

ОТЗЫВ

официального оппонента Абрамовой Ирины Михайловны на диссертационную работу Мироновой Галины Федоровны «Повышение эффективности процесса получения биоэтанола из шелухи овса», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 03.01.06 – Биотехнология (в том числе бионанотехнологии)

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Мироновой Галины Федоровны выполнена на **актуальную** тему и посвящена повышению эффективности процесса получения биоэтанола из шелухи овса.

Глубокая переработка зерна является перспективным направлением исследований по биотехнологиям в России. Мощный агропромышленный комплекс России, являясь одним из крупнейших в мире, ежегодно производит более ста миллионов тонн зерна. Следовательно, имеет место большое количество сельскохозяйственных отходов, среди них и шелуха овса. Производство биоэтанола второго поколения из сельскохозяйственных отходов является приоритетной конвергентной технологией умной биоэнергетики, что прописано в Прогнозе научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденном приказом № 3 Минсельхоза России от 12 января 2017 г.

Кроме того, в настоящее время повысилась активность в сфере климатической политики (политики учета «углеродного следа»). Согласно энергетическому бюллетеню № 94 (март 2021) Аналитического центра при правительстве РФ, в России предполагается переход на сценарий низкоуглеродного развития. Кроме всего прочего, сценарий предусматривает увеличение генерации на основе возобновляемых источников энергии (к которым относится шелуха овса) и частичное замещение ископаемого топлива биотопливом (в том числе биоэтанолом).

В Институте проблем химико-энергетических технологий СО РАН (ИПХЭТ СО РАН) ранее был разработан способ получения биоэтанола из шелухи овса, однако достигаемая концентрация биоэтанола была невысока – 2,3 % об., что недостаточно для обеспечения экономической эффективности производства. Работа Мироновой Г.Ф. посвящена актуальной задаче – научно обоснованным технологическим разработкам, направленным на повышение эффективности процесса получения биоэтанола из шелухи овса.

Решение данной задачи позволит коммерциализировать технологию биоэтанола, что имеет важное значение для развития РФ.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Новизна представленной диссертационной работы несомненна и заключается в том, что автор провел системный анализ каждой технологической стадии и процесса получения биоэтанола из шелухи овса в целом и осуществил оптимизацию ключевых технологических параметров:

- состав мультиэнзимной композиции оптимизирован с применением метода симплекс-центроидного планирования;

- состав питательной среды на основе ферментативного гидролизата оптимизирован с применением метода ортогонального центрального композиционного планирования;

- для определения оптимальной продолжительности стадии ферментативного гидролиза перед внесением дрожжей предложена уникальная математическая модель, достоверно описывающая процессы ферментативного гидролиза и его совмещения со спиртовым брожением и позволяющая точно решить поставленную задачу.

Также автор разработал режимы фермент-субстратной подпитки в процессе ферментативного гидролиза, применение которых позволило преодолеть проблему трудности массообмена высоковязких субстратов из шелухи овса и обеспечить повышения концентрации субстрата в среде, что позволило достичь повышения концентрации биоэтанола в бражке в 2,1 раза.

О новизне технических решений свидетельствует патент РФ № 2701643 на способ получения биоэтанола из целлюлозосодержащего сырья.

Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов

Значимость для науки представляет разработанная математическая модель совмещенного процесса ферментативного гидролиза и спиртового брожения, модель может быть применена в качестве методики для оптимизации процесса.

Результаты работы по повышению эффективности процесса получения биоэтанола из шелухи овса имеют высокую практическую значимость, поскольку увеличение концентрации биоэтанола от 2,3 % об. до 5,4 % об. имеет существенное значение для экономики процесса.

Стоит отметить, что оптимизированная Мироновой Г.Ф. технология была реализована на опытно-промышленной установке с 63-литровым реактором. Актом внедрения от Института катализа СО РАН подтверждено успешное применение полученного биоэтанола в качестве сырья для получения этилена.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к реализации для утилизации отходов первичной переработки овса на предприятиях АПК посредством производства биоэтанола с применением получаемого биоэтанола в любых технических целях. Технология может быть реализована на простаивающих предприятиях по производству этилового ректифицированного спирта из пищевого сырья при достраивании цеха химической предварительной обработки сырья.

