



МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
КАФЕДРА ХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ

**Синтез биотоплива в условиях учебной лаборатории**

**Выпускная квалификационная работа по направлению  
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки)**

**Направленность программы бакалавриата**

**«Биология. Химия»**

**Форма обучения очная**

Проверка на объем заимствований:

81,77 % авторского текста

Работа рекомендована к защите  
рекомендована/не рекомендована

«26» иснт 2023 г.

Зав. кафедрой Химии, экологии и  
методики обучения химии

С Сутягин А.А.

Выполнила:

Студентка группы ОФ-501/068-5-1  
Гераськина Ольга Александровна

Научный руководитель:

старший преподаватель,  
заслуж. учитель РФ

Меньшиков Владимир Владимирович

Челябинск

2023

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА .....	5
1.1 Биотопливо .....	5
1.2 Классификация биотоплива .....	7
1.3 Технология производства биотоплива.....	10
1.4 Методы анализа.....	18
1.5 Выбросы загрязняющих веществ при работе биодизельного топлива и биодизельных смесей.....	20
1.6 Производство биотоплива в России.....	22
1.7 Преимущества и недостатки биодизельного топлива.....	24
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТ. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....	26
2.1 Методика синтез биотоплива с использованием щелочного катализатора.....	27
2.2 Методика синтез биотоплива с использованием кислотного катализатора.....	29
2.3 Анализ полученных соединений .....	30
ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ВНЕУРОЧНОГО ЗАНЯТИЯ «СИНТЕЗ БИОТОПЛИВА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ» .....	35
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	45

## ВВЕДЕНИЕ

Источники энергии – это обычные природные явления, неисчерпаемые ресурсы, которые вырабатываются естественным образом.

В современном мире стал расти интерес к экологическим источникам энергии, к энергии, которая является возобновляемой. Примерами такой энергии может служить: энергия ветра; энергия биомассы, такая как биогаз, этанол, биотопливо; фотоэлектрическая энергия, атомная энергия.

Каждый год в сумме весь мир исчерпывает около 9 тыс. т нефтедизельного топлива. Существует вид биотоплива – биодизельное топливо, который пригоден для дизельных двигателей. Такой вид топлива мог бы послужить хорошим аналогом горючего, так как изготавливается из возобновляемых природных источников. При использовании биодизельного топлива в автомобиле образуется меньше вредных веществ: монооксида углерода (CO), триоксида серы (SO<sub>3</sub>), твердых частиц от несгоревших углеводородов, чем при сжигании обычного дизельного топлива [8].

На сегодняшний день использование биотоплива является достаточно перспективным, как для всего мира, так и для нашей страны. Запасы биомассы в России достаточно велики, а количество свободных территорий огромное. Таким образом, рациональное использование сырья и территорий для его выращивания уже сейчас частично помогает решать проблемы замещения минерального сырья [7].

До тех пор, пока мы продолжаем зависеть от автомобилей и других транспортных средств с современными двигателями, нам нужно будет производить еще больше жидкого топлива. Поэтому и спрос на производство биотоплива велик.

В связи с острой потребностью в альтернативных источниках топлива возникает проблема изучения этого процесса и в школьном курсе химии. В литературе было опубликовано много методик синтеза, которые можно

использовать для получения биодизельного топлива в лабораторных условиях [2].

Эти методики можно воспроизвести в школьных и студенческих лабораториях.

Задачей данной работы было исследование и модернизация данных методик к условиям школьных лабораторий, в которых отсутствует сложное оборудование и реактивы для их проведения.

В данной работе будет рассказано о преимуществах и недостатках биодизельного топлива, способах получения в больших и малых масштабах, в условиях школьной лаборатории.

Цель работы – получить биотопливо в условиях учебной аудитории с помощью реакции переэтерификации сложных эфиров, находящихся в различных видах подсолнечных масел.

Задачи:

1. Изучить научную и популярную литературу по получению и использованию биотоплива.
2. Определить объект и методы исследования.
3. Провести эксперименты для получения сложных эфиров, используемых в виде биотоплива.
4. Определить параметры полученных сложных эфиров.
5. Разработать и провести внеурочное мероприятие для школьников на тему «Синтез биотоплива в лабораторных условиях»

Объект исследования: синтез биотоплива из различного сырья.

Предмет исследования: отработка синтеза и изучение полученных продуктов после переэтерификации.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

## 1.1 Биотопливо

Биотопливо начало активно приобретать популярность в первой половине XIX в. Причиной послужило резкое повышение спроса на дешевые энергоносители. Позже мировая общественность стала беспокоиться и о количестве выбросов парниковых газов в атмосферу. Это все послужило причиной внимания к получению и использованию биотоплива [9].

Биодизельное топливо (биодизель) – является одним из альтернативных источников энергии и видом топлива. Биодизель легко поддается биологическому разложению и нетоксичен, при сжигании выделяет меньше вредного CO [1, 2]. Биодизель получают разными способами. Один из путей получения переэтерификация сложных эфиров, полученных из различных растительных масел. Реакция получения такого топлива представлена на рисунке 1 [3, 4]. Продуктами реакции являются эфиры жирных кислот, которые можно использовать как биодизельное топливо [5].

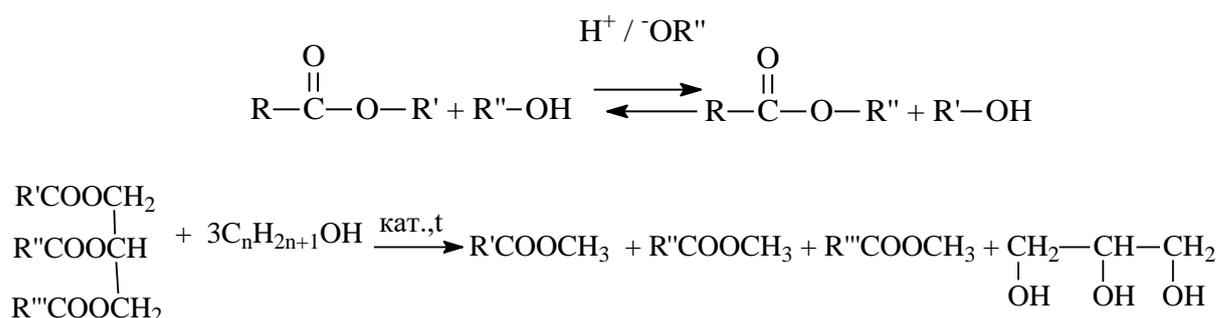


Рисунок 1 – Общее уравнение реакции получения сложных эфиров методом переэтерификации

Данный вид топлива может использоваться с небольшими изменениями дизельного двигателя автомобиля, так как степень сжатия у этого биотоплива выше, чем у дизельного топлива. Принцип работы четырехтактного дизельного двигателя приведен на рисунке 2.

Сегодня на рынке биодизельное топливо пока имеет дорогую стоимость, поэтому его смешивают с нефтесодержащим топливом. Самым оптимальным из соотношений представленным является 20 % биотоплива и 80 % дизельного топлива, которое представлено в марке B20 [6]. Спектр разнообразия сырья для биотоплива достаточно большой. Такое топливо производят из различных растительных масел, например, хлопкового, соевого, арахисового, пальмового, рапсового, кокосового, подсолнечного или из жиров животного происхождения, а также отработанных пищевых масел, например масло для фритюра [10].

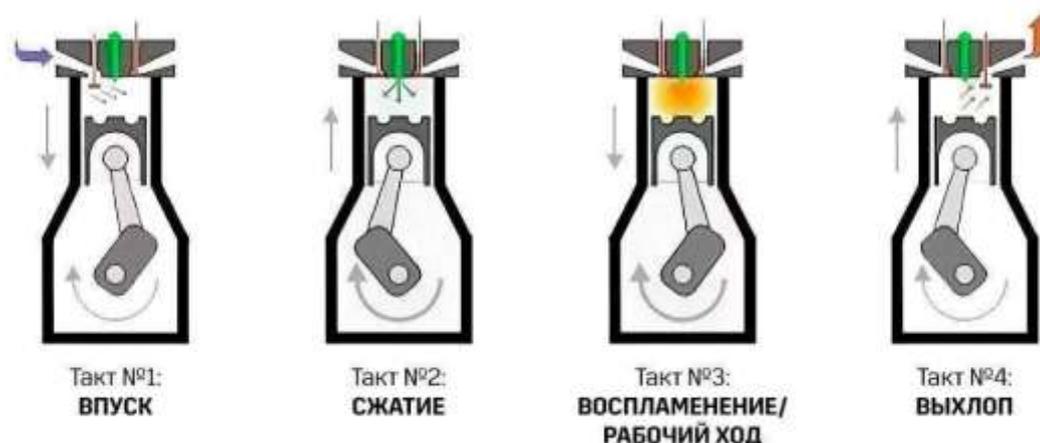


Рисунок 2 – Принцип работы четырехтактного дизельного двигателя

Выбор сырья для производства биотоплива во многом зависит от географии. В зависимости от происхождения и качества исходного сырья могут потребоваться изменения в производственном процессе. Например, метанол используется в качестве спирта для переэтерификации для производства биодизельного топлива, потому что это наименее дорогой спирт, хотя и с помощью других спиртов производят биотопливо (этанол, изопропанол, бутанол и др.) [10].

Биодизельное топливо обладает рядом явных преимуществ по сравнению с нефтесодержащим топливом:

1. Получение из возобновляемых внутренних ресурсов, снижает зависимость от «черного золота» (нефть).

2. Биодизельное топливо дает меньшее количество выбросов вредных выхлопных газов.

3. Биотопливо имеет температуру вспышки около 200 °С, что примерно на 100 °С ниже, чем у дизельного топлива. Биотопливо является более безопаснее в использовании и при хранении.

4. Биотопливо имеет превосходную смазывающую способность для двигателя.

Дизельный двигатель является предпочтительным двигателем для применения в тяжелых условиях: в сельском хозяйстве, строительстве, промышленности, общественном транспорте. Дизельный двигатель способен использовать ту часть сырой нефти, которая ранее считалась отходом переработки для получения бензина [18].

Недостаток биодизельного топлива в том, что оно в отличии от бензинового топлива имеет более низкое содержание энергии, примерно на 15 %. Поскольку биодизель более плотный, чем дизельное топливо, содержание энергии в расчете на литр всего на 8% меньше. Когда дизельные двигатели впрыскивают равные объемы топлива, ремонтники этих двигателей сталкиваются с потерей мощности на эти 8 %. Неизвестно об использовании биодизельного топлива в двигателях с передовыми технологиями. Нет никаких указаний на то, что биодизельное топливо не будет полностью совместимо с новыми системами двигателя [19].

## 1.2 Классификация биотоплива

Специалисты чаще оперируют классификациями биотоплива по поколениям или по способу их производства. Биотопливо группируют по четырем категориям, основываясь на типах сырья для его изготовления и технологического процесса. Общую классификацию биотоплива можно отразить на рисунке 3.

Биотопливо первого поколения синтезируется из пищевых продуктов, с использованием хорошо изученных, экономически жизнеспособных

технологий и процессов, таких как ферментация, дистилляция и переэтерификация [14].

