

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

Тохтаев Марат Султанович

«Исследование влияния сырья и параметров синтеза на характеристики  
бiodизельного топлива»

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

6B05101-Химическая и биохимическая инженерия


Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ  
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К. И. Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
«Химическая  
и биохимическая  
инженерия»  
доктор PhD  
 А. А. Амирова  
«18» июня 2024 г.


ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Исследование влияния сырья и параметров синтеза на  
характеристики биодизельного топлива»

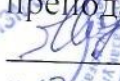
По образовательной программе 6B05101-Химическая и биохимическая  
инженерия

Выполнил

Тохтаев М.С.

Рецензент  
Канд. хим. наук, профессор  
 Есжанова П.Р.  
«11» 06 2024 г.



Научный руководитель  
Магистр технических наук, ст.  
преподаватель  
 Нурсұлтанов М.Е.  
«12» 06 2024 г.

Алматы 2024

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра Химической и биохимической инженерии

6B05101-Химическая и биохимическая инженерия

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
«Химическая  
и биохимическая  
инженерия»  
доктор PhD  
А. А. Амитова  
«18» июня 2024 г.

ЗАДАНИЕ

На выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Тохтаеву Марату Султановичу

Тема: Исследование влияния сырья и параметров синтеза на характеристики биодизельного топлива.

Утверждена приказом проректора по академической работе университета № 548 П/Ө от «04» декабря 2023 г.

Срок сдачи законченной работы «20» июня 2024 г.

Краткое содержание дипломного проекта:

- а) литературный обзор
- б) аналитическая часть
- в) лабораторные испытания
- г) охрана окружающей среды
- д) выводы

Перечень графического материала: *представлены*

Рекомендуемая основная литература: *из 28 наименований.*




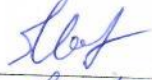

## ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор	29.01.2024	Выполнено
Теоретическая часть	19.02.2024	Выполнено
Лабораторные испытания	11.03.2024	Выполнено
Безопасность в чрезвычайных ситуациях.	08.04.2024	Выполнено
Охрана окружающей среды.	29.04.2024	Выполнено

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы.

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. Степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретический раздел	Нурсұлтанов М. Е.	13.05.24	
Лабораторные испытания	Нурсұлтанов М. Е.	20.05.24	
Нормоконтролер	Нурсұлтанов М. Е.	03.06.24	

Научный руководитель

Задание принял к исполнению обучающийся

Дата





Нурсұлтанов М. Е.



Тохтаев М.С.

«04» 01 2024 г.

## АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс әртүрлі өсімдік майларынан трансэтерификация арқылы биодизельдік отынның синтезін зерттеуге арналған. Жұмыста өсімдік майлары мен олардан алынатын биодизельдік отындардың сипаттамалары, сонымен қатар соңғы өнімнің шығымы мен сапасына әсер ететін трансэтерификация реакциясының параметрлері зерттеледі.

Зерттеудің негізгі мақсаты шикізаттың алуан түрлілігін және технологиялық процестердің параметрлерін ескере отырып, биодизель синтезінің оңтайлы шарттарын анықтау болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды: биодизельдік отын тақырыбы бойынша әдебиет көздеріне талдау жасау, синтез үшін әртүрлі шикізаттарды таңдау және бағалау, синтездің оңтайлы параметрлерін анықтау және алынған биодизель отынының физика-химиялық сипаттамаларын зерттеу.

Зерттеу нәтижелері шикізатты таңдау және трансэтерификация реакциясының шарттары биодизельдің шығымы мен сапасына айтарлықтай әсер ететінін көрсетті. Алынған деректерді биодизельді өндіру процестерін оңтайландыру үшін пайдалануға болады, бұл қоршаған ортаға теріс әсерді азайтуға және энергетикалық қауіпсіздікті арттыруға көмектеседі.

Негізгі сөздер: биодизельдік отын, трансэтерификация, өсімдік майлары, физикалық-химиялық сипаттамалары, экологиялық қауіпсіздік.

## АННОТАЦИЯ

Данная дипломная работа посвящена исследованию синтеза биодизельного топлива методом переэтерификации из различных растительных масел. В работе рассматриваются характеристики растительных масел и получаемых из них биодизельных топлив, а также параметры реакции переэтерификации, которые влияют на выход и качество конечного продукта.

Основная цель исследования заключается в определении оптимальных условий синтеза биодизельного топлива, учитывающих разнообразие сырьевых материалов и параметры процесса. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: анализ литературных источников по теме биодизельного топлива, подбор и оценка различных сырьевых компонентов для синтеза, определение оптимальных параметров синтеза и исследование физико-химических характеристик полученного биодизельного топлива.

Результаты исследования показали, что выбор сырья и условия реакции переэтерификации существенно влияют на выход и качество биодизельного топлива. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации процессов производства биодизеля, что способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и повышению энергетической безопасности.

Ключевые слова: биодизельное топливо, переэтерификация, растительные масла, физико-химические характеристики, экологическая безопасность.

## **ABSTRACT**

This thesis is devoted to the study of the synthesis of biodiesel fuel by transesterification from various vegetable oils. The paper examines the characteristics of vegetable oils and biodiesel fuels obtained from them, as well as the parameters of the transesterification reaction that affect the yield and quality of the final product.

The main objective of the study is to determine the optimal conditions for biodiesel synthesis, taking into account the variety of raw materials and process parameters. To achieve this goal, the following tasks were set: analysis of literature sources on the topic of biodiesel fuel, selection and evaluation of various raw materials for synthesis, determination of optimal synthesis parameters and study of the physicochemical characteristics of the resulting biodiesel fuel.

The results of the study showed that the choice of raw materials and transesterification reaction conditions significantly affect the yield and quality of biodiesel. The data obtained can be used to optimize biodiesel production processes, which helps reduce the negative impact on the environment and increase energy security.

Key words: biodiesel fuel, transesterification, vegetable oils, physical and chemical characteristics, environmental safety.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1 Литературный обзор.	5
1.1 Биодизельное топливо	6
1.2 Сырье для производства биодизельного топлива	7
1.2.1 Биодизельное топливо первого поколения	7
1.2.2 Биодизельное топливо второго поколения	8
1.2.3 Биодизельное топливо третьего поколения	8
1.3 Технологии производства биодизельного топлива	10
1.3.1 Пиролиз	10
1.3.2 Каталитический крекинг	10
1.3.3 Микроэмульгирование	12
1.3.4 Декарбоксилирование	12
1.3.5 Переэтерификация растительных масел	12
1.3.6 Получение биодизельного топлива с использованием гетерогенных катализаторов и СВЧ-нагрева	13
1.3.7 Получение биодизеля из масла микроводорослей	14
1.3.8 Получение биодизельного топлива из отработанного соевого масла и гашеной извести	14
1.4 Параметры реакции переэтерификации	15
1.4.1 Тип катализатора	15
1.4.2 Тип переэтерифицирующего агента	16
1.4.3 Соотношение растительного масла и переэтерифицирующего агента	16
1.4.4 Температура и время реакции переэтерификации	16
2 ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	17
2.1 Объект исследования	17
2.2 Методика синтеза биодизельного топлива	17
2.3 Параметры реакции переэтерификации	18
2.4 Методики определения характеристик сырья и продуктов	18
2.4.1 Методика определения вязкости	22
2.4.2 Методика определение плотности	22
2.4.3 Методика определения низкотемпературных характеристик	23
2.4.4 Методика определение температуры вспышки	24
2.5 Результаты проведенного исследования	25
3.1 Экологическая безопасность	26
3.2 Воздействие на атмосферу	26
3.3 Воздействие на гидросферу	26
3.4 Воздействие на литосферу	27
4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	28
5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ	29
Список использованных источников	31



## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире вопросы энергетической безопасности и экологической устойчивости становятся все более актуальными. В этом контексте поиск альтернативных источников энергии, не только эффективных, но и экологически чистых, приобретает особую важность. Одним из перспективных направлений в этой области является использование биодизельного топлива, которое обладает значительным потенциалом снижения выбросов вредных веществ и уменьшения зависимости от нефтепродуктов.

Однако для эффективного применения биодизеля необходимо тщательное исследование его характеристик, а также факторов, влияющих на процесс его синтеза. В данной дипломной работе проводится комплексное исследование влияния различных сырьевых компонентов и параметров синтеза на физико-химические свойства биодизельного топлива. Такой подход позволяет получить глубокое понимание процесса синтеза биодизеля и оптимизировать его производство с целью повышения качества и экономической эффективности.

Целью данного исследования является выявление оптимальных условий синтеза биодизельного топлива с учетом различных сырьевых материалов и параметров процесса. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи:

Изучение литературных источников по теме биодизельного топлива и факторов, влияющих на его характеристики. Подбор и анализ различных сырьевых компонентов для синтеза биодизельного топлива. Определение оптимальных параметров синтеза биодизеля с использованием выбранных сырьевых материалов. Исследование физико-химических характеристик полученного биодизельного топлива и сравнение их с требованиями стандартов.

Результаты данного исследования могут быть полезными для развития технологии производства биодизельного топлива, а также для принятия решений в сфере энергетики и экологии с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду.

## **1 Литературный обзор**

### **1.1 Биодизельное топливо**

Биодизельное топливо (биодизель, БиоДТ) – это один из наиболее популярных видов альтернативного топлива, известный своей экологической безопасностью, использованием возобновляемых сырьевых ресурсов и безопасностью в использовании. Производство БиоДТ служит методом переработки бытовых и промышленных отходов, таких как использованные масла. Биодизельное топливо применяется в стандартных двигателях внутреннего сгорания как в чистом виде, так и в виде различных смесей с дизельным топливом.

