

УДК 629.114.2

**МОДЕЛИ И РЕЗУЛЬТАТ ОЦЕНКИ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ РАПСОВОГО  
МАСЛА ОТ ВОСКОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ БИОТОПЛИВНОЙ  
КОМПОЗИЦИИ**

*Доржеев А.А.*

*Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия*

*Аннотация:* В статье приведены модели очистки рапсового масла от восков, а также результаты лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации и оценки низкотемпературных свойств биотопливных композиций.

*Ключевые слова:* рапсовое масло, дизельное топливо, биотопливные композиции, модели процесса очистки, коэффициент фильтрации, низкотемпературные свойства, температура застывания, температура помутнения.

**MODELS AND THE EVALUATION RESULT OF PROCESS OF RAPESEED  
OIL PURIFICATION FROM WAX IN RECEIVING THE BIOFUEL  
COMPOSITION**

*Dorzheev A.A.*

*Krasnoyarsk state agrarian university, Krasnoyarsk, Russia*

*Abstract:* The paper presents the models of rapeseed oil purification from waxes, as well as the results of laboratory tests to determine the hydraulic conductivity and evaluation of low-temperature properties of the biofuel compositions.

*Key words:* rapeseed oil, diesel fuel, biofuel compositions, models of purification process, filter coefficient, low temperature properties, chill point, cloud point.

Применение биотопливных композиций на основе растительных масел в автотракторных дизелях сопровождается плохой прокачиваемостью по системе питания, забиванием топливных фильтров. Помимо этого затрудняется пуск двигателя при отрицательных температурах, работа дизелей неустойчива при его прогреве, что объясняется отличительными физико-химическими характеристиками растительных масел по сравнению с минеральным дизельным топливом. Рапсовое масло (РМ), применяемое в качестве основы моторного топлива, обладает повышенными вязкостью и плотностью, температурами помутнения и застывания, а также большим значением поверхностного натяжения.

Причиной высоких температур фильтруемости и застывания биотопливных композиций является присутствие в рапсовом масле восков и

воскоподобных веществ, которые находятся в оболочке и растворяются на стадиях переработки семян рапса. Наличие восков в количестве до 0,3% вызывает трудности при переработке, хранении и использовании биотопливной композиции на основе рапсового масла.

Апробированным способом выведения восков и воскоподобных веществ из растительных масел, используемым за рубежом и на отечественных предприятиях, является вымораживание «винтеризация». Физически этот процесс схож с процессом кристаллизации из жидкой фазы твёрдых веществ с положительной растворимостью (растворимость увеличивается с увеличением температуры). Выделение восков происходит в процессе образования центров кристаллизации высокоплавких включений в растительном масле и рост кристаллов от минимума к максимуму в определённых условиях производства ( $V_{кр.} \rightarrow \max$ ) при последующем их отделении механическим способом.

Обобщенный вид материального баланса выделения восков из растительного сырья с учётом потерь на влагу описывается уравнением

$$G_{mi} = G_e + G_{mo} + W, \quad (1)$$

где  $G_{mi}$ ,  $G_e$ ,  $W$  – массы (кг) исходного раствора (растительного масла), полученного воска в твёрдом состоянии, очищенной части масла и удалённой влаги соответственно.

Согласно технологии производства биотопливной композиции на основе рапсового масла для автотракторных дизелей [1], где предлагается винтеризация смеси 70% нейтрализованного РМ и 30% дизельного топлива, при добавлении с исходное масло дизельного топлива (получение биотопливной композиции) уравнение (1) примет вид

$$G_{mi} = G_e + G_{mo} + G_{dm} + W, \quad (2)$$

где  $G_{dm}$ , – масса добавляемого в смесь минерального дизельного топлива, кг.

Тогда материальный баланс по кристаллизованному и отделённому воску примет вид

$$G_{mi} x_n = G_e a + G_{mo} x_m, \quad (3)$$

где  $x_m$ ,  $x_n$  – концентрации соответственно исходного и очищенного растворов масс, %;  $a = M/M_e$  – отношение молекулярных масс обезвоженного воска и восковой фракции, содержащей непреходимую в текущем процессе влагу при кристаллизации без присоединения молекулы воды ( $M = M_e$ ,  $a = 1$ ).

С учётом присоединения кристаллизованной в данном процессе парафиновой части, присутствующей в дизельном топливе, массы образовавшихся восков и воскоподобных высокоплавких веществ найдутся по уравнению

$$M_e = G_{mi} - G_{dm} W_e, \quad (4)$$

где  $W_e$  – масса влаги, содержащаяся в восковой части, кг.

