

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела

Кафедра химической и биохимической инженерии

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой _____

(наименование кафедры)

(ученая степень, звание)

_____ Ф.И.О.

«__» _____ 20__ г

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Получение биотопливо на основе растительного сырья»

6B05101– Химическая и биохимическая инженерия

Выполнил

Маратов А. Е.

Рецензент

(ученая степень, звание)

_____ Ф.И.О.

«__» _____ 20__ г.

Научный руководитель

(ученая степень, звание)

_____ Ф.И.О.

«__» _____ 20__ г.

Алматы 20__

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела
Кафедра химической и биохимической инженерии
6B05101– Химическая и биохимическая инженерия

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой _____

(наименование

кафедры) (ученая

степень, звание)

подпись

Ф.И.О.

« ____ » _____ 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Маратов Арсен Ермекулы

Тема: «Получение биотопливо на основе растительного сырья»

Утверждена приказом _____ № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.

(курирующий проректор)

Срок сдачи законченной работы « ____ » _____ 20 ____ г.

Исходные данные к дипломной работе: _____

Краткое содержание дипломной работы: _____

а) _____

б) _____

в) вопросы безопасности жизнедеятельности и охраны труда) расчет экономической эффективности разработки

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):
представлены слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из _____ наименований

ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Экономическая часть			
Охрана труда			
Норм контролер			

Научный руководитель

_____ *подпись* _____ *Ф.И.О.*

Задание принял к исполнению обучающийся

_____ *подпись* _____ *Ф.И.О.*

Дата

« ____ » _____ 20 ____ г

Аннотация

В дипломной работе исследуется производство биодизеля из лигноцеллюлозного компонента. Рассматриваются процессы выделения лигноцеллюлозного компонента, каталитической этерификации и переэтерификации, а также оценка характеристик полученного биодизеля. Экспериментальные результаты показывают высокую безопасность и эффективность биодизеля. Работа подчеркивает экологические и экономические преимущества использования биотоплива для устойчивого развития и снижения зависимости от ископаемого топлива.

Андатпа

Диссертация лигноцеллюлоза компонентінен биодизель өндірісін зерттейді. Лигноцеллюлоза компонентін оқшаулау, каталитикалық эфирлеу және трансэтерификация процестері, сондай-ақ алынған биодизельдің сипаттамаларын бағалау қарастырылады. Эксперименттік нәтижелер биодизельдің жоғары қауіпсіздігі мен тиімділігін көрсетеді. Жұмыс тұрақты даму және қазба отынына тәуелділікті азайту үшін биотынды пайдаланудың экологиялық және экономикалық артықшылықтарын көрсетеді.

Annotation

The thesis examines the production of biodiesel from a lignocellulose component. The processes of isolation of the lignocellulose component, catalytic esterification and transesterification, as well as an assessment of the characteristics of the resulting biodiesel are considered. Experimental results show high safety and efficiency of biodiesel. The work highlights the environmental and economic benefits of using biofuels for sustainable development and reducing dependence on fossil fuels.

Содержание

Введение.....	6
1.Литературный обзор.....	7
2.Экспериментальная часть.....	20
2.1 Материалы.....	20
2.2 Методика выделения липидно-целлюлозного компонента.....	21
2.3 Реакция каталитической этерификация/ переэтерификация.....	22
2.4 Методика определения основных характеристик биотоплива.....	23
2.5 ИК-спектры полученного биотоплива.....	24
3. Результаты и обсуждения.....	25
3.1 Исследования основных физико- химических характеристик полученных продуктов.....	25
3.2 Исследование состава полученных биотоплив.....	32
Заключение.....	35
Список использованной литературы.....	36

Введение

В последние годы особое внимание уделяется исследованию лигноцеллюлозных компонентов как сырья для производства биодизеля. Лигноцеллюлозные компоненты представляют собой комплексные структуры, состоящие из лигнина, целлюлозы и гемицеллюлозы, и могут быть получены из различных растительных отходов. Это делает их особенно привлекательными для устойчивого и масштабируемого производства биодизеля, поскольку использование таких компонентов не конкурирует с продовольственным производством и способствует утилизации отходов.

Актуальность работы

Работа обусловлена необходимостью разработки экологически чистых и возобновляемых источников энергии для обеспечения устойчивого развития и энергетической безопасности Казахстана и мира в целом. Использование лигноцеллюлозных компонентов для производства биодизеля может значительно снизить негативное воздействие на окружающую среду и повысить экономическую эффективность энергетического сектора.

Цель работы

Целью данной дипломной работы является исследование и разработка технологии производства биодизеля на основе лигноцеллюлозного компонента. В рамках работы будут изучены процессы выделения лигнина и целлюлозы, каталитической этерификации и переэтерификации, а также проведена оценка физико-химических характеристик полученного биодизеля.

Научная новизна работы

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к использованию лигноцеллюлозных компонентов для получения биодизеля, что включает разработку и оптимизацию технологий выделения и переработки компонентов, а также детальный анализ их свойств и характеристик.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы состоит в возможности применения разработанных технологий для масштабного производства биодизеля, что позволит сократить использование ископаемых видов топлива и снизить экологическую нагрузку. Полученные результаты могут быть внедрены в производство, что будет способствовать повышению энергоэффективности и устойчивому развитию энергетической отрасли.

Литературный обзор

История биотоплива насчитывает долгие века, начиная с использования древесины в качестве основного источника топлива. С течением времени, с развитием технологий, были разработаны различные виды биотоплива, такие как биоэтанол, биодизель, биогаз и другие. Эти виды биотоплива получают из растений, животных отходов и других органических материалов. Завтра биотопливо играет значимую роль в уменьшении зависимости от нефтедобычи, сокращении выбросов парниковых газов и поощрении устойчивого развития.

История биотоплива насчитывает долгие века, начиная с использования древесины в качестве основного источника топлива. С течением времени, с развитием технологий, были разработаны различные виды биотоплива, такие как биоэтанол, биодизель, биогаз и другие. Эти виды биотоплива получают из растений, животных отходов и других органических материалов. В настоящее время биотопливо играет значимую роль в уменьшении зависимости от нефтедобычи, сокращении выбросов парниковых газов и поощрении устойчивого развития.

Одним из важнейших преимуществ биотоплива является его способность значительно уменьшать углеродный след по сравнению с традиционными ископаемыми видами топлива. Например, биоэтанол, производимый из сахарного тростника или кукурузы, может сократить выбросы CO₂ до 90% в зависимости от методов производства и источников сырья. Биодизель, получаемый из растительных масел или животных жиров, также демонстрирует значительное снижение выбросов углекислого газа и других загрязняющих веществ.

Помимо экологических преимуществ, биотопливо способствует развитию сельского хозяйства и созданию рабочих мест в сельских районах. Фермеры получают дополнительные доходы от продажи биомассы, а новые биотопливные заводы создают рабочие места и стимулируют местную экономику.

Однако, несмотря на все преимущества, развитие биотопливной отрасли сталкивается с рядом вызовов. Один из главных вопросов — это конкуренция за сельскохозяйственные земли между производством продовольствия и биотоплива. Важно найти баланс между использованием земель для нужд человечества и производства возобновляемой энергии. Также необходимо учитывать экологические и социальные аспекты при выборе сырья и технологий производства биотоплива.

Другим интересным направлением является разработка вторичного биотоплива из отходов. Технологии преобразования отходов, таких как использованное растительное масло или органические отходы, в биотопливо позволяют эффективно использовать ресурсы и уменьшать количество отходов, отправляемых на свалки. Это не только способствует устойчивому развитию, но и предоставляет экономические выгоды за счет снижения затрат на утилизацию отходов.

В контексте глобального перехода к устойчивой энергетике, международное сотрудничество и поддержка исследований в области биотоплива играют ключевую роль. Правительства и частный сектор должны работать вместе для создания благоприятных условий для развития биотопливной индустрии, включая финансирование научных исследований, развитие инфраструктуры и внедрение стимулирующих политик.

Биотопливо имеет потенциал стать важной частью решения глобальных энергетических и экологических проблем. С дальнейшими исследованиями и инновациями в этой области, можно ожидать, что биотопливо будет играть все более значительную роль в энергетическом балансе мира и в борьбе с изменением климата.

На рисунке (1) ниже показана классификация биотоплива по используемому сырью. Сегодня исследования биотоплива проводятся во всем мире из-за двух его фундаментальных свойств: устойчивости и возобновляемости. Существует множество эффективных источников производства биомассы, которые делятся на биотопливо первого поколения, второго поколения, третьего поколения и четвертого поколения. Первое поколение включает биомассу, связанную с продовольственными культурами, тогда как второе поколение включает лигноцеллюлозную биомассу, также третье поколение включает потенциальные возобновляемые источники в виде биомассы водорослей [1], а биотопливо четвертого поколения перерабатывается с использованием генетически модифицированных (ГМ) водорослей, а также фотобиологического солнечного топлива и электротоплива.[2]

Биотопливо первого поколения, основанное на продовольственных культурах, таких как кукуруза, сахарный тростник и соя, часто вызывает критику из-за конкуренции с продовольственными ресурсами и воздействия на цены на продукты питания. Однако оно все еще широко используется и играет важную роль в переходе к более устойчивым источникам энергии.

Несмотря на критику, существуют также аргументы в пользу использования продовольственных культур для производства биотоплива первого поколения. Во-первых, такие виды биотоплива способствуют диверсификации энергетических источников, уменьшая зависимость от нефти и улучшая энергетическую безопасность стран. Во-вторых, использование сельскохозяйственных культур для биотоплива может стимулировать развитие аграрного сектора и создание рабочих мест в сельских районах, что положительно сказывается на экономике.

Кроме того, современные технологии и аграрные практики могут помочь смягчить негативное воздействие на продовольственные ресурсы. Например, селекционные программы и генетическая модификация могут привести к созданию более устойчивых и высокоурожайных культур, которые смогут удовлетворить как продовольственные, так и энергетические потребности. Развитие агроэкологических подходов также способствует более эффективному использованию земель и ресурсов, снижая давление на окружающую среду.

Однако важно учитывать, что переход к более устойчивым источникам энергии не должен ограничиваться только биотопливом первого поколения. Необходимо активно развивать и внедрять биотопливо второго, третьего и четвертого поколений, которые обладают меньшими экологическими и социальными рисками. В совокупности, все эти усилия могут способствовать созданию более устойчивой и экологически чистой энергетической системы, способной удовлетворить потребности будущих поколений.