Биодизельное топливо обладает аналогичным энергетическим потенциалом, как и обычное дизельное топливо, но при этом обладает рядом значительных преимуществ. В частности, биодизель практически не содержит серы и ароматических соединений. Благодаря этому, выхлопные газы биодизеля практически не содержат оксидов серы и полициклических ароматических углеводородов. Биодизельное топливо обладает меньшей токсичностью и при попадании в почву или воду оно разлагается в течение месяца, образуя экологически безопасные продукты, что значительно уменьшает риск загрязнения рек и озер. Использование биодизельное топливо также существенно сокращает выбросы несгоревших углеводородов, угарного газа и твердых частиц. Среднее цетановое число для биодизельного топлива составляет не менее 51, тогда как для минерального дизельного топлива этот показатель находится в диапазоне 42-45. Это позволяет использовать биодизель в дизельных двигателях без необходимости добавления присадок, улучшающих воспламенение. Кроме того, биодизель имеет более высокую температуру воспламенения (свыше 100 °С), что делает его более безопасным в сравнении с нефтяным топливом.

Использование биодизельного топлива в качестве компонента смеси с традиционным дизельным топливом не требует изменений в конструкции стандартного двигателя внутреннего сгорания, в отличие от других видов альтернативных топлив. Биодизель обладает отличными смазочными свойствами, что положительно сказывается на работе двигателя, обеспечивая смазку его подвижных частей. Это, в свою очередь, способствует увеличению срока службы двигателя и топливного насоса. С химической точки зрения, биодизель – топливо, состоящее из моноалкильных эфиров жирных кислот. В стандартной технологии моноэфиры образуются в результате реакции переэтерификации липидных компонентов, т.е. жиров, в спиртовой среде. Группу липидов образуют нерастворимые в воде (гидрофобные) вещества однотипного молекулярного строения – жиры, фосфолипиды, стероиды и т.д. Молекулы этих веществ, называемых триглицеридами, представляют собой остаток трехатомного спирта (глицерина), в котором гидроксильные группы замещены (этерифицированы) жирными кислотами. Триглицериды с тремя идентичными остатками жирных кислот называются простыми триглицеридами, в то время как триглицериды с различными остатками жирных

кислот называются смешанными триглицеридами. В общем случае в растительных маслах содержится большее количество ненасыщенных кислот, в то время как в животных жирах содержится больше насыщенных жирных кислот.

## **1.2 Сырье для производства биодизельного топлива**

Для производства биодизеля используется разнообразное сырье. В зависимости от используемого материала, выделяют биодизель первого, второго и третьего поколений. Первое поколение включает растительные масла, такие как рапс и соя, однако их использование может приводить к экологическим и экономическим проблемам. Второе поколение использует отходы, такие как отработанные масла и жиры, что снижает себестоимость производства. Третье поколение разрабатывается на основе микроорганизмов и водорослей.

### **1.2.1 Биодизельное топливо первого поколения**

При производстве биодизельного топлива первого поколения в качестве исходного сырья применяются такие культуры как пшеница, рапс, соя, подсолнечник, кукуруза, сахарная свекла, из которых получают масла для дальнейшей переработки. В качестве сырья могут использовать не только пищевые масла, но и несъедобные или малопригодные в пищу. Растительные масла по своим физико-химическим свойствам подходят для работы дизельного двигателя. Но в зависимости от состава масел, их физико-химических характеристик качественные показатели биодизельного топлива могут существенно различаться. Недостатком использования растительных масел в качестве сырья является увеличение площадей сельскохозяйственных угодий. Из за того что масляные культуры требуют качественные пахотные земли это может повлиять на рост цен продуктов питания. Еще одним недостатком сельскохозяйственного сырья является его высокая стоимость. Значительные затраты на получение масличных культур обусловлены необходимостью использования сельскохозяйственной техники, пестицидов, удобрений, проведения регулярных работ по восстановлению плодородия почв. Большие затраты на производство сырья определяют высокую стоимость продукта – биодизельное топливо. В связи с экономическими и экологическими проблемами, связанными с производством биодизельное топливо первого поколения, все большую актуальность приобретает производство биотоплива из сырья непищевого назначения, т.е. биодизельное топливо второго и третьего поколений.

### **1.2.2 Биодизельное топливо второго поколения**

Биодизельное топливо второго поколения производится из различных отходов, таких как коммунально-бытовые, отходы пищевой промышленности и сельского хозяйства. Этот метод производства не только устраняет конкуренцию с пищевым сектором, но и помогает в решении проблемы утилизации промышленных отходов. Поскольку исходное сырье не требует дополнительных

затрат на производство, себестоимость биодизельного топлива второго поколения снижается. Одним из перспективных источников для производства этого топлива являются непищевые жиры, отработанные пищевые жиры и масла, а также жиросодержащие отходы, извлекаемые из городских сточных вод. Помимо этого, человеческая деятельность приводит к накоплению значительных объемов других органических отходов, загрязняющих окружающую среду. Поэтому производство биодизельного топлива из таких отходов является одним из самых перспективных методов их переработки.

### **1.2.3 Биодизельное топливо третьего поколения**

Биодизельное топливо третьего поколения производится из биомассы микроводорослей или гетеротрофных микроорганизмов. Характерная черта этого поколения биодизельного топлива – использование непищевого сырья, не относящегося к отходам. В сравнении с сельскохозяйственными культурами, продуктивность микроводорослей значительно выше – в десятки или даже сотни раз. На данный момент для промышленного производства применяются лишь ограниченные виды микроводорослей, что стимулирует ученых к поиску штаммов с высокой скоростью роста и содержанием липидов. Также разрабатываются методы генетической модификации, особенно полезные для быстрорастущих штаммов с низким содержанием липидов. Например, был создан модифицированный штамм хлореллы, который содержит больше липидов и используется для масштабного культивирования.

Для выращивания микроводорослей и используют открытые пруды, закрытые пруды и биореакторы. Открытые пруды требуют меньших затрат на создание и поддержание, но они характеризуются низким выходом биомассы. Открытые пруды эффективны только в теплом климате. В биореакторах можно достичь значительно большего выхода биомассы, однако затраты на их создание и эксплуатацию высоки. В таких системах необходимо поддерживать рециркуляцию, газообмен и оптимальную температуру культивационной среды. Из-за повышенного содержания полиненасыщенных жирных кислот в липидах снижается окислительная способность и ухудшаются некоторые топливные характеристики. Хотя микроводоросли очень продуктивны, но цена полученного масла высока и превышает стоимость масел из сельскохозяйственных культур. Наиболее затратной технологической операцией является сбор и подготовка биомассы к переработке в биодизельное топливо, что включает центрифугирование, химическую флокуляцию и фильтрацию. Производство биодизеля из микроводорослей является перспективным, что стимулирует развитие технологий для снижения его стоимости. Снижение затрат может быть достигнуто за счет масштабирования производства, использования миксотрофных культур водорослей с высокой скоростью роста, а также способных расти на различных отходах.

### **1.3 Технологии производства биодизельного топлива**

На сегодняшний день существуют различные технологии производства биодизельного топлива.

### **1.3.1 Пиролиз**

Процесс термического разрыва химических связей. Когда растительные масла и жиры подвергаются пиролизу, их триглицеридная структура разрушается, превращаясь в алканы, алкены и жирные кислоты. Механизм пиролиза масел и жиров довольно сложный, потому что в процессе происходит множество различных реакций одновременно. Однако, пиролиз обычно протекает по свободно-радикальному или карбоний-ионному механизму. Изменяя параметры, такие как температура и время обработки, можно значительно изменять химический состав продуктов и контролировать выход биотопливных фракций. Современные технологии пиролиза биомассы делятся на быстрый и медленный пиролиз по скорости нагрева, а также на вакуумный, гидропиролиз и метанопиролиз в зависимости от среды процесса. Недостаток этой технологии в том, что уменьшается количество атомов углерода в молекулах продукта, что снижает энергосодержание из-за образования более легких углеводородов.

### **1.3.2 Каталитический крекинг**

Представляет собой процесс, при котором тяжелые углеводородные молекулы распадаются на более легкие, проходя через катализатор, обычно при повышенной температуре. Особое внимание уделяется превращению растительных масел с использованием катализаторов, содержащих цеолиты. Состав целевых продуктов крекинга в значительной степени определяется выбором цеолитного компонента катализатора. Исследования показали, что активность и селективность цеолитсодержащих катализаторов зависят от кислотности, размеров и формы пор цеолитов, которые входят в их состав. Как при переработке нефтяного сырья, так и при преобразовании растительных масел, состав и выход целевых продуктов крекинга зависят от условий процесса. Основные параметры, влияющие на процесс, включают температуру и соотношение катализатор : сырье. С повышением температуры увеличивается скорость распада углеводородных фрагментов триглицеридов и вторичных реакций, что приводит к увеличению выхода непредельных углеводородов и снижению выхода бензина. Увеличение соотношения катализатор : сырье повышает среднюю активность катализатора, что способствует росту доли легких олефинов. Таким образом, изменяя эти параметры, можно контролировать глубину преобразования сырья, выход целевых продуктов и их качество.

Каталитический крекинг нефтяного сырья обычно проводится при температурах 500-530 °С, но для переработки растительных масел такие условия нецелесообразны из-за высокой реакционной способности непредельных соединений. Высокие температуры усиливают вторичные превращения, что приводит к увеличению выхода газообразных продуктов и

кокса и снижению выхода жидких продуктов. Состав продуктов крекинга сильно зависит от углеводородного остатка жирных кислот исходных триглицеридов растительных масел, то есть от типа масел, однако исследований по этому вопросу недостаточно.

### **1.3.3 Микроэмульгирование**

Микроэмульгирование создает термодинамически стабильную смесь, состоящую из воды, масла и поверхностно-активного вещества (ПАВ), с каплями размером от 1 до 150 нм. Такая смесь растительного масла, спирта и ПАВ может использоваться как биодизельное топливо. Было обнаружено, что свойства микроэмульсий с растительными маслами и метанолом похожи на характеристики дизельного топлива. Однако некоторые исследования показали, что при использовании такого топлива может образовываться значительное количество сажи в двигателях.