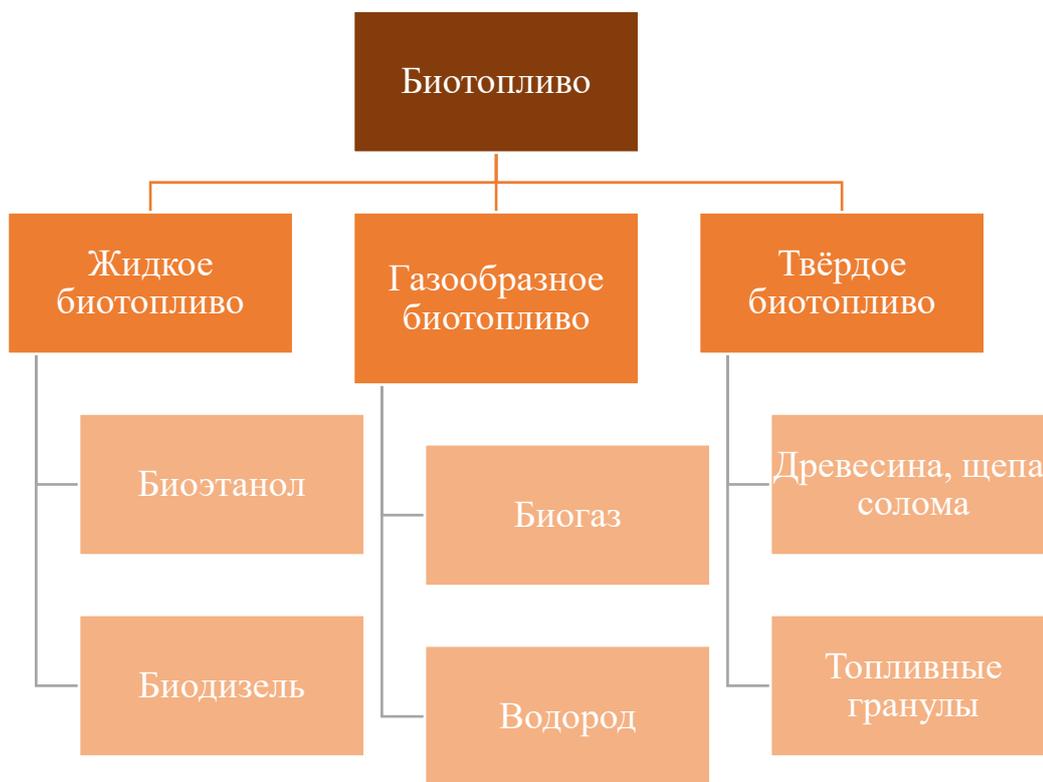


Рисунок 3 – Классификация биотоплива

Такое топливо не совсем целесообразно производить в больших масштабах с точки зрения экономики, так как для его выращивания, сбора и переработки нужно потратить огромные ресурсы энергии непосредственно из ископаемого топлива.

В качестве примера сырья для биотоплива первого поколения можно привести масличные культуры, такие как кукуруза, соя, сахарный тростник и т. д.

Биотопливо второго поколения изготавливается из материалов целлюлозы (например, древесина, трава и т. д.) или побочных продуктов сельского хозяйства. Из целлюлозы изготавливают сахаристые вещества, из которых в дальнейшем брожением можно производить этиловый спирт, а термическим разложением целлюлозы – метиловый спирт.

Получение биотоплива этого поколения в больших масштабах является экономически не выгодным, трудоемким, так как этот процесс требует сложного дорогостоящего оборудования и достаточно масштабных установок. Примерная эффективность по затратам энергии для биотоплива первого и второго поколения равноценная и составляет около 50 %.

Биотопливо третьего поколения изготавливается из растений водной среды, в частности водорослей. Они имеют огромный потенциал в качестве сырья, так как обладают способностью давать большие урожаи при низких затратах необходимых ресурсов [26]. Производство биотоплива третьего поколения нестабильно.

Применение водных растений обладает рядом экологических преимуществ, связанный со способностью фиксировать углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ), тем самым сокращая выбросы парниковых газов. На сегодняшний день существует мало исследований с точки зрения экологии и экономики на целесообразность использования водорослей в качестве сырья для биотоплива, поэтому это вызывает опасение в промышленном производстве биотоплива третьего поколения [21].

Существует еще одна проблема по производству топлива данного вида – произрастание водных растений напрямую зависит от сезона.

Ключевой частью метода является стадия сушки, которая влечет за собой потребление энергии. В водорослях содержится много воды, а значит этот процесс будет слишком энергоемким. Водные растения можно сушить и на солнце, но это имеет свои недостатки, так как сильно зависит от погоды. Возникает проблема в том, что будет более выгодным: сушка на солнце со сниженными энергозатратами или разработка установки по работе с влажным сырьем [23].

У биотоплива выделяют и четвертое поколение. Это топливо синтезируют методами биоинженерии. В качестве основы могут служить водоросли, дрожжи, грибы или цианобактерии и др. [14].

На этом классификация биотоплива по поколениям продолжается. В 2023 г. ученые уже работают и над пятым поколением. Сущность его до конца пока не раскрыта.

### 1.3 Технология производства биотоплива

В данный момент в мире существует пять технологий по получению биотоплива:

- пиролиз,
- каталитический крекинг,
- микроэмульгирование,
- декарбонизирование,
- переэтерификация натуральных масел и жиров.

Первые четыре метода пока сложно использовать для школьного эксперимента при изучении синтеза биотоплива из-за отсутствия необходимого оборудования. Более доступен метод переэтерификации. В 10 классе в школьной программе изучаются сложные эфиры, которые выходят в состав жиров и вступают в реакцию переэтерификации.

1. Пиролиз – любые процессы, при которых органическое сырье подвергают нагреву или частичному сжиганию для получения производных топлив или химических соединений. Изначальным сырьем могут служить древесина, отходы биомассы, городской мусор и конечно уголь. Продуктами пиролиза являются газы, жидкий конденсат в виде смол и масел, твердые остатки в виде древесного угля и золы [15]. Способы осуществления пиролиза изображены на рисунке 4, где, а – небольшая установка для пиролиза. Пиролиз растительных масел и жиров включает крекинг триглицеридной структуры до алканов, алкенов, жирных кислот и даже ароматических соединений [14].

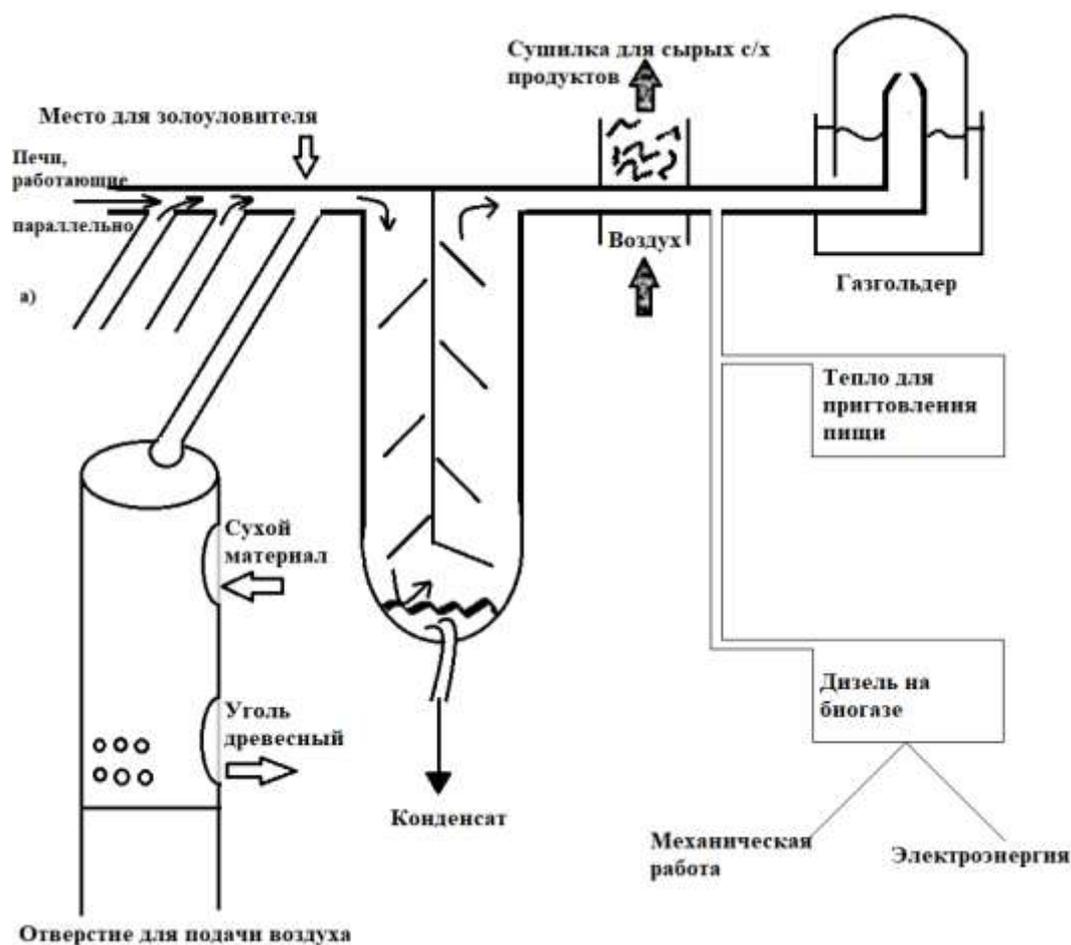


Рисунок 4 – Способы осуществления пиролиза [14]

Механизм пиролиза масел и жиров достаточно сложен вследствие одновременного протекания большого количества реакций. Путем изменения технологических параметров (температура, давление, время обработки) удастся в широких пределах изменять химический состав продуктов и регулировать выходы биотопливных фракций. Современные технологии пиролиза биомассы могут быть разделены по таким характерным признакам, как скорость нагрева (быстрый, медленный пиролиз); среда, в которой происходит пиролиз (вакуумный, гидропиролиз, метано-пиролиз). Недостатком данной технологии является снижение числа атомов углерода в молекуле продукта, вследствие чего происходит снижение энергосодержания за счет формирования более легких углеводородов. Для переработки биомассы в реакторе способом пиролиза требуется создания температурного режима в пределах  $t_{п} = 275\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$  [18].

2. Каталитический крекинг – процесс, при котором тяжелые молекулы углеводородов распадаются на легкие молекулы при прохождении через соответствующий катализатор (обычно при нагреве). Общая установка для каталитического крекинга отражена на рисунке 5.

