

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА В ИССЛЕДОВАНИЯХ СВОЙСТВ БИОТОПЛИВ

А. Н. КАРТАШЕВИЧ¹, д-р техн. наук, профессор
С. А. ПЛОТНИКОВ², д-р техн. наук, профессор

¹УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

²ФГБОУ ВПО «Вятский государственный университет»,
Киров, Российская Федерация

Введение. Энергетические установки тракторов серии «Беларус» можно отнести к группе многоуниверсальных и всеядных, позволяющих длительную безотказную работу на топливах со значительными отклонениями уровня моторных свойств. На сегодняшний день известны результаты исследований работы дизеля Д-245 на утяжеленных топливах, топливах с пониженной самовоспламеня-емостью (низкоцетановых), высоковязких топливах и т. д. Также не исключена добавка к дизельному газообразного топлива [1–4, 7]. Ряд исследователей не ограничивались полученными данными, проводя полевые испытания трактора в условиях реальной эксплуатации (рис. 1).

Чаще всего трактор работал на вспашке с плугом ПЛН-3-35, периодическое нагружение энергетической установки осуществлялось через комбинированный агрегат АКШ-3,6-01 [5, 7].

Тем не менее, отмеченный подход нельзя считать правильным. Длительная эксплуатация дизеля на нетрадиционном источнике энергии влечет за собой изменение регулировок его систем и механизмов, вызывает возникновение и активацию нежелательных процессов, заметно снижает выходные эксплуатационные показатели, характеристики надежности и долговечности [6]. Еще одним препятствием следует считать усиление отрицательного воздействия на окружающую среду и человека.

Эффективным решением является приближение свойств биотоплив к свойствам ДТ, что целесообразнее достичь путем использования многокомпонентного состава биотоплива. Это поможет компенсировать недостатки одного компонента другим и приблизить их свойства к свойствам нефтяного ДТ. Для большей привлекательности топливной композиции, в которую входит

дизельное топливо, этанол и рапсовое масло, требуется проведение оптимизации ее состава.



Рис. 1. Испытания работы трактора
Беларус-922 на альтернативном топливе

Основная часть. Принимая во внимание возможность качественного и количественного описания исследуемого факторного пространства полученными регрессионными моделями, для определения оптимального состава многокомпонентной биотопливной композиции, обеспечивающего наибольшую стабильность, в исследовании состава был применен трехуровневый план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка, для оценки трех факторов. Предполагалось, что это позволит визуально оценить допустимые составы ингредиентов топливной композиции и одновременно сократить число повторностей опытов. Немаловажно также, что в ходе работы появляется возможность оценки влияния одного ингредиента на другие.

Роль факторов выполняли, соответственно: X_1 – содержание рапсового масла (РМ) в суммарном составе, X_2 – содержание этанола в суммарном составе, X_3 – содержание дизельного топлива в суммарном составе. В качестве критерия оптимизации принималось время до появления в пробе композиции высококонцентрированного осадка или отстоя – время до начала седиментации, мин.

Первоначально была проведена рандомизация опытов с использованием таблиц случайных чисел [8]. Матрица, названия, кодированные обозначения факторов, значения критерия оптимизации приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Матрица, названия,
кодированные обозначения факторов**

| № п/п | Фактор 1 РМ, г | Фактор 2 этанол, г | Фактор 3 ДТ, г | Значение критерия оптимизации (стабильность, минут) |
|-------|-------------------|-----------------------|-------------------|---|
| 1 | 3 | 3 | 3 | 26 |
| 2 | 1 | 5 | 3 | 16,6 |
| 3 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| 4 | 3 | 5 | 5 | 35 |
| 5 | 5 | 1 | 3 | 15 |
| 6 | 1 | 3 | 1 | 13,5 |
| 7 | 5 | 5 | 3 | 35,5 |
| 8 | 3 | 3 | 3 | 24 |
| 9 | 1 | 3 | 5 | 15,5 |
| 10 | 3 | 5 | 1 | 15,5 |
| 11 | 3 | 1 | 1 | 15,5 |
| 12 | 5 | 3 | 1 | 21 |
| 13 | 5 | 3 | 5 | 36 |
| 14 | 3 | 1 | 5 | 26 |
| 15 | 3 | 3 | 3 | 28 |

На основании данных табл. 1, была проведена серия лабораторных опытов по определению седиментационной стабильности проб многокомпонентных биотопливных композиций требуемого состава. В ходе замера времени были получены недостающие значения факторов, определяющих присутствие каждого ингредиента в суммарном составе на каждом из обозначенных уровней.

