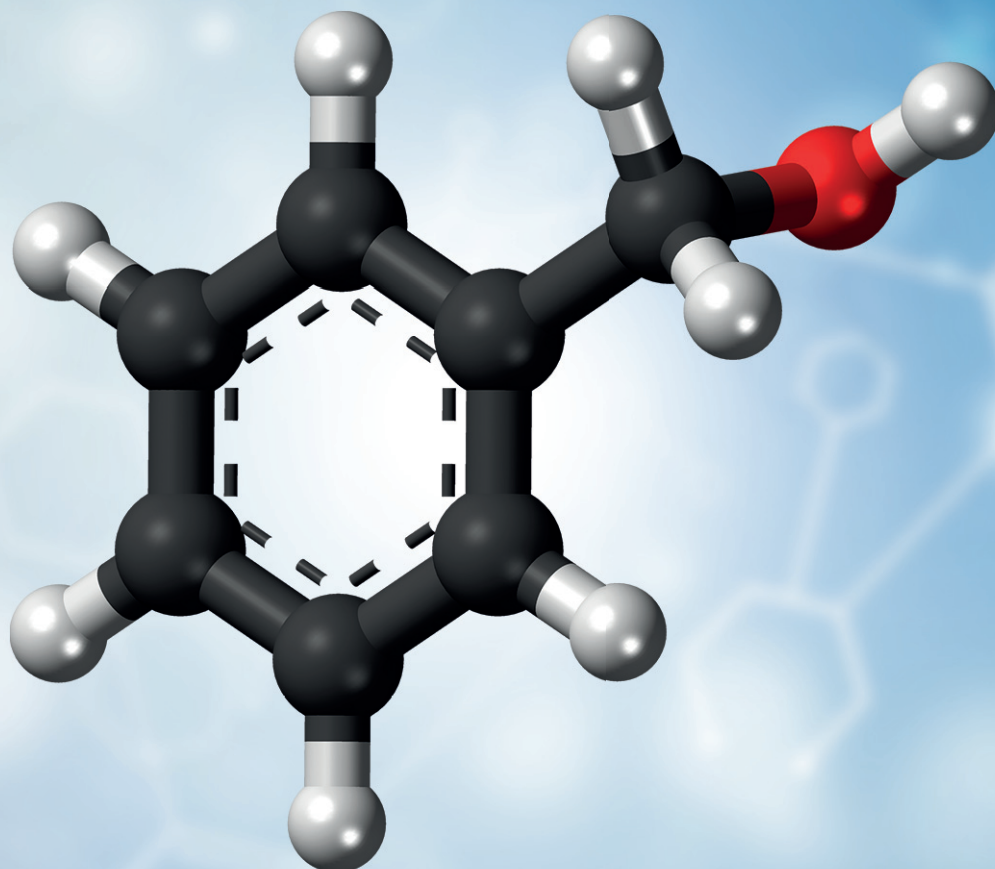


ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ СЕГОДНЯ

4 / 2025

Тема номера:

ПОЛУЧЕНИЕ БЕНЗИЛОВОГО СПИРТА (ОБЗОР)



Над номером работали:

Главный редактор: д.х.н., проф.
Роман Анатольевич Козловский, auka@chemprom.org

Генеральный директор: Ярцева Дарья Вадимовна,
chef@chemprom.org

Руководитель отдела подписки Артем Вашурин,
av@chemprom.org

Заведующая научным отделом:
Сария Козлова, red@chemprom.org

Дизайн и верстка: Станислав Игнатов

Члены редколлегии:

д.х.н., проф. Аветисов И. Х.
д.т.н., проф. Акинин Н. И.
д.х.н., проф. Бухаркина Т. В.
д.т.н., проф. Ваграмян Т. А.
член-корр. РАН, д.т.н., доцент Вошкин А. А.
д.т.н., проф. Грунский В. Н.
д.т.н., проф. Каграманов Г. Г.
д.т.н., проф. Кузнецов А. Е.
д.т.н., проф. Макаров Н. А.
член-корр. РАН, д.х.н., проф. Максимов А. Л.
академик РАН, д.т.н., проф. Мешалкин В. П.
академик РАН, д.х.н., проф. РАН Новаков И. А.
член-корр. РАН, д.т.н., проф. Носков А. С.
д.т.н., проф. Пантелеев И. Б.
д.т.н., проф. Панфилов В. И.
д.т.н., доцент Растунова И. Л.
д.т.н., проф. Сафин Д. Х.
к.б.н., доцент Сахаров Д. А.
д.х.н., проф. Степанов С. И.
д.х.н., проф. Сульман М. Г.
д.т.н., проф. Тимошенко А. В.
д.х.н., проф. Флид В. Р.

Издается под эгидой Российского Союза химиков
и Российского химико-технологического университета
им. Д. И. Менделеева, ФГУП «НТЦ Химвест»

По вопросам оформления подписки:

направьте в любом формате письмо
с запросом по адресу:
av@chemprom.org, Вашурин Артем

По вопросам размещения рекламы:

Коммерческая служба: +7 (495) 970-21-90,
reklama@chemprom.org

Журнал «Химическая Промышленность сегодня» включен
в Перечень ведущих рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть опубликованы основные результаты
диссертаций на соискание ученой степени кандидата
наук и ученой степени доктора наук. Также журнал входит
в базу данных Russian Science Citation Index (RSCI) на
платформе Web of Science, и входит в Международную
реферативную базу Chemical Abstracts.

Редакция оставляет за собой право редакционной правки
публикуемых материалов. Редакция может опубликовать
статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения
автора. При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Адрес редакции:

Россия, 125047 Москва А-47, Миусская пл., 9,
РХТУ им. Д. И. Менделеева, ООО «Химпром Сегодня».
Тел./факс: +7 (495) 970-21-90 www.chemprom.org

Отпечатано в ООО «Интерпак».

6 выпусков в год. Тираж 1000 экз.