### **1.3.4 Декарбоксилирование**

Декарбоксилирование позволяет получить парафиновые дизельные топлива путем удаления кислорода из молекул природных масел и жиров, а также эфиров и жирных кислот. Этот процесс происходит в жидкой фазе и/или методом декарбонирования, в результате чего образуются линейные углеводороды. Однако стоит отметить, что парафиновые углеводороды имеют довольно высокие точки плавления, что ухудшает свойства топлива при низких температурах.

### **1.3.5 Переэтерификация растительных масел**

В настоящее время основной объем биодизельного топлива производится методом переэтерификации (алкоголиза) растительных масел и жиров с образованием эфиров жирных кислот. Этот процесс можно условно разделить на четыре основных этапа: переэтерификация, сепарация, рекуперация спирта и очистка готового продукта.

Процесс переэтерификации заключается в реакции спирта (обычно метанол или этанол) с триглицеридами жирных кислот в присутствии катализатора, что приводит к образованию сложных эфиров жирных кислот и глицерина, который является побочным продуктом. Сырой биодизель отделяется от глицерина, спирта и мыла. Омыление часто происходит из-за высокого содержания свободных жирных кислот в масле (более 0,5% по массе) и наличия воды. Мыло, образующееся в процессе, увеличивает вязкость, образует гель и мешает отделению глицерина от эфиров жирных кислот. В камере сгорания мыло образует нагар и смолы, а также может засорить фильтр. Для предотвращения образования мыла при щелочной переэтерификации масло должно быть полностью обезвожено (содержание воды не более 0,06% по массе) и содержать не более 0,5% по массе свободных жирных кислот.

Избыток спирта, отделенного от биодизеля, можно использовать повторно. Переэтерификация представляет собой обратимую реакцию,



состоящую из трех последовательных стадий, на которых образуются диглицериды и моноглицериды как промежуточные продукты. В этой реакции одна из алкоксильных групп в триглицеридах жирных кислот заменяется алкоксильной группой спирта, образуя новый сложноэфир — алкиловый эфир жирной кислоты ( $\text{RCOOCN}_3$ ). После замены всех трех алкоксильных групп в триглицеридах образуются три молекулы алкиловых эфиров жирных кислот и одна молекула глицерина. Поскольку реакция обратима, увеличение количества спирта приводит к увеличению выхода эфиров жирных кислот.

Из-за большой разницы в плотности между эфирами жирных кислот и глицерином, их разделение обычно осуществляется сепарацией готового продукта. Для этого используются центробежные сепараторы или гидроциклоны, где глицерин и биодизель поступают в отдельные сборные емкости. Для достижения максимального выхода метиловых (этиловых) эфиров жирных кислот требуется избыток спирта. Поэтому целесообразно применять технологию рециркуляции спирта путем его испарения. Процесс происходит в специальных испарителях под вакуумом. Сначала биодизель нагревают до определенной температуры, затем пары спирта отводят в конденсатор, где они охлаждаются и конденсируются, после чего конденсат перекачивается обратно в реактор для повторного использования.

Для удаления калия или натрия, следов глицерина и воды из сырого биодизеля применяются катионно-ионообменные смолы. При щелочной катализируемой переэтерификации конверсия триглицеридов жирных кислот в биодизель достигает 98% и выше. Однако, несмотря на высокую эффективность, процесс сопровождается рядом проблем, таких как омыление и высокая энергоемкость. Продолжительность реакции может составлять от 1 до 20 часов. Также необходимо отделять продукт реакции от гомогенного катализатора и побочных продуктов, что снижает рентабельность биодизеля по сравнению с нефтяным дизельным топливом.

Еще одним минусом этого метода является то, что глицерин получается не очень чистым. Чтобы получить глицерин высокой чистоты (98%), нужно потратить дополнительные ресурсы. Такой очищенный глицерин можно использовать для производства моющих средств и даже в фармацевтике после глубокой очистки. Также, добавляя фосфорную кислоту к техническому глицерину, можно производить фосфорные удобрения для сельского хозяйства. Поэтому, если увеличить выход чистого глицерина, можно снизить себестоимость биодизеля. В настоящее время проводятся исследования, направленные на устранение недостатков биодизеля путем разработки альтернативных методов переэтерификации.

### **1.3.6 Получение биодизельного топлива с использованием гетерогенных катализаторов и СВЧ-нагрева**

Альтернативный метод получения биодизеля включает использование мезо- и макроструктурированных алюмосиликатных катализаторов и СВЧ-нагрева. В отличие от традиционных каталитических методов, где

применяются гомогенные катализаторы, здесь используются гетерогенные алюмосиликатные катализаторы с высокоразвитой пористой структурой.

Сырье, состоящее из 99,9%-ного этанола и растительного масла, смешивается в аппарате с вихревым слоем ферромагнитных частиц. В этом аппарате происходит интенсивное перемешивание, диспергирование, а также акустическая и электромагнитная обработка и электролиз. В результате образуется устойчивая масло-спиртовая эмульсия с однородными каплями. Эта эмульсия подается в реактор для проведения реакции переэтерификации. Внутренний объем реактора заполнен блочным алюмосиликатным катализатором, а нагрев осуществляется воздействием на реагенты электромагнитными волнами сверхвысокой частоты (СВЧ).

Прореагировавшая смесь затем проходит через процесс сепарации для отделения глицериновой фракции. После этого смесь, содержащая этиловые эфиры жирных кислот и непрореагировавший этанол, поступает на промывку водой для полного удаления глицерина. Наконец, вакуум-выпарная сепарация разделяет смесь на непрореагировавший этанол и биодизельное топливо.

### **1.3.7 Получение биодизеля из масла микроводорослей**

Данная технология производства биодизеля основывается на использовании микроводорослей, которые содержат большое количество масла, в качестве основного сырья. Выращивать микроводоросли можно как в открытых водоемах, так и в бассейнах или специализированных фотобиореакторах. Одним из преимуществ использования фотобиореакторов является минимальная занимаемая площадь. При культивировании микроводорослей на открытой территории требуется высокая температура, что делает невозможным повсеместное их разведение. Получение значительного объема масла из микроводорослей может ускорить процесс производства биодизеля традиционным каталитическим методом и снизить его себестоимость, благодаря возможности получения масла непосредственно на производственной площадке. Компания "Биодизель Днепро" разработала методику быстрого получения большого объема биомассы из микроводорослей в фотобиореакторах с последующей переработкой ее в биотопливо. Суть метода заключается в том, что семена водорослей, насыщенные углекислым газом, попадают в фотобиореакторы, заполненные водой определенного химического состава, способствующего максимальному темпу роста микроводорослей и накоплению маслянистой жидкости. Высокий темп роста также обусловлен оптимально подобранным освещением, стимулирующим эффективный фотосинтез. Затем полученную смесь отделяют от воды, сушат и прессуют для получения масла. Полученная биомасса смешивается с мелкоизмельченной ряской и поступает в емкость с катализатором, специально разработанным компанией. Далее биомассу и катализатор подают в кавитатор для тщательного перемешивания. Получаемая углеводородная смесь по структуре близка к нефти. Затем смесь проходит биокаталитический крекинг с последующим разделением на топливные фракции, в результате чего получают 80 %

синтетического дизельного топлива, 10 % бензина и 10 % керосина. Полученное топливо может использоваться как в чистом виде для двигателей внутреннего сгорания, так и в виде компонента для смесей.

### **1.3.8 Получение биодизельного топлива из отработанного соевого масла и гашеной извести**

Мексиканские ученые разработали метод производства биодизеля, использующий отработанное соевое масло из ресторанов быстрого питания и гидроксид кальция (гашеную известь), являющийся побочным продуктом в нефтеперерабатывающей промышленности[ссылку]. Для этого в отработанное соевое масло добавляют метиловый спирт и гашеную известь. Реакцию проводят в течение 2 часов при температуре 60 °С. Концентрация метиловых эфиров жирных кислот в конечном продукте достигает 99 %. Однако, после третьего использования той же гашеной извести, выход целевого продукта снижается до 60 %.

## **1.4 Параметры реакции переэтерификации**

Для обеспечения высокого выхода биодизельного топлива необходимо оптимизировать различные каталитические параметры, включая тип катализатора и его состав, тип носителя и условия предварительной обработки (например, температуру и продолжительность прокаливания). Кроме того, следует настроить множество рабочих условий, таких как температура и время реакции, выбор переэтерифицирующего агента (спирта), молярное соотношение спирта к маслу и скорость перемешивания.

### **1.4.1 Тип катализатора**

Реакция переэтерификации может быть катализована как гомогенными щелочными катализаторами, такими как гидроксид натрия (NaOH), метоксид натрия (NaOCH<sub>3</sub>) и гидроксид калия (KOH), так и гомогенными кислотными катализаторами, такими как серная кислота (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) или соляная кислота (HCl). Щелочные катализаторы считаются более предпочтительными, несмотря на проблему омыления, которое приводит к увеличению расхода катализатора, снижению выхода биодизеля и усложнению процесса разделения продуктов. Кислотные катализаторы, хотя и не вызывают омыление, имеют более низкую скорость реакции, что требует более высоких температур и давления для достижения желаемой конверсии.