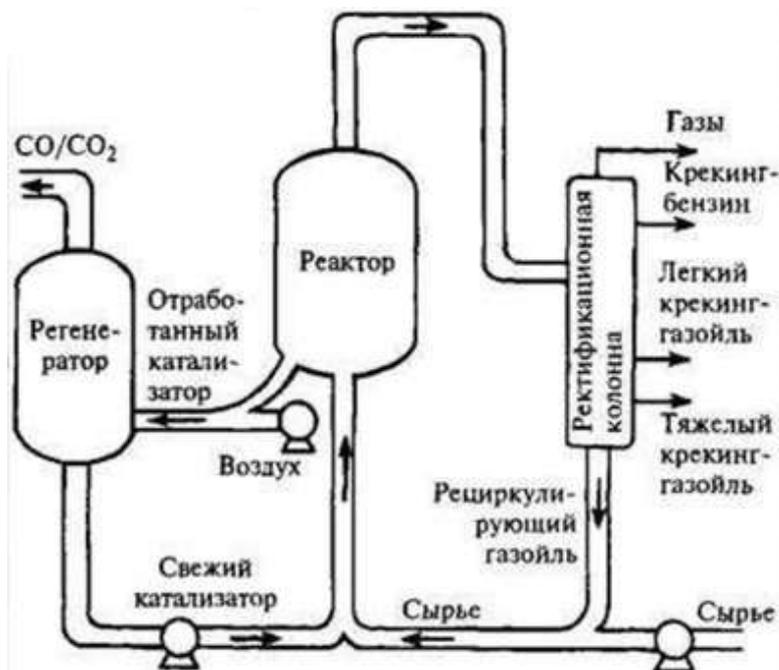


Рисунок 5 — Установка для каталитического крекинга [14]

Особое внимание уделяется превращениям растительных масел на цеолитовых катализаторах [18]. Выбор цеолитного компонента катализатора во многом определяет состав целевых продуктов крекинга. В работах [19, 20], посвященных исследованию превращения различных видов растительных масел в условиях каталитического крекинга, было показано, что активность и селективность цеолитсодержащих катализаторов определяется кислотностью, размером и формой пор каналов цеолитов, входящих в состав катализаторов. При превращении сырья растительного происхождения, как и в случае переработки нефтяного сырья, состав и выход целевых продуктов крекинга будет во многом зависеть от условий осуществления процесса. Так, основными параметрами каталитического крекинга являются температура и соотношение катализатор: сырье [21]. С увеличением температуры повышается скорость

распада углеводородных фрагментов триглицеридов и скорость вторичных реакций, в результате чего растет выход непредельных углеводородов, а выход топлива уменьшается [28].

3. Микроэмульсия представляет собой термодинамически стабильный коллоидный раствор воды, масла и поверхностно-активного вещества (ПАВ). Диаметр капель в микроэмульсии находится в диапазоне 1-150 нм и этот коллоидный раствор растительного масла, спирта и ПАВ используется в качестве биотоплива. В частности, было обнаружено, что свойства микроэмульсий, состоящих из растительных масел и метанола, очень близки к свойствам дизельного топлива. Тем не менее, в некоторых исследованиях были обнаружены значительные отложения сажи на форсунках и выпускных клапанах двигателей [26] при использовании подобного топлива.

4. Реакция декарбоксилирования карбоновых кислот заключается в отщеплении от молекулы карбоновой кислоты диоксида углерода. Парафиновые дизельные топлива могут быть произведены путем селективного дезоксигенирования натуральных масел и жиров, эфиров жирных кислот и жирных кислот. Кислород из молекул триглицеридов удаляется методом декарбоксилирования в жидкой фазе и/или методом декарбонилирования, что приводит к образованию линейных углеводородов. Следует отметить, что парафиновые углеводороды имеют относительно высокие точки плавления, что оказывает отрицательное влияние на свойства топлива при низких температурах [27].

5. В настоящий момент подавляющий объем биотоплива производится методом переэтерификации (алкоголизом) растительных масел и жиров до эфиров жирных кислот. На рисунке 6 изображены основные стадии традиционного процесса получения биотоплива с метанолом. Переэтерификация, безусловно, является наиболее распространенным методом. Только реакция переэтерификации приводит к получению продуктов, широко известных как биодизельное топливо, то

есть алкиловых эфиров масел и жиров. Наиболее часто получаемыми эфирами являются метиловые эфиры, главным образом потому что метанол является наименее дорогим спиртом, хотя в некоторых странах есть исключения. Например, в Бразилии, где этанол дешевле, в качестве топлива используются этиловые эфиры [12].

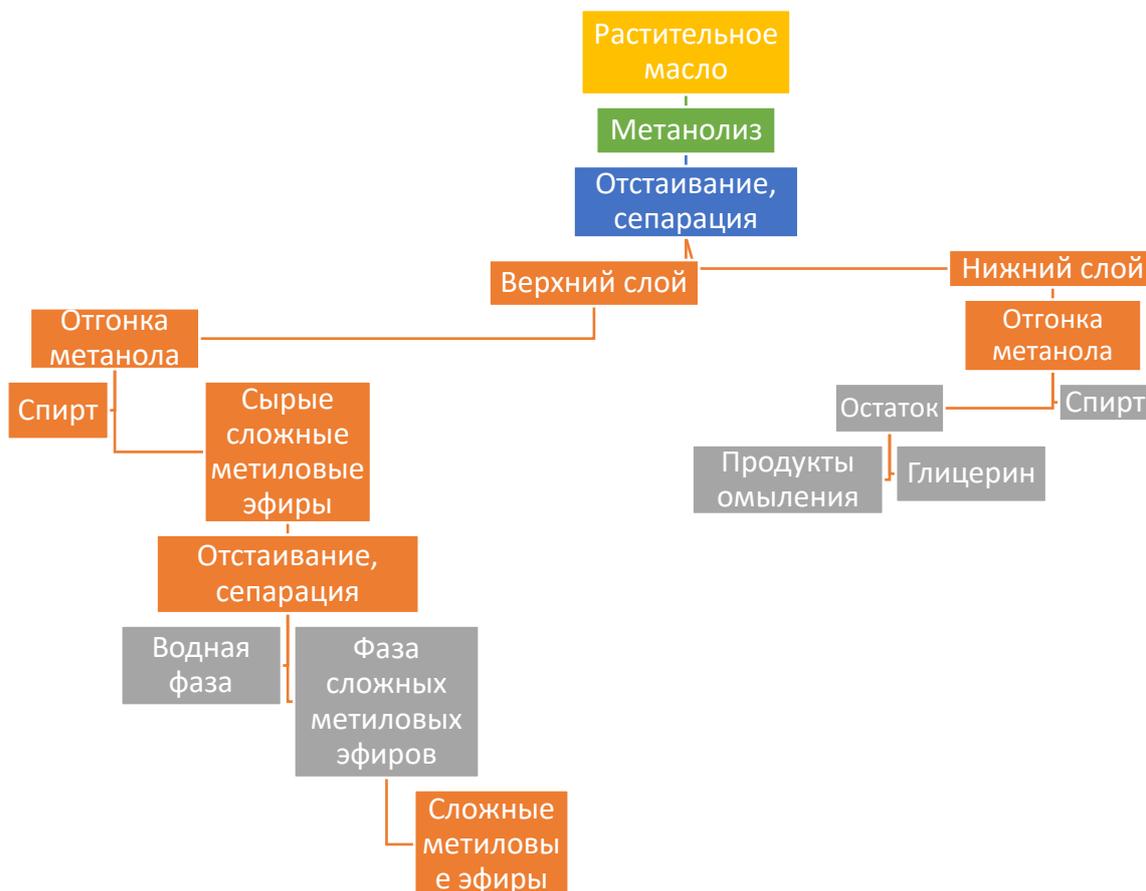


Рисунок 6 – Получение биотоплива с метанолом

В дополнение к метанолу и этаноловому спирту были исследованы эфиры растительных масел и анионных жиров с другими низкомолекулярными спиртами на предмет их потенциального получения и свойств биодизельного топлива [12].

Ди- и моноацилглицерины образуются в качестве промежуточных продуктов в реакции переэтерификации. На рисунке 7 качественно показана зависимость конверсии от времени реакции переэтерификации с учетом промежуточных ди- и моноацилглицеринов. Различные глицериды в конце

реакции и максимальные концентрации для ди- и моноацилглицеринов могут варьироваться от реакции к реакции в зависимости от условий. Масштаб рисунка также может изменяться, если вместо преобразования выводится зависимость концентрации (в молях/л) от времени [12].

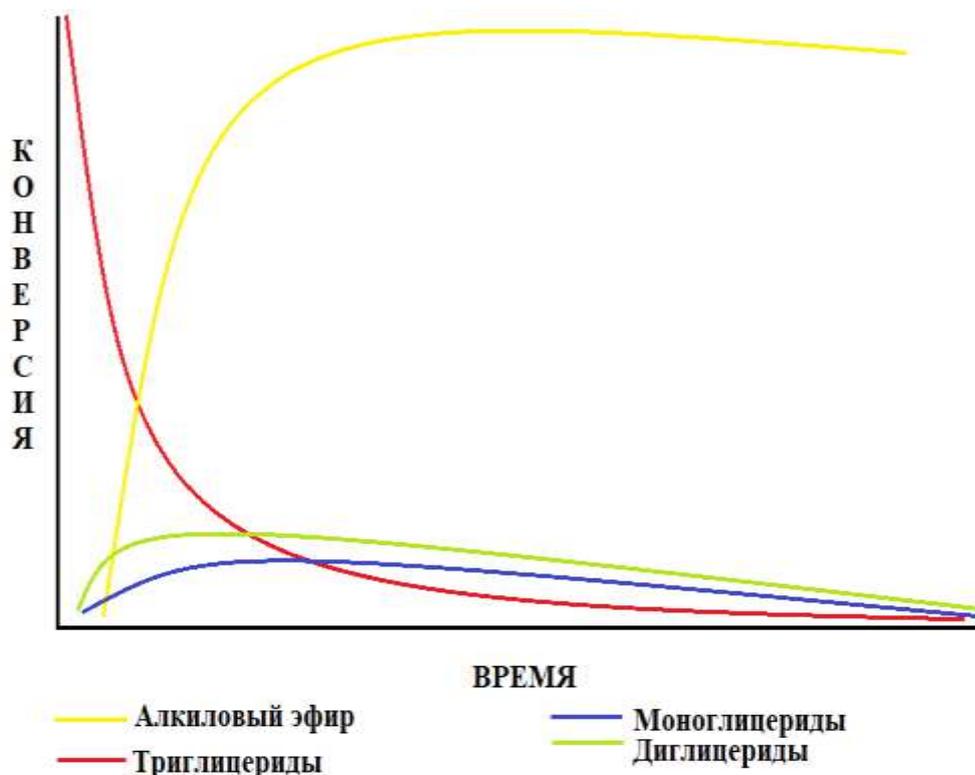


Рисунок 7 – Зависимость конверсии от времени реакции переэтерификации с учетом промежуточных ди- и моноацилглицеринов

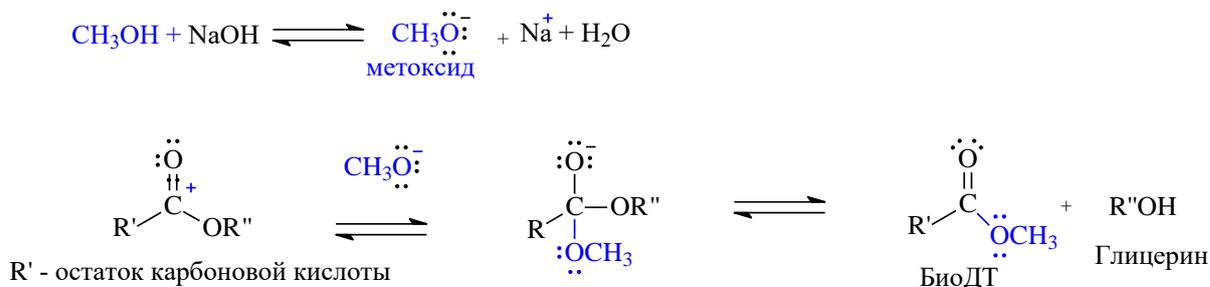
Общая схема реакции переэтерификации изображена на рисунке 8.

