

ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОТОПЛИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА

Предложен способ нейтрализации рапсового масла для использования в качестве основы моторного топлива при работе на сельскохозяйственных тракторах.

Ключевые слова: биотопливная композиция, рапсовое масло, процесс нейтрализации, жирные кислоты, трактор, технический уровень, оценка.

N.I. Selivanov, A.A. Dorzheev

PREPARATION AND USE OF THE BIOFUEL COMPOSITION ON THE BASIS OF RAPE OIL

The way for rape oil neutralization in order to use it as the motor fuel base when operating the agricultural tractors is offered.

Key words: biofuel composition, rape oil, neutralization process, fat acids, tractor, technical level, estimation.

Введение. Особенности применения топлива на основе растительных масел зависят от способа производства и эксплуатационных свойств получаемого продукта. Основная проблема использования сырых масел связана с существенным отличием их физико-химических свойств от характеристики нефтяного дизельного топлива, а также с ухудшением технологических показателей при хранении (окисление, полимеризация, потеря товарного вида и т.д.). Решается эта проблема комплексно, начиная со стадии выбора сорта возделываемой культуры, включая определение способа и оптимизацию процесса производства растительного масла с заданными свойствами и заканчивая обоснованием методов приготовления и использования моторного топлива.

Одна из главных проблем при работе дизеля на рапсовом масле (РМ) или его смеси с дизельным топливом (ДТ) – повышенное количество углеродистых отложений на поверхности камеры сгорания и закоксовывание сопловых отверстий распылителей форсунок. Повышенные, по сравнению с ДТ, плотность и кинематическая вязкость способствуют увеличению дальности топливного факела и диаметра капель распыленного топлива. Меньший коэффициент сжимаемости приводит к увеличению угла опережения впрыска и максимального давления в форсунке. Наблюдается повышенный износ деталей, разрушение лакокрасочных покрытий, забивание фильтров и т.д. [1].

Предотвратить повышенную агрессивность РМ можно путем нейтрализации раствором щелочи и отделения осадка. При взаимодействии с основаниями (реакция нейтрализации жирной кислоты), с окислами или с активными металлами водород карбоксильной группы жирной кислоты замещается на металл и образуются соли карбоновых кислот. Непосредственно сам химический процесс нейтрализации происходит практически мгновенно. Общая же скорость нейтрализации определяется скоростью протекания наиболее медленной стадии процесса, которой является диффузия молекул жирных кислот к межфазной поверхности, что происходит при отстаивании.

Чтобы ускорить протекание реакции нейтрализации РМ в сторону образования соли, количество гидроксида натрия или калия берут с некоторым избытком [2,3]. Однако при приготовлении моторного топлива на технологию нейтрализации накладывается ряд технических требований, лимитирующих концентрацию щелочи и температурный режим процесса.

Цель работы – дать оценку эффективности технологии приготовления и использования биотопливной композиции на основе рапсового масла при работе сельскохозяйственных тракторов.

Задачи исследования:

- 1) обосновать рациональные режимы процесса нейтрализации рапсового масла;
- 2) выполнить энергетическую оценку технологии приготовления биотопливной композиции на основе нейтрализованного рапсового масла;
- 3) дать оценку показателей технического уровня сельскохозяйственных тракторов при использовании биотопливной композиции на основе нейтрализованного рапсового масла.

Условия и методы исследования. Технологию производства и использования смесевого топлива (СТ_Н) на основе РМ по существу можно разделить на три взаимосвязанные и последовательно выполняемые процессы:

- 1) производство из семян растительного масла-сырца;

- 2) нейтрализация масла-сырца и приготовление 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 надежности, затрат на выполнение технологического процесса и содержания вредных выбросов в отработавших газах (ОГ). Совокупность указанных показателей определяет технический уровень трактора.

На первом этапе проводилась оценка эффективности технологии обработки рапсового масла для использования в качестве основы моторного топлива.

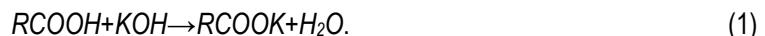
Второй этап предусматривал реализацию моделей оценки эффективности адаптации тракторных дизелей со свободным впуском (Д-240 и Д-21A) к использованию биотопливных композиций на основе сырого (СТ) и нейтрализованного (СТ_н) рапсового масла в качестве моторного топлива.