Кроме вышеупомянутых катализаторов, используются также гетерогенные катализаторы, такие как карбонаты щелочных металлов (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), карбонаты щелочноземельных металлов (CaCO<sub>3</sub>), оксиды щелочноземельных металлов (CaO, MgO, SrO, BaO) и другие оксиды, например, ZnO. В последние годы особое внимание уделяется зелёным биокатализаторам, благодаря их энергоэффективным ферментативным свойствам. Исследования показали, что высокие выходы биодизеля могут быть достигнуты с помощью липазных ферментов, как в иммобилизованной форме, так и в жидкой фазе. Ферментативный процесс легко интегрируется с

новейшими технологиями (например, ультразвуковыми методами) и может работать в непрерывном режиме с использованием различных типов реакторов. Применение метагеномики в ферментных технологиях открывает широкие возможности для разработки стабильных и устойчивых к растворителям биокатализаторов для производства биодизеля.

#### **1.4.2 Тип переэтерифицирующего агента**

Для реакции переэтерификации часто применяют спирты, такие как метанол, этанол, пропанол, бутанол, пентанол и амиловый спирт. В большинстве существующих методик в качестве агента для переэтерификации используется метанол, который является токсичной жидкостью третьего класса опасности и может негативно воздействовать на нервную и сосудистую системы человека при вдыхании или контакте с кожей. Поэтому, с точки зрения безопасности, предпочтительнее использовать этанол, который также является более доступным сырьём. Тем не менее, производство биодизеля с использованием этанола не получило широкого распространения из-за высокой растворимости эфиров в этом спирте, что затрудняет их выделение и снижает выход конечного продукта.

Метанол и этанол имеют свои плюсы и минусы. Например, реакция с метанолом протекает быстрее при более низких температурах и обеспечивает более высокий выход биодизеля по сравнению с этанолом. Однако этанол, особенно если он получен из возобновляемых источников, в некоторых случаях (например, при переэтерификации соевого масла) может увеличить скорость реакции.

#### **1.4.3 Соотношение растительного масла и переэтерифицирующего агента**

Соотношение растительного масла и переэтерифицирующего агента в процессе производства биодизельного топлива обычно составляет 9:1 по молярному отношению.

#### **1.4.4 Температура и время реакции переэтерификации**

Одной из ключевых переменных, влияющих на скорость реакции переэтерификации, является температура. Хотя реакция может быть проведена и при комнатной температуре, кинетика процесса показывает, что скорость реакции увеличивается с повышением температуры. Более высокие температуры в процессе переэтерификации масел способствуют снижению вязкости и улучшению смешивания реагентов. Однако существует оптимальная температура реакции; дальнейшее её повышение приводит к уменьшению выхода биодизельного топлива из-за усиленного омыления (при использовании щелочных гомогенных катализаторов) и быстрого испарения спирта. Таким образом, температуру реакции обычно поддерживают ниже точки кипения

спирта, хотя возможна работа при более высоких температурах в условиях дефлегмации или под высоким давлением.

Автор установил, что оптимальная температура для максимального выхода биодизеля составляет 45 °С. Повышение температуры с 45 до 70 °С привело к снижению выхода с 93,5 % до 90,4 % из-за усиленного омыления, хотя время реакции сократилось с 60 до 15 минут благодаря увеличению скорости реакции.

В настоящее время основная часть биодизельного топлива производится методом переэтерификации растительных масел. Обычно в этих технологиях в качестве реагента используется токсичный метанол. В данной исследовательской работе был использован более безопасный этанол. Этиловые эфиры высших жирных кислот имеют характеристики, сходные с дизельным топливом, а их использование в чистом виде или в качестве добавок к нефтяному топливу снижает содержание оксидов азота и токсичных полиароматических углеводородов в выхлопных газах.

Процесс переэтерификации масел проводится при различных параметрах, таких как температура и время реакции, тип и концентрация катализатора, соотношение масла и спирта. Однако, комплексные исследования влияния этих параметров на выход и характеристики биодизеля отсутствуют. Определение оптимальных условий реакции переэтерификации для синтеза биодизеля из различных видов сырья остаётся актуальной задачей.

## **2 Объект и методы исследования**

### **2.1 Объект исследования**

В качестве сырья для синтеза БиоДТ были использованы пять видов растительных нерафинированных пищевых масел от разных производителей: подсолнечное, горчичное, льняное, кукурузное, рыжиковое. Маслам присвоили следующие обозначения: подсолнечное масло – П, горчичное масло – Г, льняное масло – Л, кукурузное масло – К, рыжиковое масло – Р. Полученные биодизельные топлива маркировались следующим образом: из подсолнечного масла – П<sub>БиоДТ</sub>; из горчичного масла – Г<sub>БиоДТ</sub>; из льняного масла – Л<sub>БиоДТ</sub>; из кукурузного масла – К<sub>БиоДТ</sub>; из рыжикового масла – Р<sub>БиоДТ</sub>. В качестве переэтерифицирующего агента был использован этиловый спирт (этанол). В качестве катализатора использовались спиртовые растворы гидроксида калия (КОН) и гидроксида натрия (NaOH).

### **2.2 Методика синтеза биодизельного топлива**

Перед началом синтеза готовился спиртовой раствор катализатора. Для приготовления спиртового раствора КОН, вещество растворяли в этаноле на орбитальном шейкере для колб до полного растворения. Для приготовления раствора NaOH, необходимое количество катализатора смешивали с этанолом в круглодонной колбе, закрытой пробкой для предотвращения улетучивания спиртовых паров. Затем смесь медленно нагревали до полного растворения катализатора, избегая кипения этанола. Полученный раствор охлаждали до комнатной температуры и добавляли к предварительно нагретому

растительному маслу. В качестве реактора использовали термостойкий стакан объемом 1 л, установленный на плите, снабженный мешалкой и термометром

Верх стакана закрывали металлической фольгой для предотвращения испарения этанола во время реакции. В термостойкий стакан наливали растительное масло, которое медленно нагревали до нужной температуры при постоянном перемешивании, затем добавляли катализатор и начинали отсчет времени реакции. По завершении синтеза реакцию смесь охлаждали до комнатной температуры и добавляли глицерин, способствующий разделению смеси на две фазы. Содержимое переливали в делительную воронку для дальнейшей обработки. После отстаивания образовывались две фазы: верхняя, содержащая этиловые эфиры растительных масел и остаточный этанол, и нижняя, включающая глицерин, избыток этанола, непрореагировавший катализатор, мыла и продукты неполной переэтерификации. Этиловые эфиры очищали от остаточного этанола с помощью роторного испарителя. Катализатор удаляли последовательным промыванием с 1 % раствором лимонной кислоты (до нейтрального pH), а затем дистиллированной водой. Использование роторного испарителя позволяет значительно сократить потери этанола и исключить стадию осушки конечного продукта.

### **2.3 Параметры реакции переэтерификации**

Синтез биодизельного топлива (БиоДТ) из различных растительных масел проводился с использованием следующих параметров реакции переэтерификации: катализатор – KOH, его масса составляла 1 % от общей массы масла и этанола; продолжительность реакции – 6 часов; температура реакции – 75 °C; соотношение масла к этанолу – 1:9. Для исследования влияния типа катализатора на характеристики и выход биодизеля использовали подсолнечное масло. Параметры реакции переэтерификации с катализаторами NaOH и KOH были следующими: масса катализатора составляла 1 % от массы масла; продолжительность реакции – 1 час; температура реакции – 45 °C; соотношение масла к этанолу – 1:6. Влияние параметров реакции переэтерификации на характеристики и выход биодизеля также изучалось на примере подсолнечного масла.

### **2.4 Методы испытаний биодизельного топлива**

Испытание биодизеля включает традиционные тесты, которые также применяются для обычного дизельного топлива, такие как проверка плотности, предельной фильтруемости, вязкости, температуры вспышки, содержания воды и коксового остатка. Кроме того, используются специальные методы тестирования, характерные для метиловых эфиров жирных кислот (FAME). Эти специализированные методы обусловлены химической природой FAME и особенностями их производства. Важные аспекты связаны с технологическим процессом производства FAME, в частности с чистотой конечного продукта. В соответствии с химизмом синтеза FAME, степень очистки продукта зависит от полноты реакции переэтерификации и эффективности удаления исходных



веществ, побочных продуктов и катализатора из смеси монометилловых эфиров. Эти факторы можно выразить так: важно, чтобы триглицериды полностью превращались в монометилловыи эфиры. Также важна степень удаления свободного глицерина, образующегося при реакции переэтерификации, и остатков катализатора. Полное устранение метанола, использованного в качестве реагента, и отсутствие свободных жирных кислот также критично. Наличие значительной доли алкильных групп с ненасыщенными атомами углерода приводит к повышенной окисляемости. Биодизель разлагается при нагревании быстрее, чем обычное дизельное топливо, что может приводить к проблемам с двигателем. Из-за высокого содержания кислорода в биодизеле, при его сгорании образуется больше оксидов азота, что вредно для двигателя и окружающей среды. Кроме того, в биодизеле могут присутствовать кальций, магний и фосфор, которые при сгорании образуют отложения на деталях двигателя. И наконец, в биодизеле могут размножаться микроорганизмы, особенно если в топливе есть вода, что также может привести к проблемам с двигателем.

Глицерин в биодизеле является важным показателем его качества. Он может быть в двух формах: свободный (неудаленный) и общий (в составе непрореагировавших жиров). Его уровень измеряется специальным методом, например, по стандартам ASTM D6584 в США и EN 14105 в Европе. Если общий уровень глицерина низкий, это значит, что жиры хорошо превратились в биодизель. Если он высокий, значит, превращение было неполным. Свободный глицерин может засорять фильтры и накапливаться в топливных баках, что ведет к проблемам с топливной системой.

В биодизеле содержатся разные виды глицеридов: моно-, ди- и триглицериды. Их количество можно измерить как вместе, так и отдельно, с помощью метода газовой хроматографии. Высокий уровень этих глицеридов указывает на неполное сгорание жиров, что может вызвать серьезные проблемы в двигателе. Они могут образовывать отложения в форсунках, ухудшать работу двигателя в холодную погоду и засорять фильтры.

