ВСЕРОССИЙСКИЙ МОЛОДЕЖНЫЙ КОНКУРС ПО ПРОБЛЕМАМ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ, ЭКОЛОГИИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ «ЮНЭКО»

Направление: ЭКОЛОГИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Тема: Новая технология производства биоэтанола

Соискатель: Агошкова Арина Андреевна

Научный руководитель: Соловьева Ольга Владимировна, Майорова Анна Владимировна, Конон Валентина Алексеевна

Место выполнения работы: Химическая лаборатория «Кванториум» МБОУ «СШ № 42»

2025

Аннотация

Работа посвящена разработке новой технологии производства биотоплива (биоэтанола), который является перспективным источником энергии. В работе рассматриваются проблемы традиционных методов получения биотоплива, такие как низкая эффективность переработки сырья и высокие затраты на производство. А также предлагается альтернативный и более энергоэффективный способ создания биотоплива.

Цель исследования – создание эффективного и устойчивого способа получения биотоплива из биологического сырья. Инициатива способствует решению проблем глобального потепления и повышения уровня экологической обстановки в стране, уменьшению зависимости от нефти. Исследуется возможность увеличения выхода биоэтанола за счет применения усовершенствованных методов предварительной обработки сырья и новых каталитических систем, способов ферментации.

Технология позволяет повысить выход биотоплива из отходов пищевой и целлюлозно-бумажной промышленностей. Статья рассматривает инновационный подход, основанный на использовании ферментов нового поколения и оптимизированной схемы брожения. Результаты экспериментов показали значительное увеличение выхода продукта при снижении энергозатрат.

Научная новизна работы заключается в применении уникальных каталитических систем, которые ранее не использовались в данной области. Использование данной технологии позволяет снизить углеродный след при производстве за счет использования биологических отходов, делая производство более экологически чистым и решая современные проблемы экологии.

Ключевые слова: биоэтанол, новая технология, ферменты нового поколения, оптимизация брожения, повышение выхода продукта, снижение энергозатрат, каталитические системы, научные исследования, экологическая чистота, возобновляемые источники энергии.

Введение

В последние десятилетия перед человечеством остро встала задача поиска устойчивых источников энергии, способных заменить традиционные углеводородные ресурсы. Одним из ключевых направлений исследований стало развитие биотехнологий, направленных на получение топлива из возобновляемого сырья. Это направление использования возобновляемого сырья, широко развитое за рубежом, начинает развиваться и в России. Одним из видов биотоплива является биоэтанол. Биоэтанол, представляет собой спирт, получаемый в результате брожения сахаров, содержащихся в растительных материалах.

Традиционные методы производства биоэтанола первого поколения основываются на использовании пищевых культур, таких как кукуруза, сахарный тростник и пшеница. Этот подход вызывает ряд экологических и экономических проблем. **Актуальность** темы обусловлена тем, что в качестве сырья для получения биоэтанола рассматриваются отходы пищевой и целлюлозно-бумажной промышленностей. Биоэтанол считается как один из наиболее перспективных видов биотоплива. Сейчас в России и в мире особое внимание уделяется развитию технологий производства биоэтанола второго поколения. **Научная новизна** исследования выражена в использовании не выращиваемых для производства биоэтанола растений, а отходов целлюлозно-бумажной и пищевой промышленностей и в расчете точной концентрации ферментов (целлюлазы и альфа-амилазы) для наиболее быстрого расщепления субстрата до глюкозы.

На сегодняшний день публикации, обобщающие различную информацию о производстве и применении биотоплива в глобальном масштабе, в русскоязычной научной среде отсутствуют. Начиная с двухтысячных годов в России начинается активное изучение в качестве биотоплива биоэтанола. Ученые различных ВУЗов занимаются изучением этого вопроса. Ученые кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов Института геологии и нефтегазовых технологий

Казанского федерального университета разработали и запатентовали отечественную инновационную технологию. Применение позволит сократить использование добываемых углеводородов. Ученые института экологии РУДН Анна Курбатова, Михаил Власкин и Винод Кумар предложили способ получения биотоплива — альтернатива использования традиционного топлива. Оно одновременно очищает сточные воды и понижает климатическую нагрузку. Команда учёных из БФУ под руководством Станислава Сухих изучила теплофизические свойства и теплотворную способность биомассы водных растений, таких как тростник, камыш и рогоз. Они также определили оптимальные параметры для преобразования этой биомассы в топливо.