Издание зарегистрировано Министерством РФ по делам
печати, телерадиовещания и средств массовых коммуни-
каций. Свидетельство о регистрации ПИ №77-13131

Дата выхода: 21 июля 2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА НОМЕРА ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

ПОЛУЧЕНИЕ БЕНЗИЛОВОГО СПИРТА (ОБЗОР)

2–15

МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ОСМОСА

16–22

ФОРМИРОВАНИЕ БАРЬЕРНОГО СЛОЯ МЕМБРАННОГО КАТАЛИЗАТОРА ИЗ ДИОКСИДА ВОЛЬФРАМА

23–31

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТОПЛИВА И ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

32–38

СЫРЬЕ И МАТЕРИАЛЫ

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСУЛЬФУРАЦИИ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМ ОБЖИГЕ

39–46

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

ПОЛУЧЕНИЕ БЕЛКОВЫХ ИЗОЛЯТОВ НА ОСНОВЕ МУКИ ЗЛАКОВЫХ

47–54

ОБЩИЕ ПОДХОДЫ К КОНВЕРСИОННОМУ СИНТЕЗУ ФОРМИАТОВ МЕТАЛЛОВ I И II ГРУПП

55–63

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ИОНООБМЕННОЙ КОЛОННЫ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФфуЗИИ В ОЧИЩАЕМОМ РАСТВОРЕ

64–73

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРОВ

ВЛИЯНИЕ ПОЛИСУЛЬФОНА МАРКИ ПСК-2 НА СВОЙСТВА ЭПОКСИАНГИДРИДНЫХ ПОЛИМЕРОВ

74–80

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

ПРИМЕНЕНИЕ МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

81–87

СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ВОДНУЮ СРЕДУ КРАЙНЕГО СЕВЕРА И ПРИРАВНЕННЫХ МЕСТНОСТЕЙ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ НА ОСНОВЕ ОБРАТНОЙ ЭМУЛЬСИИ

88–92

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

Солодухин Е. С., Шушпанов А. Н., Булушев Д. А.,
Султанов Е. В., Дмитриев Н. В., Сипилина А. А.
Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева, Москва.

В статье рассмотрены новые модельные системы простейших двухкомпонентных взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры и биодизельного топлива с точки зрения их пожаровзрывоопасности. Методом дифференциального термического анализа было проведено исследование термокинетических параметров как непосредственно самого горючего, так и его смесей с нитратом аммония. Полученные результаты демонстрируют значительно лучшую термическую стабильность чистого биодизельного топлива и практически идентичные параметры для смесей с селитрой. Определена температура вспышки синтезированного биодизельного топлива, составившая 196 °С в закрытом тигле и 200 °С в открытом тигле. Воспламенение биодизельного топлива произошло при температуре 212 °С. В ходе работы была определена чувствительность составов к ударному механическому воздействию: частота взрывов составила 4 %. Неоднозначные результаты наблюдаются при получении эмульсионных взрывчатых веществ на основе биотоплива: хотя динамическая вязкость соответствует диапазону значений, определяющих стойкость эмульсии к разрушению (85 000 сП), повышенная емкость (252 пФ) пока что не позволяет полностью отказаться от использования эмульгатора.

Ключевые слова: биодизельное топливо, аммиачная селитра, АСДТ, взрывчатые вещества, эмульсионные взрывчатые вещества, пожаровзрывоопасность, дифференциальный термический анализ, чувствительность к механическому воздействию.

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF BIODIESEL FUEL IN TWO-COMPONENT EXPLOSIVES

Solodukhin E. S., Shushpanov A. N., Bulushev D. A., Sultanov E. V., Dmitriev N. V., Sipilina A. A.
Mendeleev University of Chemical Technology of Russia.

Abstract: The article discusses new model systems of the simplest two-component explosives based on ammonium nitrate and biodiesel fuel in terms of their fire and explosion hazard. The method of differential thermal analysis was used to study the thermokinetic parameters of both the fuel itself and its mixtures with ammonium nitrate. The results obtained demonstrate significantly better thermal stability of pure biodiesel fuel and almost identical parameters for mixtures with ammonium nitrate. The flash point of synthesized biodiesel fuel was determined, to be 196 °C in a closed crucible and 200 °C in an open crucible. The ignition of biodiesel occurred at a temperature of 212 °C. The sensitivity of the explosives to mechanical impact was established: the frequency of explosions was 4 %. Ambiguous results are observed among the emulsion explosives based on bio-fuels: although the dynamic viscosity correlates with the range of values that determine an emulsion ability to resist the destruction (85,000 sP), the increased electrical capacity (252 pF) does not allow for an emulsifier to be completely removed right away.

Keywords: biodiesel fuel, ammonium nitrate, ANFO, explosives, emulsion explosives, fire and explosion hazard, differential thermal analysis, sensitivity to mechanical impact.

Введение

Начиная с нефтяного кризиса 1973 года, ставшего первым энергетическим кризисом [1], глобальные проблемы, связанные с нестабильностью рынка нефти, ограниченностью ее количества как невозобновляемого ресурса, ее отсутствием у значительного количества стран, а также с масштабными климатическими изменениями, обусловленными в том числе значительными выбросами парниковых газов, стали основными стимулами развития альтернативных видов топлива. Преимуществами биодизельного топлива, помимо экологического аспекта, обусловленного его углеродной нейтральностью за счет поглощения диоксида углерода на этапе роста растений, отсутствием серы, что особенно актуально для нефти российских марок [2] и биоразлагаемостью, является возможность его получения в рамках утилизации пищевых отходов. Кроме того, биодизельное топливо обладает высоким цетановым числом, находящимся в диапазоне от 46 до 66 в зависимости от жирнокислотного состава сырья, в то время как для наиболее распространенных марок ископаемого дизельного топлива характерны значения в диапазоне от 48 до 51 [3]. Смазывающие свойства биодизельного топлива позволяют увеличить срок службы двигателей, а возможность его применения в смесях с дизельным топливом без необходимости модифицировать двигатели в некотором диапазоне концентраций позволяет улучшить уже существующую топливную инфраструктуру [4].