Чтобы проверить, насколько хорошо удален катализатор (обычно гидроксид натрия или калия) из биодизеля, измеряют содержание натрия и калия. В США и Европе для этого используют метод EN 14538 - атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно связанной плазмой. В России аналогичный метод называется ГОСТ Р EN 14538. Этим же методом измеряют содержание кальция и магния, которые могут быть в исходных жирах.

Чтобы проверить, насколько хорошо из биодизеля удален метанол, используется метод хроматографии по стандарту EN 14110 в обеих спецификациях. В американской спецификации дополнительно измеряют температуру вспышки в закрытом тигле (ASTM D93), которая должна быть не ниже 130 °C. Это помогает убедиться, что метанола осталось мало и топливо безопасно.

Уровень свободных жирных кислот в биодизеле измеряют по кислотному числу. Для этого используют два метода: потенциометрическое титрование по

стандарту ASTM D664 или титрование с цветным индикатором по стандарту EN 14104. Кислотное число показывает, сколько в топливе свободных жирных кислот и побочных продуктов разложения, которых нет в обычном дизельном топливе.

Коррозия медной пластины используется для оценки содержания свободных жирных кислот в биодизеле и их воздействия на медные и латунные части топливной системы. В Европе основным источником биодизеля является рапсовое масло, которое содержит много линолевой кислоты. Линолевая кислота легко окисляется из-за своих алкеновых групп, поэтому спецификация EN 14214 ограничивает количество ее производных в биодизеле.

Сера в биодизеле может причинить вред двигателю и окружающей среде. В растительных маслах содержание серы обычно меньше 15 мг/кг, но в животных жирах ее может быть больше. Спецификации ASTM D6751 и EN 14214 рекомендуют измерять содержание серы методом ультрафиолетовой флуоресценции по стандартам ASTM D5453 или EN ISO 20846 (ГОСТ Р EN ISO 20846). Также в спецификации EN 14214:2009 (и ГОСТ Р 53605-2009) разрешается использовать метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии с дисперсией по длине волны по стандарту EN 20884.

Контроль содержания воды в биодизеле очень важен, потому что вода может вызывать коррозию и способствовать размножению бактерий. В европейской спецификации EN 14214 вода измеряется методом кулонометрического титрования по Карлу Фишеру (EN ISO 12937). В американской спецификации ASTM D6751 используется более простой метод центрифугирования (ASTM D2709), который одновременно определяет содержание воды и осадка. В этом случае результат анализа показывает общее объемное содержание воды и осадка.

Фосфор, который присутствует во всех растениях, может стать проблемой, если попадает в топливо. Он способен повреждать катализаторы, которые используются для очистки выхлопных газов, поэтому его количество в топливе должно быть строго ограничено. Чтобы измерить содержание фосфора, применяют методы, описанные в стандартах ASTM D4951 или EN 14107, с использованием специальной техники под названием атомно-эмиссионная спектроскопия с индуктивно-связанной плазмой.

Биодизель, который в основном состоит из жирных кислот с линейными цепями и 16-18 атомами углерода, имеет молекулы с очень похожими массами. Поэтому его фракционный состав (разделение на части по температуре кипения) не измеряют с помощью кривой дистилляции, как это делают для нефтяных топлив. Вместо этого для биодизеля характерен узкий диапазон температур кипения от 330 до 357 °C при нормальном атмосферном давлении.

В спецификации ASTM D6751 контролируется температура 90 % отгона с использованием метода дистилляции при пониженном давлении согласно ASTM D1160. Этот показатель включен для обеспечения гарантии, что топливо не содержит загрязняющих компонентов с более высокой температурой кипения.

Окислительная стабильность биодизеля – это важный показатель его качества. Когда биодизель разлагается, образуются вещества, такие как кислоты и полимеры, которые могут вызвать засорение топливных фильтров и образование отложений в топливной системе. Чтобы замедлить эти процессы, в биодизель добавляют специальные добавки, которые предотвращают образование перекисей.

Для измерения окислительной стабильности используют метод, основанный на стандарте AOCS Cd12b-92. Этот метод был усовершенствован и стал европейским стандартом EN 14112, а позже – EN 15751. Процесс измерения заключается в следующем: через нагретую пробу биодизеля пропускают воздух, а продукты окисления улавливают в дистиллированной воде. Затем измеряют электропроводность воды: резкое увеличение электропроводности указывает на начало образования карбоксильных кислот. Время до начала этого процесса называется индукционным периодом. Чем дольше индукционный период, тем более стабильным считается биодизель.

Коксовый остаток – это показатель, показывающий, насколько топливо склонно к образованию углеродистых отложений. Чтобы его измерить, используют методы, описанные в стандартах ASTM D4530 (американский стандарт) и EN ISO 10370 (европейский стандарт). Эти методы почти одинаковы: пробу топлива нагревают до 500°C в атмосфере азота и затем измеряют массу оставшегося остатка.

Для нефтяных дизельных топлив коксовый остаток обычно измеряют на 10 %-ной остаточной фракции от перегонки, чтобы получить больше материала для анализа. Однако у биодизеля очень узкий диапазон температур кипения, что затрудняет получение 10 %-ной фракции. Поэтому в американском стандарте ASTM D 6751 коксовый остаток измеряют на всей пробе биодизеля (100 %). В европейском стандарте используют 10 %-ный остаток, полученный путем перегонки при пониженном давлении (по стандарту ASTM D1160).

Плотность биодизеля обычно находится в диапазоне от 0,86 до 0,90 г/см<sup>3</sup>, чаще всего около 0,88-0,90 г/см<sup>3</sup>. Поэтому плотность не является таким важным показателем качества для биодизеля, как для нефтяного топлива. В американском стандарте ASTM D 6751 плотность не измеряют. В европейском стандарте EN 14214 плотность измеряется с помощью ареометра по методу EN ISO 3675 или автоматического денсиметра по стандарту EN ISO 12185.

Температура вспышки биодизеля не влияет на работу двигателя, но показывает, насколько топливо пожаробезопасно. В американском стандарте ASTM D6751 температуру вспышки измеряют методом закрытого тигля Пенски-Мартенса (ASTM D93). В европейском стандарте EN 14214 для этого используют ускоренный метод с образцом объемом 2 мл.

Цетановое число – это важный показатель качества топлива для дизельных двигателей. У чистого биодизеля оно обычно выше минимальных требований стандартов. Цетановое число измеряют моторным методом (ASTM D613, EN ISO 5165). Однако метод расчета цетанового индекса, используемый для нефтяных топлив, не подходит для биодизеля.

Низкотемпературные свойства топлива являются критичными для его использования в холодном климате. В США температурой помутнения, определяемой по ASTM D2500, оценивают холодные характеристики топлива. Для чистого биодизеля температура помутнения обычно выше, чем у нефтяных топлив и в спецификациях она не ограничивается. Тем не менее, этот показатель важен для создания топливных смесей. Также используют дополнительный тест на фильтруемость после выдержки при низких температурах.

В Европе для оценки низкотемпературного поведения топлива используют температуру предельной фильтруемости по методу EN 116. Максимальные значения этого показателя зависят от времени года и географического расположения. Стандарты на биодизель в США и Европе частично унифицированы, но все же есть значительные различия.

Спецификация США ASTM D6751 включает требование определения фракционного состава биодизеля, но не предусматривает измерение плотности. В европейской норме EN 14214 установлены отдельные ограничения на содержание моно-, ди- и триглицеридов, а также полиненасыщенных соединений. Методы определения содержания воды и механических примесей также различаются. Кроме того, существуют различия в подходах к оценке других параметров. Пределы контролируемых показателей не совпадают. В будущем возможно углубление унификации спецификаций на биодизель между США и Европой.

#### **2.4.1 Методика определения вязкости**

Для определения вязкости будет использоваться - Вискозиметр Энглера ВУ-М-ПХП. Он предназначен для определения условной вязкости жидких сред, дающих непрерывную струю на протяжении всего времени окончания по методике ГОСТ 6258, ASTM D1665 и вязкость которых нельзя определить по ГОСТ 33. Вискозиметр предназначен для измерения вязкости нефтепродуктов при сравнении времени истечения жидкости определенной температуры и объема со временем истечения дистиллированной воды при 20 °С. Вязкость определяется в градусах Энглера. Также прибор может использоваться для определения вязкости жидкостей, не являющихся нефтепродуктами (растворителей, клеев и др.). Диапазон значений в градусах Энглера:  $E = 1 \dots 16$

**Принцип работы:** Вязкость – это сопротивление между частицами жидкости, возникающее при движении жидкости под воздействием внешних сил. Вязкость по Энглеру определяется измерением времени истекания из вискозиметра 200 мл жидкости определенной температуры при сравнении со временем истекания из вискозиметра такого же количества дистиллированной воды при 20 °С (постоянная вискозиметра). В процессе измерений тестируемая жидкость должна вытекать непрерывной струей. Вязкость в единицах Энглера при температуре  $T$  обозначается  $E_t$ ;  $J_t$  – время (в секундах) истечения 200 мл

исследуемого образца жидкости при температуре  $T$ ; постоянная вискозиметра (в секундах) обозначается  $K_{20}$ .

Расчеты производятся по следующей формуле:

$$E_t = J_t / K_{20}$$

Единица: условный градус.