На третьем этапе оценивался технический уровень тракторов МТЗ-82.1 и Т-25А при использовании указанных биотопливных композиций. В основу положены результаты сравнительных лабораторно-полевых испытаний тракторов на почвообработке и транспортных операциях.

Расчеты 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).

Результаты исследования и их анализ. По результатам планирования эксперимента (3²) в лабораторных условиях установлена зависимость выпавшего в осадок количества солей жирных кислот Y ($V_{\text{сол}}$, %) от концентрации щелочи x_1 ($V_{\text{КОН}} \cdot 0,3/0,1\%$) и температуры процесса нейтрализации x_2 [$(t_m - 70)/10, ^\circ\text{C}$].

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



Адекватное уравнение регрессии, полученное математической обработкой результатов эксперимента, имеет следующий вид:

$$Y = 37,7 + 7,5 \cdot x_1 + (-27,59) \cdot \ln(x_2) + 4,55 \cdot \ln(x_2)^2. \quad (2)$$

Графическая зависимость (рис. 1) изменения количества выпавшего в осадок солей, полученная по уравнению (2), показывает наиболее существенное влияние на его величину температуры процесса.

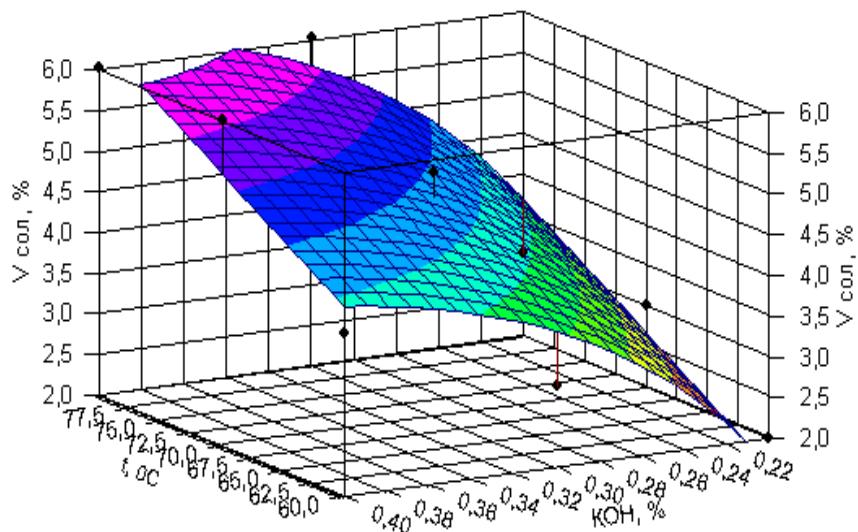


Рис. 1. Влияние температуры процесса и количества КОН на объем выпавшего осадка

При выходе из нейтрализатора-смесителя 94% нейтрализованного масла (PM_h) и 6% осадка, оптимальное значение температуры процесса составляет $70^{\circ}C$, а объемное количество щелочи KOH – 0,3%. В этих условиях обеспечивается ярко выраженная граница разделения осветленной части супензии и осадка. После полного протекания реакции и дальнейшего отстаивания осветления не наблюдается, что является особо важным с технологической позиции, применительно к данному виду топлива.

В таблице 1 приведены показатели технологической линии производства биотопливной композиции на основе нейтрализованного рапсового масла ($70\%PM_h + 30\%DT_l$). В результате обработки 72,5 кг PM количество осадка солей жирных кислот составило 4,35 кг, выход PM_h – 68,15 кг.

Таблица 1

Расход сырья и выход продукции технологической линии производства моторного топлива на основе PM_h , кг/ч

Наименование показателя	Значение показателя
Производительность по биотопливной композиции ($70\%PM_h + 30\%DT_l$) при выходе PM 29 % и кол-ве осадка до 6 %	До 97,71
Выход масла-сырца	72,50
Выход нейтрализованного масла	68,15
Выход жмыха	177,50
Выход осадка солей жирных кислот	4,35
Расход щелочи ($KOH_{20\%}$)	0,275

Для разработанной технологической линии на базе шнекового пресса ПШ-250 полные удельные затраты на прессование семян, отнесенные к теплотворной способности сырого PM (Q_{PM}), составили 41,200 МДж/кг, при его выходе $K_{вых} = 0,29$ (табл. 2). Удельные затраты на нейтрализацию PM (0,436 МДж/кг) определяются потребной мощностью используемого оборудования, расходом щелочи и выходом нейтрализованного масла PM_h .

