Тип статьи: научная
УДК 662.75, 543.06
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-143-152

ЭКСПРЕСС-СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В СМЕСЕВОМ ТОПЛИВЕ МЕТОДОМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

Светлана Валерьевна Романцова [1]***, Ирина Владимировна Гладышева*** [2]***,***
Наталья Владимировна Вервекина [3]***, Станислав Александрович Нагорнов*** [4]***,***
Анна Павловна Ликсутина [5]
[1,2,3] *Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Россия*
[1]svromantsova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5363-1645
[2]gladysheva_irina78@mail.ru, https://orcid.org/0009-0002-5318-9110
[3]vervekinanv@mail.ru, https://orcid.org/0009-0001-2627-5382
[4,5]*Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Россия*
[4]snagornov@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0322-3622
[5]vniitinlab7@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7732-7349

Автор ответственный за переписку: Светлана Валерьевна Романцова, svromantsova@yandex.ru
Corresponding author: Svetlana Romantsova, svromantsova@yandex.ru

Реферат. *Добавкой к дизельному топливу, используемому в сельскохозяйственном производстве для повышения цетанового числа и улучшения смазывающих свойств, может быть биодизельное топливо (БТ). Нормативные документы разрешают добавление к нефтяному топливу 7% БТ. Разрабатывали экспресс-метод, позволяющий потребителю быстро определять его наличие. Впервые исследована возможность определения БТ в смеси с нефтяным методом тонкослойной хроматографии (ТСХ). Для исследования были синтезированы образцы БТ, полученные переэтерификацией рапсового, подсолнечного, льняного, кукурузного, редькового и рыжикового масел. Для подбора элюента впервые исследована растворимость БТ в ряде органических растворителей. Установлено, что биодизельное топливо хорошо растворимо не только в неполярных углеводородах (бензол, толуол, октан, петролейный эфир), но и в хлороформе и одноатомных спиртах нормального и разветвлённого строения (пропиловый, бутиловый, изобутиловый, изоамиловый). В растворителях с большей диэлектрической проницаемостью (например, ацетон, глицерин) биодизельное топливо нерастворимо. Те же растворители исследовали в качестве элюентов для разделения нефтяного топлива и биодизельного топлива методом тонкослойной хроматографии. Показано, что в качестве элюента спирты, хлороформ и ацетон не подходят; но можно использовать толуол. Значения коэффициента подвижности Rf для основного пятна нефтяного топлива составляет 0,86, для биодизельного топлива 0,6 (элюент – толуол). Установлено, что с помощью ТСХ (элюент толуол) можно определять наличие биодизельного топлива, синтезированного из различных видов масел. Так же в качестве элюента для проведения анализа в полевых условиях можно рекомендовать петролейный эфир. Метод ТСХ можно использовать для обнаружения присутствия БТ в концентрациях от 2% и выше.*

Ключевые слова: *биодизельное топливо, растворимость, тонкослойная хроматография.*

EXPRESS METHOD FOR DETERMINATION OF BIODIESEL FUEL IN MIXED FUEL BY THIN LAYER CHROMATOGRAPHY

Svetlana Romantsova [1]***, Irina Gladysheva*** [2]***, Natalia Vervekina*** [3]***, Stanislav Nagornov*** [4]***,***
Anna Lixutina [5]
[1,2,3] *Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russia*

[1]svromantsova@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-5363-1645
[2]gladysheva_irina78@mail.ru, https://orcid.org/0009-0002-5318-9110
[3]vervekinanv@mail.ru, https://orcid.org/0009-0001-2627-5382
[4,5]*All-Russian Research Institute for Use of Machinery and Petroleum Products in Agriculture, Tambov, Russia*
[4]snagornov@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0003-0322-3622
[5]vniitinlab7@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-7732-7349