Названия исследуемых факторов, минимальный и максимальный уровни факторов, шаги варьирования факторов указаны в табл. 2.

Обработка результатов опытных данных проводилась следующим образом [8]:

1. Определялась дисперсия ошибок опытов.
2. Проверялись однородности дисперсий ошибок опытов с помощью критерия Кохрена.
3. Определялись коэффициенты модели регрессионного анализа по формулам, приведенным в литературе для плана эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка.
4. Проводилась оценка значимости коэффициентов регрессии по t -критерию Стьюдента путем нахождения доверительного интервала для каждого коэффициента.
5. Проводилась оценка адекватности математических моделей экспериментальным данным по F -критерию Фишера.

Таблица 2. Факторы, интервалы и шаги их варьирования

| Используемые коды в обозначении факторов | Исследуемые факторы, единицы их измерения | Уровни факторов | | | Шаг варьирования |
|--|---|-----------------|---|---|------------------|
| | | -1 | 0 | 1 | |
| X ₁ | Масса РМ, г | 1 | 3 | 5 | 2 |
| X ₂ | Масса этанола, г | 1 | 3 | 5 | 2 |
| X ₃ | Масса ДТ, г | 1 | 3 | 5 | 2 |

Во всех опытах задавалась доверительная вероятность $P = 0,95$.

В поисковых опытах применялось рапсовое масло холодного отжима, спирт этиловый технический гидролизный ректифицированный по ГОСТ Р 55878-2013 Сорт «Экстра», дизельное топливо летнее марки ДТ-Л-40-К5 по ГОСТ 302-2013.

Готовились различные составы многокомпонентных биотопливных композиций, включающие дизельное топливо, масло рапса и этиловый спирт. Обязательным являлось сохранение заданных условиях. Ингредиенты для приготовления композиций предварительно отмерялись и навешивались на электронных весах, процентное значение ингредиентов высчитывалось в массовых долях от массы всей пробы. Композиция нужного состава в каждом опыте готовилась с помощью электромиксера. Частота вращения вала электромиксера поддерживалась на уровне $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, время приготовления равнялось 2–3 минуты. Далее состав композиции выливали в прозрачную стеклянную посуду. Следующей задачей было наблюдение и запись изменений характеристик состава (рис. 2.). Каждая емкость с соответствующей пробой закрывалась хорошо подогнанной крышкой. В ходе опыта соблюдалось равенство температурных режимов.

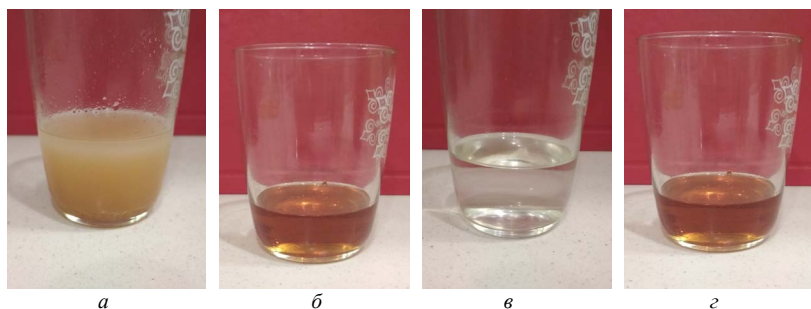


Рис. 2. Биотопливная композиция и ее компоненты
а – смесь; б – ДТ; в – этанол; г – РМ

За показатель седиментационной стабильности принималось время до появления изменений в составе композиции (пузырьков, капель одного из компонентов, цвета, наличие высококонцентрированного осадка или отстоя).