Таблица 2

Энергетические показатели технологии производства биотопливной композиции из семян рапса

Технологическая операция	Полные удельные затраты i -го процесса \mathcal{E} , МДж/кг	КПД i -го процесса η	Выход i -го продукта $K_{вых}$	Энергосодержание, продукта Q_h , МДж/кг
Прессование	41,200	0,909	(PM) 0,29	37,450
Нейтрализация	0,436	0,958	(PM_h) 0,273	37,868
Смешивание	1,438	0,990	(CT_h) 0,383	39,292
Вся технология	43,074	0,862	0,383	39,292

На стадии смешивания 70% PM_h с 30% DT значение показателя энергосодержания биотопливной композиции (CT_h) достигает 39,292 МДж/кг, а общий КПД поточно-технологической линии производства моторного топлива на основе PM_h ($\eta_{\mathcal{E}}$) равен 0,862 при выходе конечного продукта (смесевого топлива CT_h) $K_{вых}=0,383$.

Анализ образцов полученной биотопливной композиции (смеси нейтрализованного PM_h с DT в соотношении 0,7:0,3) показал снижение, за счет нейтрализации масла, вязкости на 15–20% в температурном диапазоне 25–75°C и плотности на 3%, т.е. с 865 до 845,5 кг/м³ при $tCT_h = 65^{\circ}C$.

По результатам планирования эксперимента (3²) в лабораторно-стендовых условиях получены значения цикловой подачи Y (V_d , мг/цикл) в зависимости от давления начала впрыскивания x_1 [$(P_{впр}, -18)/2$, МПа] и температуры x_2 [$(t_T, -70)/20, ^{\circ}C$].

Математическая обработка позволила получить численные значения коэффициентов адекватного уравнения регрессии

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

Полученное уравнение протабулировано в интервалах $P_{впр} = 16\text{--}20 \text{ МПа}$ и $t_{\text{н}} = 50\text{--}90^\circ\text{C}$, что позволило определить графическую зависимость результативного признака оптимизации от факторов воздействия (рис. 2), которая показывает наиболее существенное влияние на цикловую подачу температуры СТ_н.

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

Предварительно нагретое до 65–70°С СТ_н обеспечивает стабильную работу ТНВД. Номинальная цикловая подача топлива насосами НД-21/2 и 4УТНМ уменьшилась после нейтрализации РМ на 3–5%.

Эффективная работа дизеля обеспечивается предварительным подогревом СТ_н до температуры 65–70°С, что достигается установкой теплообменного аппарата в линии низкого давления перед фильтром тонкой очистки (патент РФ № 2305791).

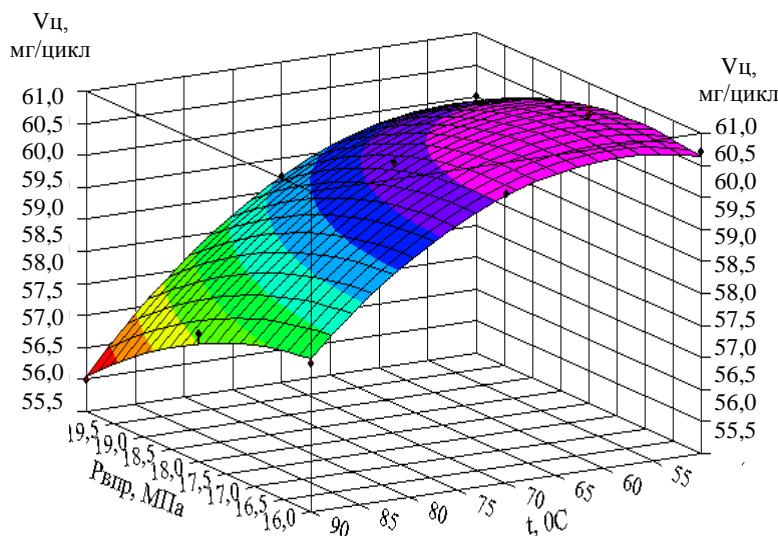


Рис. 2. Влияние температуры и давления начала впрыскивания на цикловую подачу СТ_н

Органолептическая оценка состояния резинотехнических изделий (РТИ) топливной аппаратуры при погружении в смесь сырого масла и дизельного топлива (СТ) показала, что в течение 72 ч произошло изменение их внешнего вида, размеров и структуры (появились отчетливо заметная их поверхностная разрыхленность и отклонение до 30% от начальных размеров), что отсутствует у изделий, находившихся в образце биотопливной композиции (СТ_н) на основе нейтрализованного масла.