Abstract. *Biodiesel fuel (BF) can be an additive to diesel fuel used in agricultural production to increase the cetane number and lubricating properties. Such an additive can be biodiesel fuel. Regulations allow the addition of 7% BF to petroleum fuels. An express method that allows the consumer to quickly determine its presence was developed. The possibility of determining BF in a mixture with petroleum by thin-layer chromatography (TLC) has been studied for the first time. Samples of BF obtained by transesterification of rapeseed, sunflower, linseed, corn, radish and camelina oils were synthesized for this investigation. The solubility of BF in a number of organic solvents was studied for the first time to select the suitable eluent. It has been established that biodiesel fuel is highly soluble not only in non-polar hydrocarbons (benzene, toluene, octane, petroleum ether), but also in chloroform and monohydric alcohols of normal and branched structure (propyl, butyl, isobutyl, and isoamyl alcohols). Biodiesel is insoluble in solvents with a higher dielectric constant (such as acetone or glycerol). The same solvents were investigated as eluents for the separation of fuel oil and biodiesel by thin layer chromatography. It has been shown that alcohols, chloroform and acetone are not suitable as eluents; but it is possible to use toluene. The value of the retardation factor R_f for the main spot of petroleum fuel is 0.86, and for biodiesel fuel is 0.6 (eluent is toluene). It has been established that it is possible to determine the presence of biodiesel fuel synthesized from various types of oils using TLC (eluent is toluene). Also, petroleum ether can be recommended as an eluent for analysis in the field. The TLC method can be used to detect the presence of biodiesel at concentrations from 2% and above.*

Keywords: *biodiesel fuel, solubility, thin layer chromatography*.

Для цитирования: Романцова С.В., Гладышева И.В., Вервекина В.В., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П. Экспресс-способ определения биодизельного топлива в смесевом топливе методом тонкослойной хроматографии // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023. Т. 63, № 3. С. 143-152. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-143-152.

For citation: Romantsova S., Gladysheva I., Vervekina N., Nagornov S., Lixutina A. Express method for determination of biodiesel fuel in mixed fuel by thin layed chromatography // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2023; 63(3): 143-152. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-143-152.

Введение. Современное сельскохозяйственное производство невозможно представить без использования энергонасыщенной техники: тракторов, комбайнов, других сельскохозяйственных машин. Для их бесперебойной и корректной работы требуются качественные горюче-смазочные материалы (ГСМ), в первую очередь дизельное топливо. Во время полевых и уборочных работ от качества топлива зависит стабильность и безотказность работы техники, а значит, качество выполненных работ и успех деятельности в агросфере в целом.

Требования последних экологических стандартов «Евро», а также конструкция современных двигателей (особенно у всё более распространяющихся зарубежных машин и агрегатов) заставляют отечественных производителей улучшать качество топлива. Но число отказов сельскохозяйственных машин и агрегатов, вызванных низким качеством светлых нефтепродуктов, тем не менее увеличивается. Так, Центрально-Чернозёмная МИС в течение 2021 года обследовала 102 хозяйства из Курской, Орловской, Воронежской и Белгородской областей, проведя анализ более 160 проб различных видов горюче-смазочных материалов, уделяя основное внимание качеству топлив для дизельных двигателей [1]. Результаты представлены на рисунке 1.

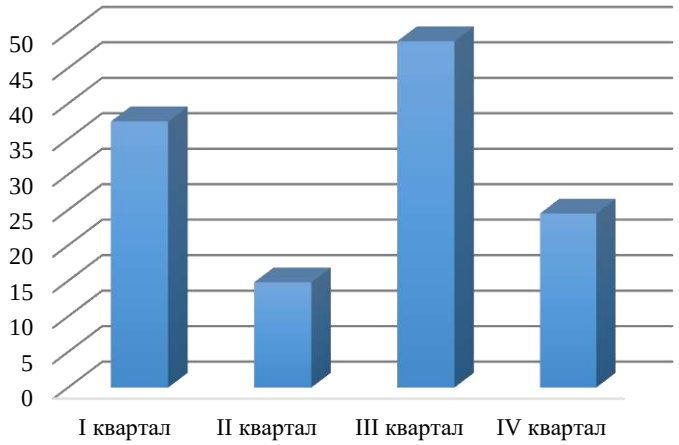


Рисунок 1 – Число некондиционных проб топлив (%) в 2021 году

Количество некондиционных проб составило от 14,8% во втором квартале и почти половину проб в третьем квартале (48%). Причина может быть в том, что сельскохозяйственные товаропроизводители покупают топливо у недобросовестных поставщиков, предлагающих топливо по более дешёвой цене, а также качество топлива ухудшается в процессе его транспортировки и хранения, особенно на нефтескладах АПК, состояние которых в настоящее время оставляет желать лучшего. Это, безусловно, вызывает большую озабоченность и подтверждает необходимость регулярных проверок качества ГСМ. Прежде всего, требуется входной экспресс-контроль, чтобы некондиционное топливо не успело попасть в топливные баки. Комплект для анализа светлых нефтепродуктов разработан и постоянно усовершенствуется ФГБНУ ВННИТиН. Реактивы и простое оборудование позволяют оператору без каких-либо специальных знаний и навыков проводить в полевых условиях определение плотности, вязкости, коррозионной агрессивности, устанавливать наличие воды, мехпримесей, водорастворимых кислот и щелочей, фактических смол, непредельных углеводородов [2].