Как правило, переэтерификация может осуществляться с помощью основного или кислотного катализа. Однако при гомогенном катализе щелочной катализ (гидроксид натрия или калия; или соответствующие алкоксиды) является гораздо более быстрым процессом, чем кислотный катализ [30].

В дополнение к типу катализатора (щелочной или кислотный), параметры реакции переэтерификации, катализируемой основанием, которые были изучены, включают молярное отношение спирта к растительному маслу, температуру, время реакции, степень очистки растительного масла и влияние присутствия влаги. Чтобы

переэтерификация дала максимальный выход, спирт не должен содержать влаги. Хотя сырые масла могли быть переэтерифицированы, выход сложных эфиров был снижен из-за камеди и посторонних веществ, присутствующих в сырых маслах [17].

#### ЩЕЛОЧНОЙ КАТАЛИЗ



#### КИСЛОТНЫЙ КАТАЛИЗ

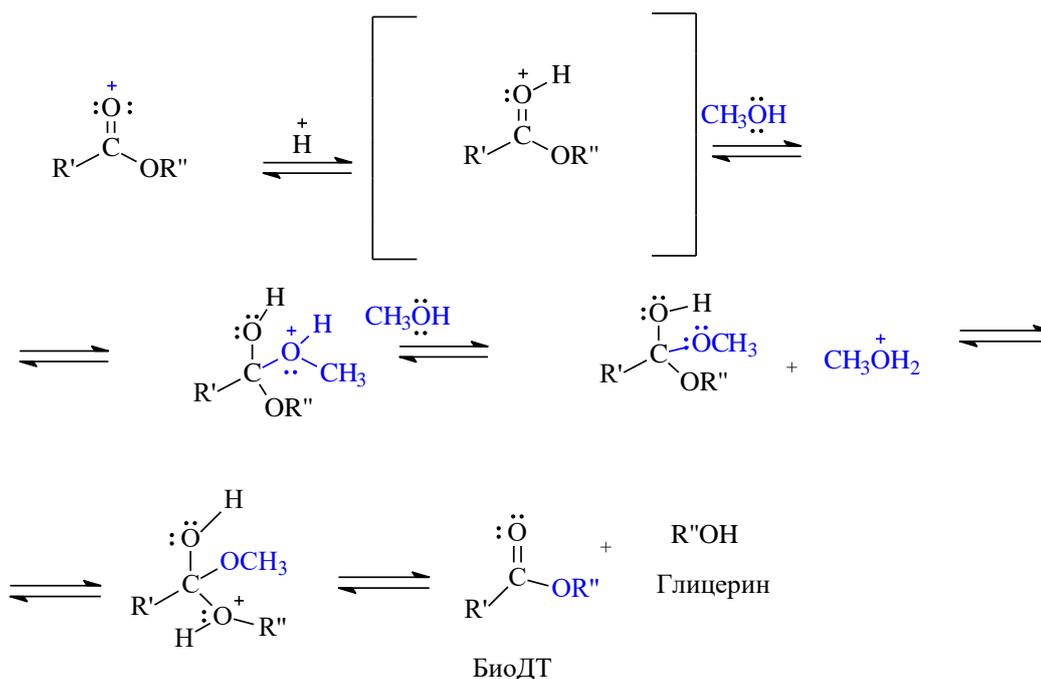


Рисунок 8 – Механизм реакции переэтерификации

Эти параметры (температура реакции 60 °С и молярное соотношение метанол:масло 6:1) стали стандартом для переэтерификации на основе метанола. Другие спирты (этанол и бутанол) требуют более высоких температур (75 °С и 114 °С соответственно) для оптимальной конверсии [12].

Алкоксиды в растворе с соответствующим спиртом (полученные либо непосредственным взаимодействием металла со спиртом, либо электролизом солей и последующей реакцией со спиртом) имеют преимущество перед гидроксидами в том, что реакция образования воды в соответствии с уравнением, представленным на рисунке 9.

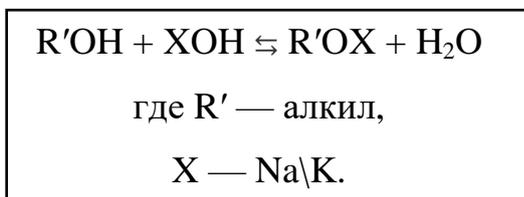


Рисунок 9 – Реакция образования воды

Катализаторы гигроскопичны; для предотвращения контакта с влагой необходимо соблюдать меры предосторожности, такие как покрытие азотом. Сообщается, что использование алкоксидов также приводит к получению глицерина более высокой чистоты после реакции [19].

Переэтерификация является обратимой реакцией, уравнения реакций представлены на рисунке 10, хотя при производстве алкиловых эфиров растительных масел, т. е. биодизельного топлива, обратная реакция не происходит или незначительна главным образом потому, что образующийся глицерин не смешивается с продуктом, что приводит к образованию двухфазной системы [11].

К слабой стороне данного метода стоит отнести малую чистоту глицерина. Для получения глицерина высокой чистоты (98 %) необходимы дополнительные затраты. После его дополнительной очистки глицерин можно использовать для производства различных моющих средств. После глубокой очистки получают фармакопейный глицерин, пользующийся спросом в фармакологии. Добавляя фосфорную кислоту к техническому глицерину, можно получить фосфорные удобрения, которые нашли применение в сельском хозяйстве [20]. Таким образом, увеличение выхода качественного глицерина в процессе получения БиодТ может снизить себестоимость самого топлива.

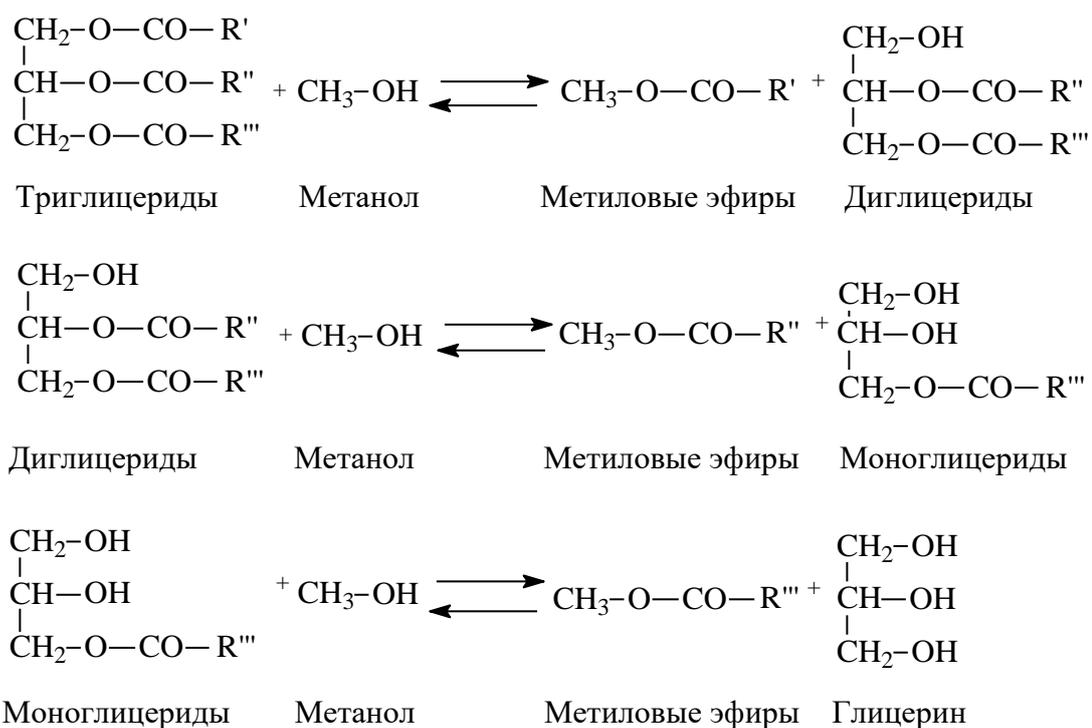


Рисунок 10 — Три обратимые и последовательные реакции в переэтерификации триглицеридов жирных кислот

#### 1.4 Методы анализа

Исходные вещества и полученные продукты анализируются различными методами с использованием различной аппаратуры.

Хроматография — метод разделения и анализа смесей веществ, а также изучения физико-химических свойств веществ. Основан на распределении веществ между двумя фазами — неподвижной (твёрдая фаза или жидкость, связанная на инертном носителе) и подвижной (газовая или жидкая фаза, элюент). На сегодняшний день большинство хроматографических анализов применялось к метиловым эфирам. В хроматографическом анализе после переэтерификации можно использовать разные методы хроматографии. Наиболее доступными для школьных условий являются бумажная и тонкослойная хроматография, которые и применялись в данной работе. Эти методы просты в освоении и использовании и не требуют дорогостоящего оборудования, но от них

отказались в основном из-за более низкой точности и количественным определениям [21].

Спектроскопическими методами, применяемыми для анализа биодизельного топлива и мониторинга реакции переэтерификации, являются ядерный магнитный резонанс (ЯМР)  $^1\text{H}$ , а также  $^{13}\text{C}$  спектроскопия и ближняя инфракрасная спектроскопия. В одном из первых отчетов по спектроскопическому определению выхода реакции переэтерификации использовалось  $^1\text{H}$  ЯМР. [22]

Загрязняющие вещества в биодизельном топливе не могут быть полностью определены количественно с помощью спектроскопического метода при низких уровнях, предусмотренных стандартами на биодизельное топливо. Точность метода при различении триацилглицеринов и метиловых эфиров находится в пределах 1-1,5 %, хотя в большинстве случаев достигаются лучшие результаты. Чтобы обойти эту трудность, можно применить индуктивный метод [22].

Вискозиметрия. Разница в вязкости между компонентами триацилглицеринов растительных масел и их соответствующими метиловыми эфирами, получаемыми в результате переэтерификации, составляет приблизительно один порядок величины. Разница в вязкости составляет основу аналитического метода вискозиметрии, применяемого для определения превращения растительного масла в метиловый эфир. Сообщается, что вискозиметрический метод, особенно результаты, полученные при 20 °С, подходят для целей управления технологическим процессом благодаря своей скорости. Аналогичные результаты были получены при измерениях плотности [23].