Удельные энергетические затраты на процесс отделения восков от масла в винтеризаторе выразятся как:

$$M_e = G_{mi} - G_{dm} W_e, \quad \mathcal{E}_3 = \mathcal{E}_3 \quad (5)$$

Конкретные параметры технологических процессов могут быть оптимизированы на основании уже известных математических моделей,

регрессионных и других зависимостей, полученных как экспериментальным, так и аналитическим путём.

Поскольку процесс нейтрализации растительного масла предусматривает кратковременное перемешивание и выпадение осадка, математическая модель потока, возникающая в аппарате, может быть представлена в виде типовой модели идеального смешения с начала добавления раствора щёлочи, до начала разделения фаз суспензии (очищенного масла и солей жирных кислот). Согласно этой модели принимается равномерное распределение субстанции во всём потоке в указанном интервале.

Модели идеального смешения соответствуют процессы, происходящие в цилиндрических аппаратах со сферическим дном в условиях перемешивания при наличии отражательных перегородок (для получения более однородной системы [2]), тогда зависимость между концентрацией субстанции на входе  $x_{\text{вх}}$  и выходе  $x_{\text{вых}}$  при установленных значениях объёмной скорости потока  $V_a$  и объёма системы  $V_a$  имеет вид

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \frac{V}{V_a} (x_{\text{вх}} - x_{\text{вых}}) \quad (6)$$

Функция отклика системы имеет вид [2]

$$\chi(\tau) d(\tau) = \frac{V}{V_a} e^{-V\tau/V_a} d\tau = \frac{e^{-\tau/\bar{\tau}}}{\tau} \quad (7)$$

где  $\bar{\tau}$  – среднее время пребывания продукта в системе;  $V$  – объёмная скорость потока;  $V_a$  – объём системы.

Безразмерное время для процессов, равное

$$\theta = \tau \frac{V}{V_a} \quad (8)$$

В технологической цепи [1] стадия винтеризации проводится после нейтрализации и смешивания нейтрализованного рапсового масла (РМн) с дизельным топливом, что минимизирует затраты на воскоотделение, поскольку решается вопрос понижения вязкости и исчезает необходимость нагрева РМ при фильтрации. На стадии фильтрации происходит окончательное извлечение восков и кристаллизованных воскоподобных веществ из основы моторного топлива, кроме того, данная стадия очистки сопровождается присоединением парафиновой части ДТ к растительным воскам.

Из кинетического уравнения процесса фильтрования следует

$$\frac{dV}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu_{\text{ж}} (R_0 + R_{\text{ф.п.}})} \quad (9)$$

где  $V$  – объём фильтра,  $\text{м}^3$ ;  $F$  – площадь поверхности фильтрования,  $\text{м}^2$ ;  $\tau$  – продолжительность фильтрования, с;  $\Delta p$  – перепад давлений,  $\text{Н/м}^2$ ;  $\mu_{\text{ж}}$  – динамическая вязкость жидкой фазы,  $\text{Н}\cdot\text{с/м}^2$ ;  $R_0$  и  $R_{\text{ф.п.}}$  – сопротивление соответственно осадка и фильтровальной перегородки,  $\text{м}^{-1}$ .

Температура помутнения топлива (в данном случае - биотопливной композиции) определяется по ГОСТ 5066-91. [3] Прогнозирование температур застывания ( $t_3, ^\circ\text{C}$ ) жидких углеводородов проводится по уравнению [4]

$$t_3 + 273,15 \text{ } ^\circ\text{K} = \sum v_i \cdot t_{3i} + 273,15 \text{ } ^\circ\text{K}, \quad (10)$$

где  $n_3$  – эмпирические показатели степени (справочные);  $v_i$  – объемные доли компонентов и псевдокомпонентов (узких фракций, в т.ч. восков),  $t_{3i}$  – температуры застывания компонентов и узких фракций (в т.ч. восков).

По моделям (1-10) и методике [5] проведена оценка низкотемпературных свойств и коэффициента фильтруемости рапсового масла и биотопливных композиций на его основе. Лабораторные исследования проводились согласно стандартам:

- ГОСТ 20287-91 (Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания);
- ГОСТ 5066-91 (Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации);
- ГОСТ 22254-92 (Топливо дизельное. Метод определения предельной температуры фильтруемости).
- ГОСТ 19006 (Топливо дизельное. Метод определения коэффициента фильтруемости).

В качестве испытуемых образцов использовались: ДТ марки Л.01-40; рапсовое масло (сорт семян «Надежный-92»), полученное холодным прессованием в ПК «Налобинский» Рыбинского района Красноярского края; нейтрализованное рапсовое масло, очищенное по разработанной ранее технологии [1]; смесевые топлива (СТ<sub>н</sub>) в соотношениях 30%ДТ+70%РМ<sub>н</sub> и 25%ТС-1+75%РМ<sub>н</sub>.

