

ВЫБОР СОСТАВА МЕТАНОЛО-РАПСОВОЙ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ТОПЛИВА ДИЗЕЛЯ

SELECTION OF THE METHANOL-RAPESEED EMULSION COMPOSITION FOR ITS USING AS FUEL FOR A DIESEL ENGINE

А.В. ШЕМЯКИН¹, д.т.н.
В.В. ТЕРЕНТЬЕВ¹, к.т.н.
Ю.А. ПАНОВ², к.т.н.
А.А. ИВАНОВ²

¹ Рязанский государственный агротехнологический университет, Рязань, Россия,

² Тверская государственная сельскохозяйственная академия, Тверь, Россия, wtf62ryazan@yandex.ru

A.V. SHEMYAKIN¹, DSc in Engineering
V.V. TERENT'EV¹, PhD in Engineering
YU.A. PANOV², PhD in Engineering
A.A. IVANOV²

¹ Ryazan State Agrotechnological University, Ryazan, Russia,

² Tver State Agricultural Academy, Tver, Russia, wtf62ryazan@yandex.ru

Целью исследования является подготовка и проведение теоретического исследования оптимального количественного и качественного состава метанола-рапсовой эмульсии для применения ее в качестве альтернативного топлива для дизельного двигателя, так как наиболее эффективным способом улучшения качества указанных процессов является приближение свойств биотоплив на основе растительных масел к свойствам стандартного дизельного топлива. Представлены методика и результаты планирования полного трехфакторного эксперимента по определению качественного и количественного состава метанола-рапсовой эмульсии. Методика проведения предусматривает определение количества эмульгатора, содержание метанола в составе эмульсии и кратность ее гомогенизации для получения максимального времени стабильности эмульсии. В рамках планирования эксперимента производится расчет плана эксперимента по выбранным изменяемым показателям, определяются коэффициенты уравнения математической модели, проводится статистическая оценка адекватности математической модели, строятся диаграммы изолиний с возможностью выявления точки экстремума. Рассматриваемый эксперимент определен как полный трехфакторный эксперимент. Получены уравнения математической модели с учетом всех изменяющихся показателей и с учетом постоянного показателя – кратности гомогенизации. Анализ результатов планирования эксперимента показывает значимость полученной модели по критерию Стьюдента и адекватность уравнения модели по критерию Фишера и, как следствие, применимость для решения производственно-рецептурных задач. Экстремуму функции отклика уравнения модели соответствуют значения факторов: концентрация эмульгатора – 5,376 %, содержание метанола – 29,38 %, кратность гомогенизации – 3. Время стабильности эмульсии при этих значениях составит 14,513 минут. Результаты проведенных исследований подтверждают возможность применения метанола-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива для дизеля Д-242.

Ключевые слова: дизель, трехфакторный план, математическая модель, эмульсия, рапсовое масло.

The aim of the research is a preparation and a conducting of the theoretical research work of optimal quantitative and qualitative composition of the methanol-rapeseed emulsion for an application as an alternative fuel for the diesel engine, since the most effective way to improve the quality of these processes is an approximation of the biofuel's qualities on the basis of vegetables oils to the standard diesel fuel properties. The methodology and results of the planning of a complete three-factor experiment on the determination of the qualitative and quantitative methanol-rapeseed emulsion composition are reported. The methodology provides a determination of emulsifier quantity, a content of methanol in the emulsion and a multiplicity of its homogenization for obtaining the maximum emulsion's stability time. Within the framework of an experiment planning a plan of the experiment of selected variable indicators are conducted, coefficients of an equation of the mathematical model are determined, statistical estimation of the adequacy of the mathematical model is carried out, the contour diagrams with the possibility of identifying an extremum point. The experiment under review is defined as a complete three-factor experiment. Equations of the mathematical model with an account of all changing indicators and an account of a constant index – the multiplicity of homogenization have been obtained. Analysis of the results of the experiment planning shows a significance of obtained model by the Student's t-test and an adequacy of the model equation by the Fisher's exact test, and as a consequence the applicability for solving production-prescription problems. The extremum of response function of the model equation corresponds to the values of factors: concentration of emulsifier – 5,376 %, content of methanol – 29,38 %, rate of homogenization – 3. The stability time of the emulsion at these values is 14,513 minutes. The results of conducted investigations support a possibility of the methanol-rapeseed emulsion application as motor fuel for the diesel engine D-242.