Анализ некондиционных проб топлив в 2021 году показал, что отмечаются отклонения характеристик дизельного топлива по температуре вспышки и фракционному составу (это может быть связано со смешиванием разных видов топлив, в том числе и в процессе хранения), не всегда соответствует норме температура фильтруемости дизтоплива. Но чаще всего встречаются отклонения от требований ГОСТ по содержанию механических примесей, воды (иногда оно выше в 4-5 раз), а также фиксируется несоответствие требованиям стандарта Евро 5 по содержанию серы (оно может быть выше нормы более чем в 350 раз) [1].

Для производства топлива, удовлетворяющего современным экологическим стандартам, нефтяные дизельные фракции подвергаются гидроочистке, в результате из них удаляются природные ароматические и серосодержащие органические соединения. Это снижает содержание в отходящих газах оксидов серы и канцерогенных полиароматических углеводородов, но ухудшает ряд эксплуатационных характеристик дизельного топлива, прежде всего смазывающие свойства и цетановое число. Коррекция этих характеристик достигается путём введения присадок и добавок. Такой добавкой может служить биодизельное топливо (БТ), положительно влияющее как на указанные свойства, так и на снижение концентрации вредных компонентов в выхлопных газах [4, 5]. Оно получает всё большее распространение в мире, в 2020 году его производство составило около 2,7 млн. баррелей в сутки и, вероятно, в будущем будет ещё увеличиваться [5, 6].

В настоящее время разрешено присутствие в товарном нефтяном топливе 7% биодизельного топлива [7]. Однако возможно его введение и в больших количествах. Если оно превысит 20%, это может заметно изменить физико-химические свойства топлива. Поэтому экспресс-анализ дизтоплива в настоящее время должен включать и определение биодизельного топлива в его составе.

Цель работы – разработка экспресс-метода для определения биодизельного топлива в составе нефтяного товарного топлива для дизельных двигателей. Реактивы и оборудование для такого определения будут включены в состав комплекта для анализа светлых нефтепродуктов.

Материалы и методы. Для исследования были синтезированы образцы биодизельного топлива из масел рапса, подсолнечника, льна, кукурузы, редьки и рыжика. Для подбора элюента использовались органические соединения, относящиеся к различным классам: алифатические и ароматические углеводороды: октан, петролейный эфир; бензол, толуол; галогенпроизводные: хлороформ; одноатомные спирты нормального и разветвлённого строения: этиловый, пропиловый, бутиловый, изобутиловый, изоамиловый; кетоны: ацетон.

Разделение нефтяного и биодизельного топлива проводили на пластинах для тонкослойной хроматографии с закреплённым слоем силикагеля Sorbfil (ПТСХ АФ-А и ПТСХ АФ-В-УФ). Пробы топлив наносили на пластину с помощью стеклянных капилляров, высушивали и помещали в хроматографическую камеру. После того, как элюент достигал линии финиша, хроматограмму высушивали и пластины ПТСХ АФ-В-УФ визуально рассматривали в УФ-лучах, а пятна на пластинах ПТСХ АФ-А идентифицировали в парах йода.

Положение вещества (группы веществ) характеризуется величиной коэффициента подвижности R_f, который определяется как отношение расстояния от линии старта до середины пятна к расстоянию от линии старта до линии финиша.

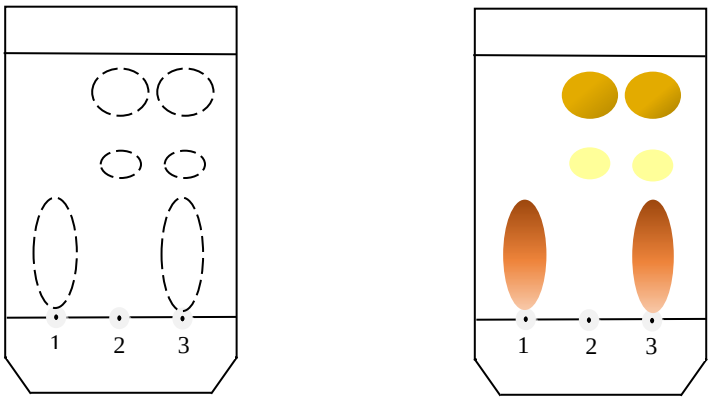
Результаты и их обсуждение.