Результаты тестирования образцов рапсового масла и биотопливных композиций на его основе представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели низкотемпературных свойств рапсового масла и биотопливных композиций на его основе

Температура, $^\circ\text{C}$	ДТ (Л.01-40)	РМ	РМ <sub>н</sub>	СТ <sub>н</sub> (30%ДТ +70% РМ <sub>н</sub> )	СТ <sub>н</sub> (25%ТС-1 +75% РМ <sub>н</sub> )
фильтрации (предельная)	-5	-1	-10	-9	-11
помутнения	-5	-2	-12	-10	-12
застывания	-10	-18	-20	-16	-16

В результате лабораторных исследований установлено, что смесевые топлива на основе нейтрализованного рапсового масла, имеет температуру помутнения на 5-7 $^\circ\text{C}$  ниже, чем летнее дизельное топливо, что пропорционально сказывается на их предельной температуре фильтрации. Низкотемпературные свойства СТ<sub>н</sub> с применением вымораживания РМ позволяют использовать его при температурах ниже минус 9-11 $^\circ\text{C}$ .

Помимо низкотемпературных свойств в ходе исследований проведена оценка фильтруемости биотопливных композиций в диапазоне рабочих температур, для этого использовалась бумага фильтровальная «БФДТ» без армированного слоя ТУ ОП 13-0279514-06-92[3].

Коэффициент фильтруемости определялся в различных соотношениях РМ<sub>н</sub> и ДТ от 0 до 100% и в обратном порядке (таблица 2).

Данные таблицы 2 свидетельствуют о том, что коэффициент фильтрации смесевое топлива (70%РМ<sub>н</sub>+30%ДТ) выходит за пределы, предъявляемые требованиями к дизельным топливам во всем диапазоне температур проведенного тестирования.

Таблица 2 – Результаты оценки коэффициента фильтруемости биотопливных композиций на основе нейтрализованного рапсового масла

Соотношение смеси РМ <sub>н</sub> /ДТ	Коэффициент фильтруемости при температуре топлива, °С						
	по ГОСТ 19006				рабочие температуры		
	10	20	30	40	50	60	70
0/100	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	2,5
10/90	3,2	3,1	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9
20/80	3,3	3,2	3,1	3,1	3,1	3,0	3,0
30/70	3,4	3,4	3,3	3,2	3,2	3,0	3,0
40/60	3,5	3,4	3,4	3,3	3,2	3,1	3,1
50/50	3,7	3,5	3,5	3,4	3,4	3,3	3,2
60/40	3,9	3,9	3,7	3,5	3,4	3,3	3,2
70/30	4,1	4,1	3,8	3,7	3,5	3,4	3,1
80/20	5,1	5,0	4,9	4,5	4,1	3,9	3,9
90/10	5,6	5,5	5,2	5,2	5,0	4,8	4,8
100/0	6,1	6,1	6,0	6,0	5,9	5,8	5,7

Анализ полученных данных показывает, что штатной системы очистки топлива на дизеле недостаточно для обеспечения надежной и бесперебойной очистки биотопливных композиций, включающих более 70%РМ<sub>н</sub>. Смесь с содержанием более 70% рапсового масла имеет допустимый для дизельных топлив коэффициент фильтрации (не более 3) при температуре +60°С и выше. Полученные данные подтверждает необходимость подогрева биотопливных композиции до температуры 60-70°С в линии низкого давления системы питания дизеля. Также требуется совершенствование линии фильтрации штатных топливных систем дизелей при переводе на моторное топливо на основе растительных масел.

Повысить эксплуатационные свойства биотопливных композиций возможно путем дополнительного извлечения сопутствующих веществ из рапсового масла на стадии производства.

## Литература

1. Доржеев, А.А. Очистка рапсового масла от восков при получении биотопливной композиции / А.А. Доржеев. Материалы VI Международ. Науч.-практ. конф. молодых учёных. – Краснояр. гос. аграр. ун-т; - Красноярск, 2013 С. – 47-49.
2. Курочкин, А.А. Основы расчёта и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств [Текст] / А.А. Курочкин, В.М. Зимняков; под ред. А.А. Курочкина. – М.: КолосС, 2006. – 320 с.
3. ГОСТ 5066-91. Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. 15 с.
4. Касперович, А.Г. Промысловая подготовка и переработка газоконденсатов / А.Г. Касперович, В.Ф. Новопашин, Р.З. Магарил, А.К. Пестов: Учебное пособие. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. – 80 с.
5. ГОСТ 5066-91. Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. 15 с.