Keywords: diesel engine, three-factor model, mathematical model, emulsion, rapeseed oil.

Введение

Важным свойством растительных масел, используемых для производства биотоплива, является способность смешиваться в любых пропорциях с большинством органических растворителей (в том числе и с нефтепродуктами – бензином, керосином и дизельным топливом). Это свойство растительных масел позволяет получать моторные топлива с заданными физико-механическими свойствами путем смешивания различных компонентов в требуемых пропорциях. Результаты исследований подтверждают возможность использования в качестве топлива для дизелей «чистых» растительных масел, а также смесей с традиционным дизельным топливом [1–3]. Но использование биотоплив на основе растительных масел сдерживается отличиями их физико-механических свойств от свойств стандартного дизельного топлива. В частности, одной из наиболее острых проблем, возникающих при работе дизеля на рапсовом масле, является его повышенная вязкость [4–7]. Эффективным способом улучшения качества указанных процессов является приближение свойств биотоплив на основе растительных масел к свойствам стандартного дизельного топлива. Одним из таких способов получения топлива является эмульгирование метанола в среде рапсового масла.

При проведении экспериментов и теоретических расчетов совместно с получением образца эмульсии и имитации взаимодействия элементов системы широко применяется функциональное моделирование, результатом которого является получение уравнения математической функции, описывающей поведение объекта исследования независимо от внутренней структуры системы. Функциональная модель работает по принципу «черного ящика», при этом известны параметры «входа» – переменные или постоянные факторы, а также параметры «выхода» – критерий эффективности, отклик и т.д.

Объекты и методы

В рамках планирования эксперимента производится расчет плана эксперимента по выбранным изменяемым показателям, определяются коэффициенты уравнения математической модели, проводится статистическая оценка адекватности математической модели, строятся диаграммы изолиний с возможностью выявления точки экстремума. Рассматриваемый эксперимент определен как полный трехфакторный эксперимент.

Экспериментальная часть

Построение функциональных моделей экспериментальных зависимостей свойств метанола-рапсовой эмульсии от его состава включает следующие этапы [8–10]:

- выбор факторов, определяющих изменчивость оптимизируемых параметров;
- выбор интервалов изменения факторов;
- выбор плана и условий проведения эксперимента;
- обработка результатов эксперимента с построением математических моделей зависимостей свойств метанола-рапсовой эмульсии от выбранных факторов.

Результаты и выводы

В качестве входных факторов приняты: концентрация эмульгатора – X_1 , кратность гомогенизации – X_2 , концентрация метанола в составе эмульсии – X_3 .

В расчете факторного плана значения уровней входных факторов принимаются в кодированном виде, при этом основной уровень (центр плана) каждого фактора обозначается как «0», а нижний и верхний уровни: «–1» и «+1» соответственно (табл. 1).

Для определения воспроизводимости измерений выходного параметра Y , в качестве которого выбрано время стабильности метанола-рапсовой эмульсии, проведены параллельные измерения. Согласно плану эксперимента рас-

Таблица 1

Факторы и интервалы их варьирования

	Нижний уровень (–1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
X_1	5	7	9	2	Эмульгатор, %
X_2	1	2	3	1	Кратность
X_3	10	30	50	20	Метанол, %

считано десять опытов по два параллельных испытания в каждом. Выходные параметры, наименование выходного параметра и количество параллельных замеров представлены в табл. 2.

После проверки введенных данных рассчитываются коэффициенты математической модели (табл. 3), и выводится функция отклика.

Уравнение математической модели:

$$Y = 17,391 + 13,481 X_1 + 0,8 X_2 + (-6,068) X_3 + 7,082 X_1^2 + 0,836 X_2^2 + (-2,331) X_3^2 + (-2,169) X_1 X_2 + (-5,81) X_1 X_3 + 1,206 X_2 X_3. \quad (1)$$

После получения математической модели проверялась значимость коэффициентов модели. Проверка коэффициентов на значимость производится с помощью критерия Стьюдента (t -критерия), представленного в табл. 4 и 5.

Проверка адекватности математической модели производится по критерию Фишера. Определены необходимые показатели для оценки адекватности модели (табл. 6).