По своей химической природе биодизельное топливо представляет собой смесь сложных алкильных эфиров (как правило, метиловых, этиловых и пропиловых) различных длинноцепочечных жирных кислот как животного, так и растительного происхождения. Наиболее распространенным сырьем для биодизельного топлива являются такие масличные культуры как рапс, соя, масличная пальма и подсолнечник [5]. Синтез биодизельного топлива проводится путем реакции пере- и этерификации исходного сырья в присутствии основного (гидроксиды щелочных металлов) или кислотного (серная или ортофосфорная кислоты) катализатора. Ввиду такого разнообразия исходного сырья трудно установить единые стандарты для биодизельного топлива, поскольку жирнокислотный состав непосредственно влияет на физические, а в случае наличия ненасыщенных жирных кислот, и на химические свойства образованных сложных эфиров. Тем не менее, установлено, что биодизельное топливо вне зависимости от состава сырья, имеет значительно большую температуру вспышки (от 130 °C) [6], чем ископаемый дизель (до 55 °C) [7].

Однако применение биодизельного топлива при низких температурах затруднено его относительно высокой температурой кристаллизации. Образование кристаллов начинается при температуре помутнения топлива, которая, как было упомянуто выше, в значительной степени зависит от состава биотоплива, и продолжается при дальнейшем понижении температуры вплоть до достижения температуры застывания, после которой свободное движение горючего как жидкости полностью прекращается

[8]. Описанные температурные параметры в значительной части зависят от содержания насыщенных жирных кислот: чем их массовая доля больше, тем биотопливо менее устойчиво к воздействию низких температур [9].

Исследования бикомпонентных смесей аммиачной селитры и биодизельного топлива показали, что их детонационные параметры практически не уступают таковым для типовых смесей АСДТ: скорость детонации при полевых испытаниях находилась в диапазоне от 2884,4 м/с до 3038,6 м/с для смесей с биодизельным топливом и в диапазоне от 3002,1 м/с до 3351,8 м/с для смесей с дизельным топливом [10]. В то же время применение биодизельного топлива в эмульсионных взрывчатых веществах (ВВ) позволило значительно улучшить дисперсность системы, снизив средний размер частиц на 41,7%, а также улучшить пожаровзрывобезопасность составов, повысив их энергию активации на 44,90 %. При этом достичь таких результатов удалось добавлением всего 2 масс. % биодизельного топлива, что позволило избежать существенного ухудшения скорости детонации и брыззантности эмульсий [11].

Целью представленной работы является изучение пожаровзрывоопасности двухкомпонентных смесей на основе аммиачной селитры и биодизельного топлива, полученного из рапсового масла и этилового спирта, а также пожаровзрывоопасности образцов синтезированного биодизельного топлива. Также был проведен анализ эмульсионных составов ВВ, где биодизельное топливо использовалось как в качестве горючего, так и в качестве эмульгатора.

Материалы и методы

В качестве исходного сырья для синтеза биодизельного топлива использовалось рапсовое масло. Синтез проводился по ранее описанной методике [12] путем проведения реакции переэтерификации с этиловым спиртом. В качестве окислителя двухкомпонентного ВВ использовалась пористая аммиачная селитра, а для дополнительных экспериментов также использовалась аммиачная селитра марки Б (ООО «ЕвроХим», Россия).

Качественный и количественный состав биодизельного топлива был определен методом хромато-масс-спектрологии в ЦКП РХТУ им. Д. И. Менделеева. На основе полученных данных была определена усредненная брутто-формула синтезированного биотоплива для расчета стехиометрического соотношения биодизельного топлива и аммиачной селитры.

Температура вспышки биодизельного топлива была определена на установке Пенски-Мартенса (Herzog, Германия) в закрытом тигле по ГОСТ 12.1.044-2018 [13]. Дополнительно была определена температура вспышки в открытом тигле и температура воспламенения.

Дифференциальный термический анализ в комплексе с термогравиметрическим анализом как образцов биодизельного топлива, так и образцов смесевых составов ВВ был проведен на дериватографе системы Паулик-Паулик-Эрдей (MOM, Венгрия) при скоростях нагрева

2,5, 5, 7,5 и 10 К/мин. Термический анализ проводился в окислительной атмосфере (воздух). На основе полученных результатов были определены энергия активации биодизельного топлива и предэкспоненциальный множитель в уравнении Аррениуса, позволившие оценить устойчивость горючего к термическому воздействию.

Маслопоглощающая способность пористой аммиачной селитры, а также аммиачной селитры марки Б по отношению к биодизельному и дизельному топливу определялась методом делительной воронки, в ходе которого гранулы аммиачной селитры замачивались в образцах горючего в течение 20 минут, после чего открывался клапан воронки, и непоглощенные остатки топлива стекали в стакан. На основе исходной и конечной массы горючего рассчитывалась маслопоглощающая способность селитры.

Чувствительность смесевых составов на основе селитры и биодизельного топлива к механическому воздействию по ГОСТ 4545-88 [14] методом определения частоты взрывов на копре К-44-2 (прибор 1). Навеска вещества массой 50 мг помещалась между роликами, один из которых устанавливался в муфту на наковальне копра, а другой – непосредственно на образец ВВ. На испытуемый образец с высоты 250 мм сбрасывался груз массой 10 кг. Фиксация результатов удара осуществлялась органолептическим методом контроля.

В ходе исследования эмульсионного ВВ на основе аммиачной селитры и биодизельного топлива был проведен анализ динамической вязкости эмульсий с целью определения их устойчивости к разрушению. Данные о кинематической вязкости образцов были получены на ротационном вискозиметре Брукфильда RVF (AMETEK, США). Электрическая емкость суспензии, являющаяся косвенным признаком показателя дисперсности системы, и, следовательно, качества получаемого ВВ, была определена по ГОСТ 32411-2013 [15] с помощью электрода специальной конструкции и LCR-метра.