Также есть ферментативный метод анализа глицерина в биодизельном топливе для проверки полноты реакции переэтерификации. Применяли твердофазную экстракцию реакционной смеси с последующим ферментативным анализом. Первоначально этот метод задумывался как

простой метод определения глицерина, но существуют проблемы с воспроизводимостью и сложностью [23].

### 1.5 Выбросы загрязняющих веществ при работе биодизельного топлива и биодизельных смесей

Ожидается, что в качестве топлива, обогащенного кислородом, сжигание биодизеля может быть более полным и приводить к меньшему количеству побочных продуктов неполного сгорания, таких как CO, твердые частицы и углеводороды. В большинстве случаев чистое биодизельное топливо не содержит серы, и поэтому выбросы SO<sub>2</sub> практически незначительны. В настоящее время большинство исследований в области биодизельного топлива сосредоточено на измерениях выбросов при использовании различных смесей биодизельного топлива, от B5 до B100, особенно загрязнителей воздуха, регулируемых Национальным законодательством. Данные о выбросах представлены на рисунке 11 [24].

Однако существуют также исследования, в которых наблюдаются более высокие выбросы твердых частиц из смесей биодизельного топлива, что может быть связано с типом двигателя, возрастом двигателя и методом сбора. Более приемлемым понятием в отношении выбросов твердых частиц является то, что использование смесей биодизельного топлива приводит к уменьшению доли элементарного углерода при увеличении растворимых органических фракций твердых частиц.

Стремительному развитию различных технологий контроля содержания NO<sub>x</sub>, специфичных для дизельных двигателей, способствовали фундаментальные исследования по увеличению содержания NO<sub>x</sub> при сжигании биодизельного топлива. Обнаружено, что повышенное образование NO<sub>x</sub> при сгорании биодизельного топлива вызвано опережающим моментом впрыска, а также соответствует задержке зажигания, которая может быть присуща конструкции двигателя. [25, 26] Более высокая температура и условия сгорания дизельных двигателей с

низким содержанием топлива также привели к трудностям при непосредственном использовании технологий управления для бензиновых двигателей (таких как каталитический нейтрализатор).

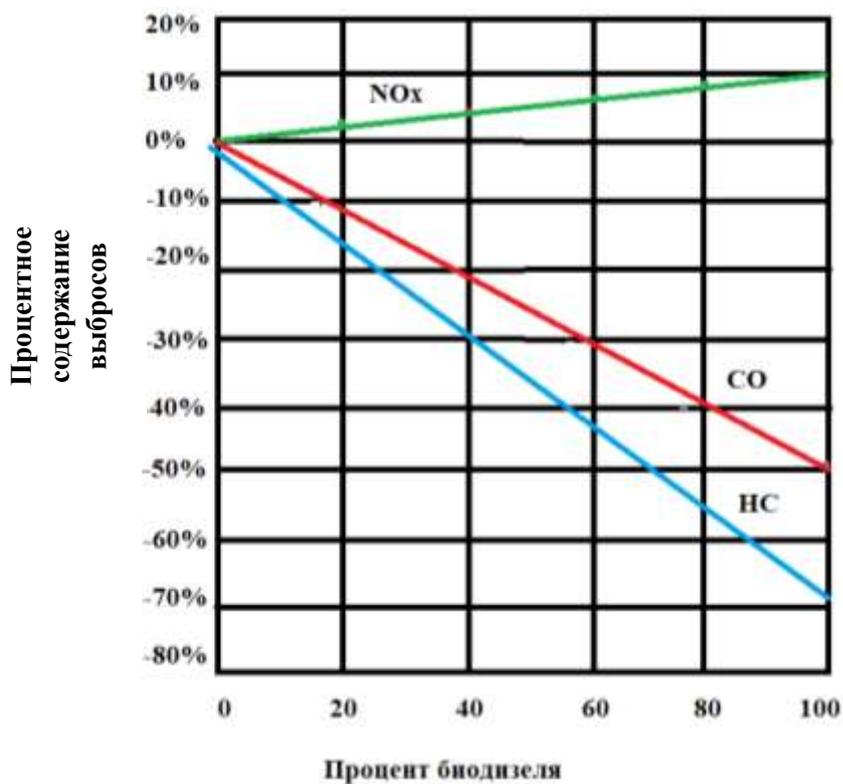


Рисунок 11 – Выбросы при сжигании биотоплива разных марок

Однако нулевое содержание серы в биодизельном топливе позволяет эффективно сокращать выбросы NOx с помощью катализаторов, не опасаясь отравления катализатора SO<sub>2</sub> [24]. В результате были предложены различные технологии контроля выбросов NOx, такие как задержка впрыска топлива, переработка топлива, использование топливных присадок для снижения выбросов NOx и т. д. Другое исследование показало, что NOx, образующийся при сжигании биодизельного топлива, в основном представляет собой термический NOx, который можно контролировать с помощью технологий, снижающих температуру сгорания [26]. В дополнение к регулируемым загрязнителям воздуха сообщалось также о нерегулируемых в настоящее время карбонильных соединениях, используемых в различных смесях биодизельного топлива. Такие соединения, как формальдегид, ацетилальдегид и акролеин, обозначены как

токсичные вещества для воздуха в автомобилях и являются известными канцерогенами или раздражителями для человека. Некоторые альдегиды, такие как формальдегид, ацетальдегид, акролеин и некоторые диальдегиды, обладают высокой добавочной реакционной способностью к образованию озона, что может привести к увеличению содержания приземного озона (регулируемого загрязнителя воздуха) и повлиять на экологический статус районов [24].

На данный момент все больше исследований указывают на более высокие выбросы карбониллов из смесей биодизельного топлива. Более ранние исследования показали, что образование карбонильных соединений в цилиндре является основным источником в отличие от выхлопной трубы. Проблема выбросов карбонила из дизельных двигателей усугубляется еще больше, поскольку условия сгорания сильно обеднены топливом, а большинство двигателей не имеют каталитических нейтрализаторов для уменьшения содержания этих соединений [11].

На выброс карбонильных соединений из двигателей могут влиять многие факторы, такие как состав биодизельного топлива, примеси в биодизельном топливе, состояние двигателя (год выпуска, тип, техническое обслуживание) и условия испытаний (протоколы испытаний, нагрузка на двигатель) и т. д., взаимосвязь карбонильных соединений с использованием биодизельного топлива требует дальнейшего исследования.

## 1.6 Производство биотоплива в России

Развитие производства и применения биотоплива связано с рядом глобальных причин, таких как цены на минеральное топливо, ограниченность запасов природных ископаемых, отрицательное воздействие на экологию традиционных энергоносителей. Доля биотоплива в мировом энергобалансе составляет только 2 %, а для транспортных средств потребление составляет 3 %. [7]

Из-за обилия нефти и природного газа Россия пока производит небольшое количество биотоплива и имеет минимальный внутренний спрос. Данные о производстве жидкого биотоплива в официальной статистике отсутствуют. Согласно оценкам некоторых экспертов, объем производства биоэтанола в России может составлять около 500 тыс. т в г., однако почти все топливо идет на внутреннее потребление предприятий. На данный момент на российском рынке действуют три предприятия, реализующих жидкое биотопливо: Кировский «БиоХимЗавод», производящий биотопливо из отходов лесопиления и деревообработки; завод «Миранда» во Владикавказе, производящий биоэтанол из низкосортных зерновых культур и отходов пищевой промышленности; и компания «ЭкоЛайф» в Амурской области, производящий биодизель из технического жира и отработанного растительного масла. Проекты биотопливных производств, которые были заявлены, но так и не были реализованы на российском рынке за последние десять лет, например, Агрохолдинг «Юг Руси» в 2012 г. планировал вложить \$200 млн. в производство «зеленого дизеля» из технических сортов рапса и льна на Новошахтинском заводе; в 2018 г. московская компания «Микро динамические технологии» заявляла о намерении построить заводы по производству биотоплива в Воронежской и Курской областях. Географические и климатические особенности большей части страны не позволяют выращивать такие культуры, как сахарный тростник, кукурузу и подсолнечник в достаточном количестве как для обеспечения потребностей в пищевом продукте, так и для производства топлива. Перспективным сырьем для производства биотоплива в России могут служить пшеница, сахарная свекла, рапс и рыжик, однако необходимо грамотно подходить к вопросу определения объемов сырья, направляемых на производство биотоплива вместо использования в пищевой промышленности или экспорта продукта [5].

## 1.7 Преимущества и недостатки биодизельного топлива

Преимущества технологии биотоплива на основе растительного масла:

1. Небольшая стоимость рапсового масла в сравнении с другими маслами (36 руб/ л).
2. Производство не очень является трудоёмким.
3. Стоимость комплекта оборудования для производства биотоплива даже в домашних условиях не высока.
4. Технология является экологически чистой.
5. Процесс получения биодизеля является более безопасным в сравнении с производством традиционного топлива.
6. При сгорании биотоплива практически нет выброса в окружающую среду токсичных и канцерогенных веществ.
7. Почти в 2 раза уменьшается количество копоти.
8. Не обладает неприятным запахом.
9. При попадании на землю легко разлагается микроорганизмами в течение 3-5 недель.
10. Более высокое цетановое число (для чистого биодизеля не менее 51, для минерального дизельного топлива 42- ф 45).
11. Невысокий уровень воспламеняемости (менее горюч).
12. Хорошие смазочные характеристики благодаря своему химическому составу и содержанию кислорода и, как следствие, увеличение срока службы двигателя.

Главные недостатки биодизельного топлива по сравнению с дизельным топливом:

1. Топливо имеет свойства растворителя, поэтому агрессивно к деталям двигателя.

2. Эффективность биотоплива уменьшается в холодное время г. (выдерживает до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), а при низких температурах (от  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) появляется осадок, который приводит к закупорке деталей и загрязнению фильтров.

3. В случае попадания биодизеля на кузов машины ее надо тщательно протереть, так как такое топливо разлагает лакокрасочное покрытие.

4. Необходимость больших площадей земли для выращивания сырья.), поэтому не все страны могут себе позволить его производить.

## ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТ. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проведения всего эксперимента для получения биотоплива было использовано подсолнечное масло двух видов: рафинированное и нерафинированное.

В качестве переэтерифицирующего агента были использованы: этанол ( $C_2H_5OH$ ), пропанол-1 ( $C_3H_7OH$ ) и пропанол-2 ( $C_3H_7OH$ ), а в качестве катализаторов использовались спиртовые растворы щелочей (KOH, NaOH) и серная кислота ( $H_2SO_4$ ).

Для синтеза биотоплива использовалась простая установка, изображенная на рисунке 12, где 1 – штатив с лапкой; 2 – обратный холодильник; 3 – термометр; 4 – трехгорлая колба; 5 – емкость с водой; 6 – магнитная мешалка с подогревом.