По критерию Фишера уравнение математической модели является адекватным. Модель применима для решения производственно-ре-

Таблица 2

План эксперимента и выходные параметры опытов

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (время стабильности, с)	
	X_1	X_2	X_3	эмульгатор	кратность	метанол	$Y(u,1)$	$Y(u,2)$
1	-1	-1	-1	5	1	10	9	7
2	+1	-1	-1	9	1	10	54	48
3	-1	+1	-1	5	3	10	12	11
4	-1	-1	+1	5	1	50	4	6
5	-1	0,19	0,19	5	2,19	33,8	11	12
6	0,19	-1	0,19	7,38	1	33,8	19	19
7	0,19	0,19	-1	7,38	2,19	10	28	22
8	-0,29	+1	+1	6,42	3	50	10	12
9	+1	-0,29	+1	9	1,71	50	25	23
10	+1	+1	-0,29	9	3	24,2	44	37

Таблица 3

Коэффициенты уравнения математической модели

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
17,391	13,481	0,8	-6,068	7,082	-2,169	-5,81	0,836	1,206	-2,331

Таблица 4

Табличные значения критерия Стьюдента

Показатель	Значение
Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах	6,95
Число степеней свободы	10
Табличное значение критерия Стьюдента	2,23

Таблица 5

Критерии Стьюдента и значимость коэффициентов модели

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
t -критерий	7,081	12,82	0,761	5,772	3,486	1,731	4,636	0,411	0,962	1,147
Значимость	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0

Критерий Фишера и показатели адекватности модели

Показатель	Значение
Дисперсия адекватности математической модели	23,076
Число степеней свободы при значимых коэффициентах	5
Табличное значение критерия Фишера	3,33
Расчетное значение критерия Фишера	3,32

цептурных задач. В качестве постоянного фактора с точки зрения технологического процесса приготовления эмульсии принята кратность гомогенизации $X_2 = 3$.

Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора:

$$Y = 17,391 + 13,481 X_1 + 0,8 + (-6,068) X_3 + 7,082 X_1^2 + 0,836 + (-2,331) X_3^2 + (-2,169) X_1 + (-5,81) X_1 X_3 + 1,206 X_3. \quad (2)$$

На основе полученной математической модели построена диаграмма изолиний в координатах X_1 и X_3 (рис. 1).

Диаграмма изолиний позволяет получать координаты факторного поля и значения выходного параметра.

Обработка данных планируемого эксперимента завершается определением наличия экстремума функции отклика. Экстремум функции отклика полученной математической модели находится в пределах варьирования переменных факторов. При этом значение экстремума составляет $Y_{opt} = 14,513$. Экстремуму

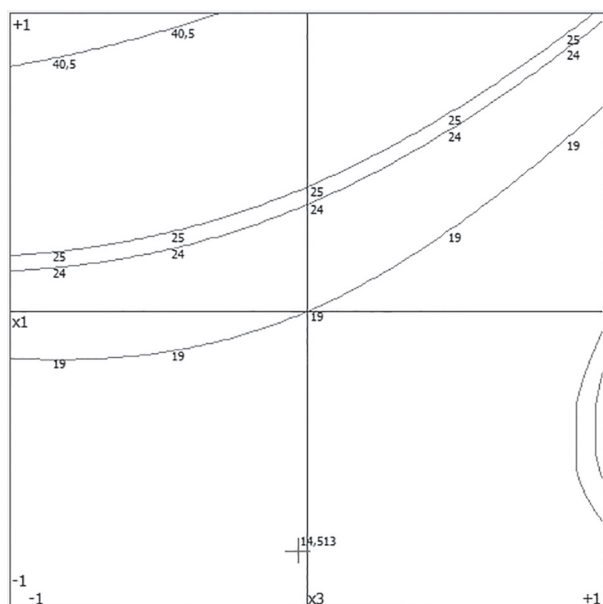


Рис. 1. Диаграмма линий равного уровня в координатах X_1 и X_3

му функции отклика соответствуют значения факторов: $X_1 = 5,376$ и $X_3 = 29,38$ при $X_2 = 3$.

Заключение

Анализ результатов планирования эксперимента показывает значимость полученной математической модели по критерию Стьюдента и адекватность уравнения математической модели по критерию Фишера и, как следствие, применимость для решения производственно-рецептурных задач. Экстремуму функции отклика математической модели соответствуют значения факторов: концентрация эмульгатора – 5,376 %, содержание метанола – 29,38 %, кратность гомогенизации – 3. Время стабильности эмульсии при этих значениях составит 14,513 мин. Результаты проведенных исследований подтверждают возможность применения метанола-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива для дизеля Д-242.