После проведения лабораторных опытов производилась выборка результатов согласно таблицам случайных чисел.

Обработку полученных лабораторных данных проводили на персональном компьютере при помощи приложений Microsoft Excel и StatgraphicsPlus 5.1. Построение поверхностей отклика полученных моделей регрессии также осуществляли с использованием персонального компьютера при помощи приложений StatgraphicsPlus 5.1 и Corel DRAW11 при фиксированных значениях уровня каждого из факторов.

После реализации плана эксперимента было получено следующее уравнение регрессии, описывающее изменение времени физической стабильности:

$$t = 26,0 + 7,36 \cdot X_1 + 5,39 \cdot X_2 + 5,87 \cdot X_3 - 4,99 \cdot X_1^2 + 1,72 \cdot X_1 \cdot X_2 + 3,25 \cdot X_1 \cdot X_3 - 3,49 \cdot X_2^2 + 2,25 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0,49 \cdot X_3^2. \quad (1)$$

На рисунках 3–5 показаны часть поверхностей отклика, построенных по уравнению (1) при фиксированных, последовательно, значениях факторов X_1 , X_2 и X_3 .

Как видно из представленных выше данных, наибольшее влияние на время физической стабильности многокомпонентной биотопливной композиции оказывает присутствие в ее составе рапсового масла, а также дизельного топлива (рис. 4). Так, при изменении фактора X_1 (содержание РМ) в пределах от -1 до $+1$, время стабильности повышается, в среднем, на 10–15 минут (рис. 3, 4).

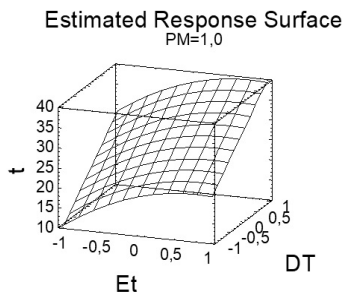


Рис. 3. Зависимость времени физической стабильности от факторов X_2 (этанол) и X_3 (ДТ)

Estimated Response Surface
Et=0,76

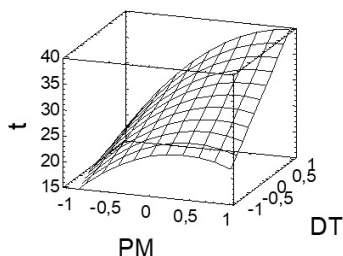


Рис. 4. Зависимость времени физической стабильности от факторов X_1 (PM) и X_3 (ДТ)

Estimated Response Surface
DT=1,0

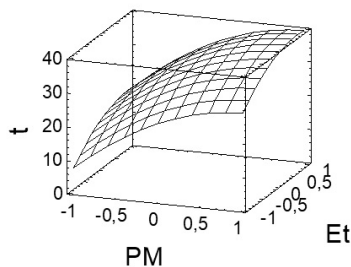


Рис. 5. Зависимость времени физической стабильности от факторов X_1 (PM) и X_2 (этанол)

Изменение другого фактора – X_3 (содержание дизельного топлива) в рассматриваемых пределах влечет повышение стабильности на 15–20 минут (рис. 3, 4). В то же самое время, присутствие этанола в топливной композиции изменяет ее стабильность всего в пределах 5–10 минут (рис. 3, 5).

Комплексный анализ поверхностей отклика показал, что максимальное значение критерия оптимизации – времени стабильности ($t = 39,82$) – наблюдается при значениях факторов $X_1 = 1$; $X_2 = 0,76$ и $X_3 = 1$.

Окончательно, оптимальное процентное соотношение компонентов в составе биотопливной композиции будет составлять:

Рапсовое масло – 34,5 %;

Этанол – 31,0 %;

Дизельное топливо – 34,5 %.