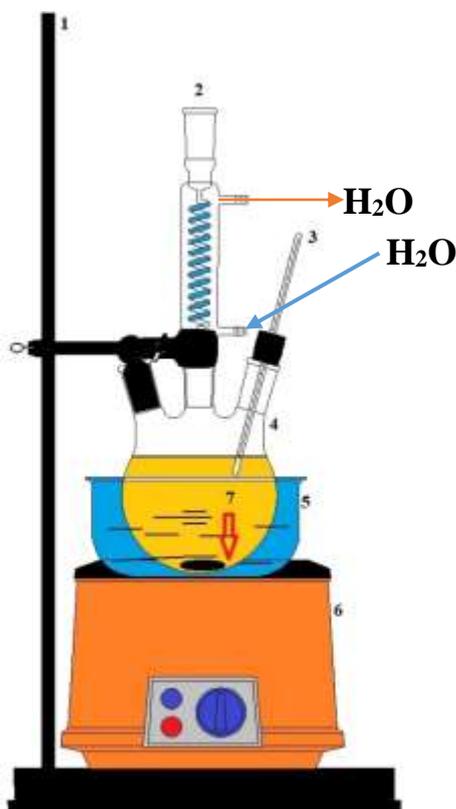


Рисунок 12 – Лабораторная установка

Данная установка являлась универсальной для всех проводимых синтезов.

## 2.1 Методика синтез биотоплива с использованием щелочного катализатора

В трехгорлую колбу емкостью 100 мл добавляют 10 мл подсолнечного масла, вводят 60 мл спирта и нагревают до достижения температуры близкой к температуре кипения спирта, данные представлены в таблице 1, вводится катализатор-спиртовой раствор щелочи. Нагрев с перемешиванием продолжают в течение 1 ч. Общее уравнение реакции можно представить на рисунке.

Таблица 1 – Температуры кипения спиртов при давлении 101,33 кПа

Спирт	Температура кипения в °С при 101,33 кПа
Этанол (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	78,3
Пропанол-1 (C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH)	97,4
Пропанол-2 (C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH)	82,4

По окончании синтеза полученную смесь охлаждают до комнатной температуры и добавляют каплю глицерина для улучшения формирования двух жидких фаз. Смесь переливают в делительную воронку и дают отстояться. Через время образуются две фазы – верхняя, состоящая из эфиров жирных кислот и нижняя, содержащая в себе глицерин, избыток этанола, непрореагировавшую щелочь, образовавшиеся мыла и продукты неполной переэтерификации. Нижняя фаза сливается, а из верхней фазы отгоняется остаточный спирт с помощью прибора [24].

Выбор необходимых реактивов и условий осуществлялся на основании литературных данных. Оптимально соотношение спирт: подсолнечное масло было 6:1 соответственно, поскольку при дальнейшем повышении содержания спирта ухудшается разделение продуктов реакции, а верхняя эфирная фракция, как показывают результаты хроматографического анализа, частично обогащается глицерином, что уменьшает выход эфиров. Реакция переэтерификации может протекать при

комнатных условиях, но при проведении синтеза при температуре близкой к температуре кипения спирта реакция происходит быстрее. Из анализа литературных источников следует, что оптимальным количеством щелочного катализатора является 1-1,5 % от массы масла. При повышении количества катализатора увеличивается вязкость, препятствуя разделению двух фаз, уменьшается выход конечного продукта.

Для установления примерной формулы подсолнечного масла было изучено процентное содержания кислот в нем и выбраны три из них, процентное содержание которых больше всего, данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Кислоты, входящие в состав подсолнечного масла

Кислота	Процентное содержание в масле
Пальмитиновая	4,35
Стеариновая	2,62
<b>Олеиновая</b>	<b>25,75</b>
<b>Линолевая</b>	<b>23,77</b>
<b>Линоленовая</b>	<b>29,25</b>
Арахидиновая	0,59
Эруковая	4,26
Нервоновая	0,95
Эйкозеновая	7,91
Эйкозодиеновая	0,55

Таким образом, основные кислоты в подсолнечном масле: линолевая, линоленовая и олеиновая. Исходя из данных, приведенных в таблице 2, формула использованного подсолнечного масла будет следующей (рисунок 13).

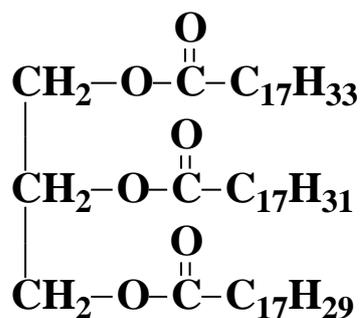


Рисунок 13 – Формула подсолнечного масла

Молярная масса подсолнечного масла будет равна 879 г/моль.

Массу подсолнечного масла из соотношения спирт: масло 6:1 можно вычислить по формуле (1):

$$m_{\text{п.м.}} = M_{\text{п.м.}} \cdot n_{\text{п.м.}} \quad (1)$$

где  $m_{\text{п.м.}}$  – масса подсолнечного масла на входе, г;

$M_{\text{п.м.}}$  – молярная масса подсолнечного масла, г/моль;

$n_{\text{п.м.}}$  – количество подсолнечного масла на входе, моль.

$$m_{\text{п.м.}} = \frac{879 \cdot 1}{7} = 125,6 \text{ г}$$

$$m(\text{KOH}) = 125,6 \cdot 0,01 = 1,256 \text{ г}$$

## 2.2 Методика синтез биотоплива с использованием кислотного катализатора

Данный синтез проводился на установке, приведенной на рисунке 12.

В трехгорлую колбу помещались спирт и серная концентрированная кислота, смесь перемешивалась в течение одной минуты. Далее приливалось подсолнечное масло и смесь нагревалась до температуры кипения соответствующего спирта при перемешивании в течение 1 ч. По окончании синтеза в смесь переливали в делительную воронку, добавляли 1М раствор хлорида натрия 1–2 мл и оставляли на сутки. На следующий день, аналогично методике со щелочным катализатором, нижняя фаза удалялась, а из верхней отгонялся остаточный спирт. Количество израсходованных реактивов указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Количество требуемых реактивов для синтеза биотоплива с использованием кислотного катализатора

Вещество	V, мл
Этанол (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	10
Пропанол-1 (C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH)	15
Пропанол-2 (C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> OH)	15

### 2.3 Анализ полученных соединений

#### 1. Определение йодного числа.

Йодное число – условная величина, характеризующая содержание в 100 г растительного масла непредельных соединений, выраженная в граммах йода, эквивалентного состоящему из галогенов реагенту, присоединившемуся к маслу [3].

Одним из основных характеристик биотоплива является йодное число. Оно определяет его устойчивость к окислению. Число, которое считается, оптимальным для биотоплива составляет 120 г I<sub>2</sub>/100 г. Существуют виды биотоплива, которые получены из рыбьего жира, соевого масла и т. п. Их йодное число будет свыше 140 г I<sub>2</sub>/100 г. Это связано с высоким содержанием остатков полиненасыщенных жирных кислот в составе триглицеридов.

Высокое йодное число говорит о степени насыщенности, высокой склонности к высыханию раствора и другим изменениям происходящим в ходе хранения.

Определение йодного числа проводилось по методу, базирующемуся на свойстве ненасыщенных жирных кислот присоединять галогены по месту двойных связей. Непрореагировавший йод оттитровывают 0,1 н. раствором тиосульфата натрия.

При расчетах учитывают, что 1 см<sup>3</sup> 0,1 н. тиосульфата натрия соответствует 1 см<sup>3</sup> 0,1 н. раствора йода. Йодное число вычисляют по формуле (2):

$$\text{ЙЧ} = \frac{(V_k - V_o) \cdot k \cdot 0,0127 \cdot 100}{m} \quad (2)$$

где  $V_k$  – количество 0,1 н. раствора тиосульфата, пошедшее на титрование контрольного опыта, см<sup>3</sup>;

$V_o$  – количество 0,1 н. раствора тиосульфата, пошедшее на титрование опытного образца, см<sup>3</sup>;

$k$  – поправочный коэффициент к титру приблизительно 0,1 н. раствора тиосульфата;

0,0127 – титр раствора тиосульфата по йоду;

$m$  – навеска масла, г.

Применив данную методику к синтезированным растворам биотоплива, были получены данные приведенные в таблице 4.

Таблица 4 – Результат значения, полученного йодного числа

Название вещества	Значение йодного числа
Максимальное рекомендуемое значение йодного числа для БДТ	120
Эфир пропанола-1	114
Эфир пропанола-2	112
Эфир этилового спирта	110

Таким образом, можно сделать вывод, что йодное число полученных веществ соответствуют норме.

2. Определение кинематической и расчет динамической вязкости проводились при помощи вискозиметра Штабингера SVM3000 Anton Paar изображенного на рисунке 14 в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 33–2000 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» [3].



Рисунок 14 – Вискозиметр Штабингера SVM3000 Anton Paar

Прибор рассчитывает динамическую вязкость по определенной кинематической и плотности.

На рисунке 15 трубка 1 заполняется образцом и вращается с постоянной угловой скоростью. В исследуемом образце находится цилиндрический полый ротор 2, внутри которого постоянный магнит 3. Центрирование ротора происходит за счет железного кольца 4. Переменное магнитное поле приводит к появлению вихревых токов в медном корпусе 5. Датчик Холла 6 преобразует энергию магнитного поля в потенциал постоянного тока [25].

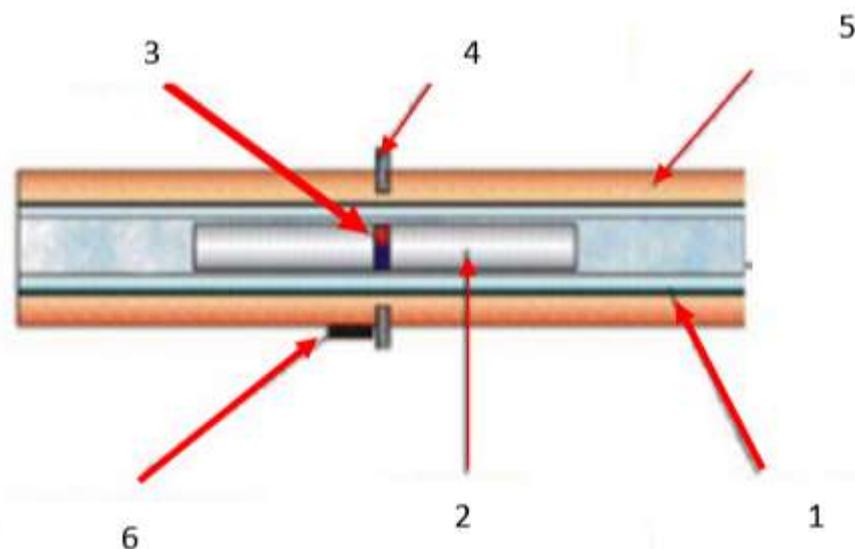


Рисунок 15 – Принцип работы прибора

Определение плотности проводилось также при помощи вискозиметра Штабингера SVM3000 Anton Paar (рисунок 14) в соответствии с методикой, представленной в ISO 12185:1996 «Нефть сырая и нефтепродукты. Определение плотности. Метод с применением осциллирующей U-образной трубки». Принцип действия основан на измерении частоты колебаний U-образной измерительной трубки, вызываемых электромагнитным генератором. Под воздействием возбуждающего поля пустая измерительная трубка колеблется с собственной частотой, а при заполнении трубки исследуемым веществом частота колебаний изменяется в зависимости от массы (плотности) исследуемого вещества. Подобно маятнику, чем больше плотность образца, а значит и его масса, заключенная в трубке, тем ниже частота колебаний. Для пересчета частоты колебаний в цифровое значение плотности используются данные предварительной калибровки. Поскольку плотность сильно зависит от температуры, для исключения этого влияния на результат измерительная трубка термостатируется. Поддержание температуры осуществляется электронным термостатом, встроенным в прибор [28].