ТАБЛИЦА 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

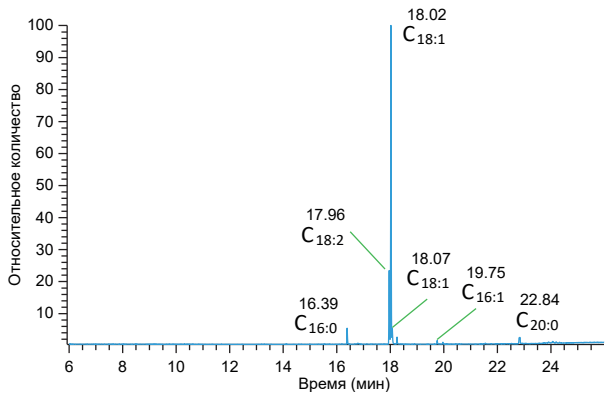
Соединение	Время удерживания, мин	% площади	Жирнокислотный состав масла по соответствующим жирным кислотам (по ГОСТ 31759-2012 [16]), масс. %
Этиловый эфир гексадекановой кислоты	16,39	3,33	2,5 – 7,0
Этиловый эфир линолевой кислоты	17,96	15,18	15,0 – 30,0
Этиловый эфир олеиновой кислоты	18,02	69,83	51,0 – 70,0
Этиловый эфир элаидиновой кислоты	18,07	3,12	
Этиловый эфир стеариновой кислоты	18,25	1,52	0,8 – 3,0
Этиловый эфир пальмитолеиновой кислоты	19,75	0,86	0,6
Этиловый эфир арахидиновой кислоты	21,55	0,28	0,2 – 1,2

Результаты и обсуждение

Биодизельное топливо: Результаты хромато-масс-спектрологии (рис. 1) позволили установить превалирование в составе синтезированного биодизельного топлива этиловых эфиров линолевой и олеиновой кислот (табл. 1), причем площадь пика относительного пика эфира олеиновой кислоты составляет около 70 %, а площадь пика эфира линолевой кислоты – 15 %. Также в исследованном образце представлены незначительные количества этиловых эфиров других жирных кислот, входящих в состав рапсового масла, не оказывающие существенного влияния на свойства биодизельного топлива. Тем не менее, даже с учетом разницы в жирнокислотном составе сырья полученная усредненная брутто-формула биодизельного топлива совпадает с таковой для этилового эфира олеиновой кислоты ($C_{20}H_{38}O_2$), ввиду чего можно исходить из де-факто гомогенности горючего.

РИС. 1

ХРОМАТОГРАММА ОБРАЗЦА СИНТЕЗИРОВАННОГО БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА



Из расчета кислородного баланса биодизельного топлива по формуле:

$$КБ = \frac{d - (a + \frac{b}{2})}{M} \times 16 \times 100\%,$$

где d - число атомов кислорода, a - число атомов углерода, b - число атомов водорода, M - молекулярная масса (310 - молекулярная масса этилового эфира олеиновой кислоты), 16 - атомная масса кислорода [17], составившего - 294 %, было рассчитано стехиометрическое соотношение аммиачной селитры с биотопливом. Исходя из известного кислородного баланса нитрата аммония, равного 20 %, стехиометрическим является следующее соотношение компонентов: 93,6 масс. % нитрата аммония и 6,4 масс. % биодизельного топлива.

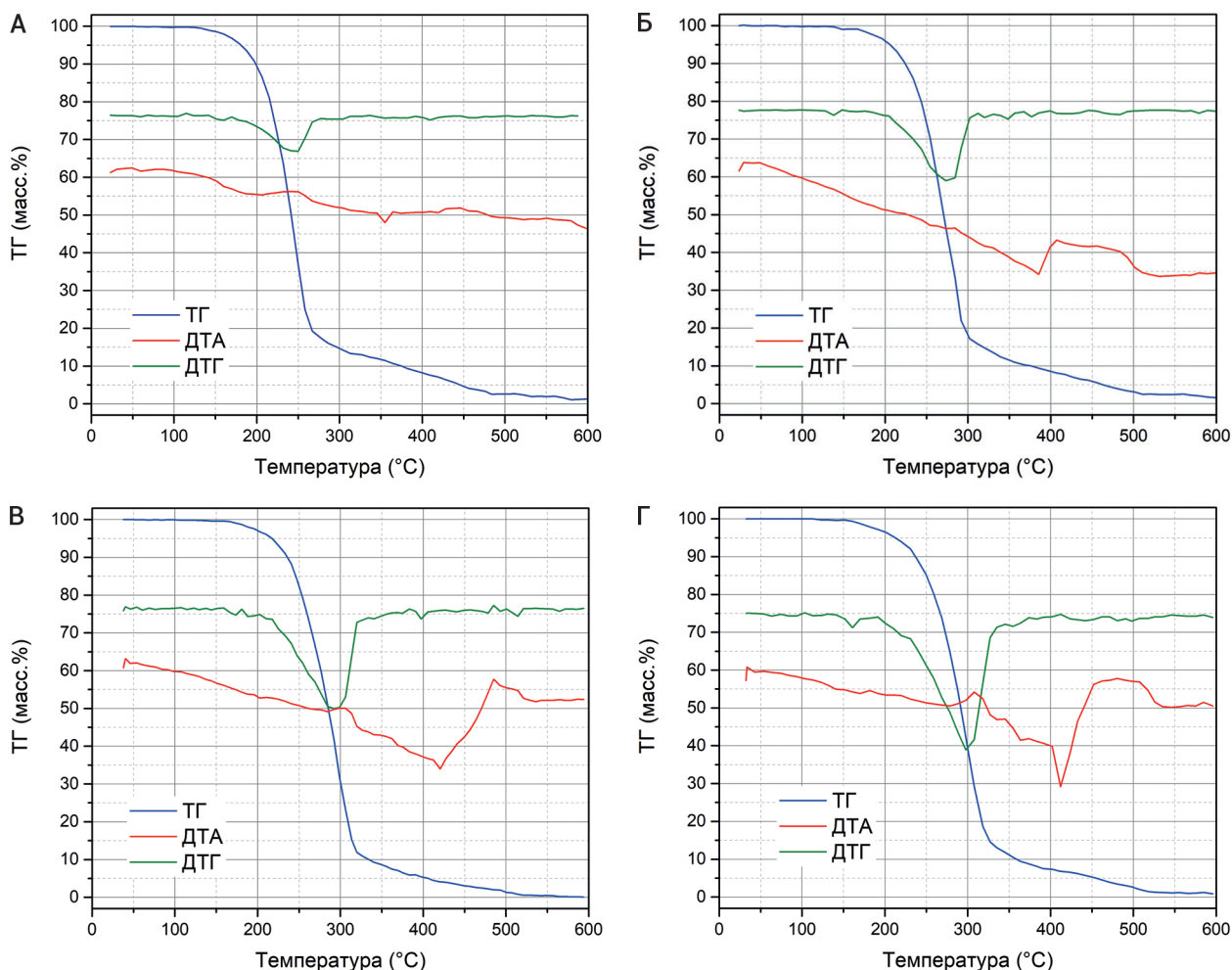
При этом само топливо имеет значительно лучшую термическую устойчивость: испарение ископаемого дизельного топлива наблюдается в диапазоне от 130 до 270 °С, в то время как термическое разложение биодизельного топлива происходит в диапазоне температур от 220 до 400 °С.

