

УДК 662.758.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА  
БИОДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ И ИХ СМЕСЕЙ**

*канд. техн. наук, доц. А.В. СПИРИДОНОВ, канд. техн. наук, доц. Е.В. САФРОНОВА,  
Т.А. РУДИНСКАЯ  
(Полоцкий государственный университет)*

*В последнее время в мире увеличилось производство биотоплива и биотопливных добавок в существующие виды топлива, в частности растительного масла в дизельное топливо. Как правило, это сопряжено с возникновением ряда трудностей при анализе качества топливных смесей, т.к. они образуют азеотропную смесь. Изучены особенности перегонки азеотропных смесей дизельного топлива с растительным маслом. Для определения зависимостей температур кипения от концентрации были взяты смеси дизельного топлива и растительного масла различной концентрации и произведена их фракционная перегонка на приборах стандартной дистилляции AD86 5G и микродистилляции PMD-100. Проведены исследования эффективности применения и свойств биодизельных топливных композиций. Представлен фракционный состав этих топлив. Приведены основные характеристики и мировой опыт использования отходов растительных масел.*

**Ключевые слова:** биодизельное топливо, фракционный состав, кипение.

**Введение.** Истощение нефтяных месторождений и продолжающийся рост цен на нефть и нефтепродукты делают неизбежным все более широкое использование в дизельных двигателях биотоплив на основе растительных масел. Перевод дизелей на биотоплива позволит не только обеспечить замещение топлив нефтяного происхождения топливами, производимыми из возобновляемых сырьевых ресурсов, но и заметно снизить токсичность отработавших газов и улучшить экологическую ситуацию в городах и сельской местности [1–3].

Идея использовать растительные масла в качестве топлив для дизельных двигателей была выдвинута еще при создании первых таких моторов. Однако с освоением нефтяных запасов в XX в. более выгодным оказалось топливо из нефти. Сейчас биодизельное топливо часто отождествляют с рапсовым маслом, которое действительно стало основным сырьевым источником «биодизеля» в Европе (здесь основное биодизельное топливо – метиловый эфир рапсового масла). Однако биодизельное топливо можно получать и из других масел, например, подсолнечного, пальмового или соевого. Любое биодизельное топливо представляет собой смесь растительных масел. В растительном содержатся жиры – эфиры жирных кислот с глицерином.

Растительные масла и их эфиры, как и спирты, отличаются агрессивностью ко многим материалам, традиционно используемым в двигателях и топливной системе автомобилей. В последние годы большинство европейских производителей выпускают машины, допускающие использование смесей нефтяного топлива с биодизельным в количестве 5–20%. Добавление биодизельного компонента в количестве до 5% обычно считается приемлемым для любых двигателей, не адаптированных к биотопливу. Достаточно активно биодизельное топливо внедряется и в США, где в качестве сырья используют чаще всего соевое масло. Еще один перспективный источник биодизельного топлива – отработанные пищевые масла. Возможно использование для этих же целей животных жиров.

Производство биодизельных топлив на основе растительных масел и животных жиров постоянно расширяется. Так, в 2000 г. выпуск биодизельного топлива в мире составил около 9,2 млн т, в 2009 г. его объем достиг 55,9 млн т, а в 2018 г. – около 91,3 млн т. Мировыми лидерами по производству биодизельных топлив являются США, Индонезия, Бразилия, Германия, Франция, Аргентина и Китай. В странах СНГ также имеется опыт использования биосоляры [1; 2].

**Основная часть.** Биодизельные топлива, предназначенные для использования в дизельных двигателях, должны за минимальный период сформировать в камере сгорания топливно-воздушную смесь, обеспечивающую ее легкое воспламенение, плавное и достаточно полное сгорание с минимальным содержанием сажи, токсичных и канцерогенных веществ. Не допускается образование осадков в топливоподающей системе и нагароотложений на деталях двигателя [2–4].

Для достижения требуемого качества процесса смесеобразования топливо должно обладать заданным фракционным составом, который является одним из важнейших показателей эксплуатационных

свойств топлив для двигателей внутреннего сгорания. Фракционный состав характеризует содержание в топливе различных фракций, выкипающих в определенных температурных пределах.

При снятии характеристик фракционного состава для традиционного дизельного топлива обычно выделяют температуру начала перегонки (начало кипения), температуры перегонки 10, 50, 90% топлива и температуру окончания перегонки (конец кипения), соответствующую перегонке 96 или 98% топлива. Наличие в топливе большого количества легких фракций приводит к увеличению жесткости сгорания (скорости нарастания давления и максимального давления сгорания) и снижению ресурса работы дизельного двигателя.