План исследования

Цель исследования: апробация методики получения биоэтанола второго поколения из отходов пищевой и целлюлозно-бумажной промышленностей.

Задачи:

1. Изучить имеющуюся информации о биотопливе и способах его получения;
2. Определить типы отходов для переработки в биоэтанол.
3. Разработать безотходную технологию получения биоэтанола.
4. Экспериментальное исследование процесса получения этанола из крахмала.
5. Расчет концентрации фермента, раствора – субстрата и количества дрожжей.

Объект исследования: процесс получения биоэтанола из отходов пищевой и целлюлозно-бумажной промышленностей.

Предмет исследования целлюлозосодержащие продукты.

Гипотеза внедрение новой технологии производства биоэтанола будет способствовать снижению зависимости от ископаемых видов топлива, уменьшению уровня выбросов углекислого газа и созданию устойчивой энергетической инфраструктуры будущего, а также улучшению экологической ситуации в стране.

Методы исследования: теоретический, эмпирический (наблюдение, описание, сравнение, эксперимент).

Продукт проекта: биоэтанол

Теоретическая часть

Типы биотоплива

Биотопливо – это вид топлива, который производят из растительного или животного сырья, продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов. Это топливо служит альтернативой ископаемым источникам энергии, таким как нефть, уголь и природный газ. В последние десятилетия биотопливо становится всё более актуальным как способ борьбы с климатическими изменениями и решения проблемы истощения традиционных углеводородных ресурсов. (5)

Выделяют следующие типы биотоплива: жидкое (биоэтанол, биодизель, биобутанол, биометанол), твердое (дрова, брикеты, топливные гранулы (пеллеты), щепу и другие органические материалы, которые сжигаются для получения тепла или электроэнергии), газообразное (биогаз, биоводород).

Биотопливо также классифицируют по поколениям исходного сырья, что определяет его воздействие на окружающую среду и экономическую эффективность. Выделят биотопливо первого поколения (производится из сельскохозяйственных культур, содержащих высокое количество жиров, крахмала или сахаров); второго поколения (производится из непищевых остатков растений, таких как древесина, солома и другие травы, а также отходы пищевой и целлюлозно-бумажной промышленностей) и третьего поколения (основывается на водорослях). (5) Наиболее перспективно эффективно использование биотоплива второго и третьего поколений.

Биотопливо второго поколения не конкурируют с продовольственными культурами и не наносит такой вред экологии. Биотопливо третьего поколения не требуют сельскохозяйственных земель, и водоросли быстро растут и обладают высокой концентрацией биомассы. Это поколение биотоплива ещё находится в стадии разработки и коммерциализации, но имеет высокий потенциал для производства топлива с минимальным воздействием на окружающую среду.

Биоэтанол

Биоэтанол представляет собой обычный этиловый спирт с химической формулой C2H5OH. Это прозрачная бесцветная легковоспламеняющаяся жидкость. Его получают из растительного сырья, такого как сахарный тростник, кукуруза или крахмал, посредством гидролиза и ферментации, либо путем химической реакции этилена с водяным паром, что и объясняет приставку "био-" в названии.

Этот продукт биоразлагаем, экологически чист и менее токсичен, чем традиционное ископаемое топливо. Смешиваясь с бензином в различных пропорциях, он способствует снижению выбросов парниковых газов и загрязнения воздуха. Эксперты видят в биоэтаноле перспективное топливо будущего, реальную альтернативу бензину в контексте перехода к чистой и устойчивой энергетике.

Согласно прогнозам Research and Markets (глобальный поставщик отчётов о рыночных исследованиях и отраслевого анализа), рынок биоэтанола будет расти на 8,12% ежегодно, достигнув к 2027 году 13,9 млрд долларов. Этот рост обусловлен как экологическими преимуществами, так и правительственными мерами, стимулирующими использование данного вида топлива. Добавление биоэтанола в бензин обеспечивает более полное сгорание и сокращает выбросы углекислого газа, а продукты его распада не наносят вреда окружающей среде.

Практическая часть

Главной технологией получения биоэтанола является ферментация сахаров, в результате которой органические вещества, такие как сахар и крахмал, превращаются в этанол с участием дрожжей или других микроорганизмов.