Температура вспышки синтезированного биодизельного топлива в закрытом тигле составила 196 °С, что значительно выше литературных данных, где указываются значения порядка 150 °С [18]. Температура вспышки для ископаемого дизельного топлива по ГОСТ 305-2013 должна быть выше 40 °С и на практике составляет порядка 55 °С. Температура вспышки образца биодизельного топлива в открытом тигле составила 200 °С. Таким образом, температура вспышки биодизельного топлива в несколько раз выше, чем у дизельного топлива, что делает его значительно пожаробезопаснее. При дальнейшем нагреве до 212 °С происходит воспламенение биодизельного топлива.

Результаты дифференциального термического анализа (рис. 2) позволили установить, что экзотермическое разложение биодизельного топлива происходит в температурном диапазоне от 230 до 420 °С. Значительно отличается поведение дизельного топлива: образец не разлагается, а испаряется в диапазоне температуры от 130 до 270 °С, что сопровождается эндотермическим эффектом. Полученные результаты соотносятся с ранее

РИС. 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА СО СКОРОСТЬЮ НАГРЕВА:



(а) 2,5 К/мин, (б) 5 К/мин, (в) 7,5 К/мин и (г) 10 К/мин. (ТГ – термогравиметрия, ДТА – дифференциальный термический анализ, ДТГ – дифференциальная термогравиметрия).

выдвинутым тезисом о том, что биодизельное топливо обладает лучшей термической устойчивостью. Энергия активации для образцов биодизельного топлива, испытания которого проводились при скоростях нагрева 2,5, 5, 7,5 и 10 К/мин, составила 52,00 кДж/моль при ее определении по методу Киссинджера и 66,23 кДж/моль при ее определении по методу Озавы–Флина–Уолла. Полученные значения незначительно превосходят энергию активации дизельного топлива на начальной этапе превращения, но, как было установлено в исследовании Soto и др. [19], в дальнейшем, с ростом степени превращения вещества, наблюдается рост энергии активации дизельного топлива и снижение энергии активации биодизельного топлива, причем уже при достаточно низких значениях конверсии энергия активации дизеля начинает превосходить по своим значениям энергию активации биотоплива. Таким образом, биодизельное топливо не только более безопасно в низком температурном диапазоне, но и способствует большей скорости реакции в ходе горения.

ВВ на основе аммиачной селитры и биодизельного топлива:

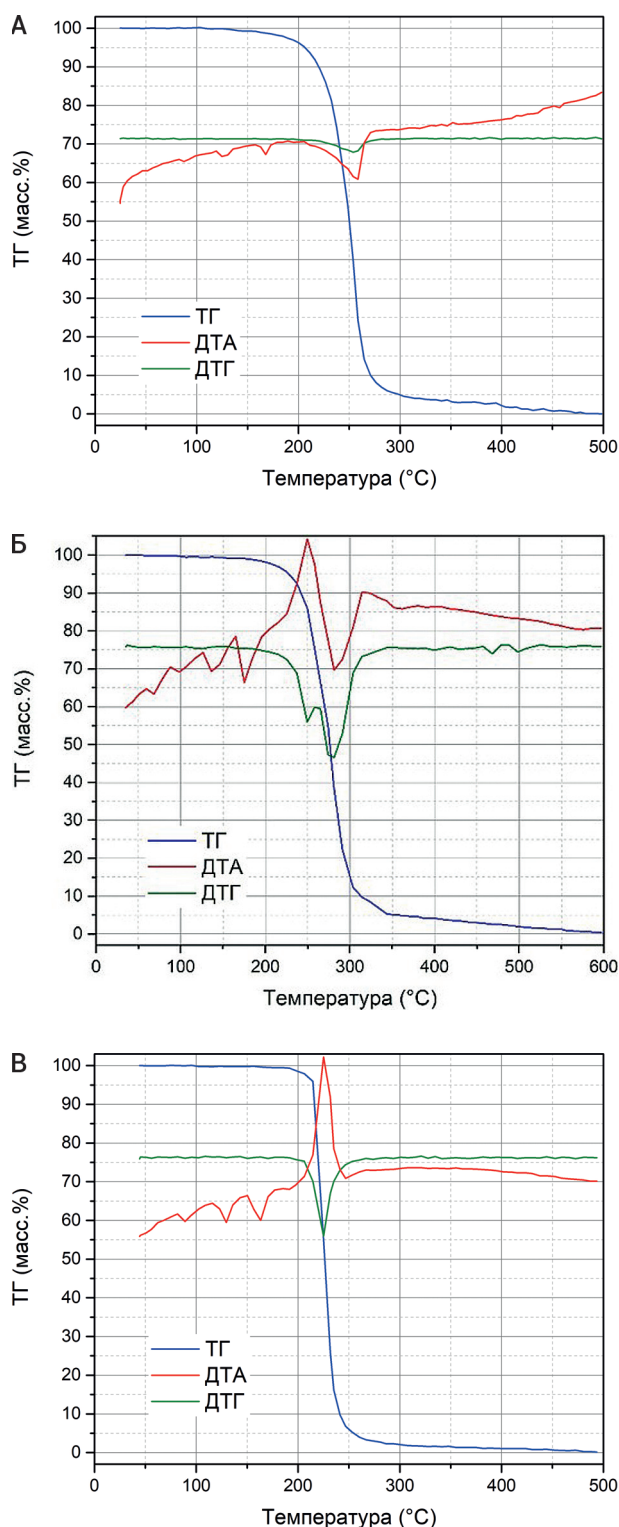
Маслопоглощающая способность пористой аммиачной селитры по отношению к биодизельному топливу составила 13,64 %, что на 1,05 % больше, чем по отношению к ископаемому дизельному топливу, что свидетельствует о лучшей удерживающей способности. Аналогичные результаты были получены при проведении опыта с селитрой марки Б: для биодизельного топлива маслопоглощающая способность составила 4,22 %, а для дизельного – 2,91 %. Увеличение удерживающей способности селитры по отношению к горючему может позволить улучшить физическую устойчивость смесевых ВВ на ее основе.