Биотопливо второго поколения производится из лигноцеллюлозной биомассы, такой как древесные отходы, солома и трава. Это биотопливо имеет значительное преимущество, так как не конкурирует с продовольственными культурами и может использоваться для переработки сельскохозяйственных и лесных отходов. Внедрение технологий переработки лигноцеллюлозной биомассы позволяет эффективно использовать обширные ресурсы, доступные в сельскохозяйственных и лесных отраслях.

Одним из ключевых аспектов производства биотоплива второго поколения является использование целлюлозных и лигниновых компонентов растений, которые составляют основную часть биомассы и не пригодны для пищевого потребления. Это позволяет избежать конфликта между производством топлива и продовольствием. В то же время, переработка лигноцеллюлозной биомассы требует более сложных технологий и инфраструктуры, таких как ферментация и термохимическая обработка, что делает этот процесс более капиталоемким по сравнению с производством биотоплива первого поколения.

Кроме того, биотопливо второго поколения способствует снижению уровня отходов и увеличению устойчивости сельского и лесного хозяйства. Переработка отходов, таких как сельскохозяйственная солома и древесные обрезки, в топливо не только уменьшает количество отходов, но и предоставляет дополнительный источник дохода для фермеров и лесников. Это также помогает улучшить управление земельными ресурсами и способствует более эффективному использованию биомассы.

Третье поколение биотоплива представляет собой большой шаг вперед благодаря использованию водорослей. Водоросли могут расти быстрее и производить больше биомассы на единицу площади по сравнению с наземными растениями. Более того, они могут культивироваться в различных водоемах, включая соленую воду и сточные воды, что минимизирует использование пресной воды и плодородных земель. Водоросли также обладают высокой способностью к фиксации углекислого газа, что делает их идеальными для смягчения последствий изменения климата.

Одним из главных преимуществ использования водорослей для производства биотоплива является их высокая продуктивность. Водоросли могут производить до 30 раз больше масла на гектар, чем традиционные масличные культуры, такие как соя или рапс. Это позволяет значительно увеличить выход биотоплива с той же площади земли, что делает этот метод более эффективным и экономически выгодным.

Кроме того, водоросли могут быть культивированы в различных условиях, включая маргинальные земли и обработанные водоемы, что позволяет избежать конкуренции за плодородные сельскохозяйственные земли. Это открывает возможность для использования территорий, которые не пригодны для традиционного сельского хозяйства, и способствует развитию регионов с ограниченными природными ресурсами.

Еще одним важным аспектом является возможность использования сточных вод и промышленных выбросов в процессе выращивания водорослей. Водоросли могут эффективно очищать сточные воды, поглощая питательные вещества и тяжелые металлы, что способствует улучшению качества воды и снижению загрязнения. Это делает процесс культивирования водорослей не только источником биотоплива, но и важным инструментом экологической реабилитации.

Разработка и внедрение технологий производства биотоплива из водорослей продолжается по всему миру. Ведущие компании и исследовательские институты работают над оптимизацией методов культивирования, сбора и переработки водорослей, стремясь сделать этот процесс более эффективным и экономически рентабельным. Уже существуют промышленные установки, производящие биодизель и биоэтанол из водорослей, демонстрируя практическую жизнеспособность этих технологий.

В дополнение к производству биотоплива, водоросли могут быть использованы для создания разнообразных биопродуктов, таких как биопластики, косметика и пищевые добавки. Это открывает дополнительные экономические возможности и стимулирует развитие биотехнологического сектора.

Биотопливо третьего поколения, основанное на использовании водорослей, представляет собой перспективное направление в области возобновляемой энергетики. Его многочисленные преимущества, такие как высокая продуктивность, отсутствие конкуренции за сельскохозяйственные земли, способность к очистке сточных вод и фиксация углекислого газа, делают его важным компонентом в стратегии устойчивого развития и борьбы с изменением климата.

Биотопливо четвертого поколения включает использование передовых биотехнологий для создания генетически модифицированных водорослей и микроорганизмов, способных эффективно производить биотопливо. Фотобиологическое солнечное топливо, которое производится с использованием фотосинтезирующих микроорганизмов, и электротопливо, генерируемое путем преобразования электрической энергии в химическую, открывают новые горизонты в области возобновляемой энергетики. Эти инновационные подходы позволяют увеличить выход биотоплива и снизить производственные затраты, делая его более конкурентоспособным с ископаемыми видами топлива.

Одним из ключевых направлений в биотопливе четвертого поколения является использование синтетической биологии и генетической инженерии для

создания организмов с улучшенными свойствами. Генетически модифицированные водоросли и бактерии могут быть разработаны так, чтобы они производили больше липидов или других углеводов, которые можно преобразовать в биотопливо. Это не только увеличивает продуктивность, но и позволяет адаптировать организмы к различным условиям окружающей среды, делая их более устойчивыми и эффективными.

Фотобиологическое солнечное топливо представляет собой еще одну перспективную технологию, основанную на использовании микроорганизмов, способных преобразовывать солнечную энергию непосредственно в химические соединения, пригодные для использования в качестве топлива. Эти микроорганизмы, такие как цианобактерии, могут фиксировать углекислый газ из атмосферы и преобразовывать его в органические молекулы с помощью фотосинтеза. Такой подход может значительно снизить выбросы парниковых газов и способствовать решению проблемы глобального потепления.

Электротопливо, или электросинтезируемое топливо, представляет собой технологию, при которой электрическая энергия, полученная из возобновляемых источников, таких как солнечная или ветровая энергия, используется для синтеза химических соединений, которые могут быть использованы в качестве топлива. Этот процесс включает электролиз воды для получения водорода, который затем может быть объединен с углекислым газом для производства жидких углеводов. Электротопливо обладает высоким потенциалом для интеграции в существующую энергетическую инфраструктуру и может играть ключевую роль в декарбонизации транспортного сектора.

Кроме того, биотопливо четвертого поколения активно исследуется в контексте замкнутых циклов производства и потребления энергии. Например, отходы биотопливного производства могут быть переработаны и использованы для создания новых видов топлива или других полезных продуктов, что способствует более устойчивому и безотходному производству. Такие подходы соответствуют принципам круговой экономики и могут значительно снизить экологическое воздействие энергетической отрасли.

В заключение, биотопливо четвертого поколения представляет собой передовую и многообещающую область исследований и разработок. Использование генетически модифицированных организмов, фотобиологическое солнечное топливо и электротопливо открывают новые возможности для создания устойчивых и эффективных источников энергии. Эти технологии имеют потенциал значительно изменить энергетический ландшафт, способствуя снижению зависимости от ископаемых видов топлива и уменьшению воздействия на окружающую среду.

Таким образом, развитие технологий производства биотоплива всех поколений вносит значительный вклад в решение глобальных энергетических и экологических проблем. Исследования и инновации в этой области продолжают совершенствоваться, предлагая новые решения для создания устойчивого и экологически чистого будущего.

Кроме того, государственные и международные инициативы играют важную роль в поддержке и продвижении биотопливных технологий. Ведущие страны мира инвестируют в исследования и разработку биотоплива, устанавливают нормативные акты и стимулирующие программы для производителей и потребителей. Международное сотрудничество в области науки и технологий также способствует обмену знаниями и лучшими практиками, что ускоряет внедрение передовых решений в биотопливной отрасли.

Также стоит отметить важность интеграции биотоплива с другими возобновляемыми источниками энергии, такими как солнечная и ветровая энергетика. Комбинированное использование различных типов возобновляемой энергии может значительно повысить общую эффективность и надежность энергетической системы, а также снизить зависимость от ископаемых видов топлива.

Биотопливо является перспективным и многообещающим источником возобновляемой энергии, который может внести значительный вклад в устойчивое развитие. Инвестиции в исследования и развитие, поддержка на государственном и международном уровнях, а также интеграция с другими видами возобновляемой энергии – все это ключевые элементы, необходимые для успешного будущего биотоплива и достижения глобальных экологических целей.



Рисунок 1 – Классификация биотоплива на основе используемого сырья

В современных условиях поиск экологически безопасных и экономически эффективных источников альтернативной энергии является приоритетной задачей. Особый интерес представляют различные виды травянистых растений, обладающих высокой скоростью роста и способных обеспечить значительное количество вегетативной массы, которая может использоваться в качестве источника энергии [3].

Примером таких растений могут служить представители рода *Miscanthus*, которые представляют собой практически неисчерпаемый источник возобновляемого сырья для альтернативной энергетики. Их привлекательность обусловлена не только химическими свойствами биомассы, но и высокими темпами роста и обширной биологической продуктивностью, особенно в умеренном климате, что делает их использование перспективным [4].

Ключевые преимущества биомассы мискантуса по сравнению с другими видами многолетних трав обусловлены его более высокой продуктивностью, устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды, а также повышенным содержанием лигнина, что приводит к увеличению тепловыделения. Кроме того, растения рода *Мискантус* могут использоваться для получения биологически активных веществ [5].

Химический анализ мискантуса, проведенный в статье [6], выявил три основных компонента лигноцеллюлозных материалов: целлюлозу,

гемицеллюлозу и лигнин. Их содержание в различных органах растения различно и зависит от его функциональных и физиологических свойств. Количество клетчатки в стебле обычно превышает содержание в листьях. Лигнин, представляющий собой трехмерный полимер на основе фенилпропила, обеспечивает структурную прочность и целостность, а также предотвращает разрушение лигноцеллюлозы.

На таблице (1) приведены средние показатели биохимического состава листьев, стеблей и всего 4-летнего растения сортов мискантуса [4]. Анализ данных показывает, что стебель мискантуса является наиболее подходящим исходным материалом для получения большего количества высококачественной целлюлозы, так как он содержит меньше золы и лигнина, а также обеспечивает более высокий выход целевого продукта.

Органы растений	Производительность (в пересчете на сухое вещество %)				
	ФВГ	Содержание золы	Лигнин	Пентозан	Целлюлоза Куршнера
Всё растение	4.98+0.05	5.87+0.05	22.0+0.05	21.0+0.05	53.1+0.05
Лист	6.32+0.05	9.23+0.05	23.6+0.05	20.3+0.05	43.3+0.05
Стебель	2.68+0.05	2.13+0.05	15.0+0.05	23.0+0.05	55.7+0.05

ФВГ-фракция восковой глазури

Таблица 1-Состав органов растений

Известно, что в статье [7] упоминается Мискантус - лигноцеллюлозная биомассы с низким содержанием влаги, который можно термохимически превратить в топливо. На рисунке 3 показана упрощенная схема двух основных методов получения химикатов и топлива из биомассы Мискантуса путем ее термической переработки.