Экспериментальная часть работы выполнялась на базе химической лаборатории «Кванториум» МБОУ «СШ №42» г. Нижневартовска.

Ход процесса:

1. крахмалосодержащее сырьё измельчается и обрабатывается ферментами, которые расщепляют крахмал до простых сахаров.
2. сахара подвергаются ферментации с использованием дрожжей, которые превращают сахар в этанол и углекислый газ.
3. этанол очищается с помощью дистилляции.

Химизм процессов:

Первый процесс – это гидролиз крахмала. Крахмал (C6H10O5)n – биополимер, который состоит из двух полисахаридов: 25 % линейной амилозы и 75 % разветвленного амилопектина. Представляет собой химически инертное вещество. Различают 3 стадии гидролиза крахмала: клейстеризацию, разжижение и осахаривание. Клейстеризация происходит при нагревании суспензии крахмала в воде, в результате чего образуется гель-клейстер. Наличие в растворе амилаз ускоряет клейстеризацию. Разжижение крахмального клейстера протекает под действием амилазы, которая разрывает длинные цепи крахмала на более короткие. Разжижение сопровождается резким снижением вязкости клейстера. Осахариванием называется процесс расщепления крахмала до низкомолекулярных сахаров. Гидролиз может быть ферментативным или кислотным. В работе

использовали ферментативный гидролиз. Преимущество этого процесса в более быстрые протекания гидролиза. Ферментативный гидролиз можно представить схемой: Крахмал → растворимый крахмал (амилоза) → олигосахариды (декстрины) → дисахарид (мальтоза = солод) → α-глюкоза. $(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \rightarrow nC_6H_{12}O_6$

Второй процесс – это спиртовое брожение. Спиртовое брожение сахаров происходит под воздействием дрожжей. В ходе этого процесса образуются преимущественно спирты и углекислый газ. Процесс сопровождается образованием многих побочных продуктов. Химизм процесса спиртового брожения достаточно сложен. Брутто уравнение реакции брожения можно представить в виде: $C_6H_{12}O_6=2C_2H_5OH + 2CO_2$

Этапы работы:

1.Приготовление субстрата.

2. Нагревание раствора при t=100°C.

3. Остужение полученного раствора.

4. Добавление раствора фермента альфа амилазы/целлюлазы.

5. Нагревание в течение 30 минут на водяной бане.

6. Проведение количественного анализа глюкозы реакцией Бенедикта.

7. Добавление 1г. дрожжей и инкубация на 24 часа.

8. Проведение повторного количественного анализа реакцией Бенедикта.

9. Сжигание этанола. (Приложение 1)

Приготовление реактива Бенедикта: в колбу на 1 л наливают 700 мл дистиллированной воды, добавляют 173 г лимоннокислого натрия ($Na_3C_6H_5O_7$-11 H_2O), 100 г безводного (или 200 г кристаллического) углекислого натрия. Нагревают до растворения. Отдельно растворяют 17,3 г сернокислой меди в 100 мл воды. Смешивают оба раствора, непрерывно взбалтывая, и после охлаждения доливают до 1 л дистиллированной водой в мерной колбе.

Порядок выполнения пробы Бенедикта:

В пробирку наливают 5 мл реактива Бенедикта и прибавляют 0,5 мл исследуемого раствора. Перемешивают и нагревают 1 мин на пламени или 5 мин на водяной бане. Раствор охлаждают и через 5 минут отмечают результаты. При наличии глюкозы раствор окрашивается в зеленый, желтый или красный цвет, на дне образуется осадок. (Приложение 2)

Результаты исследования:

Каталитическая активность ферментов зависит от температуры.. Известно, что изменение скорости ферментативной реакции наблюдают в узком интервале температур, при этом повышение температуры среды на 10°C приводит к увеличению скорости реакции в 2 раза. Увеличение температуры среды выше 40—50°C приводит к уменьшению скорости реакций в результате тепловой денатурации белков. Мною была определена активность амилазы при температурах 0 °C, 20 °C, 36°C и 100 °C. В результате опыта установлено, что быстрее гидролиз проходит при температуре в 36-55°C за 1мин 50 с, далее при 30-20 °C за 3 мин, потом при 100 °C за 4 мин 30с и практически не идет при 0 °C – 11 мин. Результаты приведены в таблице.