Для определения наличия биодизельного топлива можно использовать различные методы. Так, ГОСТ Р 52368-2005 «Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия» [7] закрепляет для этих целей метод колебательной спектроскопии в инфракрасной области спектра (ИК-спектроскопии). Биодизельное топливо представляет собой смесь сложных эфиров, поэтому измеряют поглощение в средней инфракрасной области при 1750-1735 $см^{-1}$, где обнаруживается характерная для алифатических сложных эфиров полоса, отвечающая за валентные колебания связи С=О. Есть данные об использовании методов газовой (ГХ) и высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) для обнаружения биодизельного топлива при проливах и даже на основе информации о снятии отпечатков пальцев [8]. Однако оборудование для ИК-спектроскопии, ГХ и ВЭЖХ сложное и дорогостоящее, работа на нём требует специальной подготовки, этот способ подходит для стационарных, а не экспресс-лабораторий.

При анализе смесей органических соединений широко используется метод тонкослойной хроматографии (ТСХ). Для него не требуется сложной аппаратуры и специальных навыков, для проявления хроматограммы и идентификации пятен требуется 10-20 минут. Метод применяется для обнаружения нефтепродуктов и анализа состава нефтяных топлив, он рекомендован для исследования горючих жидкостей при расследованиях пожаров [9]. В последнем случае он не получил широкого распространения из-за сравнительно низкой чувствительности, но после пожара следователи имеют дело с небольшим количеством, буквально со следами жидкости.

Другое дело – анализ образцов дизтоплива, когда для анализа предоставляется достаточное количество смеси нефтяного топлива и БТ, при этом доля последнего составляет минимум 5-7%. Была исследована возможность использования метода ТСХ для обнаружения биодизельного топлива. Проведённый литературный поиск показал, что есть данные об использовании его для анализа нефтепродуктов, для определения содержания глицерина в биодизельном топливе [9, 10]. Данные об определении наличия биодизельного топлива в смеси с нефтяным в литературе отсутствуют.

При исследовании нефтяных топлив методом ТСХ в качестве элюента часто используется гексан или смесь октана и бензола (5:1). Поэтому мы использовали эту смесь в качестве элюента для определения сложноэфирных молекул биодизельного топлива в смеси с углеводородами дизельного топлива. Исследовали биодизельное топливо, синтезированное из масла подсолнечника. Результаты приведены на рисунке 2. Идентификацию пятен проводили в УФ-лучах на пластине ПТСХ АФ-В-УФ (на рисунке они представлены пунктирной линией) и с помощью паров йода на пластине ПТСХ АФ-А (на рисунке представлены окрашенными пятнами).

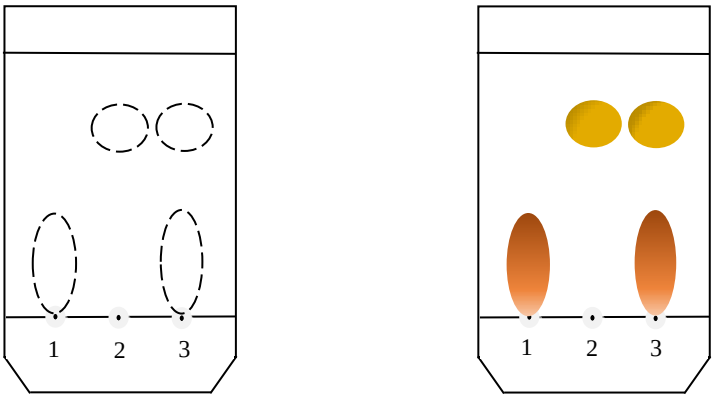


ПТСХ АФ-В-УФ ПТСХ АФ-А

1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 2 – Хроматограмма с элюентом октан: бензол 5:1

Хроматограмма даёт наглядное представление о том, что биодизельное топливо не обладает достаточным сродством к элюенту, а, следовательно, и подвижностью при использовании в качестве элюента смеси алифатического и ароматического углеводородов. Как в УФ-лучах, так и в парах йода видно овальное пятно, касающееся линии старта. Пары йода лучше адсорбируются молекулами сложных эфиров, входящими в состав биодизельного топлива: при одинаковом времени экспозиции (10 минут) пятно, соответствующее биодизельному топливу, окрашено более интенсивно. При этом углеводороды нефтяного топлива имеют большее сродство к элюенту, основное пятно уходит к линии финиша; на хроматограмме видно менее интенсивное второе пятно, соответствующее другой группе компонентов дизтоплива. Разделения компонентов биодизельного топлива не наблюдается.