Первый способ - газификация с последующим синтезом Фишера-Тропша, требующий крупных установок. Крупные установки не могут быть адаптированы для цепочки поставок биомассы без предварительного пиролиза. Это позволяет эффективнее использовать энергию перед ее транспортировкой на большие расстояния. Основными продуктами после сжигания являются синтез-газ и топливный газ. Процесс производства синтез-газа также приводит к получению метанола и водорода, которые широко используются как виды топлива для автотранспорта.

Второй способ - быстрый пиролиз или конверсия биомассы в жидкое топливо, что повышает качество биологических масел. Быстрый пиролиз дал отличные результаты в получении концентрированных мазутов и производстве

биотоплива со средне-низкой энергетической ценностью. Обычно основное сырье для производства синтез-газа и других жидких видов топлива - это биомасса или отходы, изменение условий процесса помогает получить различные продукты. Главное преимущество заключается в превращении твердых материалов в газ и пар, которые легко обрабатывать, перевозить и хранить. Однако значительные затраты на нагревание при проведении химических реакций для получения синтез-газа являются одним из недостатков этого процесса.

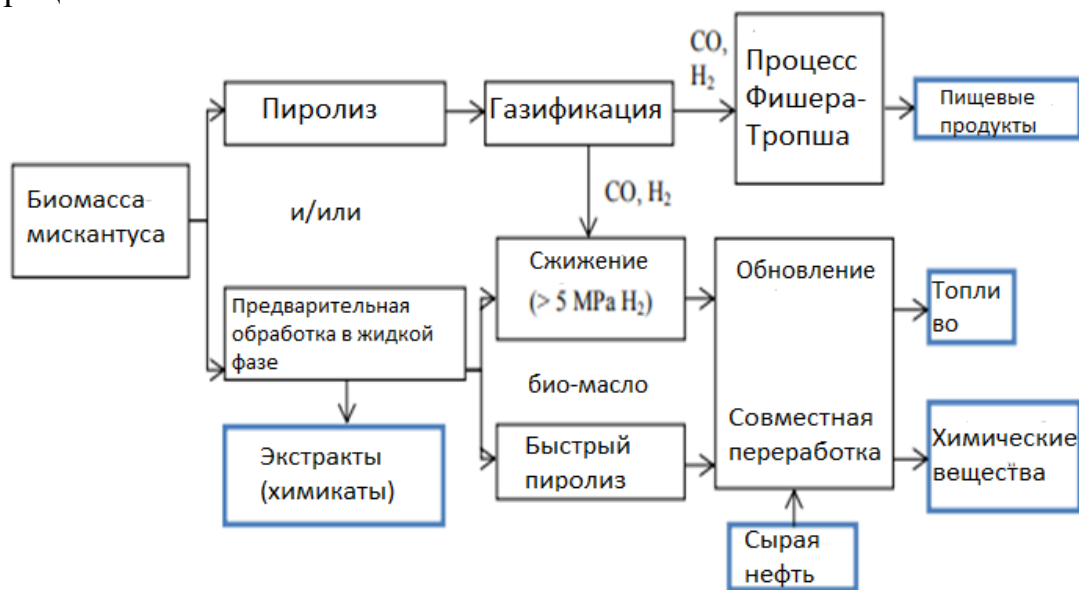


Рисунок 2- упрощенная схема производство топлива и химикатов

Для исследования в одной из статьи [12] мискантус обычно собирают после старения. Лигноцеллюлозный компонент материала состоит в основном из целлюлозы (~40–60 %), гемицеллюлозы (~20–40 %) и лигнина (~10–30 %).

Как было сказано выше биотопливо второго поколения включает лигноцеллюлозную биомассу, которая, в свою очередь, является потенциальным источником возобновляемой энергии для транспортного топлива за счет преобразования сбраживаемых сахаров, полученных из целлюлозы и гемицеллюлозы, в биотопливо. Лигноцеллюлозный материал содержит до 35-50% целлюлозы, которая является наиболее распространенным биополимером на Земле и, таким образом, является ценным источником сырья [13].

В данном исследовании [14] представлен экологически чистый метод извлечения целлюлозы из мискантуса, а также предложен новый подход к использованию ресурсов биомассы. Однако представленный метод экстракции целлюлозы показывает некоторые ограничения.

Тем не менее, высококристаллическая природа целлюлозы, и присутствие лигнина, окружающего микрофибриллы целлюлозы, способствуют медленному ферментативному гидролизу целлюлозной биомассы и требуют предварительной обработки для увеличения скорости гидролиза. В то время как механическое измельчение, обработка слабой и сильной кислотой, расширение волокон аммиака и другие методы предварительной обработки увеличивают

скорость гидролиза [15], на сегодняшний день наиболее эффективной предварительной обработкой, разработанной до сих пор, является растворение и последующее осаждение целлюлозы в ионных жидкостях [16]. Ионные жидкости — это органические соли, жидкости с температурой около 100°C или ниже.

Как было сказано выше стебель мискантуса является наиболее подходящим сырьем, но стоит отметить важность клеточной стенки. Состав Клеточные стенки растений состоят из трех слоев: средней пластинки, первичной клеточной стенки и вторичной клеточной стенки [17]. Средняя пластинка представляет собой внешний слой, который поддерживает прилипание клеточных стенок друг к другу. Первичная клеточная стенка гибкая и формируется по мере роста клетки. Вторичная клеточная стенка представляет собой толстый слой, образующийся на внутренней стороне первичной клеточной стенки. Недавние исследования были сосредоточены на важности состава клеточной стенки мискантуса и его влиянии на оптимизацию производства биотоплива, особенно на этапе термохимической предварительной обработки [18]. Эти исследования выявили значительные различия между различными генотипами. Хотя конкретные требования по оптимизации лигноцеллюлозной биомассы в настоящее время все еще изучаются и определяются, обычно желаемыми характеристиками сырья для производства биоэтанола являются высокое содержание целлюлозы и гемицеллюлозы и низкое содержание лигнина. По полисахаридному составу стенки растительных клеток можно разделить на тип I или тип II [19]. Клеточные стенки мискантуса относятся к типу II и содержат в качестве основной гемицеллюлозы арабиноксилан (клеточные стенки, принадлежащие к типу I, содержат в качестве основной гемицеллюлозы ксилоглюкан). Ключевой характеристикой клеточных стенок типа II является то, что во вторичной стенке накапливается большое количество лигнина. Такое накопление лигнина оказывает особенно важное влияние на эффективность предварительной обработки по высвобождению сбраживаемых сахаров из сырья, поскольку это один из основных факторов, способствующих устойчивости к разложению.

Все стенки растительных клеток естественным образом устойчивы к биологическому разложению, и поэтому необходимо применять энергоемкие условия для высвобождения сбраживаемых сахаров из лигноцеллюлозного сырья. К естественным факторам, способствующим такому упорству, относятся [21]:

1. Кутикула и эпикутикулярный воск, составляющие эпидермальную ткань растения.
2. Наличие сосудистых пучков, их расположение и плотность.
3. Количество толстостенной клеточной ткани (склеренхиматозная ткань).
4. Наличие лигнина.
5. Высокая сложность компонентов клеточной стенки.

6. Недоступность компонента клеточной стенки для действующих ферментов.

7. Наличие и образование ингибиторов дальнейшего брожения в структуре клеточной стенки.

Таким образом, состав клеточной стенки сырья оказывает огромное влияние на общую эффективность производства биоэтанола. Хочется отметить об исследовании, где было показано, что генотипы кукурузы с низкой концентрацией лигнина клеточной стенки и высоким содержанием стеблевой целлюлозы и высокозамещенных гемицеллюлоз обладают более эффективной биоконверсией и выходом глюкозы при предварительной обработке мягкой разбавленной кислотой [20]. Это убедительно свидетельствует о том, что оптимизация состава клеточной стенки посредством селекции растений может помочь снизить химическую интенсивность предварительной обработки и, в конечном итоге, снизить затраты и повысить эффективность производства биотоплива второго поколения.

Производство биотоплива второго поколения по-прежнему сталкивается с узкими местами, которые необходимо устранить для достижения коммерческого производства. Результаты этого исследования подтверждают, что мискантус предлагает потенциал для селекции сортов, использование которых может повысить эффективность и снизить затраты на процессы предварительной обработки. Это особенно важно, учитывая, что процессы, связанные с обработкой биомассы, такие как измельчение, гидролиз и ферментация, могут значительно повлиять на общую экономическую целесообразность производства биотоплива. Внедрение улучшенных сортов мискантуса, способных лучше адаптироваться к производственным условиям и требованиям технологических процессов, может значительно ускорить развитие промышленного производства биотоплива второго поколения.

Между тем, мискантус, или сахарный тростник, становится все более привлекательным источником биомассы для производства биотоплива. Растение мискантуса выделяется своей высокой урожайностью, обширной адаптивностью к различным климатическим условиям и минимальными требованиями к почве и удобрениям. Процесс создания биотоплива из мискантуса обещает значительные перспективы, включая сокращение выбросов парниковых газов, снижение зависимости от нестабильных рынков нефти и поддержку устойчивого развития. Дальнейшее исследование и развитие этого направления могут привести к более эффективному использованию биомассы и созданию более устойчивой энергетической системы для будущих поколений.

Кроме того, использование мискантуса для производства биотоплива имеет потенциал улучшить сельское хозяйство и региональную экономику. Выращивание мискантуса может создать новые рабочие места в сельской местности и способствовать диверсификации сельскохозяйственных культур. Это также может помочь улучшить здоровье почвы и снизить эрозию благодаря длительному периоду роста мискантуса и его корням, которые укрепляют почву.

Биотопливо из мискантуса также предоставляет возможность для создания более устойчивой энергетической системы в сельских регионах, где доступ к традиционным источникам энергии может быть ограничен. Это может сделать сельские общины менее зависимыми от импорта топлива и обеспечить им доступ к доступным и надежным источникам энергии.

Таким образом, использование мискантуса для производства биотоплива не только способствует снижению загрязнения окружающей среды и борьбе с изменением климата, но и может стать важным фактором в устойчивом развитии сельских регионов и диверсификации источников энергии.