Таблица 1. Определение оптимальной температуры действия амилазы на крахмал.

номер пробирки	температура (ºC)	время гидролиза (мин)
1	0	11
2	20	3
3	36	1.50
4	100	4.30

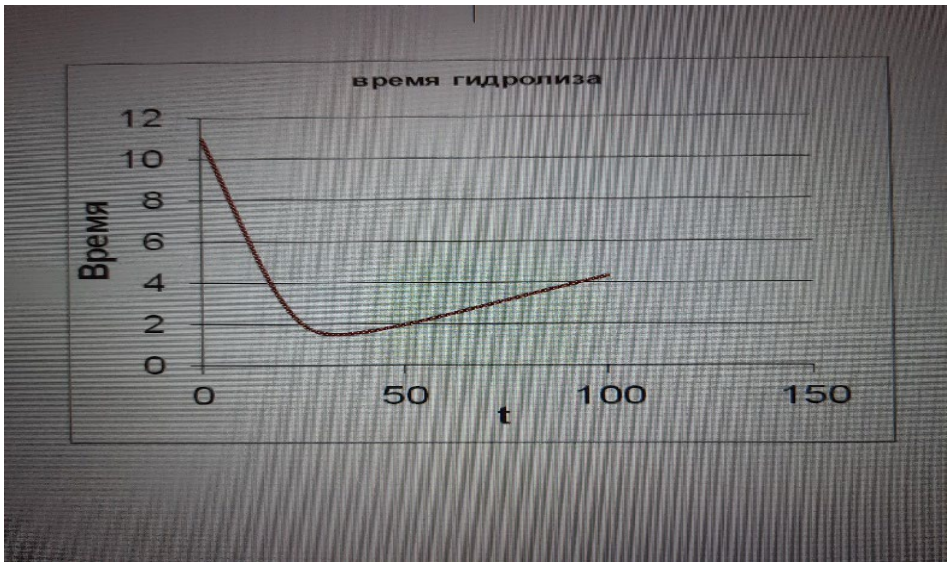


Рис.1 Определение оптимальной температуры действия амилазы на крахмал.

Каталитическое действие ферментов может усиливаться в присутствии некоторых веществ — активаторов или тормозиться в присутствии веществ, которые называются ингибиторами. В качестве добавок часто применяются соединения Ba,Cu, Na, Mg, Ca, Al, Zn. Поэтому было решено исследовать действие солей этих металлов на амилазу. В результате эксперимента было установлено, что в присутствии соединений Ba, Na, Mg и Ca гидролиз протекает быстрее, а ингибируют его соединения Cu, Al и Zn. Результаты приведены в таблице.

Таблица 2. Определение активаторов и ингибиторов на амилазу.

номер пробирки	фермент	субстрат	добавляемое вещество	окраска растворов после добавления раствора йода
1	амилаза	крахмал	$BaCl_2$	голубой
2	амилаза	крахмал	$CuCl_2$	темно-темно синий
3	амилаза	крахмал	NaCl	синий
4	амилаза	крахмал	$MgCl_2$	красно-фиолетовый
5	амилаза	крахмал	$CaCl_2$	синий
6	амилаза	крахмал	$AlCl_3$	синий
7	амилаза	крахмал	$ZnCl_2$	темно синий