Указанное изменение размеров и структуры РТИ объясняется существенным снижением агрессивности биотопливной композиции на основе нейтрализованного масла.

Наработка на отказ (до замены РТИ) увеличилась при этом с 640 до 960 мото. ч., а относительный показатель надежности $\bar{\lambda}_n$ повысился с 0,65 до 1,0.

При использовании биотопливной композиции на основе РМ_н происходит снижение на 3–4% эксплуатационной мощности и соответствующее увеличение удельного расхода топлива по сравнению с ДТ. Улучшение указанных показателей за счет нейтрализации составляет 3–4%.

Анализ дымности отработавших газов на режимах полной нагрузки (рис. 3), холостого хода и свободного ускорения показал, что применение СТ_н уменьшает дымность отработавших газов на основных нагрузочно-скоростных режимах работы дизеля по регуляторной характеристике в 1,5 раза по сравнению с ДТ.

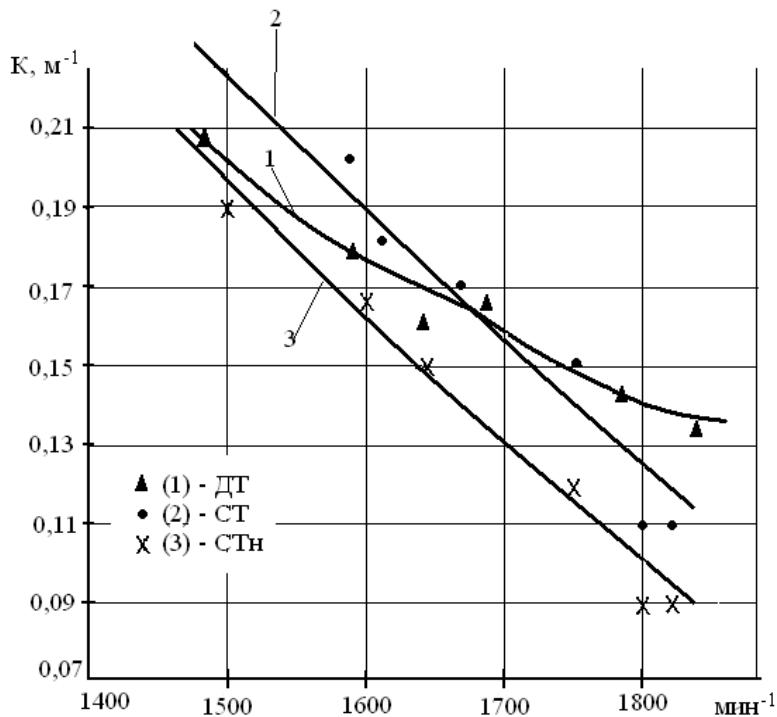


Рис. 3. Показатель дымности отработавших газов дизеля Д-21А на корректорной ветви регуляторной характеристики (режим полной нагрузки)

Это имеет существенное значение при работе трактора в закрытых животноводческих помещениях и теплицах. Использование при регрессионном анализе разработанных моделей [4] позволило получить зависимость комплексного показателя технического уровня по четырем относительным показателям в виде

$$\bar{\lambda}_{\Pi_T} = 0,030 + 0,383\lambda_{\Pi} + 0,322\lambda_{C_w}^{-1} + 0,175\lambda_h + 0,09\lambda_s \quad (4)$$

По степени влияния на комплексный показатель технического уровня обобщенные показатели распределились следующим образом: производительность $\bar{\lambda}_{\Pi_T}$; удельная стоимость процесса λ_{C_w} ; надежность агрегатов топливной системы дизеля $\bar{\lambda}_h$; дымность отработавших газов. Достоверность и значимость коэффициентов уравнения регрессии подтверждена величиной коэффициента детерминации 0,86 при доверительной вероятности 0,9.

Действительные $\bar{\lambda}_{\Pi_T}$, рассчитанные по уравнению (4) и приведенные относительно $\bar{\lambda}_{\Pi_T}$ на ДТ, значения комплексного показателя технического уровня $\bar{\lambda}_{\Pi_T}^o$ представлены в таблице 3.