Дополнительным преимуществом использования мискантуса для производства биотоплива является его способность расти на землях, которые не подходят для производства пищевых культур. Это включает в себя земли с невысоким уровнем плодородия, заброшенные или загрязненные земли, что делает его привлекательным вариантом для восстановления и рекультивации таких территорий.

Кроме того, мискантус имеет способность фиксировать углерод из атмосферы в процессе своего роста, что делает его чрезвычайно эффективным инструментом в снижении уровня парниковых газов в атмосфере. Поэтому использование мискантуса для производства биотоплива также способствует борьбе с изменением климата и поддерживает устойчивость экосистем.

Наконец, мискантус является относительно низкокзатратным и энергоэффективным источником биомассы. Его высокая урожайность и низкие требования к удобрениям и обработке почвы делают его привлекательным для фермеров и инвесторов в сельское хозяйство. Это способствует улучшению экономического благосостояния сельских общин и снижению затрат на энергию для конечных потребителей.

Мискантус также демонстрирует отличные показатели в плане биоразнообразия и почвенного здоровья. В отличие от некоторых монокультур, его густая корневая система помогает предотвратить эрозию почвы и улучшает ее структуру, способствуя сохранению и восстановлению почвенных экосистем. Это особенно важно для деградированных земель, где улучшение состояния почвы может способствовать восстановлению местной флоры и фауны.

Кроме того, мискантус обладает значительным потенциалом для интеграции в существующие агроэкологические системы. Его использование в качестве биотоплива может быть комбинировано с другими сельскохозяйственными практиками, такими как севооборот и межкультурные посадки, что способствует созданию более устойчивых и продуктивных агроландшафтов. Это также открывает возможности для создания дополнительных источников дохода для фермеров через продажу биомассы мискантуса или ее использование в собственных хозяйствах для производства энергии.

Мискантус также может быть использован в системах агролесоводства, где его посадки сочетаются с лесными культурами. Это способствует улучшению

микроклимата и биологического разнообразия, а также увеличению общей продуктивности земель. Такие системы могут предоставлять множество экосистемных услуг, включая защиту водных ресурсов, улучшение качества воздуха и создание местобитаний для диких животных.

Научные исследования и разработки в области культивирования мискантуса продолжают развиваться, направленные на улучшение его характеристик и увеличение продуктивности. Селекционные программы фокусируются на создании новых сортов мискантуса, которые обладают большей устойчивостью к неблагоприятным условиям окружающей среды, таким как засуха и экстремальные температуры. Это делает мискантус еще более надежным источником биомассы в условиях меняющегося климата.

Кроме того, мискантус может играть важную роль в создании биоэнергетических кластеров, где производственные процессы биотоплива интегрируются с другими промышленными и сельскохозяйственными операциями. Это способствует созданию замкнутых циклов производства и потребления, минимизируя отходы и увеличивая общую эффективность использования ресурсов. В таких кластерах отходы одной отрасли могут стать сырьем для другой, что способствует созданию более устойчивой и экономически выгодной производственной системы.

В заключение, мискантус представляет собой многообещающий источник биомассы для производства биотоплива, обладающий рядом экологических, экономических и социальных преимуществ. Его способность расти на неплодородных землях, фиксировать углерод, улучшать состояние почвы и биоразнообразие, а также обеспечивать высокую урожайность с низкими затратами делает его важным компонентом стратегии устойчивого развития и энергетической безопасности. Внедрение и расширение использования мискантуса может значительно способствовать решению глобальных энергетических и экологических вызовов.

Экспериментальная часть

2.1 Материалы

В качестве сырья применяли *Miscanthus giganteus* (рисунок 3). Мискантус - это лигноцеллюлозная культура с высокой выработкой биомассы, устойчивостью к стрессам и широкой адаптируемостью. Мискантус отличается высокой эффективностью полива и внесения удобрений, отличным качеством целлюлозы, широким спектром выращивания, экологичностью окружающей среды и низкими затратами на производство. Мискантус - это травянистый лигноцеллюлозный материал, используемый для преобразования тепла, электричества и жидкого топлива, а также для производства ароматических продуктов.[22]



Рисунок 3 - *Miscanthus giganteus*

Как было сказано выше, мы использовали высушенный стебель Мискантуса, так как он является подходящим исходным материалом для получения большего количества высококачественной целлюлозы. *Miscanthus giganteus* является наиболее изученным видом с точки зрения использования в производстве. *Miscanthus giganteus* обладает высоким содержанием клетчатки и высокой адаптивностью.

Растворители, которые применялись для экстракции

Н-Гексан - это хороший выбор в качестве растворителя в процессе экстракции. Он является аполярным органическим растворителем, что делает его эффективным для извлечения аполярных соединений, таких как жиры, масла, воски и некоторые летучие ароматические соединения.

Процесс экстракции с использованием гексана обычно осуществляется путем перемешивания сырья с растворителем, чтобы перенести целевые соединения в раствор. Затем раствор разделяется на две фазы: органическую фазу (содержащую растворенные целевые соединения) и водную (или другую фазу, если используется другой растворитель). После этого происходит разделение фаз и извлечение целевых соединений из раствора.

Толуол также является популярным растворителем в процессе экстракции. Он аналогичен гексану, так как является аполлярным органическим растворителем, но при этом имеет немного большую полярность. Это делает его эффективным для извлечения более широкого спектра соединений, включая некоторые летучие ароматические соединения, которые могут быть менее растворимы в гексане.

Процесс экстракции с использованием толуола аналогичен описанному выше для гексана. Сырье перемешивается с толуолом, чтобы целевые соединения перенеслись в раствор. Затем происходит разделение на органическую и водную фазы, и целевые соединения извлекаются из органической фазы. Но по причине высокой температуры кипения, с ним было тяжелее работать.

2.2 Методика выделения липидно-целлюлозного компонента (ЛЦК) из *Miscanthus giganteus* методом экстракции

Стебли высушивали до постоянной массы, измельчали и пропускали через сито. Измельченную пробу ($m_1 = 3.14$ г; $m_2 = 3.62$ г) взвешивали, оплавляли в экстракторе Сокслета с гексаном и толуолом в течение 3 ч. После экстракции оставшийся твердый материал представлял собой в основном лигноцеллюлозу; потерянная в процессе часть представляла собой экстракт, а его содержание рассчитывали по уравнению:

$$\%E = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100$$

Установка аппарата Сокслета представлена на рисунке 4.



Рисунок 4 – реакция экстракции

Таблица 1- выход липидной фракции по экстрагентом

№	Экстрагент	Выход ЛФ, %
1	толуол	37,14
2	н-гексан	72,47

2.3 Реакция каталитической этерификация/ переэтерификация

Извлеченный после экстракции образец ЛЦК сушили, взвешивали и помещали в колбу. В качестве катализатора данной реакции использовали 98% H₂SO₄, смесь тщательно перемешивали и нагревали до 70°C в течение 3 часов. Полученный продукт обозначили как БТ-1.

Во вторую колбу в качестве катализатора применяли NaOH и при постоянном перемешивании нагревали до 65°C в течении 30-35 минут, данный продукт условно обозначили - БТ-2.

Таблица 2- Выход липидной фракции по граммам

№	Продукт	Выход ЛФ, г.
1	БТ-1	0.75
2	БТ-2	0.9

На рисунке (5) представлен процесс этерификации.



Рисунок 5-Реакция этерификации

2.4 Методика определения основных характеристик биотоплива

Плотность биотоплива определяли согласно ASTM D1298, кинематическую вязкость образцов биотоплива определяли согласно ASTM D6751.

Кислотное число образцов биодизеля измеряли по ASTM D664 на основе потенциометрического титрования с применением стеклянного pH-электрода. Кислотное число измеряется количеством гидроксида калия в миллиграммах, необходимого для нейтрализации содержания органических кислот в одном грамме топлива.

Температуру помутнения дизеля определяли в соответствие с ASTM D 2500 - Test method for cloud point of petroleum products. При проведении определения температуры помутнения образец пробы дизеля (биодизеля) охлаждают при заданных условиях с интервалами, равными 1 °С, и втягивают в пипетку при контролируемом вакууме через стандартизованный фильтр из проволочной сетки. Процедуру повторяют после каждого снижения температуры образца на 1 °С. Испытание продолжают до температуры, при которой выделяющееся из раствора количество кристаллов парафинов не позволяет топливу проходить через фильтр или замедляет его поток так, что время заполнения пипетки превышает 60 с или до момента, когда топливо прекращает стекать полностью в испытательный сосуд перед охлаждением еще на 1 °С.

Температуру застывания проб дизельного топлива определяли согласно ASTM D5949-16(2022) - Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products (Automatic Pressure Pulsing Method).

Температуру вспышки для дизеля и биотоплив определяли в соответствии ASTM D93, который по методу А определяет температуру вспышки дистиллятных фракций, в том числе дизельных топлив. Температура вспышки нефтепродукта определяется в диапазоне температур от 40 до 360 °С с применением ручного либо автоматического аппаратов Пенски- Мартенса.

Определение значений цетанового числа проводили согласно ASTM D613 Цетановое число дизельного топлива. По данному стандарту цетановое число определяется путем сравнения характеристик его сгорания в испытательном двигателе с топливами, имеющими известные цетановые числа.

2.5 ИК- спектры полученного биотоплива

ИК- спектры (рисунок 6) полученных биотоплив снимали на спектрометре марки ALPHA II в диапазоне 4000 and 500 cm^{-1} .



Рисунок 6– ИК- спектрометр

Результаты и их обсуждение

3.1 Исследования основных физико- химических характеристик полученных продуктов

Переэтерификация – это процесс производства биодизеля [23]. Это обратимая химическая реакция между маслом и спиртом в присутствии катализатора. При переэтерификации алкильная группа эфира заменяется на другую алкильную группу спирта [24]. Для этого процесса подходят короткие цепочки спиртов, таких как метанол, этанол, пропанол и бутанол. Однако метанол и этанол обычно используются из-за их доступности, а также физических и химических характеристик [25]. Переэтерификация может катализироваться кислотными, основными или ферментативными катализаторами [26].

Гомогенные щелочные катализаторы (NaOH, KOH, алкоксиды, такие как CH_3ONa , CH_3OK , NaOC_2H_5 , др.) превосходят другие и широко используются в промышленном процессе переэтерификации при производстве биодизеля [27]. Однако большим недостатком данных катализаторов является мылообразование, что приводит к снижению выхода и затруднению разделения продуктов [28].

Существенными преимуществами гомогенных щелочных катализаторов являются дешевизна, получение качественного продукта в более короткие сроки и экономическая доступность [29].