Дифференциальный термический анализ смесевых ВВ (рис. 3) на основе биодизельного и дизельного топлива демонстрирует идентичные результаты: термический распад в атмосфере воздуха происходит начиная с 200 °С. Примечательно, что для смеси АСДТ (рис. 3а) наблюдается превалирование эндотермического эффекта над экзотермическим, который, в свою очередь, зафиксирован как у смеси аммиачной селитры с биотопливом (рис. 3б), так и у чистой пористой аммиачной селитры (рис. 3в). При этом, принимая во внимание то, что скорость нагрева для всех образцов составляла 10 К/мин, можно заметить, что разложение чистой селитры полностью проходит в температурном диапазоне от 200 до 250 °С. Для смеси с дизельным топливом аналогичный температурный диапазон расположен между 200 и 280 °С, а для смеси с биотопливом – между 200 и 340 °С.

Тем не менее, существенного влияния на поведение смеси ВВ добавление биодизельного топлива не оказывает. Это также подтверждают результаты определения чувствительности смеси к ударному механическому воздействию. Частота взрывов для смеси с биотопливом составила 4 % (1 зафиксированный взрыв из 25 испытаний), в то время как ранее установленная частота взрывов с ископаемым топливом составила 8 % (2 зафиксированных взрыва из 25 испытаний) [20].

РИС. 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СМЕСИ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ И ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА (А), БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА (Б) И ЧИСТОЙ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ (В)



Перспектива применения биодизельного топлива в эмульсионных ВВ во многом обусловлена возможностью его применения одновременно как эмульгатора, так и горючего. Было установлено, что при использовании биодизельного топлива в эмульсионных ВВ образуется устойчивая эмульсия. Стабильность эмульсии, вероятнее всего, обусловлена подходящей динамической вязкостью, составившей 85000 сП (оптимальным является диапазон от 60000 до 100000 сП). По полученному значению динамической вязкости биодизельное топливо находится между значениями для промышленных масел марок И-20А и И-40А: кинематическая вязкость биотоплива составила 7 сСт, а кинематические вязкости масел И-20А и И-40А – 5 и 9 сСт соответственно. Однако определённая далее электрическая ёмкость образца может свидетельствовать о недостаточной дисперсности образцов суспензии: полученное значение составило 252 пФ. Полученное значение выше нормативного (185 пФ) и значительно выше, чем для образцов промышленных масел (диапазон от 125 до 145 пФ). Однако показатель электроёмкости является лишь косвенным признаком дисперсности системы, вследствие чего требуется дополнительное исследование структуры образуемой эмульсии.

Заключение

Результаты работы позволяют рассматривать биодизельное топливо как более безопасную перспективную

замену ископаемому топливу в том числе в рамках смешанных ВВ. Полученные значения температуры вспышки биодизельного топлива на порядок выше, чем у ископаемого топлива. Кроме того, при помощи дифференциального термического анализа было установлено, что разложение и испарение биотоплива происходит при значительно большей температуре, чем испарение у дизельного топлива.

Применение биодизельного топлива в смесях с аммиачной селитрой не оказывает существенного влияния ни на термохимические свойства взрывчатых составов, в рамках которых наблюдается только незначительное увеличение времени их распада, ни на взрывчатые свойства, лишь незначительно снижая чувствительность составов к механическому воздействию.

Применение биодизельного топлива в эмульсионных ВВ показало неоднозначные результаты. С одной стороны, добавление биотоплива приводит к созданию достаточно устойчивой эмульсии, которая способна не разрушаться на протяжении нескольких часов за счет практически эталонного значения кинематической вязкости. С другой стороны, электроёмкость полученных образцов, являющаяся косвенным признаком дисперсности эмульсионной системы, выше требуемых значений, ввиду чего возможно ухудшение детонационных параметров эмульсионных ВВ.

Библиография:

1. Roger J. Stern. Oil Scarcity Ideology in US Foreign Policy, 1908–97 // *Security Studies*, 2016., Vol. 25, No. 2., pp. 214–257. DOI: 10.1080/09636412.2016.1171967.
2. Р. З. Сахабутдинов, А. А. Ануфриев, А. Н. Шаталов, Д. Д. Шипилов. Совершенствование физических методов удаления сероводорода из нефти // *Экспозиция Нефть Газ*, 2017., Т. 3, № 56., с. 39–41.
3. Семенов В. Г. Определение цетанового числа и теплоты сгорания биодизельного топлива // *Транспорт на альтернативном топливе*, 2011. – Т. 4, № 22. – с. 48–49.
4. S. M. Palash, H. H. Masjuki, M. A. Kalam et al. Biodiesel production, characterization, diesel engine performance, and emission characteristics of methyl esters from *Aphanamixis polystachya* oil of Bangladesh // *Energy Convers. Manag.*, 2015. Т. 91. С. 149–157. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.12.009.
5. W. Senusi, M. I. Ahmad, H. P. S. A. Khalil. Comparative assessment for biodiesel production from low-cost feedstocks of third oil generation // *J. Renew. Energy*, 2024. Vol. 236. 121369. DOI: 10.1016/j.renene.2024.121369.
6. Sh. M. Santos, D. C. Nascimento, M. C. Costa, A. M. B. Neto, L. V. Fregolente. Flash point prediction: Reviewing empirical models for hydrocarbons, petroleum fraction, biodiesel, and blends // *Fuel*, 2020. Т. 263. 116375. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116375.
7. ГОСТ 32511–2013 Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. Введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14.10.2013 г. № 44) (с 2015-01-01). Москва: Стандартинформ, 2014. 15 с.
8. Sh. M. Santos, M. R. Wolf-Maciel, L. V. Fregolente. Cold flow properties: Applying exploratory analyses and assessing predictive methods for biodiesel and diesel-biodiesel blends // *Sustain. Energy Technol. Assess.*, 2023. Т. 57. 103220. DOI: 10.1016/j.seta.2023.103220.
9. A. Bouaid, N. El bouilfi, K. Hahati, M. Martinez, J. Aracil. Biodiesel production from biobutanol. Improvement of cold flow properties // *Chem. Eng. J.*, 2014. Vol. 238. pp. 234–241. DOI: 10.1016/j.cej.2013.10.022.
10. Resende, S. A. Costa e Silva, V. de Lima, H. M. Improving ANFO: Study of non-conventional fuels for explosives mixes // *REM Rev. Esc. Minas*, 2014. Vol. 67, pp. 297–302. DOI: 10.1590/S0370-44672014000300009.
11. H. Li., Ce Yang, J. Sun, Y. Cheng. Effects of biodiesel on thermal safety and detonation characteristics of emulsion explosive // *Propellants, Explos. Pyrotech.*, 2023. Vol. 48, № 5. e202200258. DOI: 10.1002/prep.202200258.
12. Преимущества применения биодизельного топлива в качестве горючего компонента простейших взрывчатых материалов / Е. С. Солодухин, А. Н. Шушпанов, Н. И. Акинин и др. // *Взрывное дело*. – 2024. – Т. 141, № 102. – С. 116–135.
13. ГОСТ 12.1.044-2018. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. Введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 05.10.2018 г. № 717-ст (с 01.05.2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (дата обращения: 25.03.2025).

References.

1. Roger J. Stern. Oil Scarcity Ideology in US Foreign Policy, 1908–97 // *Security Studies*, 2016., Vol. 25, No. 2., pp. 214–257. DOI: 10.1080/09636412.2016.1171967.
2. R. Z. Sahabuddin, A. A. Anufriev, A. N. Shatalov, D. D. Shipilov. Improvement of physical methods for removing hydrogen sulfide from oil // *Exposition Oil Gas*, 2017., Vol. 3, № 56., pp. 39–41. (in Russ.)
3. Semenov V. G. Determination of cetane number and heat of combustion of biodiesel fuel // *Alternative fuel transport*, 2011. – Vol. 4, № 22. – pp. 48–49. (in Russ.)
4. S. M. Palash, H. H. Masjuki, M. A. Kalam et al. Biodiesel production, characterization, diesel engine performance, and emission characteristics of methyl esters from *Aphanamixis polystachya* oil of Bangladesh // *Energy Convers. Manag.*, 2015. Т. 91. С. 149–157. DOI: 10.1016/j.enconman.2014.12.009.
5. W. Senusi, M. I. Ahmad, H. P. S. A. Khalil. Comparative assessment for biodiesel production from low-cost feedstocks of third oil generation // *J. Renew. Energy*, 2024. Vol. 236. 121369. DOI: 10.1016/j.renene.2024.121369.
6. Sh. M. Santos, D. C. Nascimento, M. C. Costa, A. M. B. Neto, L. V. Fregolente. Flash point prediction: Reviewing empirical models for hydrocarbons, petroleum fraction, biodiesel, and blends // *Fuel*, 2020. Т. 263. 116375. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116375.
7. GOST 32511–2013 Diesel fuel EURO. Technical conditions. Proposed by the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Implemented by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification (protocol from November 14, 2013 № 44) (since 2015-01-01). Moscow: Standartinform, 2014. 15 p.
8. Sh. M. Santos, M. R. Wolf-Maciel, L. V. Fregolente. Cold flow properties: Applying exploratory analyses and assessing predictive methods for biodiesel and diesel-biodiesel blends // *Sustain. Energy Technol. Assess.*, 2023. Т. 57. 103220. DOI: 10.1016/j.seta.2023.103220.
9. A. Bouaid, N. El bouilfi, K. Hahati, M. Martinez, J. Aracil. Biodiesel production from biobutanol. Improvement of cold flow properties // *Chem. Eng. J.*, 2014. Vol. 238. pp. 234–241. DOI: 10.1016/j.cej.2013.10.022.
10. Resende, S. A. Costa e Silva, V. de Lima, H. M. Improving ANFO: Study of non-conventional fuels for explosives mixes // *REM Rev. Esc. Minas*, 2014. Vol. 67, pp. 297–302. DOI: 10.1590/S0370-44672014000300009.
11. H. Li., Ce Yang, J. Sun, Y. Cheng. Effects of biodiesel on thermal safety and detonation characteristics of emulsion explosive // *Propellants, Explos. Pyrotech.*, 2023. Vol. 48, № 5. e202200258. DOI: 10.1002/prep.202200258.
12. E. S. Solodukhin, A. N. Shushpanov, N. I. Akinin et al. The advantages of biodiesel usage as a fuel component in simple explosives // *Vzрывное дело (Explosion Technology)*. – 2024. – Vol. 141, № 102. – pp. 116–135.
13. GOST 12.1.044-2018. A system of occupational safety standards. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods of their determination. Implemented by the decree of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 05.10.2018. № 717-st (since 01.05.2019). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160696> (accessed: 25.03.2025).