Так же по аналогии с известными литературными данными для нефтяного топлива в качестве элюента был взят петролейный эфир (смесь алифатических углеводородов, в основном, пентанов и гексанов). Результаты представлены на рисунке 3.



ПТСХ АФ-В-УФ ПТСХ АФ-А

1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 3 – Хроматограмма с петролейным эфиром в качестве элюента

Установлено, что при разных способах идентификации пятен (осмотр у УФ-лучах и в парах йода), они совпадают друг с другом. Пластины ПТСХ АФ-В-УФ дороже, использование паров йода проще в аппаратурном оформлении, не требует использования электрической сети, испытание можно проводить в полевых условиях. Поэтому далее использовали только пластины ПТСХ АФ-А и пары йода для идентификации.

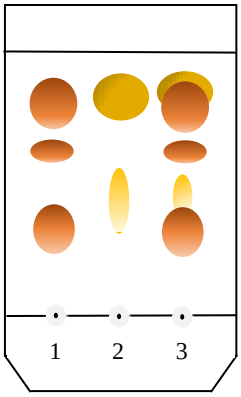
Видно, что при использовании только алифатических углеводородов пятно нефтяного топлива расположено ниже, значение R_f составляет 0,7 вместо 0,8. Положение веществ на хроматограмме чётко разделено, пятна находятся на значительном расстоянии друг от друга, но биодизельное топливо не отрывается от линии старта. Следовательно, элюенты, рекомендуемые для хроматографического исследования нефтяного топлива, не подходят для БТ. Петролейный эфир можно использовать для того, чтобы различить два вида топлива, но для более корректного использования метода ТСХ необходимо провести подбор элюента.

Для этого необходимо ориентироваться как на значения диэлектрической проницаемости растворителей, используемых в качестве элюента, так и на данные о растворимости биодизельного топлива. Компонентами биодизельного топлива являются, чаще всего, метиловые эфиры карбоновых кислот с длинной углеродной цепью (обычно от 16 до 24 атомов углерода в молекуле) [11]. В состав сложных эфиров входят два атома кислорода, поэтому они являются более полярными молекулами, чем углеводороды – компоненты нефтяного топлива. По правилу растворимости В.К. Семенченко чем ближе диэлектрическая проницаемость веществ, тем лучше они растворяются друг в друге. Следовательно, биодизельное топливо должно растворяться в более полярных органических растворителях, чем нефтяное топливо.

Однако в литературных источниках данные о растворимости биодизельного топлива крайне ограничены. Практически во всех статьях, описывающих свойства этого вида топлива, говорится о том, что оно нерастворимо в воде. Есть данные о его растворимости в системах ископаемое дизельное топливо-метанол (или этанол)-метиловый эфир рапсового масла [12]. Во втором томе справочника химика можно найти данные о растворимости отдельных компонентов биодизельного топлива: метиловых эфирах стеариновой, олеиновой и линолевой кислот. По данным справочника, все они растворяются в диэтиловом эфире и этаноле, а метилолеат ещё и в хлороформе [13]. Поэтому была изучена растворимость биодизельного топлива в ряде органических растворителей с разной диэлектрической проницаемостью.