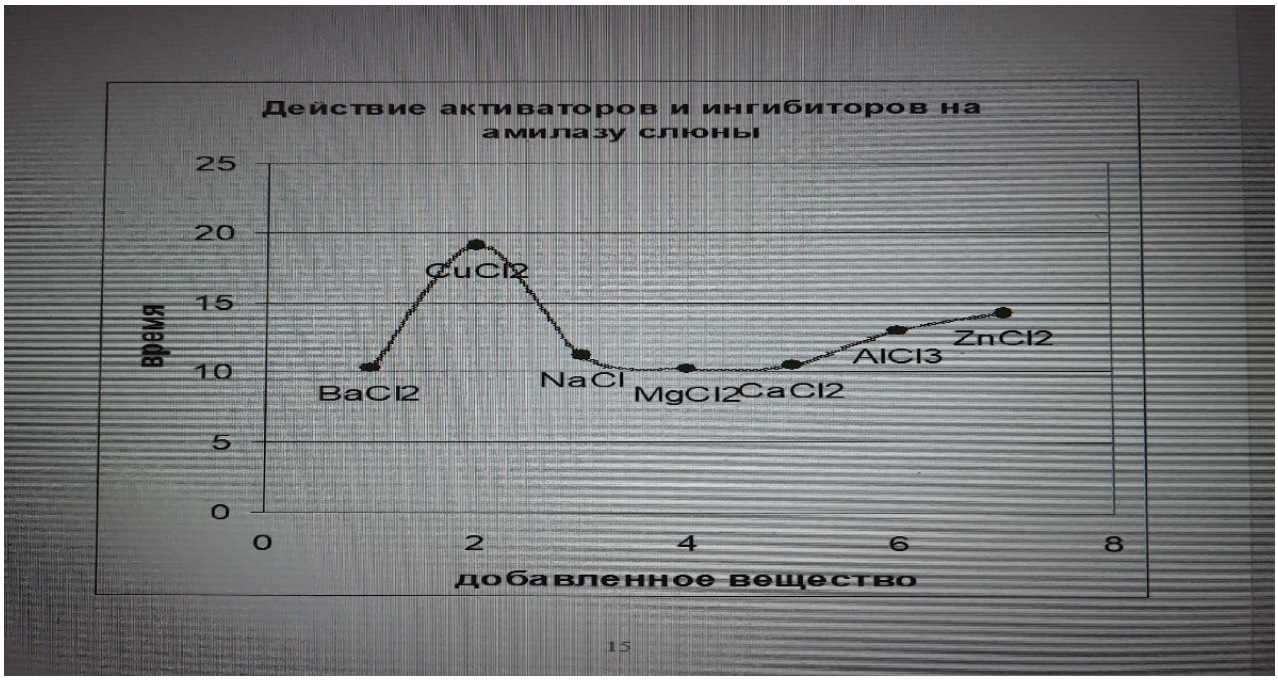


Рис.2 Определение активаторов и ингибиторов на амилазу.

Количество образуемого этанола зависит от соотношения субстрата и ферментов, наилучшим оно оказалось при отношении 1:10.

Диаграмма1. Качество глюкозы после 24 часов ферментации

Так как толокно содержит целлюлозу, то добавление фермента целлюлазы увеличивает выход этанола.

В результате опыта установлено, что для максимально эффективной переработки субстрата (целлюлозы) в спирт на 100 г 0,1 % субстрата необходимо 0.7 мл фермента и 1 г дрожжей. Понижать концентрацию раствора нет необходимости. Весь субстрат перерабатывается за 20 часов. Для переработки толокна в спирт на 100 г 0,1 % субстрата необходимо 0,5 мл фермента и 1,8 г дрожжей.