14. ГОСТ 4545-88. Вещества взрывчатые бризантные. Методы определения характеристик чувствительности к удару. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19.09.88 № 3175 (с 1989-07-01) .URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200018204> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.

15. ГОСТ 32411-2013. Вещества взрывчатые промышленные. Методы определения электрической емкости, плотности и водостойчивости эмульсий. Введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18.02.2014 г. № 25-ст (с 01.09.2014). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108844> (дата обращения: 01.04.2025). – Текст: электронный.

16. ГОСТ 31759-2012. Масло рапсовое. Технические условия. Введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.11.2012 № 1631-ст (с 01.07.2013). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100062> (дата обращения: 21.03.2025). – Текст: электронный.

17. Горная энциклопедия. / Гл. ред. Е. А. Козловский, ред. кол.: М. И. Агосков, Н. К. Байбаков, А. С. Болдырев и др. – М.: Советская энциклопедия. Т. 3. Кенгаг – Орт. 1987. 592 с.

18. С. В. Мазанов, Р. А. Усманов, Р. Д. Амирханов, Ф. М. Гумеров. Экспериментальное исследование процесса получения биодизельного топлива в сверхкритических флюидных условиях // Проблемы энергетики, 2017. – Т. 19, № 1-2. – с. 41–51.

19. F. Soto, M. Alves, J. C. Valdés, O. Armas, P. Crnkovic et al. The determination of the activation energy of diesel and biodiesel fuels and the analysis of engine performance and soot emissions // Fuel Process. Technol., 2018. – Vol. 174. – p. 69–77. DOI: 10.1016/j.fuproc.2018.02.008.

20. Солодухин Е. С., Шушпанов А. Н., Дмитриев Н. В. Игданит как реперная точка для новых модельных систем аммиачная селитра/биодизель // Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. – Т. 37. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева, 2023. – С. 80–82.

14. GOST 4545-88. Explosive substances. Methods for determining the impact sensitivity. Implemented by the decree USSR State Committee on Standards dated 19.09.88 № 3175 (since 1989-07-01). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200018204> (accessed: 20.03.2025).

15. GOST 32411-2013. Industrial explosives. Methods for determining the electrical capacity, density, and water resistance of emulsions. Implemented by the decree of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 18.02.2014. № 25-st (since 01.09.2014). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200108844> (accessed: 01.04.2025).

16. GOST 31759-2012. Rapeseed oil. Technical specifications. Implemented by the decree of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated 29.11.2012 № 1631-st (since 01.07.2013). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200100062> (accessed: 21.03.2025).

17. The Mining Encyclopedia. / Chief Editor. E. A. Kozlovsky, editorial board: M. I. Agoskov, N. K. Baibakov, A. S. Boldyrev et al. – M.: The Soviet Encyclopedia. Vol. 3. Kengag – Ort. 1987. 592 p. (in Russ.)

18. S. V. Mazanov, R. A. Usmanov, R. D. Amirkhanov, F. M. Gumerov. Experimental investigation of the biodiesel production process under supercritical fluid conditions // Energy problems, 2017. – Vol. 19, № 1-2. – pp. 41–51. (in Russ.)

19. F. Soto, M. Alves, J. C. Valdés, O. Armas, P. Crnkovic et al. The determination of the activation energy of diesel and biodiesel fuels and the analysis of engine performance and soot emissions // Fuel Process. Technol., 2018. – Vol. 174. – p. 69–77. DOI: 10.1016/j.fuproc.2018.02.008.

20. Solodukhin E. S., Shushpanov A. N., Dmitriev N. V. Igdanite as a reference point for new model systems ammonium nitrate/biodiesel // Uspеhi v Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii Magazine – Vol. 37. – Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education D. I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, 2023. – pp. 80–82.

Краткая информация об авторах:

Солодухин Егор Сергеевич

Аспирант кафедры техносферной безопасности, старший лаборант. Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., 9. E-mail: solodukhin.e.s@muctr.ru

Шушпанов Александр Николаевич

Доцент кафедры техносферной безопасности, к.т.н. Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева. Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., 9. E-mail: shushpanov.a.n@muctr.ru

Булусhev Даниил Андреевич

Аспирант кафедры техносферной безопасности. Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева. Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., 9. E-mail: 191706@muctr.ru

Султанов Егор Витальевич

Инженер, аспирант кафедры техносферной безопасности. Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева. Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., 9. E-mail: sultanov.e.v@muctr.ru

Дмитриев Никита Викторович

Ассистент кафедры техносферной безопасности, кандидат технических наук, ассистент. Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева. Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., 9. E-mail: dmitriev.n.v@muctr.ru

Сипилина Алина Александровна

Студент кафедры техносферной безопасности. Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева. Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., 9. E-mail: 211220@muctr.ru

Authors

Egor S. Solodukhin

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, senior laboratory assistant, PhD student of Technosphere Safety department. Address: 125047, Moscow, Miusskaya square, 9. E-mail: solodukhin.e.s@muctr.ru

Alexander N. Shushpanov

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, PhD in Engineering sciences, associate professor of the department of technosphere safety. Address: 125047, Moscow, Miusskaya square, 9. E-mail: shushpanov.a.n@muctr.ru

Daniil A. Bulushev

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, PhD student of Technosphere Safety department. Address: 125047, Moscow, Miusskaya square, 9. E-mail: 191706@muctr.ru

Egor V. Sultanov

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, engineer, PhD student of Technosphere Safety department. Address: 125047, Moscow, Miusskaya square, 9. E-mail: sultanov.e.v@muctr.ru

Nikita V. Dmitriev

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Candidate of Technical Sciences, assistant. of Technosphere Safety department. Address: 125047, Moscow, Miusskaya square, 9. E-mail: dmitriev.n.v@muctr.ru

Alina A. Sipilina

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, student of Technosphere Safety department. Address: 125047, Moscow, Miusskaya square, 9. E-mail: 211220@muctr.ru