#### **2.4.2 Методика определение плотности**

Метод измерения плотности топлива с помощью ареометра состоит из нескольких шагов. Установите цилиндр для ареометра на ровную поверхность. Налейте пробу топлива в цилиндр так, чтобы его температура была такой же, как у пробы. Избегайте появления пузырьков и испарения. Удалите воздушные пузырьки с поверхности топлива с помощью фильтровальной бумаги. Измерьте температуру топлива до и после погружения ареометра с точностью до  $0,2$  °С. Медленно опустите чистый и сухой ареометр в цилиндр, удерживая его за верхний конец, чтобы не намочить часть стержня выше уровня погружения. Когда ареометр остановится и перестанет колебаться, снимите показания по верхнему краю мениска (уровня жидкости). Показания ареометра указывают плотность топлива при измеренной температуре ( $\text{г/см}^3$ ). Округлите измеренную температуру до ближайшего значения. По этой температуре и плотности определите плотность топлива при  $20$  °С. Результат испытания представляют как среднее арифметическое двух измерений. Для нефти и нефтепродуктов, предназначенных на экспорт, плотность может быть пересчитана на  $15$  °С по специальным таблицам. При пересчете массы нефти из тонн в баррели также учитывается соответствующая поправка.

#### **2.4.3 Методика определения низкотемпературных характеристик**

К низкотемпературным характеристикам топлива относятся температура помутнения, температура начала кристаллизации, предельная температура фильтруемости, температура плавления и температура застывания.

Температура помутнения — это максимальная температура, при которой топливо мутнеет при прохождении света, что сравнивают с эталонным образцом. Определяют её стандартным методом: образец топлива заливают в две пробирки с двойными стенками и закрывают пробкой с термометром и проволочной мешалкой. Одну пробирку помещают в баню с охлаждающей смесью, другую - на штатив. Охлаждая первую пробирку и перемешивая, за  $5$  °С до ожидаемой температуры помутнения её вынимают и ставят в стакан со спиртом на штатив рядом со второй пробиркой. Если топливо остаётся прозрачным, пробирку возвращают в баню и продолжают охлаждение, наблюдая через каждый градус. Температура, при которой топливо мутнеет в первой пробирке, считается температурой помутнения.

Температура помутнения чаще всего используется для оценки низкотемпературных свойств дизельного топлива, она варьируется от  $0$  °С до  $-35$  °С. Помутнение обусловлено присутствием  $n$ -алканов и воды, которые первыми образуют мелкие кристаллы при охлаждении.

Температура начала кристаллизации важна для авиационных топлив, таких как бензины и керосины, в которых почти нет n-алканов. Она определяется как максимальная температура, при которой в топливе видны кристаллы ароматических углеводородов. Эти кристаллы, хоть и не влияют на текучесть топлива, могут забить топливные фильтры, нарушая подачу топлива. Температура начала кристаллизации авиационных топлив не должна превышать  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Предельная температура фильтруемости определяет низкотемпературные свойства топлива. Её определяют, охлаждая образец топлива и прокачивая его через фильтр под вакуумом (остаточное давление 1,96 кПа). Температура, при которой топливо перестаёт проходить через фильтр, считается предельной температурой фильтруемости. Она обычно ниже температуры помутнения на  $3-8^{\circ}\text{C}$ , так как кристаллы парафина забивают фильтр.

Температура плавления характеризует способность твёрдых кристаллических нефтепродуктов (парафинов, церезинов и восков) переходить в жидкое состояние. Её определяют по методу Жукова: расплавленный образец заливают в прозрачный сосуд Дьюара, закрывают пробкой с термометром и охлаждают. Когда температура стабилизируется, прибор встряхивают и фиксируют температуру через каждую минуту. Температура, которая остается постоянной не менее трёх минут, считается температурой плавления.

Температура застывания — это температура, при которой нефтепродукт теряет подвижность при стандартных условиях. Она важна для транспортировки и применения нефтепродуктов. Определяется как температура, при которой налитый в пробирку стандартного размера нефтепродукт застывает настолько, что при наклоне пробирки на  $45^{\circ}$  уровень жидкости остается неподвижным в течение одной минуты.

Температура застывания смазочно-охлаждающих жидкостей зависит от химической природы масла и присадок. Смолистые и другие поверхностно-активные вещества могут задерживать кристаллизацию парафинов, повышая температуру застывания. Некоторые добавки, депрессорные присадки, понижают температуру застывания минеральных масел.

#### **2.4.4 Методика определение температуры вспышки**

Для определения температуры вспышки будет использоваться - Автоматический тестер температуры вспышки с закрытой чашкой Пенски-Мартенса (Pensky Martens) BLC-93

Прибор BLC-93 соответствует требованиям национального стандарта GB261-83, SH/T0315, а также международным стандартам ASTM D93 и ISO 2719-88. Управление осуществляется с помощью микрокомпьютера. Этот прибор обеспечивает автоматическое электронное зажигание, исключая необходимость в газовом источнике. Он отличается надежностью, легкостью в эксплуатации благодаря функции самопроверки, высокой точностью измерений, хорошей повторяемостью результатов и стабильной работой. Этот тестер



идеально подходит для проведения испытаний в условиях закрытой температуры в таких областях, как нефтяная, химическая и энергетическая промышленности, природоохранная деятельность, железнодорожные системы и научные исследования.

Методика определения температуры вспышки с помощью этого устройства включает следующие этапы. Убедитесь, что прибор откалиброван и настроен в соответствии с инструкциями производителя. Проверьте чистоту и исправность всех частей устройства, особенно закрытой чашки и мешалки. Пробу испытуемого продукта заливают в закрытую чашку до уровня, указанного в инструкции. Убедитесь, что проба не содержит пузырьков и посторонних примесей. Поместите закрытую чашку с образцом в тестер и закрепите её.

Вставьте термометр и другие необходимые датчики в соответствующие отверстия. Включите тестер и задайте начальную температуру нагрева, которая должна быть на несколько градусов ниже предполагаемой температуры вспышки.

Начните нагревание образца с постоянной скоростью, обычно 5-6 °C в минуту, как указано в стандарте ASTM D93. Во время нагрева образца автоматический тестер будет периодически подавать пламя через специальное устройство. При достижении температуры вспышки, смесь паров и воздуха над поверхностью жидкости воспламенится, что фиксируется автоматическим тестером.

Температура, при которой происходит вспышка, автоматически регистрируется тестером. Остановите нагрев и зафиксируйте результат. Охладите чашку и прибор перед удалением образца. Очистите все части тестера в соответствии с инструкцией, чтобы подготовить его к следующему испытанию. Запишите полученную температуру вспышки в лабораторный журнал или отчет.

Температура вспышки — это наименьшая температура, при которой жидкость испаряется в достаточной степени, чтобы её пары могли образовать воспламеняемую смесь с воздухом при контакте с источником огня. Метод ASTM D93 предписывает стандартные условия и параметры для выполнения этого испытания, которые необходимо строго соблюдать для получения достоверных результатов. Следуя вышеуказанным шагам, можно точно определить температуру вспышки с использованием автоматического тестера температуры вспышки с закрытой чашкой Пенски-Мартенса BLC-93.

#### **2.4.5 Результаты проведенного исследования.**

Результаты проведенного исследования представлены ниже в таблицах. В них содержатся данные о физических и химических характеристиках биодизельного топлива, полученного из различных растительных масел при разных параметрах реакции переэтерификации. Эти таблицы включают показатели вязкости, плотности, низкотемпературных характеристик и температуры вспышки, а также сравнение с требованиями стандартов. Анализ

ЭТИХ ДАННЫХ ПОЗВОЛИЛ ВЫЯВИТЬ ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА.

Таблица 1 - Физико-химические свойства растительных масел

Свойство	П	Г	Л	К	Р
Динамическая вязкость при 20°C, мПа*с	57,43	66,13	47,41	66,96	59,27
Кинематическая вязкость при 20°C, мм <sup>2</sup> /с	62,45	72,14	51,06	72,98	64,36
Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	922,9	920,1	931,5	920,8	923,8
Молекулярная масса, г/моль	743,2	720,94	708,76	736,112	703,28 6

Таблица 2 - Низкотемпературные свойства растительных масел

Свойство	П	Г	Л	К	Р
Тп, °C	-9	-18	-13	-11	-7
Тз, °C	-19	-29	16	14	-17

Таблица 3 - Выход БиодТ из различных растительных масел

Параметр	П <sub>БиодТ</sub>	Г <sub>БиодТ</sub>	Л <sub>БиодТ</sub>	К <sub>БиодТ</sub>	Р <sub>БиодТ</sub>
Масса исходных компонентов, г	584,40	573,20	567,10	580,75	572,7 0
Масса конечного продукта, г	345,50	288,70	290,80	322,10	247,3 0
Выход, %	59,12	50,37	51,28	55,46	43,18

Таблица 4 - Физико-химические свойства полученных БиодТ

Свойство	П <sub>БиодТ</sub>	Г <sub>БиодТ</sub>	Л <sub>БиодТ</sub>	К <sub>БиодТ</sub>	Р <sub>БиодТ</sub>
Динамическая вязкость при 20 °C, мПа·с	15,488	19,598	16,294	17,297	20,834
Кинематическая вязкость при 20 °C, мм <sup>2</sup> /с	17,191	21,734	17,879	19,225	22,988
Плотность при 15 °C, кг/м <sup>3</sup>	904,7	905,0	915,1	903,4	910,0
Молекулярная масса, г/моль	260,639	304,633	282,067	205,630	345,024

### **3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Химическая лаборатория не сильно влияет на окружающую среду. Существует два основных подхода к защите окружающей среды:

Максимально эффективная очистка: Это значит, что все отходы и выбросы тщательно очищаются, чтобы минимизировать их вредное воздействие.

Создание замкнутой безотходной системы: Это значит, что все отходы перерабатываются и используются повторно, чтобы вообще не было выбросов.

Для химической лаборатории лучше всего подходит первый вариант — максимально эффективная очистка.

Важно правильно утилизировать химические отходы и следить за их безопасным хранением. Использование современных технологий и оборудования для фильтрации и очистки сточных вод и выбросов в атмосферу помогает уменьшить негативное воздействие на окружающую среду. Обучение персонала правилам экологической безопасности и ответственное отношение к использованию химических веществ также способствует защите окружающей среды.

Регулярные проверки и соблюдение экологических норм и стандартов помогают поддерживать высокий уровень экологической безопасности в лаборатории.