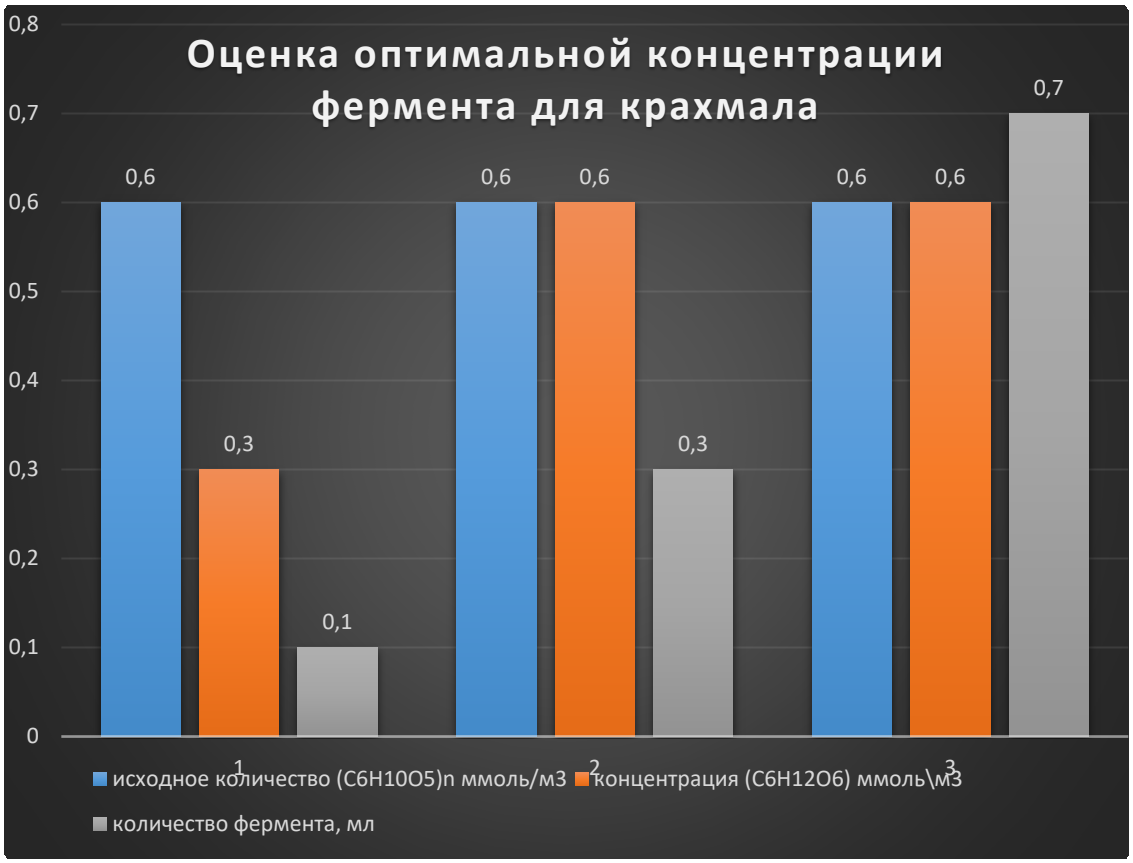


Диаграмма 2. Оценка оптимальной концентрации фермента для крахмала.

Выводы

1. Каталитическая активность ферментов зависит от температуры.. Известно, что изменение скорости ферментативной реакции наблюдают в узком интервале температур, при этом повышение температуры среды на 10°С приводит к увеличению скорости реакции в 2 раза. Увеличение температуры среды выше 40—50°С приводит к уменьшению скорости реакций в результате тепловой денатурации белков. Мною была определена активность амилазы при температурах 0 °С, 20 °С, 36°С и 100 °С. В результате опыта установлено, что быстрее гидролиз проходит при температуре в 36-55°С за 1мин 50 с, далее при 30-20 °С за 3 мин, потом при 100 °С за 4 мин 30с и практически не идет при 0 °С – 11 мин.
2. Каталитическое действие ферментов может усиливаться в присутствии некоторых веществ — активаторов или тормозиться в присутствии веществ, которые называются ингибиторами. Соединений Ba, Na, Mg и Ca гидролиз протекает быстрее, а ингибируют его соединения Cu, Al и Zn.
3. Для максимально эффективной переработки субстрата (целлюлозы) в спирт на 100 г 0,1 % субстрата необходимо 0.7 мл фермента и 1 г дрожжей. Понижать концентрацию раствора нет необходимости. Весь субстрат перерабатывается за 20 часов. Для переработки толокна в спирт на 100 г 0,1 % субстрата необходимо 0,5 мл фермента и 1,8 г дрожжей.

4. Новая технология производства топлива снижает выбросы CO_2 на 60% по сравнению с бензином. Имеет значительный экономический эффект: дешёвое сырьё (отходы) сокращает себестоимость производства
5. Производство и использование биоэтанола связано с меньшими выбросами углекислого газа (CO_2), поскольку растения, используемые для его производства, поглощают CO_2 в процессе фотосинтеза. Таким образом, биоэтанол способствует замкнутому циклу углерода, уменьшая общее воздействие на окружающую среду.
6. Чтобы способствовать решению экологических проблем для производства биотоплива важно использовать вторичное сырье - отходы пищевой и целлюлозно-бумажной промышленностей.

