижение дымности отработавших газов ОГ тракторных дизелей со свободным впуском в 1,5–2,1, а также повышение в 1,54 раза ресурса РТИ их топливной системы.

5. Результатами сравнительных лабораторно-полевых испытаний установлено, что использование предлагаемой биотопливной композиции в качестве моторного топлива обеспечивает наивысшее значение комплексного показателя технического уровня

универсально-пропашных тракторов (0,930) за счёт лучшего показателя экологичности при снижении производительности и топливной экономичности почвообрабатывающих и транспортных агрегатов соответственно на 3,0–3,4 и 3,2–3,9%.

6. Экономическая эффективность предлагаемой технологии производства моторного топлива на основе РМ для предприятия с годовой потребностью в топливе 300 – 500 т составляет 543,9168 тыс. руб. при сроке окупаемости ПТЛ 3,68 года. Использование при работе универсально-пропашных тракторов предлагаемой биотопливной композиции на основе нейтрализованного РМ увеличивает до 3,8% приведённые эксплуатационные затраты, однако с учётом энергетической составляющей побочных продуктов прибыль при эксплуатации тракторов МТЗ-82.1 и Т-25А составит 128,4228 и 40,0531 тыс. руб./год.

### По материалам диссертации опубликованы следующие работы

#### а) в рекомендованных ВАК изданиях:

1. Селиванов, Н.И. Использование смесового топлива на основе растительных масел в автотракторных дизелях / Н.И. Селиванов, **А.А. Доржеев** // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2007. – Вып. 1. – С. 238–242.

2. Селиванов, Н.И. Оценка эффективности рабочего цикла дизеля на различных топливах / Н.И. Селиванов, Д.А. Санников, **А.А. Доржеев** // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2008. – Вып. 2. – С. 232–238.

3. Селиванов, Н.И. Оценка технического уровня трактора при использовании альтернативного топлива / Н.И. Селиванов, Д.А. Санников, **А.А. Доржеев** // Вестн. КрасГАУ.– Красноярск, 2011.– Вып. 2. – С. 144–149.

4. Селиванов, Н.И. Модели и алгоритм технического уровня трактора при использовании альтернативного топлива / Н.И. Селиванов, **А.А. Доржеев**, В.Н. Запрудский // Вестн. КрасГАУ.– Красноярск, 2011.– Вып. 2. –С. 158–166.

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

#### б) в других изданиях

6. **Доржеев, А.А.** Применение рапсового масла в дизеле универсально-пропашного трактора / А.А. Доржеев, Д.А. Санников // Молодежь и наука – третье тысячелетие: мат-лы Всерос. науч. конф. студ., асп. и мол. уч. Ч. II / КРО НС «Интеграция». – Красноярск, 2006. – С. 231–233.

7. **Доржеев А.А.** Применение рапсового масла в дизеле трактора Т-25А / **А.А. Доржеев**, Д.А Санников // Студенческая наука – взгляд в будущее: мат-лы Всерос. студ. науч. конф. Ч. 3 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 238–239.

8. **Доржеев А.А.** Способ очистки растительного масла для получения биотоплива / А.А. Доржеев // Инновационные тенденции развития агропромышленного комплекса России: мат-лы II Междунар. (заочной) науч.-практ. конф. мол. уч. Ч. 1 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2009. – С. 137–138.

9. **Доржеев, А.А.**, Технология производства биотоплива из семян рапса на предприятиях АПК / А.А. Доржеев, Д.А. Санников // Молодые учёные – науке Сибири: сб. ст. мол. уч. Вып. 3. Ч. II / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2008. – С. 122–125.

10. Санников, Д.А. Применение рапсового масла в универсально-пропашных тракторах / Д.А. Санников, **А.А. Доржеев**, Н.И. Селиванов // Современные тенденции развития АПК в России: мат-лы V Междунар. науч.-практ. конф. мол. уч. Сибирского федерального округа. Ч. 1 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 104–106.

11. Селиванов, Н.И. Технология производства биотоплива на основе рапсового масла / Н.И. Селиванов, **А.А. Доржиев**. // Машинно-технологическое и сервисное обеспечение сельхозтоваропроизводителей Сибири: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. ВАСХНИЛ А.И. Селиванова (п. Краснообск, 9 – 11 июня 2008 г.) / Россельхозакадемия. Сиб. отд-е. ГНУ СибИМЭ. – Новосибирск 2008. – 648 с.
12. Селиванов, Н.И. Технологические затраты производства биотоплива на основе рапсового масла / Н.И. Селиванов, **А.А. Доржиев**. // Ресурсосберегающие технологии механизации сельского хозяйства: прил. к «Вестнику КрасГАУ»: сб. науч. ст. Вып. 5 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2009. – С. 30–31.
13. Селиванов, Н.И. Методика экспериментальной оценки системы адаптации тракторных дизелей к работе на рапсовом масле / Н.И. Селиванов, Д.А. Санников, **А.А. Доржиев** // Ресурсосберегающие технологии механизации сельского хозяйства: прил. к «Вестнику КрасГАУ»: сб. науч. ст. Вып. 4 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 55–58.
14. Максименко Н.М., Технология производства биотоплива на основе рапсового масла для дизелей АПК / Н.М. Максименко, **А.А. Доржиев** // Теоретический научно-практический журнал МТС. – 2009. – №3. – С. 32 – 34.
15. **Доржиев А.А.** Проблема использования биотоплива и рабочих жидкостей на основе рапсового масла / **А.А. Доржиев**, И.А. Хорош // Инновации в науке и образовании: опыт, проблемы, перспективы развития: мал-лы Всерос. очно-заоч. науч.-практ. и науч.-метод. конф. с междунар. участием. Ч.2. Инновации в научно-практической деятельности / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2010. – С. 47–49.
16. Хорош И.А. Опыт использования альтернативного топлива и рабочей жидкости на основе рапсового масла / И.А. Хорош, **А.А. Доржиев**, Н.В. Кузьмин // Ресурсосберегающие технологии механизации сельского хозяйства: прил. к «Вестнику КрасГАУ»: сб. науч. ст. Вып. 6 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2010. – С. 5–9.
17. **Доржиев А.А.** Производство биотоплива на основе рапсового масла / **А.А. Доржиев** // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы Междунар. заоч. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2009. – С. 116–119.
18. Селиванов Н.И. Адаптация дизеля с воздушным охлаждением к использованию биотоплива / Н.И. Селиванов, Д.А. Санников, **А.А. Доржиев** // Ресурсосберегающие технологии механизации сельского хозяйства: прил. к «Вестнику КрасГАУ»: сб. науч. ст. Вып. 6 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2010. – С. 22–23.
19. **Доржиев А.А.** Производство биотоплива на основе рапсового масла / **А.А. Доржиев** // Проблемы современной аграрной науки: мат-лы междунар. заоч. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2010. – С. 136–138.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 18.03.2011. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ № 1112

Издательство Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117