Среднюю испаряемость топлива устанавливают по температуре выкипания 50%, которая обуславливает испаряемость топлива и период задержки воспламенения [4]. Наличие в топливе тяжелых трудно-испаряющихся фракций можно определить по температуре перегонки 90%. По температуре окончания перегонки, соответствующей перегонке 96 или 98% топлива, также выявляют присутствие в нем тяжелых (выкипающих при высоких температурах) фракций, чрезмерное содержание которых в топливе приводит к ухудшению испарения и усложнению образования однородной топливно-воздушной смеси, что увеличивает нагарообразование на деталях цилиндропоршневой группы и тем самым снижает экономичность и надежность работы двигателя.

Перечисленные выше факторы указывают на необходимость учитывать фракционный состав при выборе топлива для дизелей. Это также относится и к биодизельному топливу. Фракционный состав топлив определялся методом перегонки – путем разделения смеси жидкостей на компоненты, основанном на разности температур их кипения. Данный метод заключается в нагревании жидкости до кипения с последующей конденсацией паров в холодильнике. В настоящее время существуют способы и устройства автоматического определения фракционного состава топлив.

На рисунке 1 приведены кривые фракционной разгонки нефтяного дизельного топлива, растительного масла и их смесей различной концентрации.

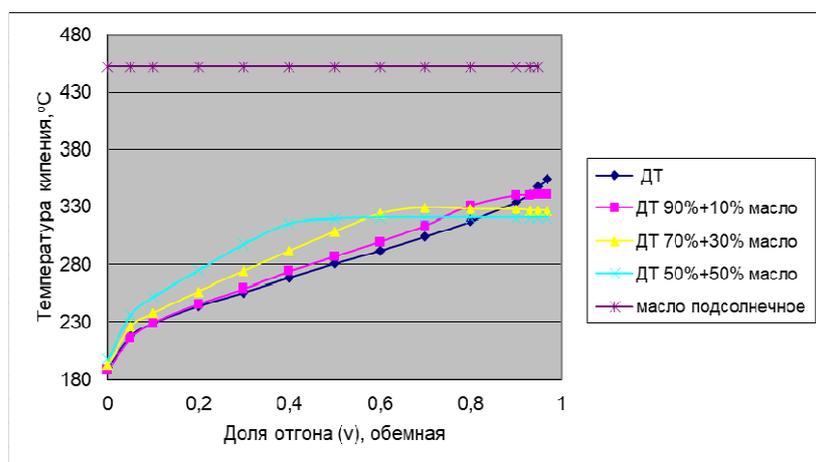
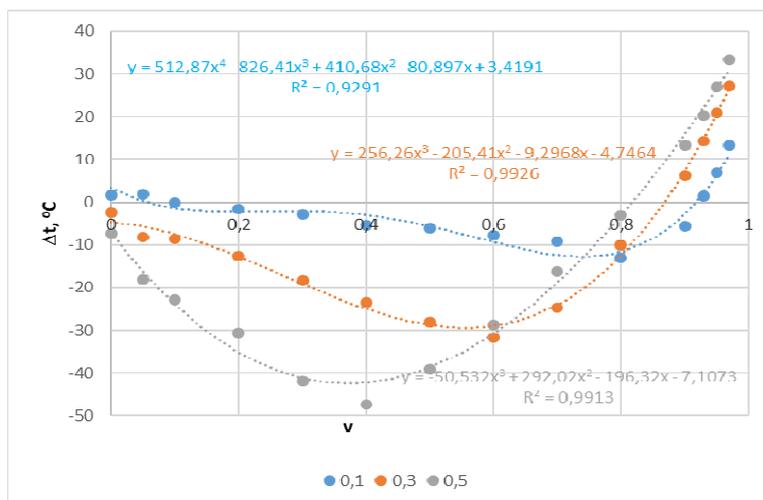


Рисунок 1. – Фракционный состав дизельного топлива, подсолнечного масла и их смесей

Температура кипения дизельного топлива находится в пределах от 180 до 350 °С. При повышении температуры выше  $t = 310\text{--}330$  °С метиловые эфиры жирных кислот подвергаются термическому разложению. При содержании в дизтопливе растительного масла более 10% кривые разгонки образуют изотермические участки.