Показатель технического уровня тракторов на ДТ равен 0,910, что ниже экстремального (максимального) на 0,09 из-за высокой дымности отработавших газов ($\lambda_s=0$). Его значение на СТ при максимально-допустимой стоимости $\lambda_{CT_{max}}=0,925$ достигает 0,836, в основном из-за низкого показателя надежности $\bar{\lambda}_h=0,653$. Наилучший показатель технического уровня $\bar{\lambda}_{\Pi_T}=0,930$ имеют тракторы на СТ_н, что обусловлено наиболее высоким показателем экологичности $\bar{\lambda}_s=0,357$.

Таблица 3

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

Вид топлива	$\bar{\lambda}_{\Pi}$	λ_{CT_w}	$\bar{\lambda}_o$	$\bar{\lambda}_n$	$\bar{\lambda}_{\Pi_T}$	$\bar{\lambda}_{\Pi_T}^o$
ДТ	1,0	1,0	0	1,0	0,910	1,00
СТ	0,920	1,0018	0,214	0,653	0,836	0,919
СТ _н	0,968	0,988	0,357	1,0	0,930	1,022

Выводы

1. По результатам анализа способов производства и применения биотоплива обоснована ресурсосберегающая технология обработки и использования РМ в качестве основы моторного топлива, включающая нейтрализацию жирных кислот с последующим смешиванием масла с ДТ в соотношении (0,7РМ_н+0,3ДТ) по объему и подачу подогретой до 60–65°C биотопливной композиции СТ_н в цилиндры без существенных конструктивных изменений в дизеле и неизменных регулировочных параметрах топливной аппаратуры.

2. Полученные результаты стендовых испытаний позволили:

– установить ресурсосберегающую циклическую технологию (патент РФ № 2393209) обработки рапсового масла 20% щелочью КОН для нейтрализации жирных кислот при выходе 94% РМ_н и 6% солей жирных кислот: оптимальная температура процесса в нейтрализаторе-смесителе 70 °C, количество КОН – 0,3%, частота вращения лопастей мешалки – 60 мин⁻¹, продолжительность процесса – 5–7 мин при энергетическом КПД – 0,958;

– определить основные показатели качества биотопливной композиции на основе нейтрализованного рапсового масла (0,7 РМ_н+0,3 ДТ_л), которые не значительно отличаются ($Q_n=39,292$ МДж/кг; ЦЧ=41%; $\rho_{70}=845$ кг/м³; $v_{70}=7,5$ сСт) от соответствующих показателей летнего дизельного топлива, что характеризует возможность ее эффективного использования в тракторных дизелях при подогреве до 60–70 °C без изменения регулировочных параметров и периодичности технического обслуживания дизельной топливной аппаратуры;

– установить, что нейтрализация РМ обеспечивает улучшение энергетических и топливно-экономических показателей тракторных дизелей со свободным впуском на 3–4% при снижении дымности отработавших газов в 1,3–2,1 и повышение в 1,54 раза ресурса РТИ топливной системы.

3. Результатами сравнительных лабораторно-полевых испытаний установлено, что использование предлагаемой биотопливной композиции в качестве моторного топлива обеспечивает наивысшее, по сравнению с полученным на ДТ, значение комплексного показателя технического уровня универсально-пропашных тракторов (0,930) за счет лучшего показателя экологичности при снижении производительности и топливной экономичности почвообрабатывающих и транспортных агрегатов соответственно на 3,0–3,4 и 3,2–3,9%.

Литература

1. Доржеев А.А. Технология приготовления и использования биотопливной композиции на сельскохозяйственных тракторах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 2011. – 20 с.
2. Поверхностно-активные вещества на основе рапсового масла / Л.Н. Пунегова [и др.] // Химия и технология растительных веществ: мат-лы II Всерос. конф. / Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова КазНЦ РАН. – Казань, 2001.
3. Селиванов Н.И., Доржеев А.А. Технология производства биотоплива на основе рапсового масла // 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 СО, ГНУ СиБИМЭ. – Новосибирск, 2008. – 648 с. – Казань, 2002.
4. Селиванов Н.И. Санников Д.А., Доржеев А.А. Оценка технического уровня трактора при использовании альтернативного топлива // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2011. – Вып. 2. – С. 144–149.