Указанный состав многокомпонентной биотопливной композиции был принят для проведения дальнейших исследований – работы топливоподающей аппаратуры, стендовых испытаний дизеля и тракторного агрегата.

Заключение.

1. В исследовании физических свойств многокомпонентных биотоплив весьма результативным и наглядным способом является применение современных методик планирования эксперимента.

2. Анализ полученных поверхностей отклика дает понять, что наиболее стабильный состав многокомпонентной биотопливной композиции, применяемый в качестве топлива для сельскохозяйственного трактора, включает следующие ингредиенты, %, масс: РМ – 34,5; этанол – 31,0; ДТ – 34,5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плотников, С. А. Улучшение эксплуатационных показателей дизелей путем создания новых альтернативных топлив и совершенствования топливоподающей аппаратуры: автореф. дис. докт. техн. наук. / С. А. Плотников. – Нижний Новгород, НГТУ, 2011. – 40 с.

2. Расширение многотопливности автотракторного дизеля при использовании альтернативных топлив / С. А. Плотников [и др.] // Известия МГТУ «МАМИ». – 2019. – № 3 (41). – С. 66–72.

3. Плотников, С. А. Исследование экологических показателей автотракторного дизеля при работе на предельных составах ЭТЭ / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, А. В. Пляго // Вестник РГАТУ. – 2019. – № 4 (44). – С. 105–109.

4. Плотников, С. А. Улучшение смесей дизельного топлива с рапсовым маслом для использования в тракторных дизелях. / С. А. Плотников, А. Н. Карташевич, П. Н. Черемисинов // Двигателестроение. – 2017. – № 4. – С. 21–24.

5. Карташевич, А. Н. Возобновляемые источники энергии / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2007. – 261 с.

6. Терентьев, Г. А. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов. / Г. А. Терентьев, В. М. Тюков, Ф. В. Смаль. – Москва: Химия, 1989. – 272 с.

7. Исследования тракторного дизеля при подаче газа с использованием планирование эксперимента / П. Ю. Малышкин [и др.] // Вестник БГСХА. – 2019. – № 2. – С. 239–243.

8. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рошин. – Ленинград: Колос, 1980. – 168 с.

Аннотация. Известно большое многообразие альтернативных источников энергии, но для дизелей сельскохозяйственных тракторов, в первую очередь, будут востребованы жидкие топлива. Особое внима-

ние исследователей все чаще привлекают топлива, которые получают из возобновляемых ресурсов растительного происхождения – биотоплива. Несмотря на их удовлетворительные моторные свойства, для практического применения необходима адаптация двигателя. Рациональным решением проблемы будет использование многокомпонентного биотоплива. Для повышения потребительских свойств многокомпонентной биотопливной композиции необходима оптимизация ее состава. С целью сокращения количества опытов в исследованиях используется современная методика планирования эксперимента. Анализ полученных регрессионных зависимостей и построенных на их основе поверхностей отклика позволяет сформулировать вывод, что для применения в качестве моторного топлива сельскохозяйственного трактора достаточно подходящим является композиция, включающая масло рапса – 34,5 %, спирт этиловый – 31,0 % и товарное ДТ в объеме – 34,5 %.

Ключевые слова: дизельное топливо, этанол, рапсовое масло, топливная композиция, стабильность, планирование эксперимента.

УДК 629.1.07

ОЦЕНКА ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

П. Ю. МАЛЫШКИН¹, ст. преподаватель
Е. Д. ПЕТУХОВИЧ², студент

¹УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

² УО «Белорусский национальный технический университет»,
Минск, Республика Беларусь

Введение. Автомобильный транспорт широко используется в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, торговле, и других сферах жизни людей. На долю автомобильного транспорта приходится существенная часть грузооборота и более половины пассажирских перевозок [1]. К современному автомобилю предъявляется достаточно большое количество требований по динамичности, проходимости, комфортабельности, надежности, а также топливной экономичности.

Основная часть. Так как разработка своих запасов нефти не удовлетворяет потребностям государства, существует проблема обеспеченности собственными топливно-энергетическими ресурсами Рес-