#### **3.1 Воздействие на атмосферу**

В лабораторных условиях выбросы в атмосферу содержат незначительное количество вредных газов и паров. Для их очистки достаточно использовать адсорбционные фильтры. На выходе вентиляционных труб установлены перегородки, покрытые слоем адсорбента, чаще всего активированного угля. Воздушный поток проходит через слой адсорбента, который эффективно очищает его от вредных газов и паров. Для повышения эффективности очистки можно регулярно менять адсорбенты и контролировать их состояние. Соблюдение всех нормативов и стандартов экологической безопасности помогает минимизировать воздействие лаборатории на окружающую среду. Важно проводить обучение персонала по безопасному обращению с химическими веществами и методам их утилизации.

#### **3.2 Воздействие на гидросферу**

Все сбросы в канализацию требуют обезвреживания и очистки. Отработанные кислотные и щелочные растворы собираются в отдельные контейнеры для каждого типа, затем подвергаются нейтрализации. После нейтрализации они разбавляются водопроводной водой в десятикратном соотношении перед сливом в канализацию. Отработанные органические отходы

собираются в герметичные контейнеры, которые затем отправляются на специальное обезвреживание и утилизацию. Применение новых технологий в области фильтрации и утилизации отходов может значительно улучшить экологическую безопасность лабораторных процессов.

Установка систем мониторинга выбросов и сбросов позволяет своевременно выявлять и устранять возможные нарушения экологической безопасности.

### **3.3 Воздействие на литосферу**

Твердые отходы собираются в специальные контейнеры и отправляются на утилизацию. В лабораторных условиях наиболее опасными отходами для литосферы являются отработанные люминесцентные лампы, которые относятся к отходам 1 класса опасности.

## **4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Одним из ключевых аспектов безопасности жизнедеятельности является готовность к чрезвычайным ситуациям. Чрезвычайная ситуация – это комплекс условий, при которых происходят разрушения зданий, сооружений, материальных ценностей, а также могут быть случаи поражения и гибели людей.

### **4.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований**

К возможным чрезвычайным ситуациям, которые могут быть вызваны объектом исследования, относятся аварии на производстве, природные катаклизмы, социальные конфликты.

Наиболее частой и опасной является чрезвычайная ситуация техногенного характера, связанная с производственными авариями. В любой лаборатории всегда существует риск возникновения аварийных ситуаций. Для их ликвидации разрабатываются специальные планы, которые включают мероприятия по спасению людей и устранению последствий аварий.

В случае аварийной ситуации, когда атмосфера лаборатории внезапно заражается токсичными парами или газами, необходимо оставаться в помещении в противогазе и отключить все нагревательные приборы. После проведения дезактивации помещение должно быть тщательно проветрено. При возникновении пожара следует отключить электронагревательные приборы и вентиляцию, удалить легковоспламеняющиеся вещества в безопасное место и, по возможности, ликвидировать источник возгорания.

При возникновении стихийного бедствия необходимо немедленно оповестить всех сотрудников лаборатории о возможной угрозе. По поступлению сигнала о надвигающемся инциденте все сотрудники должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты. Далее следует

отключить электроэнергию и водоснабжение в лаборатории. При необходимости персонал должен быть эвакуирован в безопасное место.

#### **4.2 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве**

Далее представлены описания вредных и опасных факторов, описанных выше. В процессе труда в производственном помещении человек находится под влиянием определенных метеорологических условий, или микроклимата – климата внутренней среды этих помещений. Метеоусловия производственной среды регламентируются. Температура воздуха в лаборатории поддерживается: 1) в холодный период 16–22 °С; 2) в теплый период 18–25 °С. Влажность воздуха не должна превышать 40 – 60 %, скорость движения воздуха 0,2 м/с. В лаборатории создание микроклимата обеспечивается работой форточек, дверей, приточной вытяжной вентиляцией. Летом помещения проветриваются с помощью вентиляторов. В зимнее время помещения нагревают центральным отоплением. Важное значение для создания благоприятных условий труда имеет рациональное освещение. Недостаточное освещение рабочего места 89 затрудняет проведение работ, ведет к снижению производительности труда и может явиться причиной несчастных случаев. Искусственное освещение помогает избежать многих недостатков, характерных для естественного освещения, и обеспечить оптимальный световой режим. В лаборатории, где проводилось исследование, используется комбинированная система освещения, то есть общее искусственное и местное освещение. Производственные сопровождаются шумом. процессы в химической лаборатории Воздействие шума длительное время приводит к снижению остроты слуха, повышению кровяного давления, утомлению центральной нервной системы, ослаблению внимания, увеличению количества ошибок в действиях рабочего, снижению производительности труда. Воздействие шума приводит к появлению профессиональных заболеваний и может явиться причиной несчастного случая. Для химической лаборатории характерны следующие виды шумов: –

механический шум (при трении, биении узлов и деталей машин делительных воронок, механической мешалки); – аэрогидродинамический шум (возникает в аппаратах при больших скоростях движения газа или жидкости и при резких направлениях их движения и давления). В качестве средств индивидуальной защиты для органов слуха от шума и вибрации применяются наушники, беруши. Наушники понижают негативное воздействие в диапазоне от 7 до 38 дБ с частотой от 125 до 8000 Гц. Вкладыши (беруши) закрывают слуховой проход. Этот вид защиты дешев, компактен и применим ко многим ситуациям, но не всегда результативен, т.к. снижает уровень негативного воздействия всего на 5-20 дБ.

#### **4.3 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)**

Для обеспечения снижения влияния опасных и вредных факторов на работающих при исследовании влияния сырья и параметров синтеза на характеристики биодизельного топлива могут быть предприняты следующие решения:

- Систематический осмотр помещения, в котором проводят исследование, на наличие вышедших из строя осветительных приборов;
- Осмотр систем отопления, проверка толщины стен, проверка утеплителя в холодное время года;
- Систематическая проверка влажности на предмет отклонения от допустимой нормы;
- Установка термометра для определения возможного отклонения от допустимых показателей температуры на рабочем месте;
- Систематическая проверка вентилятора и вытяжки на предмет некорректной работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ**

Проведен синтез биодизельного топлива из пяти видов растительных масел (подсолнечное, горчичное, льняное, кукурузное, рыжиковое) с использованием этанола в качестве реагента для переэтерификации и гидроксида калия в роли катализатора. Рассчитан выход биодизельного топлива для каждого масла, где наибольший выход получен из подсолнечного масла (59,12%), а наименьший – из рыжикового (43,18%). Различия в выходе биодизельного топлива обусловлены различием в составе масел и реакционной способностью содержащихся в них жирных кислот.

Проведен анализ основных физико-химических и низкотемпературных свойств исходных растительных масел. Установлено, что кукурузное масло обладает наибольшей вязкостью, а льняное – наименьшей; льняное масло имеет наибольшую плотность, тогда как горчичное – наименьшую; подсолнечное масло характеризуется наибольшей молекулярной массой, в то время как рыжиковое – наименьшей. Наилучшие низкотемпературные свойства выявлены у горчичного масла, а наиболее высокие температуры плавления и застывания – у рыжикового и кукурузного масел соответственно.

Исследованы основные физико-химические и низкотемпературные свойства полученных образцов биодизельного топлива. Выявлено, что биодизельного топлива из рыжикового масла имеет наибольшую вязкость, тогда как биодизельного топлива из подсолнечного масла – наименьшую. Наибольшая плотность у биодизельного топлива из льняного масла, а наименьшая – биодизельного топлива из кукурузного масла. биодизельного топлива из рыжикового масла обладает наибольшей молекулярной массой, в то время как биодизельного топлива из кукурузного масла – наименьшей.

Кроме того, биодизельного топлива из горчичного масла показало наилучшие низкотемпературные свойства, тогда как биодизельного топлива из подсолнечного масла – наихудшие. Установлено, что подсолнечное и кукурузное масла являются наиболее предпочтительными исходными материалами для синтеза биодизельного топлива с точки зрения их физико-химических свойств, тогда как горчичное масло лучше всего подходит по низкотемпературным свойствам. В целом, кукурузное масло является наиболее предпочтительным сырьем для синтеза биодизельного топлива. Однако, учитывая стоимость, распространенность и доступность масел на рынке, подсолнечное масло оказывается наиболее предпочтительным сырьем для производства биодизельного топлива. Выбор сырья для производства биодизеля имеет существенное влияние на экономическую эффективность и качество конечного продукта. Растительные масла являются предпочтительным сырьем из-за их высокой производительности и стабильных характеристик, тогда как использование животных жиров и отходов масла требует дополнительных этапов очистки и подготовки.