Катализаторы на основе натрия лучше, чем катализаторы KOH, при использовании метанола в качестве растворителя из-за их быстрой растворимости в метаноле и более высоких выходов [30]. Стоит отметить, что скорость реакции, катализируемой основанием, в 4000 раз выше по сравнению с кислотным катализатором [31].

На кислотные катализаторы не влияет содержание СЖК, присутствующих в исходном сырье, и они могут катализировать реакции этерификации и переэтерификации одновременно [29]. Кислоты Бренстеда, такие как серная кислота (H_2SO_4), сульфоновая кислота (H_2SO_3), соляная кислота (HCl) и сульфат железа ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$), менее чувствительны к СЖК. В этом процессе чаще всего используется H_2SO_4 , поскольку реакция происходит при средних температурах и атмосферном давлении.

Катализатор H_2SO_4 использовали для преобразования масла водорослей *Chlorellapyrenoidosa*, содержащего 90% воды, в присутствии метанола в биодизельное топливо, а выход биодизельного топлива 93,2% был достигнут при 120 °C и 180 мин. Наличие содержания воды не оказало негативного влияния на производство биодизеля [32]. Авторы работы [33] получили биодизель, используя 1,85% HCl в качестве катализатора, используя различные масла и метанол в качестве растворителя.

В дипломной работе в качестве катализаторов были выбраны H_2SO_4 для БТ-1 и NaOH для БТ-2. Результаты исследования основных характеристик полученных смесей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика биотоплива

№	Биотопливо	Плотность, кг/м ³	Кинематическая вязкость при 40°С, мм ² /с
1	БТ-1	870	5,05
2	БТ-2	865	4,72
3	Дизель	830	3,12

Плотность биотоплива является критическим фактором, влияющим на процесс впрыска топлива и эффективность сгорания в дизельных двигателях, напрямую влияя на тепловой КПД двигателя [34]. Обычно плотность биодизеля выше, чем у дизельного топлива, что приводит к увеличению времени впрыска и проникновения распыления [35]. Так, для полученных образцов плотность составляет 865-870 кг/м³ для БТ-2 и БТ-1 соответственно.

Кинематическая вязкость при 40 °С дизельного топлива составляет 3,12 мм²/с, а для биотоплив БТ-1 (5,05 мм²/с) и БТ-2 (4,72 мм²/с). Можно заметить, что по сравнению с нефтяным дизельным топливом биодизель обладает более высоким значением кинематической вязкости обусловлена тяжелой молекулярной массой биотоплива [34]. Высокая кинематическая вязкость биодизеля существенно влияет на процесс распыления, вызывая уменьшение такта впуска и задержку зажигания при смешивании топлива и воздуха в камере сгорания [36]. Однако следует помнить, что более высокая кинематическая вязкость может вызвать отложения в камере двигателя, а более низкая вязкость снижает смазку двигателя [37].

Недостаточное распыление топлива происходит из-за высокой кинематической вязкости, что приводит к неэффективному термическому сгоранию и осаждению грязи и иных отложений [38]. Напротив, низкая кинематическая вязкость создает капли топлива небольшого размера, которые облегчают передачу топлива для сгорания, что увеличивает тепловой КПД [2, 17].

Кинематическая вязкость коррелирует с кислотным числом. Обычно качество топлива оценивают по измеренному увеличению кинематической вязкости и кислотного числа проб, поскольку эти параметры коррелируют с образованием кислоты по мере развития окисления [40].

Кислотное число можно рассматривать как свободные жирные кислоты, присутствующие в образце топлива [39]. Данный показатель является физико-химическим свойством, зависящим от исходного сырья, используемого при переэтерификации для синтеза биодизельного топлива [23]. Высокое кислотное число означает высокое содержание свободных жирных кислот, что в свою очередь приводит к коррозии каналов и трубок подачи топлива [40,41]. Значения кислотности, определенные для биодизеля, показаны на рисунке 7.

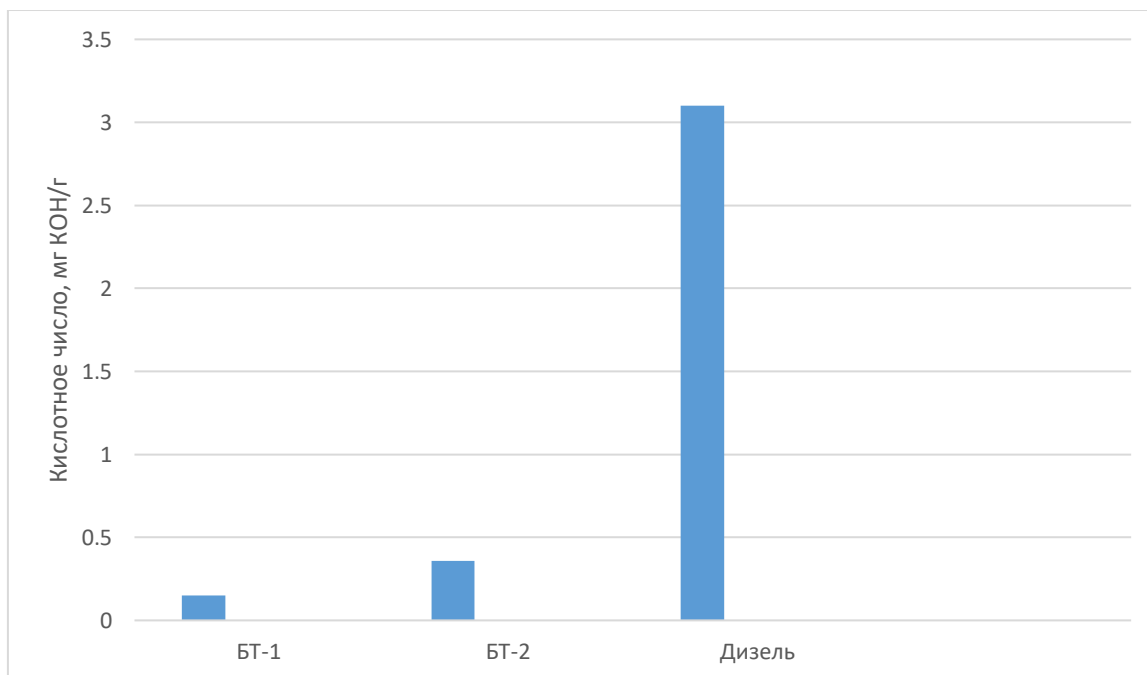


Рисунок 7– Сравнение кислотных чисел БТ-1, БТ-2 и дизеля

Кислотное число БТ-1, БТ-2 и традиционного дизеля составило 0,151 мг КОН/г, 0,361 мг КОН/г и 3 мг КОН/г соответственно. Для биодизеля наблюдается более пониженное кислотное число, для БТ-2 данный показатель выше, чем для БТ-1, однако каждый из показателей соответствует диапазону, требуемому стандартом ASTM D6751.

Температура помутнения - температурная точка, когда биодизель начинает образовывать облака или кристаллические частицы, которая используется для фиксации контроля топлива при низкой температуре. Результаты определения температур помутнения образцов биодизеля и традиционного дизеля представлены на рисунке 8.

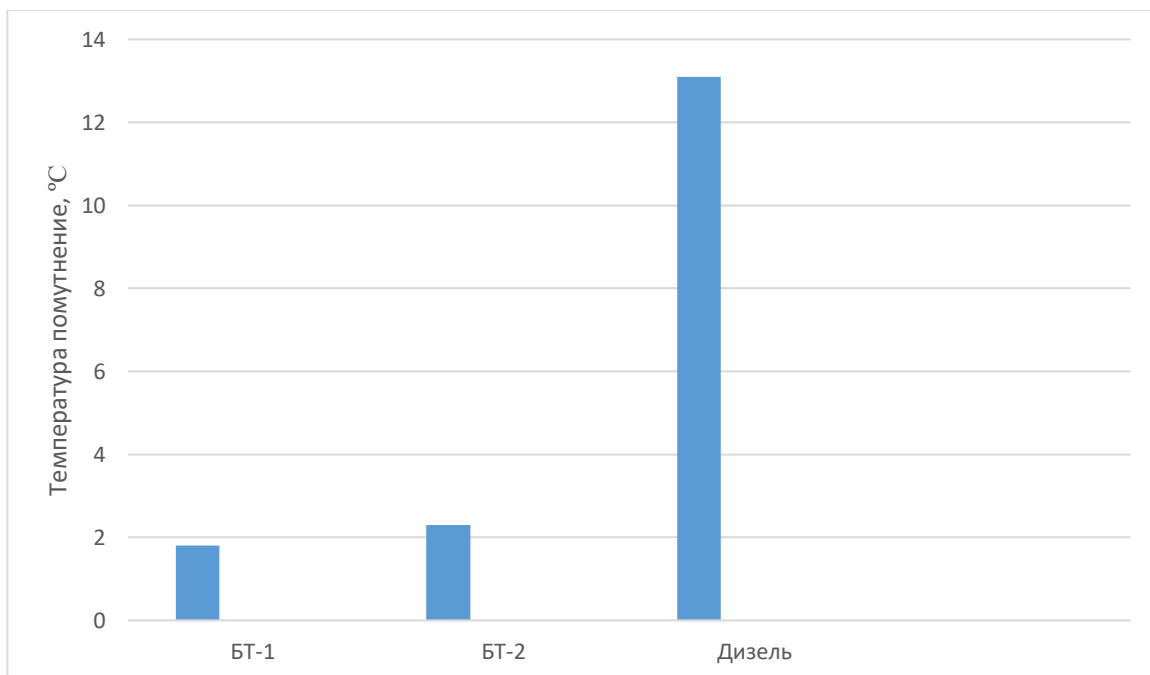


Рисунок 8 – Данные температуры помутнения для образцов БТ и дизеля

Для биотоплив БТ-1 и БТ-2 отмечаются температура помутнения 1,8 и 2,3 °С соответственно, что намного ниже чем для обычного дизеля (13 °С). Известно [42], что высокие значения температуры помутнения считаются плохим свойством для биодизеля, поскольку в обычную погоду могут образовываться кристаллы, которые создают проблемы в двигателях.

Одним из наиболее важных низкотемпературных характеристик дизельных топлив принято считать температуру застывания, т.е. температурная точка, при которой биодизель больше нельзя заливать из-за образования гелеобразного материала [42]. Температура застывания является важной характеристикой процесса холодного течения, поскольку топлива достаточно, если его температура выше точки застывания.