Данные полученные при измерении плотности и вязкости отображены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Таблица 4 – Данные о значениях вязкости

Название вещества	Вязкость при 40°C мм <sup>2</sup> /с
Принятая характеристика по ГОСТУ у биотоплива	1,9-6,0
Эфир пропанола-1	2,9
Эфир пропанола-2	2,7
Эфир этилового спирта	2,1

Таким образом, синтезированные вещества соответствуют параметрам ГОСТа.

Таблица 5 – Данные о значениях плотности

Название вещества	Плотность при 40°C кг/м <sup>3</sup>
Принятая характеристика по ГОСТУ у биотоплива	0,87-0,89
Эфир пропанола-1	0,86
Эфир пропанола-2	0,88
Эфир этилового спирта	0,88

### ГЛАВА 3. МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА ВНЕУРОЧНОГО ЗАНЯТИЯ «СИНТЕЗ БИОТОПЛИВА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ»

В настоящее время очень важно иметь представление о современных источниках энергии. Для этого нужно со школы рассказывать об этом ученикам, но в учебной программе по химии нет места для данной темы. Во-первых, она не входит в учебный план, во-вторых, мало просто о ней рассказать, важно смоделировать синтез биотоплива в учебной аудитории, а на это требуется много времени.

Таким образом, данную тему можно применить в рамках внеурочных занятий по химии в 10 классе после изучения темы «Жиры». Школьники смогут применить данные знания и рекомендации по синтезу биотоплива в рамках проектной деятельности.

Класс: 10

Тема: «Биотопливо как альтернативный источник энергии»

Цель: сформировать представление о значимости биотоплива в настоящее время и провести синтез жирных кислот для получения сложных эфиров, что будет являться биодизелем.

Форма проведения: внеурочное мероприятие.

Задачи:

1. Образовательные:

- сформировать представление о биотопливе,
- изучить методику его получения.

2. Развивающие:

- развить у учащихся умение обрабатывать информацию и делать анализ,
- развить познавательный интерес к новому виду топлива.

3. Воспитательные:

- воспитание ценностного отношения к окружающей среде.

Планируемые результаты.

Личностные УУД: продолжить формирование химической культуры; продолжить формирование взаимопомощи, доброжелательного отношения друг к другу, умения выслушать других при работе в классе, в группе.

Регулятивные УУД: целеполагание, планирование, оценка результатов работы, внесение необходимых дополнений и коррективов в план.

Познавательные УУД: работа с информацией; работа с учебными моделями; использование знаково-символических средств, общих схем решения; выполнение логических операций сравнения, анализа, обобщения.

Коммуникативные УУД: планирование учебного сотрудничества с учителем и сверстниками, соблюдение правил речевого поведения, правил безопасности, умение высказывать и обосновывать свою точку зрения.

Методы обучения:

1. Словесный (беседа, диалог).
2. Наглядный (работа с рисунками, схемами, таблицами, лабораторная работа).
3. Практический (поиск информации, работа с химической установкой).
4. Дедуктивные (анализ, применение знаний, обобщение).

Оборудование: компьютер, интерактивный экран, презентация, трехгорлая колба 100 мл, термометр, этиловый спирт, гидроксид калия (КОН), подсолнечное масло, магнитная мешалка с нагреванием, штатив с лапкой, емкость с водой, глицерин или 1М раствор хлорида натрия (NaCl), крахмал, тиосульфат натрия, 2 конических колбы на 100 мл, весы, спиртовой раствор йода 0,2 н, бюретка, дистиллированная вода.

Тип урока: внеурочное мероприятие открытия нового знания, лабораторная работа.

План урока:

1. Организационный момент:

Приветствие учащихся и ознакомление их с темой, целью актуальностью мероприятия.

2. Актуализация опорных знаний и умений:

Опрос учащихся о том, что они знают о биотопливе, какие виды они знают и какие способы получения могут быть.

3. Изучение нового материала:

В XIX в. быстрые темпы развития науки и техники привели к тому, что перед изобретателями различных двигателей встал вопрос о качественном топливе, которое обеспечивало бы работу новых механизмов. Первоначально более перспективным казалось использование именно биотоплива, которое применяли многие известные изобретатели и промышленники той эпохи.

Одним из первых изобретателей, который использовал биотопливо, был Сэмюэль Мори. В 1826 году он предложил модель двигателя, который работал на спирте и скипидаре [6].

Немецкий изобретатель Николас Отто в 1876 г. создал первый в мире четырехтактный двигатель внутреннего сгорания, работавший на этаноле.

Немецкому инженеру-изобретателю Рудольфу Дизелю человечество оказало высокую и довольно редкую в истории техники честь, начав писать его имя со строчной буквы и называя так созданный Р. Дизелем поршневой двигатель внутреннего сгорания с воспламенением от сжатия. Р. Дизель предложил тип мотора, использующего в качестве топлива арахисовое масло, и продемонстрировал его работу на Всемирной выставке в Париже в 1900 г.

Американский изобретатель Генри Форд изготовил в 1896 г. свой первый автомобиль. Он носил название «Квадрицикл», двигатель которого работал на спирте. А в 1908 г. Форд выпустил в продажу знаменитую «Модель Т» – первый в истории массовый автомобиль, который мог работать на бензине, этаноле и смеси обоих видов топлива. Форд использовал этанол, исходя и из экономических соображений: он считал,

что «спиртовое» автомобилестроение предоставит фермерам возможность использовать при эксплуатации автомобилей дешевое топливо.

В начале XX в. на планете были обнаружены значительные запасы нефти, объемы ее добычи увеличивались, бензин дешевел. Это определило потерю интереса к биотопливу [6].

Термин «биологическое топливо» в основном относится к любому топливу, полученному из биомассы, типа спиртов, биогаза, древесного топлива, растительного масла и животных жиров, которые могут использоваться как заменители горючих полезных ископаемых [16].

Биотопливо классифицируют исходя из поколений или агрегатных состояний.

По агрегатному состоянию биотопливо бывает: твердое, жидкое и газообразное.

Самый типичный и древний вид твердого биотоплива – дрова. Однако сейчас в чистом виде и в крупных масштабах их уже почти не используют. Наиболее ходовым твердым видом биотоплива стали пеллеты, получаемые из древесных опилок или коры, соломы, оливковых косточек, ореховой скорлупы или шелухи семечек подсолнечника. Также пеллеты делают из навоза крупного рогатого скота.

Биоэтанол – наиболее популярное и массовое жидкое биотопливо. Его получают путем ферментации крахмала или сахара. Биодизель – второе по популярности жидкое биотопливо. Биодизель делают в основном из масличных растений, таких как соя или масличная пальма, и в меньшей степени из других масляных продуктов, например отходов кулинарного жира после жарки во фритюре. Биодизель используется в дизельных двигателях и обычно смешивается с нефтяным дизельным топливом в различных пропорциях [11].

Биогаз – это газ, состоящий в основном из метана и углекислого газа в различных пропорциях в зависимости от состава органического вещества, из которого он был получен. Основными источниками биогаза являются

отходы животноводства и сельского хозяйства, сточные воды и органика из бытовых отходов. Биогаз образуется в результате процессов биологического разложения без доступа кислорода (анаэробное сбраживание) [3].

По поколениям у биотоплива выделяют 5 классификаций, но мы поговорим о трех основных

Биотопливо первого поколения производится из любого сельскохозяйственного сырья посредством применения традиционных технологий (близкие к естественным, биологические и термохимические процессы, такие как брожение). В настоящий момент, вопросы дальнейшего наращивания оборотов производства биотоплива первого поколения вызывает во всем мире ожесточенные дискуссии. К этому виду топлива относятся биоэтанол (производится из сахарного тростника, кукурузы, пшеницы и т. д.) и биодизель (получаемый из масленичных культур – сои, рапса, пальмы, подсолнечника) [22].

Биотопливо второго поколения производится из не пищевого сырья (отработанные жиры и растительные масла, биомасса деревьев и растений). Технологически производство биотоплива второго поколения представляет собой процесс получения топлива посредством переработки целлюлозы и лигнина, содержащихся в древесной или волокнистой биомассе.

Биотопливо третьего поколения производится из водорослей. Перспективность этого направления развития биотопливной отрасли связана со спецификой состава водорослей. По характеристикам, которые могут заинтересовать специалистов биотопливной отрасли, они значительно превосходят растения, средой обитания для которых является суша [13].

Подробнее мы будем разбирать биотопливо первого поколения, а именно биодизель. Его можно получить разными способами. Подробнее рассмотрим один из них, так как именно этим способом без сложных установок биодизель можно получить в школьной лаборатории.

Рассмотрим реакцию переэтерификации. Реакция переэтерификации – это реакция, в которой сложный эфир получают через другой сложный эфир. Этот метод вполне жизнеспособен поскольку он выполняется только в одну стадию, он быстро обрабатывается в присутствии катализатора, прост, дешев и осуществляется при атмосферном давлении. В качестве катализаторов можно использовать кислоту или щелочь.

Запишем уравнение реакции переэтерификации (рис. 16)

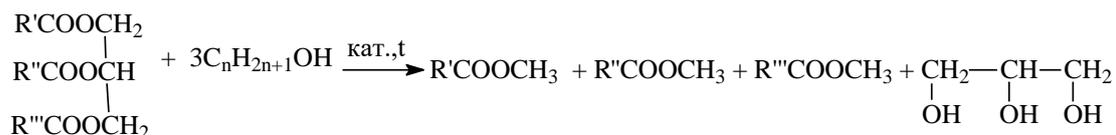


Рисунок 16 – Общее уравнение для реакции переэтерификации

Так выглядит общая схема уравнения для реакции переэтерификации.

Реакция переэтерификации состоит из реакции триглицеридов, присутствующих в растительных маслах или животных жирах, со спиртом в присутствии катализатора. Используемые растительные масла могут быть касторовым маслом, пальмовым маслом, подсолнечным и т. д.

Спиртом может служить этанол, пропанол и др.

Самое главное преимущество биодизеля – использование в качестве исходного сырья возобновляемых ресурсов, что в перспективе может обеспечить энергетическую безопасность всего мира. Несмотря на бурный рост популярности транспортных средств на электрической тяге, двигатель внутреннего сгорания еще очень долго будет играть решающую роль в мировой экономике [32]. Потенциальными производителями биодизельного топлива в нашей стране являются фермерские хозяйства и колхозы. Ведь обеспеченность топливо данных субъектов – чрезвычайно острый вопрос в преддверии посевных кампаний. Если оснастить хозяйства необходимым технологическим оборудованием и предоставить специалистов, то они вполне могли бы выйти на самообеспечение топливом. Это мероприятие положительно сказалось бы на динамике роста цен. В результате этого

комплекса мер существенно возрастет конкурентоспособность предприятия.