Заключение

В ходе работы был рассмотрен способ получения биоэтанола из отходов пищевой и целлюлозно-бумажной промышленности. Биоэтанол — экологически чистый источник энергии, который имеет значительный потенциал для снижения зависимости от ископаемых видов топлива и уменьшения выбросов парниковых газов, что способствует повышению общей экологической обстановки. Запасы сырья для производства биоэтанола могут восстанавливаться естественным путем, в отличие от ограниченных запасов нефти и газа. Производство и использование биоэтанола связано с меньшими выбросами углекислого газа (CO_2), поскольку растения, используемые для его производства, поглощают CO_2 в процессе фотосинтеза. Таким образом, биоэтанол способствует замкнутому циклу углерода, уменьшая общее воздействие на окружающую среду. В результате работы установлена оптимальная температура для гидролиза, определены активаторы и ингибиторы процесса, определено оптимальное отношение субстрат-фермент.

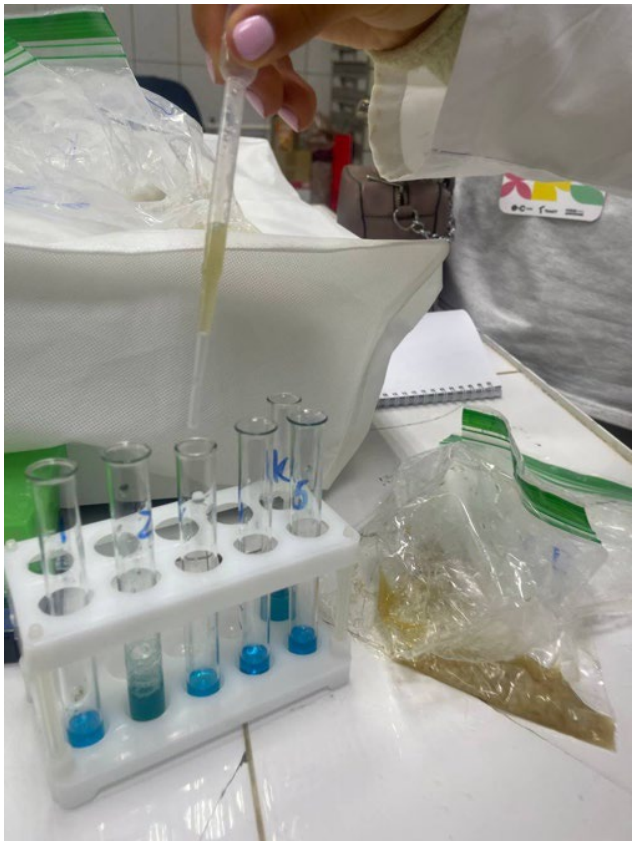
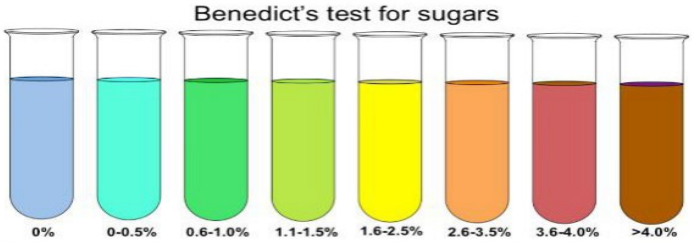
Апробация методики получения биоэтанола второго поколения из отходов пищевой и целлюлозно-бумажной промышленностей прошла успешно. Внедрение новой технологии производства биоэтанола будет способствовать снижению зависимости от ископаемых видов топлива, уменьшению уровня выбросов углекислого газа и созданию устойчивой энергетической инфраструктуры будущего, а также улучшению экологической ситуации в стране. Наша гипотеза верна!

Список литературы

1. https://ugra2050.myopenugra.ru/strategy/ (дата обращения: 09.03.2025)
2. https://наука.рф/news/spetsialisty-kfu-razrabotali-tekhnologiyu-polucheniya-biotopliva-na-osnove-vinograda/ (дата обращения: 01.03.2025)
3. https://news.rambler.ru/tech/53159386-rossiyskie-uchenye-nashli-novyy-istochnik-biotopliva/ (дата обращения: 01.03.2025)
4. https://pronpz.ru/neft/plotnost-nefti-stran.html (дата обращения: 01.03.2025)
5. Онлайн-библиотека «КиберЛенинка», статья «ПРОИЗВОДСТВО БИОЭТАНОЛА ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ФОНЕ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ» Головин М. С
6. Сорокин Н.Т Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития / Н.Т. Абакумов, В.Н.
7. Кузьмин, А.П. Королькова. — Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2007 - 130с

Приложения

Приложение 1. Этапы работы.



Приложение 2. Проба Бенедикта