Оптимизация параметров синтеза, таких как выбор катализатора, температура и время реакции, а также молярное соотношение метанола к маслу, позволяет достичь высокого выхода биодизеля с приемлемыми характеристиками, соответствующими международным стандартам. Для обеспечения стабильного качества биодизеля необходимо тщательно контролировать процесс производства, учитывая специфические свойства используемого сырья и параметры синтеза. Внедрение эффективных технологий очистки и регенерации метанола может значительно снизить затраты на производство биодизеля и повысить его конкурентоспособность на рынке альтернативных топлив. Настоящее исследование подчеркивает важность комплексного подхода к выбору сырья и параметров синтеза для достижения

высококачественного и экономически жизнеспособного производства биодизельного топлива.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Litvinenko V.S., Sergeev I.B. Innovations as a Factor in the Development of the Natural Resources Sector // Studies on Russian Economic Development. 2019. Vol. 30. P. 637-645. DOI: 10.1134/S107570071906011X
2. Анчита Х. Технология HYDRO-IMP для переработки тяжелой нефти // Записки Горного института. 2017. Т. 224. С. 229-234. DOI: 10.18454/PMI.2017.2.229
3. Kazamia E., Smith A.G. Assessing the environmental sustainability of biofuels // Trends in plant science. 2014. Vol. 19. Iss. 10. P. 615-618. DOI: 10.1016/j.tplants.2014.08.001
4. Дворецкий С.И., Зазуля АН., Нагорнов С.А. и др. Производство биодизельного топлива из органического сырья // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И.Вернадского. 2012. № S2 (39). С. 126-135.
5. Sultanbekov R., Islamov Sh., Mardashov D. et al. Research of the influence of marine residual fuel composition on sedimentation due to incompatibility // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. Vol. 9. Iss. 10. № 1067. DOI: 10.3390/jmse9101067
6. Коршунов Г.И., Еремеева А.М., Дребенштедт К. Обоснование использования растительных добавок в дизельном топливе как способ защиты подземного персонала угольных шахт от влияния вредных выбросов дизель-гидравлических локомотивов // Записки Горного института. 2021. Т. 247. С. 39-47. DOI: 10.31897/PMI.2021.1.5
7. Pashkevich M.A. Classification and environmental impact of mine dumps // Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils. 2017. P. 1-32. DOI: 10.1016/B978-0-12-809588-1.00001-3
8. Fernando S., Adhikari S., Kota K., Bandi R. Glycerol based automotive fuels from future biorefineries // Fuel. 2007. Vol. 86. Iss. 17-18. P. 2806-2809. DOI: 10.1016/j.fuel.2007.03.030
9. Hajjari M., Tabatabaei M., Aghbashlo M., Ghanavati H.J.R. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization // Renewable Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 72. P. 445-464. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.034
10. Bezergianni S., Dimitriadis A. Comparison between different types of renewable diesel // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013. Vol. 21. P. 110-116. DOI:10.1016/j.rser.2012.12.042
11. Смирнова Т.Н., Подгаецкий В.М. Биодизель – альтернативное топливо для дизелей // Двигатель. 2007. № 2. С. 32-34.
12. Dzhevaga N.V., Borisova D.D. Analysis of Air Monitoring System in Megacity on the Example of St. Petersburg // Journal of Ecological Engineering. 2021. Vol. 22. Iss. 4. P. 175-185. DOI:10.12911/22998993/134076

13. Nibin T., Sathiyagnanam A., Sivaprakasam S., Saravanan C. Investigation on emission characteristics of a diesel engine using oxygenated fuel additive // *Journal of the Institution of Engineers, Part MC, Mechanical Engineering Division*. 2005. Vol. 86. P. 51-54.
14. Wong K.C., Tan C.H. Volatile constituents of the flowers of *Clerodendron fragrans* (Vent.) R. Br. // *Flavour fragrance journal*. 2005. Vol. 20. Iss. 4. P. 429-430. DOI: 10.1002/ffj.1457
15. Aghbashlo M., Tabatabaei M., Khalife E. et al. Exergoeconomic analysis of a DI diesel engine fueled with diesel/biodiesel (B5) emulsions containing aqueous nano cerium oxide // *Energy*. 2018. Vol. 149. P. 967-978. DOI: 10.1016/j.energy.2018.02.082
16. Fakas S., Papanikolaou S., Galiotou-Panayotou M. et al. Biochemistry and biotechnology of single cell oil // *New horizons in Biotechnology*. 2009. P. 38-60.
17. Halim R., Danquah M.K., Webley P.A. Extraction of oil from microalgae for biodiesel production: a review // *Biotechnology advances*. 2012. Vol. 30. Iss. 3. P. 709-732. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2012.01.001
18. Litvinenko V.S. The Role of Hydrocarbons in the Global Energy Agenda: The Focus on Liquefied Natural Gas Resources 2020 // *Resources*. 2020. Vol. 9. Iss. 5. P. 59-81. DOI: 10.3390/resources9050059
19. Quispe C.A., Coronado C.J., Carvalho Jr. J.A. Glycerol: Production, consumption, prices, characterization and new trends in combustion // *Renewable sustainable energy reviews*. 2013. Vol. 27. P. 475-493. DOI: 10.1016/j.rser.2013.06.017
20. Loizzo M.R., Tundis R., Conforti F. et al. Comparative chemical composition, antioxidant and hypoglycaemic activities of *Juniperus oxycedrus* ssp. *oxycedrus* L. berry and wood oils from Lebanon // *Food chemistry*. 2007. Vol. 105. Iss. 2. P. 572-578. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.04.015
21. Ponomarenko T., Nevskaya M., Jonek-Kowalska I. Mineral Resource Depletion Assessment: Alternatives, Problems, Results // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. Iss. 2. № 862. DOI: 10.3390/su13020862
22. Gómez-Cuenca F., Gómez-Marín M., Folgueras-Díaz M.B. Effects of ethylene glycol ethers on diesel fuel properties and emissions in a diesel engine // *Energy conversion management*. 2011. Vol. 52. Iss. 8-9. P. 3027-3033. DOI: 10.1016/j.enconman.2011.04.017
23. Brady S., Tam K., Leung G., Salam C. Zero waste biodiesel: Using glycerin and biomass to create renewable energy // *UCR Undergraduate Research Journal*. 2008. Vol. 2 (5). P. 5-11.
24. De Torres M., Jimenez-Oses G., Mayoral J.A. et al. Glycerol ketals: Synthesis and profits in biodiesel blends // *Fuel*. 2012. Vol. 94. P. 614-616. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.11.062

## РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу  
Тохтаева Марата Султановича

6B05101-Химическая и биохимическая инженерия

На тему: "Исследование влияния сырья и параметров синтеза на  
характеристики биодизельного топлива"

Выполнено:

- а) графическая часть на \_\_\_\_\_ листах  
б) пояснительная записка на \_\_\_\_\_ страницах

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Тема дипломной работы Исследование влияния сырья и параметров синтеза на характеристики биодизельного топлива очень актуальна в наши дни, когда вопросы экологической устойчивости и поиска альтернативных источников энергии становятся все более важными.

Цель исследования – найти оптимальные условия для производства биодизельного топлива из разных сырьевых компонентов. Поставленные задачи логично вытекают из цели и включают анализ литературы, подбор сырья, определение параметров синтеза и исследование характеристик полученного биодизеля. Работа хорошо структурирована и состоит из нескольких частей. Каждый раздел последовательно раскрывает тему и дополняет общую картину исследования.

Теоретическая часть глубоко и всесторонне рассматривает биодизельное топливо, его виды и сырьевые компоненты. Автор изучил множество источников и привел разнообразную информацию, что демонстрирует хороший уровень понимания темы.

Экспериментальная часть включает исследования, направленные на определение влияния различных сырьевых компонентов и параметров синтеза на свойства биодизеля.

В заключении подведены итоги исследования, сделаны выводы и даны рекомендации для дальнейшей работы. Все выводы логичны и обоснованы результатами экспериментов.

Достоинства работы включают актуальность темы, четкость целей и задач, логичную структуру и глубокий теоретический анализ.

Недостатков практически нет. Единственное, что можно было бы улучшить, – более подробно рассмотреть экономические аспекты применения биодизеля на основе полученных данных.

### Оценка работы

Дипломная работа выполнена на высоком уровне, все задачи выполнены, выводы подтверждены экспериментально. Работа обладает практической ценностью и может быть полезна для дальнейших исследований и внедрения в производство. Учитывая все эти вопросы, дам высокую оценку (92) дипломному проекту Тохтаева Марата.

Рецензент

КазНУ им. Аль-Фараби., канд.

хим. наук, профессор

Есжанова П.Р.

2024 г.





**ОТЗЫВ  
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

на дипломную работу  
Тохтаева Марата Султановича

6B05101-Химическая и биохимическая инженерия

Тема: «Исследование влияния сырья и параметров синтеза на характеристики биодизельного топлива»

В данном дипломном проекте на тему «Исследование влияния различных сырьевых компонентов и параметров синтеза на физико-химические свойства биодизельного топлива» Тохтаев Марат произвел всестороннее исследование влияния различных сырьевых компонентов и параметров синтеза на характеристики биодизеля. В результате работы были вычислены оптимальные условия синтеза биодизельного топлива, изучено влияние различных видов сырья, проведен анализ физико-химических свойств полученного продукта, что свидетельствует о высоком уровне подготовки и практической значимости исследования.

Цели и задачи исследования были четко сформулированы и логично вытекали из общей цели работы. Автор последовательно выполнял задачи, начиная от изучения литературы до проведения экспериментальных исследований и анализа полученных данных.

Теоретическая часть работы продемонстрировала глубокое понимание Тохтаевым темы исследования. Автор провел всесторонний анализ существующих источников, что позволило ему четко сформулировать основные понятия и подходы в области производства биодизельного топлива.

Экспериментальная часть работы была выполнена на высоком уровне. Тохтаев тщательно подошел к подбору сырьевых компонентов и параметров синтеза, провел серию экспериментов, результаты которых были представлены в ясной и понятной форме. Это свидетельствует о высоком уровне подготовки и ответственности автора.

Выводы и рекомендации в заключении работы обоснованы и подтверждены экспериментальными данными. Автору удалось определить оптимальные условия синтеза биодизельного топлива и предложить рекомендации по дальнейшему применению результатов исследования.

В процессе подготовки дипломной работы Марат проявил высокую степень самостоятельности, ответственность и умение работать с научной литературой и экспериментальными данными. Его работа имеет значительную практическую ценность и может быть рекомендована к внедрению.

Таким образом, дипломная работа Тохтаева Марата полностью соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам. Учитывая все эти моменты отмечаю, что Тохтаев М. достоин к присуждению академической степени бакалавра по образовательной программе 6B05101-Химическая и биохимическая инженерия и заслуживает высокую оценку (93).

**Научный руководитель**

Магистр технических наук, ст.

Нурсултанов М.Е.

«17» 06 2024г.