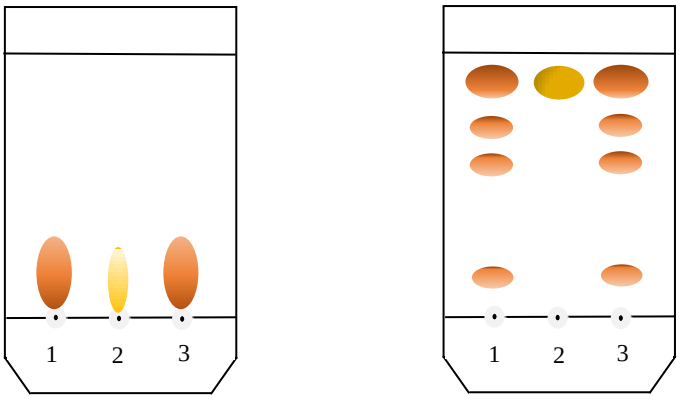
Установлено, что биодизельное топливо хорошо растворимо в неполярных углеводородах (октан, петролейный эфир, бензол, толуол,). Относительная диэлектрическая проницаемость (ε) этих растворителей находится в интервале от 1,9 до 2,4. У хлороформа этот показатель равен 4,8 и по нашим данным, биодизельное топливо хорошо растворяется в нём. Ещё более высокой является диэлектрическая проницаемость спиртов: изоамиловый – 16; бутиловый и изобутиловый – 17,7; пропиловый – 20,7; этиловый – 25. Надо отметить, что биодизельное топливо растворяется во всех перечисленных спиртах нормального и разветвлённого строения. Ацетон имеет диэлектрическую проницаемость, близкую к пропанолу – 21, но в ацетоне биодизельное топливо не растворяется, как и в глицерине (ε = 42).

Добавление к октану более полярного растворителя (ацетона) привело к лучшему разделению компонентов биодизельного топлива, видно несколько пятен, соответствующих метиловым эфирам различных карбоновых кислот. Можно предположить, что карбоновые кислоты разной молекулярной массы и степени непредельности имеют разное сродство к данному элюенту. Это можно использовать для изучения состава биодизельного топлива, синтезированного из разных сортов масла. Но значения R_f биодизельного и нефтяного топлива близки (рисунок 4), пятна накладываются друг на друга. Следовательно, для экспресс-анализа наличия БТ в нефтяном товарном топливе данный элюент непригоден.



1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 4 – Хроматограмма с элюентом октан: ацетон 1:1

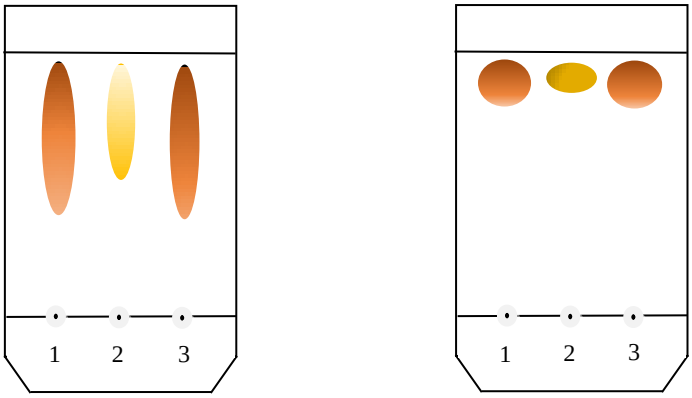
Если в качестве элюента взять ацетон, пятна обоих видов топлив не отрываются от линии старта, вероятно, из-за низкого сродства компонентов топлив к растворителю. При использовании хлороформа, наоборот, большая часть компонентов уходит с элюентом к линии финиша (рис. 5). Хлороформ можно так же использовать для изучения компонентного состава биодизельного топлива, но не для определения присутствия БТ в товарном дизельном топливе.



элюент – ацетон элюент – хлороформ

1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 5 – Хроматограмма с элюентами ацетон и хлороформ

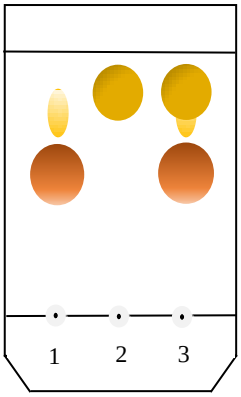
Проверили возможность использования в качестве элюента этанола и бутанола. У этих растворителей относительно высокие значения диэлектрической проницаемости, но в отличие от ацетона компоненты биодизельного топлива имеют высокое сродство к спиртам. Результат представлен на рисунке 6. Видно, что все компоненты топлив продвигаются по пластине практически вместе с элюентами, при этом этанол сильно растягивает пятно, но не выделяет отдельных групп компонентов топлив.