Биодизель всегда характеризуется температурой застывания выше, чем обычное дизельное топливо [38]. Более низкие значения при нулевой температуре наиболее желательны для топлива, поскольку оно может течь даже в холодную погоду. В противном случае высокие значения температуры застывания биодизеля вызовут ряд проблем в стенках и трубах двигателя, таких как замедление или даже прекращение подачи топлива в двигатель и засорение фильтров [41]. На рисунке 9 приведен сравнительный анализ температур застывания проб дизельного топлива.

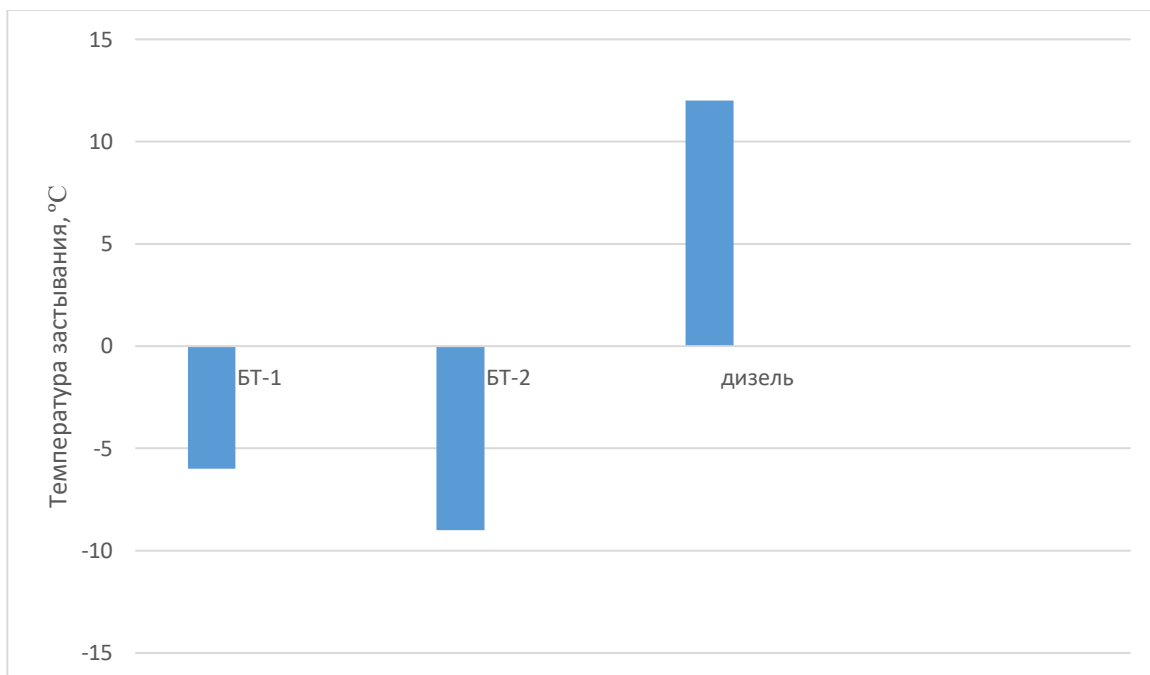


Рисунок 9 – Сравнительный анализ температур застывания проб дизельного топлива

По данным графика, представленных на рисунке 10, значений температуры застывания биодизеля имеют низкие отрицательные значения. Самое низкое значение составляет -9°C и соответствует обычному дизельному топливу. Для биотоплив температура застывания составляет -6 и -9°C для BT-1 и BT-2 соответственно.

Температура вспышки дизельного топлива это наименьшая температура в стандартных атмосферных условиях, при которой происходит воспламенение образца биодизельного топлива [42]. Значение температуры вспышки биодизеля всегда выше значения температуры вспышки дизельного ископаемого топлива. На рисунке 10 представлены данные по определению температур вспышки дизельных топлив.

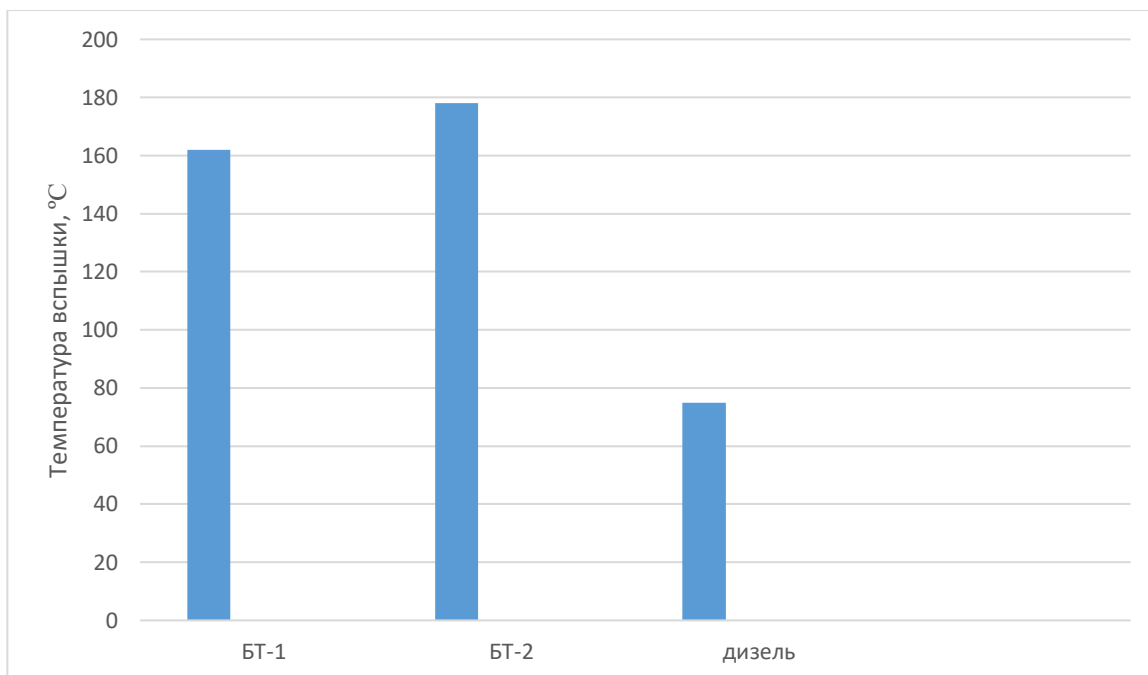


Рисунок 10 – Показатели температур вспышки дизельных топлив

По графику видно, что обычное дизельное топливо имеет температуру вспышки 78°C , тогда как для биодизеля данный показатель составляет 162 и 178°C , соответственно. Причина более высоких значений температуры вспышки биодизеля заключается в низкой летучести биодизеля, что подтверждает безопасность при транспортировке и хранении биотоплив [44].

Основным показателем качества дизельного топлива является цетановое число, который принято определять как обычный объемный процент цетанового числа, если сжигание биодизельного топлива происходит в стандартном двигателе при определенных условиях горения и эксплуатации [42].

Для сравнения цетановых чисел обычного дизеля и биодизеля предоставили график, продемонстрированный на рисунке 13.

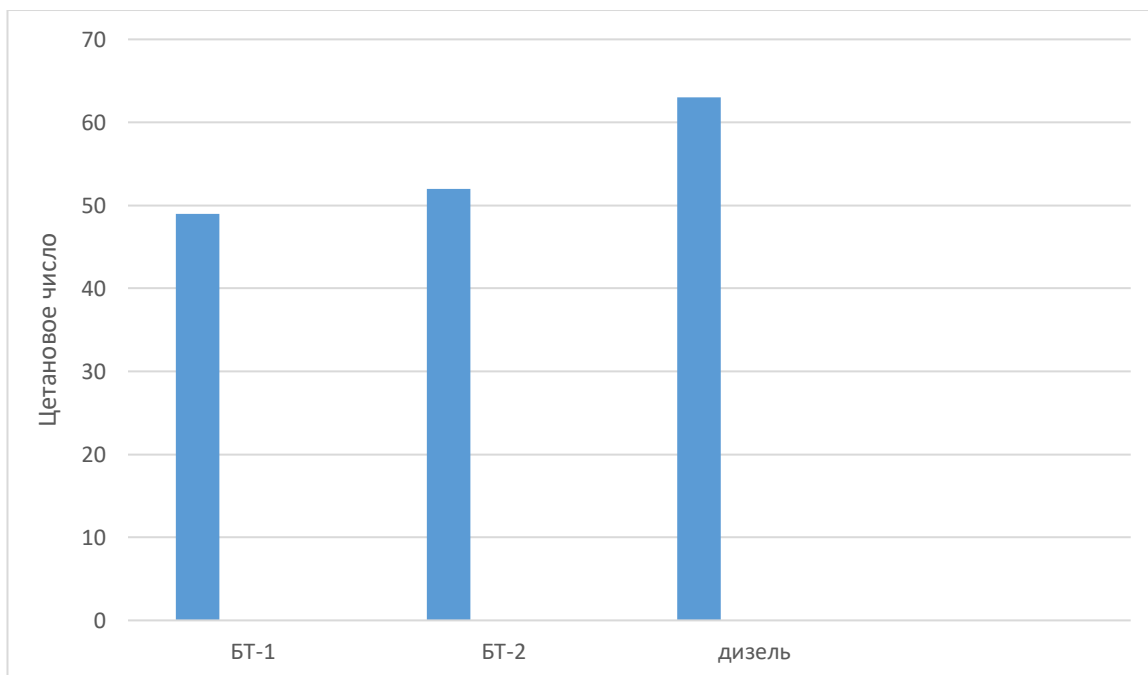


Рисунок 13 – Сравнительный анализ цетановых чисел дизеля

По графику видно, что самое высокое цетановое число составляет 62 для обычного дизеля, для биодизеля марки БТ-1 составляет 49, а для БТ-2 -52.

Высокое цетановое число означает, что обычный дизель быстро воспламеняется в двигателе внутри камеры сгорания. Низкое значение цетанового числа является признаком неполного сгорания, что приведет к еще большему выбросу выхлопных газов [45,46]. Однако стоит заметить, что цетановое число полученных биодизелей находится в пределах, необходимых для безопасного использования в ДВС.

Йодное число рассматривают как характеристику ненасыщенности [47], что обозначает количество молекул йода, поглощенных двойной связью молекул метиловых эфиров жирных кислот. Хотя это не придает существенного значения положениям двойных связей, участвующих в окислении. На йодное число влияют несколько характеристик биодизеля, такие как цетановое число, температурные характеристики и кинематическая вязкость [45].