При перегонке биодизельного топлива отмечено термическое разложение его компонентов. Можно предположить, что оно происходит и при работе дизельного двигателя. Образующиеся продукты окисления и полимеризации являются причиной негативных процессов в двигателе – нагаро- и коксоотложения на деталях камеры сгорания. Температура выкипания 50% фракций для нефтяного ДТ в данном случае составляла 280 °С. Для всех биодизельных топлив эта температура намного выше – в интервале 300–330 °С.

Предлагается более детальный анализ влияния концентрации растительного масла на изменение температур контрольных точек кипения дизельного топлива. Нанесем на график (рисунок 2) зависимости разности температур кипения смесей дизельного топлива с подсолнечным маслом и чистого дизельного топлива разной концентрации подсолнечного масла по интервалу кипения (согласно ГОСТ 2177-99).



**Рисунок 2. – График зависимости разности температур кипения в контрольных точках (по ГОСТ 2177-99) дизельного топлива и смесей дизельного топлива с подсолнечным маслом разной концентрации по интервалу кипения**

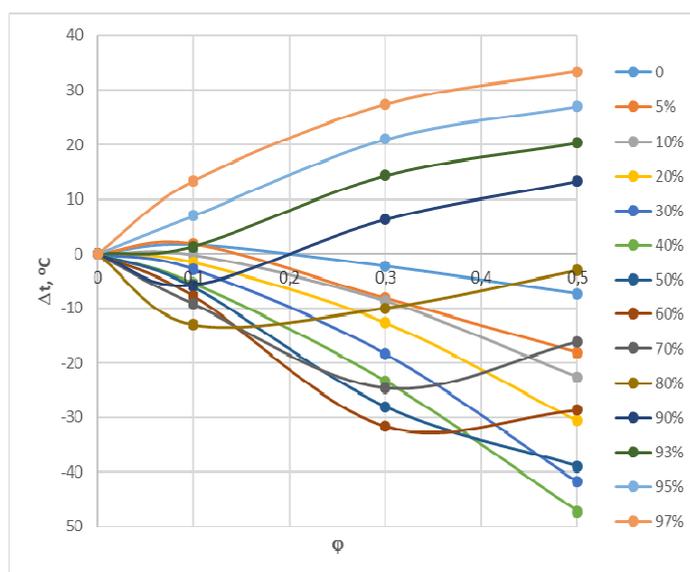
Эти точки можно адекватно описать полиномами 3–4 степени. Введем обозначения величин:

$\Delta t = t_{ДТ} - t_{СМ}$  – разность температур кипения дизельного топлива (чистого) и смеси дизельного топлива с растительным маслом;

$v = \frac{V}{V_0}$  – объемная доля отгона нефтепродукта (по ГОСТ 2177-99);

$\phi$  – объемная доля растительного масла в дизельном топливе.

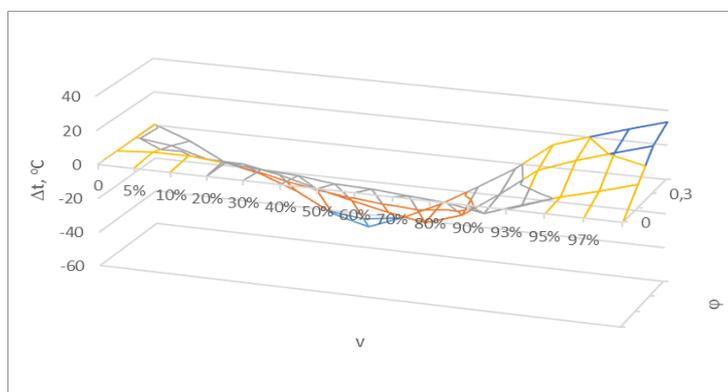
Рассмотрим зависимость разности температур кипения смесей дизельного топлива с подсолнечным маслом и чистого дизельного топлива от концентрации подсолнечного масла в дизельном топливе (рисунок 3). Кривые в интервале от начала кипения до 40%-й точки и от 93%-й точки до конца кипения имеют монотонный характер. Кривые в интервале 50%–90% имеют точки экстремума. Эти кривые можно представить полиномиальными уравнениями 3-й степени.