Литература

1. Марков В.А., Девянин С.Н., Семенов В.Г., Шахов А.В., Багров В.В. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях. М.: ООО НИЦ «Инженер», 2011. 536 с.
2. Свиридова Т.В., Шуваева Г.П., Вагабов М.З.В., Корнешева О.С. Биотопливо из альтернативных источников растительного сырья // Актуальная биотехнология. 2014. № 3 (10). С. 113.
3. Киреева Н.С. Рапсовое биотопливо // Вестник Ульяновской ГСХА. 2008. № 1. С. 56–57.
4. Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. М.: ИЦ ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. 340 с.
5. Грехов Л.В., Марков В.А., Девянин С.Н. Параметры процесса топливоподачи и показатели дизеля, работающего на смесевых биотопливах // Грузовик. 2009. № 7. С. 39–47.
6. Бышов Н.В., Бачурин А.Н., Корнюшин В.М., Черных И.В. Линия для получения масла из семян масличных культур // Вестник Рязанского

государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2013. № 3 (19). С. 59–60.

7. Черных И.В., Бышов Н.В., Корнюшин В.М. Линия контейнерного типа для получения масла из семян // Сельский механизатор. 2014. № 11. С. 23.
 8. Белов В.В., Образцов И.В., Курятников Ю.Ю. Разработка программно-алгоритмического средства обработки данных трехфакторного планированного эксперимента для расчета математической модели прочности бетона / Программные продукты и системы / Software&Systems. 2014. № 4 (108). С. 254–258.
 9. Федоренко В.Ф. Использование биологических добавок в дизельное топливо. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. 52 с.
 10. Семенов В.Г. Оптимизация состава бинарного альтернативного дизельного топлива // Химия и технология топлив и масел. 2003. № 4. С. 29–32.
- ### References
1. Markov V.A., Devyanin S.N., Semenov V.G., Shakhov A.V., Bagrov V.V. Ispol'zovanie rastitel'nykh masel i topliv na ikh osnove v dizel'nykh dvigatelyakh [Usage of vegetable oils and fuel based on them in diesel engines]. Moscow: OOO NITs «Inzhener» Publ., 2011. 536 p.
 2. Sviridova T.V., Shuvaeva G.P., Vagabov M.Z.V., Korneeva O.S. Biofuel from alternative sources of the plant raw materials // Aktual'naya biotekhnologiya. 2014. No 3(10), pp. 113 (in Russ.).
 3. Kireeva N.S. Rapsovoe biotopливо // [The rapeseed biofuel]. Vestnik Ul'yanovskoy GSKhA. 2008. No 1, pp. 56–57 (in Russ.).
 4. Devyanin S.N., Markov V.A., Semenov V.G. Rastitel'nye masla i topliva na ikh osnove dlya dizel'nykh dvigateley [The vegetable oils and fuels based on them for diesel engines]. Moscow: ITs FGOU VPO MGAU Publ., 2008. 340 p.
 5. Grekhov L.V., Markov V.A., Devyanin S.N. Parameters of the fuel supply process and the parameters of a diesel engine operating on mixed bio-fuels // Gruzovik. 2009. No 7, pp. 39–47 (in Russ.).
 6. Byshov N.V., Bachurin A.N., Korniyushin V.M., Chernykh I.V. The line for obtaining oil from oilseeds // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva [Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev]. 2013. No 3 (19), pp. 59–60 (in Russ.).
 7. Chernykh I.V., Byshov N.V., Korniyushin V.M. The line of container type for obtaining oil from seeds // Sel'skiy mekhanizator. 2014. No 11, pp. 23 (in Russ.).
 8. Belov V.V., Obratsov I.V., Kuryatnikov Yu.Yu. Development of a program-algorithmic data processing tool for a three-factor planned experiment for calculating the mathematical model of concrete strength / Programmnye produkty i sistemy / Software&Systems. 2014. No 4 (108), P. 254–258 (in Russ.).
 9. Fedorenko V.F. Ispol'zovanie biologicheskikh dobavok v dizel'noe toplivo [The usage of biological additives in diesel fuel]. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh» Publ., 2007. 52 p.
 10. Semenov V.G. The optimization of the binary alternative diesel fuel composition // Khimiya i tekhnologiya topliv i masel. 2003. No 4, pp. 29–32 (in Russ.).