Основным минусом биодизельного топлива является его высокая себестоимость. Пока цена на нефтепродукты явно более конкурентная по сравнению с этим инновационным продуктом. Еще один значительный недостаток – маленький срок годности готового к применению биотоплива: если в течение трех месяцев его не использовать по назначению, то топливо придет в негодность (разложится) [19]. Также еще один минус – необходимость изымать из оборота значительные посевные площади, пригодные для выращивания продовольственной продукции. В условиях дефицита продовольствия на планете это обстоятельство постепенно приобретает все большее значение.

Данный вид топлива абсолютно безвреден для природы и его попадание в окружающую среду не вызывает никаких негативных последствий для флоры и фауны. Этого не скажешь о нефти и нефтепродуктах. Общеизвестным является тот факт, что всего лишь один литр бензина или топлива загрязняет не менее миллиона литров воды в мировом океане и приводит к гибели множества живых организмов и микроорганизмов. Одним из важнейших свойств биодизельного топлива является его быстрый период распада: в течение одного месяца микроорганизмы уничтожат практически весь объем топлива. Таким образом, если перевести речной и морской виды транспорта на инновационное топливо, то вредные последствия аварий и утечек дизеля можно свести к минимуму [31].

Биодизель – это очень перспективный вид топлива. В США и странах Запада оно активно используется на протяжении уже более чем двадцати лет, но в России ему уделяется мало внимания. Виной тому является высокая себестоимость изготовления биодизеля. При сгорании биодизельное топливо практически не выделяет вредных веществ, что положительно сказывается на состоянии окружающей среды. Производство

является безотходным, так как все что остается от растительных волокон после выжимки масел, отдается на корм животному скоту. Спрос на биодизель растет. Это привлекает инвесторов со всего мира. В ближайшей перспективе прогнозируется бурный рост показателей производства биотоплива [32].

#### 4. Лабораторная работа

Давайте с вами запишем уравнение реакции переэтерификации спирта с маслом. Для того, чтобы написать примерную формулу масла, нужно знать из остатков каких жирных кислот в большей степени оно состоит, для этого проанализируем таблицу 4. И так, формула масла будет иметь следующий вид рисунок 17

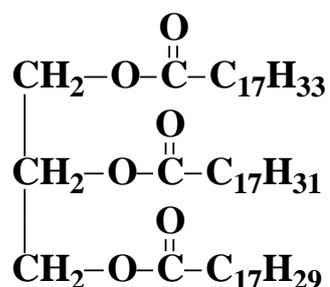


Рисунок 17 – Формула подсолнечного масла

Теперь по схеме реакции на рисунке 16 попробуйте записать уравнение, в качестве катализатора используйте КОН.

Перейдем к самому эксперименту. Для этого соберём технологическую установку, как показано на рисунке 14. Используя методику из параграфа 2.1, проведем переэтерификацию сложного эфира, далее посчитаем йодное число по методике из параграфа 2.3.

#### 5. Подведение итогов

Мы узнали, что такое биотопливо, как оно производится в условиях учебной аудитории, а также о его вреде и пользе. Определили йодное число и сравнили его с характеристиками из ГОСТа.

## 6. Рефлексия

Ответь на вопросы на слайде:

1. На уроке я работал...
2. Своей работой на уроке я...
3. Урок для меня показался...
4. За урок я...
5. Мое настроение...
6. Материал урока мне был...

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания дипломной работы были изучены, некоторые характеристики, полученных видов биотоплива в лабораторных условиях: плотность, вязкость, ИЧ, определены оптимальные условия для реакции переэтерификации с тремя видами спиртов.

Установлено оптимальное соотношение для синтеза биотоплива спирт: подсолнечное масло 6:1

В ходе синтеза было установлено, что выход сложных эфиров этилового и пропиловых спиртов практически одинаков. При использовании щелочного катализатора реакция переэтерификации идет значительно лучше, чем с кислотным катализатором.

Было разработано и проведено учебное мероприятие для школы, в ходе которого обучающиеся ознакомились с основными понятиями о современных процессах получения биотоплива, проделали эксперимент по синтезу биотоплива в школьных условиях, также определили его некоторые характеристики.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Варфоломеев С. Д. Энергоносители из возобновляемого сырья / С. Д. Варфоломеев // Вестник Российской академии наук. – 2009. – № 7. – С. 595-603.
2. Гафуров Н. М. Преимущества биодизельного топлива / Н. М. Гафуров, Р. Ф. Хисматуллин // Инновационная наука. – 2016. – № 5. – С. 72-74.
3. ГОСТ Р 52808–2007. Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Термины и определения : дата введения 2009–01–01 / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – Изд. официальное. – Москва : АО «Кодекс», 2007. - 45 с.
4. Дворецкий С. И. Производство биодизельного топлива из органического сырья / С. И. Дворецкий, А. Н. Зазуля, С. А. Нагорнов // Научные и технические библиотеки. – 2012. – № 5. – С. 126-135.
5. Доронин В. П. Превращения растительных масел в условиях каталитического крекинга / В. П. Дорин, О. В. Потапенко // Катализ в промышленности. – 2013. – № 6. – С. 61-67.
6. История создания биотоплива : официальный сайт. – Санкт-Петербург, 2022. – URL: <https://tipicoshop.ru/blog/istoriya-sozdaniya-biotopliva.html?ysclid=lfi9kamgil76889388> (дата обращения 21.04.2023). – Текст : электронный.
7. Капустин В. М. Биодизельное топливо: преимущества, недостатки и перспективы промышленного производства / В. М. Капустин, С. А. Карпов, А. И. Сайдахмедов // Научные и технические библиотеки. – 2011. – № 4. – С. 49-54.
8. Кузнецова Г. В. Производство биотоплива в развивающихся странах: проблемы и перспективы / Г. В. Кузнецова // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2012. – № 45. – С. 53-63.

9. Марков В. А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В. А. Марков, А. И. Гайворонский. – Москва : «Легион-автодата», 2008. – 464 с.
10. Марков В. А. Растительные масла как экологическая добавка к нефтяному дизельному топливу / В. А. Марков, С. И. Каськов // Известия высших учебных заведений. – 2018. – № 7. – С. 48-60.
11. Меньшиков В. В. Сравнение кислотного и водного методов рафинирования сырого крамбового масла / В. В. Меньшиков, Д. А. Фаттахов, Э. В. Гарифуллина // III Всероссийская научная конференция с международным участием «Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий» (НТО-III) при поддержке Краевого фонда науки. – 2022. – № 6. – С. 1-6.
12. Меньшиков В. В. Производство биодизеля из кофейной гущи / В. В. Меньшиков, Д. А. Фаттахов, Э. В. Гарифуллина // III Всероссийская научная конференция с международным участием «Наука, технологии, общество: Экологический инжиниринг в интересах устойчивого развития территорий» (НТО-III) при поддержке Краевого фонда науки. – 2022. – № 6. – С. 1-6.
13. Онлайн журнал об энергетике : официальный сайт – 2023. – URL: <https://e-plus.media/technologies/kak-iz-opilok-pishhevyh-othodov-i-dazhe-navoza-poluchayut-energoresurs-pod-nazvaniem> (дата обращения 01.03.2023) – Текст : электронный.
14. Пиролиз (сухая перегонка) : официальный сайт – 2015. – URL: <https://www.metalcutting.ru/content/piroliz-suhaya> (дата обращения 11.03.2023) – Текст : электронный.
15. Рахманкулов Д. Л. Успехи и проблемы производства альтернативных источников топлива и химического сырья. Пиролиз биомассы / Д. Л. Рахманкулов, Ф. Ш. Вильданов, С. В. Николаева // Башкирский химический журнал. – 2008. – № 2. – С. 36-52.

16. Смелова А. Н. Процесс получения биотоплива декарбоксилированием олеиновой кислоты / А. Н. Смелова, А. В. Романова // Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – № 6. – С. 23-28.
17. Узаков Г. Н. Эффективность применения пиролизной технологии для получения альтернативного топлива из местных органических отходов / Г. Н. Узаков, Р. Т. Раббимов, Л. А. Алиярова // Молодой ученый. – 2014. – № 4. – С. 280-283.
18. Abbah E. C. Effect of reaction temperature on the yield of biodiesel from neem seed oil / E. C. Abbah // American Journal of Energy Science. – 2016. – № 3. – P. 16–20.
19. Antunes W. M. Transesterification of soybean oil with methanol catalyzed by basic solids / W. M. Antunes // Catal. Today. – 2020. – № 133. – P. 548-554.
20. Boehman A. L. Fuel Process. Technol / A. L. Boehman. – America : [w. p.], 2005. – 68 p.
21. Farouq A.T. Catalytic conversion of palm oil to hydrocarbons: performance of various zeolite catalysts / A.T. Farouq, N.A.M. Zabidi, S. Bhatia // Industrial Engineering and Chemistry Research. – 1999 – № 38 – P. 3230-3237.
22. Groom M. J. Biofuels and biodiversity: Principles for creating better policies for biofuel production / M. J. Groom – U.S.A. : [w. p.], 2019. – 11 p.
23. Günay M.E. Significant parameters and technological advancements in biodiesel production systems / M. E. Günay //International Energy Journal. – 2019. – № 250. – P. 27-41.
24. Gusniah A. Ultrasonic assisted enzymatic transesterification for biodiesel production / A. Gusniah // Industrial and Engineering Chemistry Research. – 2019. – № 58. – P. 581-589.
25. Knothe, G. W. Energy Fuels / G. W. Knothe. – U.S.A. : [w. p.], 2013. – 32 p.

26. Sarma A. K. Recent inventions in biodiesel production and processing: a review / A. K. Sarma // *Recent Patent Eng.* – 2008. – № 2. – P. 47-58.
27. Schwab A. W. Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils / A. W. Schwab, M.O. Freedman // *Fuel Process. Technol* – 2005. – № 66. – P. 372-378.
28. Sudhakar K. Sardjono R.E. An overview of Higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in engines / K. Sudhakar // *International Energy Journal.* – 2019. – № 5. – P. 467-469.
29. Sun S. Biodiesel preparation from Phoenix tree seed oil using ethanol as acyl acceptor / S. Sun // *Industrial Crops and Products.* – 2019. – № 137. – P. 270-275.
30. Szybist J. P. Transesterification Processes for Vegetable Oils: A Simple Control Method of Methyl Ester Content / J. P. Szybist, A. L. Boehman // *Fuel Process. Technol* – 2005. – № 86. – P. 109-126.
31. Wen Z. Synthesis of biodiesel from vegetable oil with methanol catalyzed by Li-doped magnesium oxide catalysts / Z. Wen // *Applied Energy.* – 2010. – № 87. – P. 743-748.
32. Yang X. X. Catalytic transesterification to biodiesel at room temperature over several solid bases / X. X. Yang. // *Energy Conversion and Management.* – 2018. – № 164. – P. 112-121.