На рисунке 14 мы можем заметить, что йодное число обычного дизеля составляет 5,2 г I₂/100 г, тогда как значения для БТ-1 и БТ-2 составляют 20,7 и 13,8 г I₂/100 г соответственно.

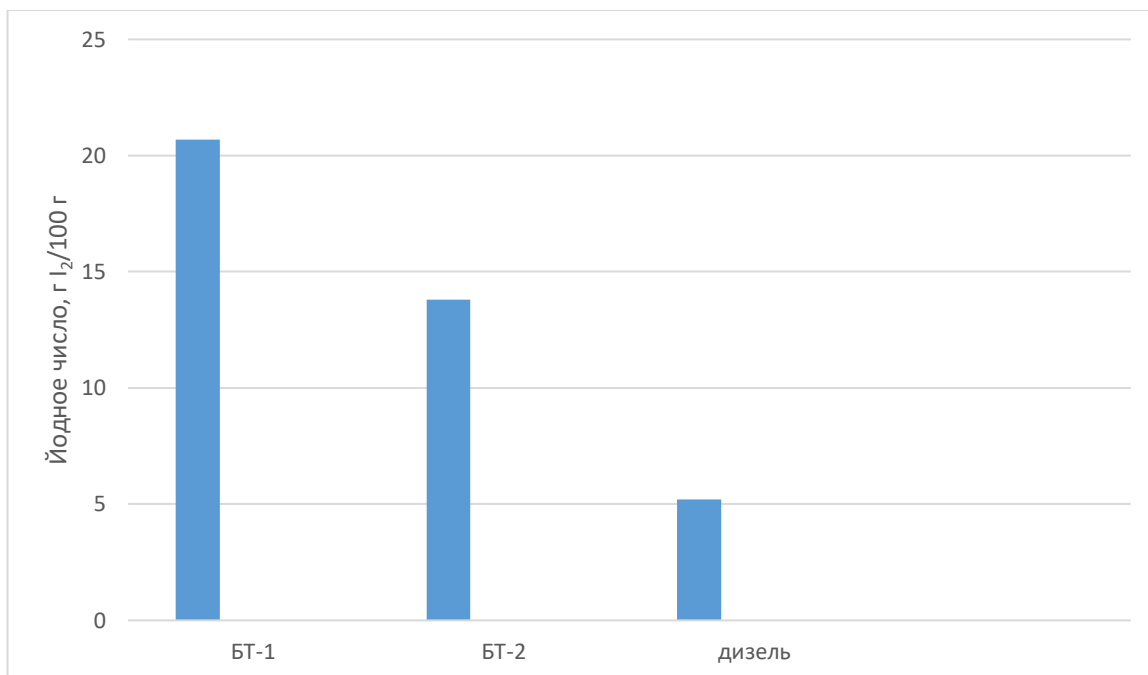


Рисунок 14 – Сравнение йодных чисел дизельных проб

3.2 Исследование состава полученных биотоплив

Для оценки реакции переэтерификации были разработаны различные методы анализа [27]. FTIR-спектроскопия считается мощным методом, который можно использовать для определения химической структуры и состава различных материалов, включая биологические образцы [28]. Хотя метод FTIR менее чувствителен, чем газовая хроматография (ГХ), для количественного определения второстепенных компонентов, путем корреляции с существующими данными GC или другими аналитическими данными качество биодизельного топлива можно оценить с помощью метода FTIR. Метод FTIR проще и быстрее использовать, чем GC [29].

Анализируя спектры, соответствующие биодизелю, исходному маслу и образцам промежуточной конверсии, можно установить метод контроля переэтерификации [30]. Другие исследования в литературе также сообщают об использовании FTIR-анализа для определения и количественного определения соединений. Авторы работы [31] разработали и апробировали метод одновременного определения содержания кофеина, парацетамола и ацетозала. Авторы также сообщают, что этот метод демонстрирует некоторые преимущества как более быстрый, простой, эффективный, экономичный и экологически чистый по сравнению с аналитическими методами, такими как высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ). С другой стороны, применительно к анализу биодизеля и его топливных смесей инфракрасная спектроскопия может использоваться для контроля фальсификации, мониторинга содержания биодизеля в топливных смесях, мониторинга эффективности переэтерификации и классификации [32].

Инфракрасный спектроскопический анализ с преобразованием Фурье (FTIR) проводился для мониторинга хода реакций переэтерификации ЛЦК

мискантуса. На рисунках 14 и 15 представлены ИК-спектры биотоплив БТ-1 и БТ-2.

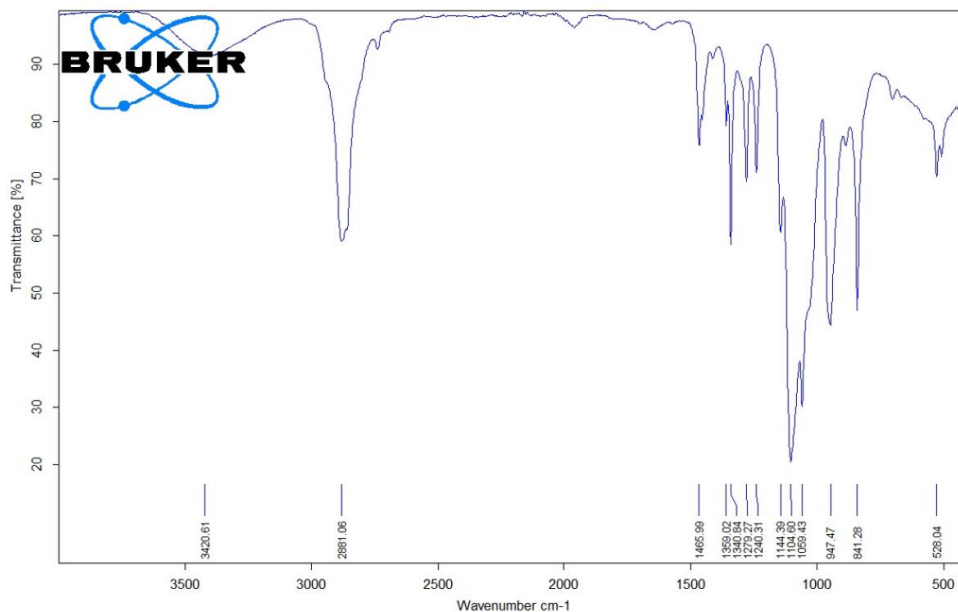


Рисунок 14 – ИК- спектр образца БТ-1

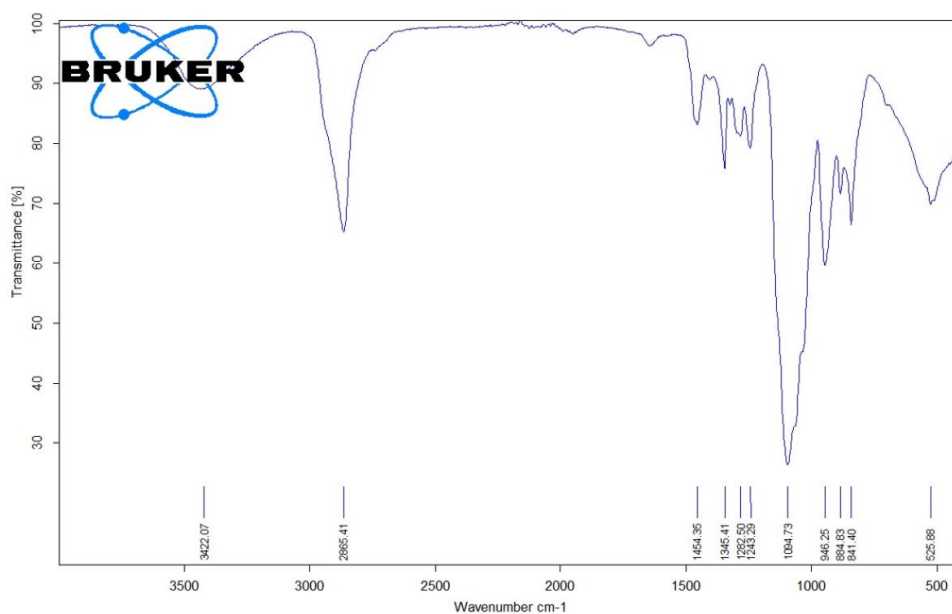


Рисунок 15 – ИК- спектр образца БТ-2

Характерные пики биодизеля на ИК-спектрах обычно расположены в области $1140\text{--}1240\text{ см}^{-1}$ для растяжения $\text{O}-\text{CH}_3$. В наших биотопливах отмечается появление полос поглощения 1144 и 1240 см^{-1} для БТ-1 и 1243 см^{-1} для БТ-2 соответственно.

Детальная расшифровка ИК- спектров представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Пики характерные для БТ-1 и БТ-2

Полоса поглощения в области, см ⁻¹	БТ-1	БТ-2
3420, 3422	гидроксильные группы (ОН)	
2881, 2865	валентные колебания метиленовых групп (CH ₂)	
1465-1454, 1360	метильные и метиленовые группы в парафиновых углеводородах	
1340-1240	средние частоты колебаний νC–O для некоторых эфиров с длинной углеводородной цепью	
1240-1140	растяжения O-CH ₃	
1105	углерод-кислородная функциональная группа C-O	-

По результатам ИК- спектров можно заключить, что в составе полученных биотоплив наблюдаются характерные полосы поглощения, что свидетельствует о возможности получения биотоплив на основе мискантуса.

Заключение

В данной дипломной работе были рассмотрены различные аспекты производства и использования биотоплива, в частности, из мискантуса. Проведенное исследование подтвердило, что мискантус является перспективным источником биомассы для производства биотоплива второго поколения, обладающим рядом экологических, экономических и социальных преимуществ.

Мискантус обладает уникальными свойствами, позволяющими ему расти на неплодородных, заброшенных или загрязненных землях, что исключает конкуренцию с продовольственными культурами и способствует восстановлению таких территорий. Это растение также способно эффективно фиксировать углерод из атмосферы, что помогает в борьбе с изменением климата и снижении уровня парниковых газов.

Использование мискантуса для производства биотоплива экономически целесообразно благодаря его высокой урожайности, низким требованиям к удобрениям и обработке почвы. Эти факторы снижают общие производственные затраты и делают мискантус привлекательным для фермеров и инвесторов. Производство биотоплива из мискантуса поддерживает устойчивое развитие сельских общин, обеспечивая дополнительные источники дохода и снижая затраты на энергию для конечных потребителей.