элюент – этанол элюент – бутанол

1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 6 – Хроматограмма с элюентами этанол и бутанол

Интересный результат получен при использовании в качестве элюента толуола (рисунок 7). Биодизельное топливо, синтезированное из подсолнечного масла, даёт на хроматограмме одно интенсивное пятно с R_f = 0,6 и очень слабое пятно с R_f = 0,8, при этом коэффициент подвижности для единственного пятна нефтяного топлива равен 0,86. Таким образом, основные пятна нефтяного топлива и БТ хорошо отличаются на хроматограмме и этот элюент можно использовать для экспресс-анализа.



1 – биодизельное топливо, 2 – нефтяное дизтопливо, 3 – смесь топлив 1:1
Рисунок 7 – Хроматограмма с элюентом толуол

Используя толуол в качестве элюента, провели исследование методом ТСХ ещё четырёх образцов биодизельного топлива, синтезированных из различных масел. Общий вид хроматограмм для биодизельных топлив, полученных переэтерификацией масел рапса, подсолнечника, рыжика и редьки практически не отличаются. Есть небольшие различия в величинах коэффициента подвижности основного пятна БТ (от 0,59 до 0,63). На хроматограмме биодизельного топлива, синтезированного из льняного масла, мы видим ещё одно пятно с R_f = 0,48. Вероятно, это связано с тем, что этот вид биотоплива заметно отличается по своему составу наличием метилового эфира непредельной линоленовой кислоты, радикал которой содержит три двойные связи [12].

Необходимо было определить чувствительность метода ТСХ для определения наличия биодизельного топлива в смеси с нефтяным. Провели хроматографическое исследование пяти образцов смесевых топлив с содержанием БТ 2, 5, 7, 10 и 20 % (об.). С уменьшением концентрации БТ площадь его пятна на хроматограмме снижается, но даже при концентрации 2% пятно хорошо различимо.

Заключение. Впервые изучена растворимость биодизельного топлива в органических растворителях с различной полярностью. Установлено, что биодизельное топливо хорошо растворимо неполярных алифатических и ароматических углеводородах (бензол, толуол, октан, петролейный эфир) и их галогенопроизводных (хлороформ), а также в одноатомных спиртах нормального и разветвлённого строения с числом атомов углерода C_2–C_5. В растворителях с большей диэлектрической проницаемостью (например, ацетон, глицерин) биодизельное топливо нерастворимо.

Впервые исследована возможность определения биодизельного топлива в смеси с нефтяным дизельным методом тонкослойной хроматографии. Показано, что в качестве элюента не могут быть использованы спирты, хлороформ и ацетон. При использовании в качестве элюента толуола достигается удовлетворительное разделение компонентов нефтяного и биодизельного топлив. Значения коэффициента подвижности R_f для основного пятна нефтяного топлива составляет 0,86, для биодизельного топлива, синтезированного из различных сортов растительного масла он находится в пределах 0,59–0,63 (элюент – толуол). Установлено, что таким образом можно определять наличие биодизельного топлива, синтезированного из различных видов масел при концентрациях от 2% (об.) и выше.

Список источников

1. На заметку аграриям – новые данные по контролю качества ГСМ в ЦФО [Электронный ресурс]. – URL: https://dzen.ru/a/Yl7ymmGB2RjlkBzv (дата обращения 12.06.2023).

2. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Матвеев О.В., Остриков В.В. Комплект для экспресс-анализа // Сельский механизатор. 2001. № 10. С. 14-15.

3. Белозерцева Н.Е., Торчакова О.М., Богданов И.А., Киргина М.В. Исследование целесообразности использования биодизельных топлив в качестве смесевого компонента товарных дизельных топлив // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. № 12 (1). С. 130-140

4. Рагимов Э.А. Влияние альтернативных топлив на окружающую среду // Транспорт на альтернативном топливе. 2020. № 2. С. 64-70.

5. Медведева Н.Д. Перспективы развития производства биотоплива: мировой опыт // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2019. № 3. С. 45-53.

6. Боровицкая П. С., Варламова Е. С. Проблемы и перспективы развития российского рынка биотоплива // Экономические исследования и разработки. Научно-исследовательский журнал. 2021. № 2. С. 63-76.

7. ГОСТ Р 52368-2005 (ЕН 590:2009) Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2009. 11 с.

8. Yang Z., Hollebone B.P., Wang Z., Yang C., Brown C., Landriault C. Forensic identification of spilled biodiesel and its blends with petroleum oil based on fingerprinting information // Journal of Separation Science. 2013. № 36 (11). P. 1788-1796.