**Рисунок 3. – График зависимости разности температур кипения дизельного топлива и смесей дизельного топлива с подсолнечным маслом от концентрации подсолнечного масла (цветные линии – контрольные точки кипения по ГОСТ 2177-99)**

Графики на рисунках 2, 3 представляют собой проекции этой поверхности на координатные плоскости. Таким образом, можно представить зависимость разности температур кипения смесей дизельного топлива в виде поверхности 3-го порядка (рисунок 4). Уравнение поверхности 3-го порядка имеет вид

$$\Delta t = A_0 + A_1 \cdot \varphi + A_2 \cdot \varphi^2 + A_3 \cdot \varphi^3 + A_4 \cdot v + A_5 \cdot v^2 + A_6 \cdot v^3 + A_7 \cdot v^4 + A_8 \cdot \varphi \cdot v + A_9 \cdot \varphi \cdot v^2 + A_{10} \cdot \varphi^2 \cdot v + A_{11} \cdot \varphi^2 \cdot v^2.$$



**Рисунок 4. – Разность температур кипения смесей дизельного топлива в зависимости от контрольной точки кипения и доли подсолнечного масла в дизельном топливе**

Обработав массив экспериментальных данных получили значения коэффициентов в приведенном выше уравнении со средним квадратичным отклонением 3 °С. Проведем оценку значимости полученных коэффициентов уравнения регрессии. После оценки значимости был сделан вывод, что некоторые переменные оказывают незначительное влияние на результаты расчета, поэтому их количество можно сократить.

В результате получим новое уравнение регрессии и произведем уточненный расчет коэффициентов, со средним квадратичным отклонением 3 °С, т.е. значение среднего квадратичного отклонения осталось прежним.

$$\Delta t = 42,2\varphi - 127\varphi^2 + 20,1v - 128v^3 + 112v^4 - 669\varphi \cdot v + 720\varphi \cdot v^2 + 668\varphi^2 \cdot v - 562\varphi^2 \cdot v^2.$$

Таким образом, можно считать данный вид уравнения приемлемым для дальнейших расчетов. Данное уравнение позволяет определить изменение температуры кипения дизельного топлива в различных точках по ГОСТ 2177-99 в зависимости от количества добавленного растительного масла. Это актуально, т.к. каждая контрольная точка дизельного топлива, как отмечалось выше, влияет на его эксплуатационные показатели.

**Закключение.** Приведенные данные экспериментальных исследований подтверждают возможность использования в дизелях биодизельных топлив. Наибольшее приближение к свойствам нефтяных дизельных топлив обеспечивает применение смесей нефтяного дизельного топлива и эфиров растительных масел. При этом удается получать показатели токсичности отработавших газов, которые заметно лучше аналогичных показателей дизеля, работающего на чистом дизельном топливе. Причем улучшения этих показателей достигается даже при небольшом содержании биодизельного топлива в смеси (5–10%). Это позволяет использовать исследованные биодизельные топлива в качестве экологических добавок к нефтяному дизельному топливу. Получено выражение для определения вероятного изменения температуры кипения дизельного топлив при добавлении к нему подсолнечного масла, что дает возможность быстро оценить изменение фракционного состава, не прибегая к эксперименту, тем более, что автоматический анализ азеотропных смесей затруднителен – в изотермической области может произойти бурное вскипание, выброс парожидкостной смеси в конденсатор-холодильник и аварийное автоматическое отключение анализатора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Использование биотоплив на основе растительных масел в дизельных двигателях / В.А. Марков [и др.] // Вестн. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2012. – С. 74–81.

2. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков [и др.]. – М. : Инженер, 2011. – 536 с.
3. Зачем нужны биотоплива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://old.computerra.ru/features/315122/>. – Дата доступа: 14.06.2020.
4. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение : справ. / ред. В.М. Школьников. – М. : Техноинформ, 1999. – С. 13–94.

Поступила 10.06.2020

## STUDY OF FRACTIONAL COMPOSITION BIO DIESEL FUELS AND THEIR MIXTURES

*A. SPIRIDONOV, Ye. SAFRONOVA, T. RUDINSKAYA*

*The relevance of the work lies in the fact that recently in the world the production of biofuels and biofuel additives in existing fuels has been increasing, in particular vegetable oil in diesel fuel. As a rule, this is associated with a number of difficulties in analyzing the quality of fuel mixtures, since they form an azeotropic mixture. The features of the distillation of azeotropic mixtures of diesel fuel with vegetable oil are studied. To determine the dependences of the boiling point on the concentration, mixtures of diesel fuel and vegetable oil of various concentrations were taken and their fractional distillation was carried out using standard AD86 5G distillation and PMD-100 microdistillation devices. The effectiveness of the application and properties of biodiesel fuel compositions were studied. The fractional composition of these fuels is presented. The main characteristics and world experience of using vegetable oil waste are given.*

**Keywords:** *biodiesel fuel, fractional composition, boiling.*