Несмотря на перспективы, производство биотоплива второго поколения из мискантуса сталкивается с определенными вызовами, такими как необходимость оптимизации процессов предварительной обработки биомассы. Однако результаты исследований показывают, что селекционные программы, направленные на создание сортов мискантуса с улучшенными характеристиками, могут значительно повысить эффективность и снизить затраты на эти процессы.

Внедрение и расширение использования мискантуса может значительно способствовать решению глобальных энергетических и экологических вызовов. Это растение является важным компонентом стратегии устойчивого развития и энергетической безопасности, предлагая эффективное и экологически чистое решение для производства биотоплива.

Таким образом, развитие технологий производства биотоплива из мискантуса и других лигноцеллюлозных культур вносит значительный вклад в создание устойчивой и экологически чистой энергетической системы. Дальнейшие исследования и инвестиции в эту область необходимы для максимизации потенциала мискантуса и других биомассовых источников в контексте глобальной энергетики и экологии.

Список использованной литературы

- 1.H.K. Jeswani, A. Chilvers, A. Azapagic, Environmental sustainability of biofuels: a review, Royal Society Publishing 476 (2243) (2020)
- 2.B. Abdullah, S. Anuar Faua'ad Syed Muhammad, Z. Shokravi, S. Ismail, K. Anuar Kassim, A. Nik Mahmood, Md. Maniruzzaman, A. Aziz, Fourth generation biofuel: a review on risks and mitigation strategies, Renewable Sustainable Energy Rev. 107 (2019)
- 3.Volobaev VP, Larionov AV, Kalyuzhnaya EE, Serdyukova ES, Yakovleva S, Druzhinin VG, et al. Associations of polymorphisms in the cytokine genes IL1 β (rs16944), IL6 (rs1800795), IL12b (rs3212227) and growth factor VEGFA (rs2010963) with anthracosilicosis in coal miners in Russia and related genotoxic effects. Mutagenesis. 2018
- 4.Gismatulina YuA. Comparative chemical composition of five miscanthus var. 'Soranovskiy' harvests: whole plant, leaf, and stem. Advances in current natural sciences. 2016;
- 5.Sarkar A, Asaeda T, Wang QY, Rashid MH. Arbuscular mycorrhizal influences on growth, nutrient uptake, and use efficiency of *Miscanthus sacchariflorus* growing on nutrient-deficient river bank soil. Flora. 2015;
- 6.Lanzerstorfer C. Chemical composition and properties of ashes from combustion plants using *Miscanthus* as fuel. Journal of Environmental Sciences. 2017;54:178–183.
- 7.Gismatulina YuA, Budaeva VV, Veprev SG, Sakovich GV, Shumny VK. Cellulose from various parts of Soranovskii miscanthus. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2014;
- 8.N.S. Hassan, A.A. Jalil, C. Hitam, D.V. Vo, W. Nabgan, Biofuels and renewable chemicals production by catalytic pyrolysis of cellulose: a review, Environ. Chem. Lett. 18 (2020)
- 9.Gladysheva EK. Bacterial cellulose x-ray study results. Fundamental research. 2015
- 10.World Bioenergy Association, global bioenergy statistics 2020
- 11.M.F. Demirbas, Current technologies for biomass conversion into chemicals and fuels. Energy sources, part A: recovery, Utilization, Environ. Effects 28 (13) (2007)
- 12.Brosse N, Dufour A, Meng X, Sun Q, Ragauskas A. 2012. *Miscanthus*: a fast-growing crop for biofuels and chemicals production. Biofuels, Bioproducts and Biorefining 6
- 13.H. Tadesse and R. Luque, Energy Environ. Sci. 4 (2011)
- 14.The pretreatment of miscanthus using ionic liquids; a way for biofuel production El-S.R.E. Hassan, F. Mutelet, and J.-C. Moïse Laboratoire Réactions et Génie des Procédés (UMR CNRS 7274), Université de Lorraine, Nancy 54000, France
- 15.M. Mora-Pale, L. Meli, T.V. Doherty, R.J. Linhardt, J.S. Dordick, Biotechnol Bioeng. 108 (2011)
- 16.X. Wanga, H. Li, Y. Cao, Q. Tang, Bioresource Tech. 102 (2011)

17. Buchanan B, Gruissem W, Jones R. Biochemistry & molecular biology of plants, sixth impression. American Society of Plant Biologists: Craft Print Int. Ltd., Singapore: ISBN 0-943088-39-9, 2006.
18. Arnoult S, Brancourt-Hulmel M. 2014. A Review on Miscanthus Biomass Production and Composition for Bioenergy Use: Genotypic and Environmental Variability and Implications for Breeding.
19. Pauly M, Keegstra K. 2010. Plant cell wall polymers as precursors for biofuels. *Current opinion in plant biology* 13
20. Torres AF, van der Weijde T, Dolstra O, Visser RG, Trindade LM. 2013. Effect of maize biomass composition on the optimization of dilute-acid pretreatments and enzymatic saccharification.
21. Analysis of miscanthus biomass for biofuel production Wageningen University and Research Centre 2015
22. Natural Variation of Lignocellulosic Components in Miscanthus Biomass in China Pingping Xu^{1,2†}, Senan Cheng^{1,2†}, Yanbin Han^{1,2}, Dongbo Zhao¹, Hongfei Li¹, Yancui Wang^{1,2}, Guobin Zhang^{1,2} and Cuixia Chen^{1,2} * 1 State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Taian, China, 2 College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Taian, China
23. Fozy Binhweel et al 2021 A comparative review of some physicochemical properties of biodiesels synthesized from different generations of vegetative oils. *J. Phys.: Conf. Ser.* 1900 012009
24. Tajuddin N A, Lee A F and Wilson K 2016 Production of biodiesel via catalytic upgrading and refining of sustainable oleaginous feedstocks. in *Handbook of Biofuels Production* 121-164
25. Fukuda H, Kondo A and Noda H 2001 Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *J. Biosci. Bioeng.* 92 405-16.
26. Thanh L T, Okitsu K, Boi L Van and Maeda Y 2012 Catalytic technologies for biodiesel fuel production and utilization of glycerol: a review. *Catalysts* 2 191-222
27. Abelniece Z, Laipniece L, Kampars V (2020) Biodiesel production by interesterification of rapeseed oil with methyl formate in presence of potassium alkoxides. *Biomass Convers Biorefnery* 10:1–9. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00874-z>
28. Lam MK, Lee KT, Mohamed AR (2010) Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review. *Biotechnol Adv* 28:500–518. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2010.03.002>
29. Abid, M., Touzani, A., & Benhima, R. (2019). Synthesis of biodiesel from chicken's skin waste by homogeneous transesterification. *International Journal of Sustainable Engineering*, 12(4), 272–280. <https://doi.org/10.1080/19397038.2018.1521883>
30. Thangaraj B, Solomon PR, Muniyandi B et al (2019) Catalysis in biodiesel production - a review. *Clean Energy* 3:2–23. <https://doi.org/10.1093/ce/zky020>

- 31 Talha NS, Sulaiman S (2016) Overview of catalysts in biodiesel production. *ARPN J Eng Appl Sci* 11:439–442
32. . Cao H, Zhang Z, Wu X, Miao X (2013) Direct biodiesel production from wet microalgae biomass of *Chlorella pyrenoidosa* through in situ transesterification. *Biomed Res Int* 2013:930686. <https://doi.org/10.1155/2013/930686>
- 33 Sagiroglu A, Isbilir SS, Ozcan HM et al (2011) Comparison of biodiesel productivities of different vegetable oils by acidic catalysis. *Chem Ind Chem Eng Q* 17:53–58. <https://doi.org/10.2298/CICEQ100114054S>
- 34 Sakthivel, R.; Ramesh, K.; Purnachandran, R.; Shameer, P.M. A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 82, 2970–2992.
- 35.Rekhate, C.; Prajapati, A.K. Production, engine performance, combustion, emission characteristics and economic feasibility of biodiesel from waste cooking oil: A review. *Environ. Qual. Manag.* 2019, 29, 7–35
- 36.Dharma, S.; Ong, H.C.; Masjuki, H.; Sebayang, A.; Silitonga, A. An overview of engine durability and compatibility using biodiesel–bioethanol–diesel blends in compression-ignition engines. *Energy Convers. Manag.* 2016, 128, 66–81
- 37.Milano, J.; Ong, H.C.; Masjuki, H.H.; Silitonga, A.S.; Kusumo, F.; Dharma, S.; Sebayang, A.H.; Cheah, M.Y.; Wang, C.-T. Physicochemical property enhancement of biodiesel synthesis from hybrid feedstocks of waste cooking vegetable oil and Beauty leaf oil through optimised alkaline-catalysed transesterification. *Waste Manag.* 2018, 80, 435–449.
38. Singh D, Sharma D, Soni S L, Sharma S and Kumari D 2019 Chemical compositions, properties, and standards for different generation biodiesels. A review. *Fuel* 253 60- 71
39. Lau, C.H.; Gan, S.; Lau, H.L.N.; Lee, L.Y.; Thangalazhy-Gopakumar, S.; Ng, H.K. Insights into the effectiveness of synthetic and natural additives in improving biodiesel oxidation stability. *Sustain. Energy Technol. Assess.* 2022, 52, 102296.
40. Atabani A E et al. 2012 A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 2070-93
- 41.Sakthivel R, Ramesh K 2018 Purnachandran, R. & Mohamed Shameer, P. A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82 2970-92
- 42.Joshi R M and Pegg M J 2007 Flow properties of biodiesel fuel blends at low temperatures. *Fuel* 86 143-51
- 43.Sivaramakrishnan K and Ravikumar P 2011 Determination of higher heating value of biodiesels. *Int. J. Eng. Sci. Technol.* 3 981-7
- 44.Bhuiya M M K et al 2016 Prospects of 2nd generation biodiesel as a sustainable fuel – Part 2: Properties, performance and emission characteristics. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 55 1129-46
45. Atabani A E et al 2013 Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 18 211-45

- 46.Lapuerta M, Armas O and Rodriguez-Fernandez, J 2008 Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Prog. energy Combust. Sci.* 34 198–223
- 47.Lapuerta M, Rodríguez-Fernández J and De Mora E F 2009 Correlation for the estimation of the cetane number of biodiesel fuels and implications on the iodine number. *Energy Policy* 37 4337-44