9. Мартынов В.Ф., Бельшина Ю.Н. Исследование дизельного топлива методом тонкослойной хроматографии в экспертных целях // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2012. № 4. С. 135-139.

10. Bansal K., McCrady J., Hansen A., Bhalerao K. Thin layer chromatography and image analysis to detect glycerol in biodiesel // Fuel. 2008. V. 87. P. 3369-3372.

11. Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Романцова С.В. О молекулярном составе биодизельного топлива // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2013. № 3. С.70-73.

12. Makareviciene V., Sendzikiene E., Janulis P. Solubility of multi-component biodiesel fuel systems // Bioresource Technology. 2005. № 96(5). P. 611-616.

13. Никольский Б.П., Григоров О.Н., Позин М.Е. Справочник химика. Том 2. Основные свойства неорганических и органических соединений. Л.: Химия, 1965. 1168 с.

References

1. Note to farmers - new data on quality control of fuels and lubricants in the Central Federal District. Retrieved from https://dzen.ru/a/Yl7ymmGB2RjlkBzv (accessed 12.06.2023). (In Russ.)

2. Nagornov S.A., Romantsova S.V., Matveyev O.V., Ostrikov V.V. Set for express analysis *Sel'skij mehanizator* = Agricultural machine operator. 2001; (10):14-15. (In Russ.)

3. Belozertseva N.Ye., Torchakova O.M., Bogdanov I.A., Kirgina M.V. Study of the feasibility of using biodiesel fuels as a mixed component of commercial diesel fuels *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied chemistry and biotechnology. 2022; (12(1)):130-140. (In Russ.)

4. Ragimov E.A. Impact of alternative fuels on the environment *Transport na al'ternativnom toplive* = Alternative fuel transport. 2020; (2):64-70. (In Russ.)

5. Medvedeva N.D. Prospects for the development of biofuel production: world experience *Ekonomika, trud, upravleniye v sel'skom khozyaystve* = Economy labor management in agriculture. 2019; (3):45-53.

6. Borovitskaya P. S., Varlamova Ye. S. Problems and prospects for the development of the Russian biofuel market // *Ekonomicheskiye issledovaniya i razrabotki. Nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = Economic development research journal. 2021; (2):63-76. (In Russ.)

7. GOST R 52368-2005 (EN 590:2009) EURO diesel fuel. Specifications. M.: Standartinform; 2009. 11 p. (In Russ.)

8. Yang Z., Hollebone B.P., Wang Z., Yang C., Brown C., Landriault C. Forensic identification of spilled biodiesel and its blends with petroleum oil based on fingerprinting information Journal of Separation Science. 2013; (36 (11)):1788-1796.

9. Martynov V.F., Bel'shina Yu.N. The study of diesel fuel by thin-layer chromatography for expert purposes *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii* = Bulletin of the Saint-Petersburg university of State fire Service of EMERCOM of Russia.2012; (4):135-139. (In Russ.)

10. Bansal K., McCrady J., Hansen A., Bhalerao K. Thin layer chromatography and image analysis to detect glycerol in biodiesel Fuel. 2008; (87): 3369-3372.

11. Nagornov S.A., Zazulya A.N., Romantsova S.V. On the molecular composition of biodiesel fuel *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Michurinsk state agrarian university. 2013; (3):70-73. (In Russ.)

12. Makareviciene V., Sendzikiene E., Janulis P. Solubility of multi-component biodiesel fuel systems Bioresource Technology. 2005; (96(5)): 611-616.

13. Nikol'skiy B.P., Grigorov O.N., Pozin M.Ye. Handbook of a chemist. Volume 2. Basic properties of inorganic and organic compounds. L.: Khimiya; 1965; 1168 p. (In Russ.).

Информация об авторах

С.В. Романцова – кандидат химических наук; И.В. Гладышева – кандидат химических наук; Н.В. Вервекина – кандидат химических наук; С.А. Нагорнов - доктор технических наук, профессор; А.Н. Ликсутина - кандидат технических наук.

Information about the authors

S. Romantsova - Candidate of Chemical Sciences; I. Gladysheva - Candidate of Chemical Sciences; N. Vervekina - Candidate of Chemical Sciences; S. Nagornov - Full Doctor of Technical sciences, Professor; A. Lixutina - Candidate of Technical Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 01.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 22.06.2023