Основные результаты и выводы диссертационной работы могут быть изложены в учебниках, а также использоваться в научно-образовательной практике в области биотехнологии.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность

Степень обоснованности определенных этапов диссертационной работы следует из результатов анализа литературных источников и анализа экспериментальных данных, полученных в ходе исследований.

Достоверность результатов, выводов и рекомендаций подтверждается большим объемом экспериментальных исследований. Использованные в работе методики экспериментальных исследований, современные методы и средства проведения анализов, их статистическая и математическая обработка не дают оснований для сомнения в достоверности научных положений и выводов.

Опытные данные автора и сделанные им выводы с достаточной степенью точности согласуются с общетеоретическими представлениями для данной области исследований.

Материалы диссертации были неоднократно обсуждены на всероссийских и по большей части международных конференциях, форумах, школах, в том числе посвященных биотехнологиям. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 18 научных трудах (8 материалов

конференций, 10 статей в журналах из списка ВАК (из них 6 в журналах, индексируемых международными базами Web of Science и Scopus).

Общая оценка содержания и оформления диссертации

Материалы диссертации изложены на 119 страницах, содержат 17 таблиц и проиллюстрированы 23 рисунками. Диссертационная работа имеет общепринятую структуру и включает введение, обзор литературы, объекты и методы исследований, экспериментальную часть и обсуждение результатов, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы (180 источников, из которых 117 зарубежных, 63 отечественных), приложения (включая копии патента, акта внедрения).

В первой главе, являющейся обзором литературы, автор сначала приводит характеристику биоэтанола и перечисляет основные сырьевые источники, дает представление о целлюлозосодержащем сырье, в частности, о сельскохозяйственных отходах и более подробно о шелухе овса. Далее по тексту диссертант описывает методы трансформации целлюлозосодержащего сырья в среды для сбраживания: ферментативный способ получения моносахаридов и характеристику ферментов, участвующих в биоконверсии целлюлозосодержащего сырья. Далее диссертант делает исчерпывающий обзор продуцентов биоэтанола с объяснением преимуществ дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, а также перечисляет применяемые в спиртовой промышленности стимуляторы биосинтеза этанола. В шестом подразделе приводится информация о зарубежных конфигурациях проведения стадий ферментативного гидролиза и спиртового брожения с выделением преимуществ совмещенного проведения этих стадий с отсроченной инокуляцией и с применением метода подпитки, приводятся примеры. Завершают обзор литературы выводы и внушительное обоснование выбранного направления исследований.

Вторая глава посвящена описанию объектов исследований и аналитических методов.

Третья глава представлена подробным описанием экспериментальной части работы и обсуждением ее результатов, состоит из 7 подразделов. Решение поставленных задач описано последовательно, каждый подраздел соответствует определенной задаче, хорошо проиллюстрирован и содержит очень информативные таблицы. В рамках диссертационного исследования были проведены следующие экспериментальные работы:

1. *Оптимизация состава мультиэнзимной композиции (МЭК) на основе ферментных препаратов «Целлолюкс-А», «Брюзайм ВГХ» и «Ультрафло Коре».* На первом этапе автором было найдено оптимальное соотношение ферментных препаратов в МЭК посредством математической обработки экспериментальных данных, полученных в результате реализации симплексоцентричного плана опытов; на втором этапе – изучена кинетика ферментативного гидролиза при различных концентрациях МЭК для повышения выхода редуцирующих веществ, в том числе глюкозы. Оптимизированный состав МЭК позволил повысить выход редуцирующих веществ в 1,95 раз.

2. *Оптимизация продолжительности отдельной стадии ферментативного гидролиза перед ее совмещением со спиртовым брожением.* В данной части диссертационной работы приведены результаты математического моделирования совмещенного процесса ферментативного гидролиза и спиртового брожения по результатам получения биоэтанола с варьированием времени совмещения этих стадий. На основе модели установлено оптимальное время совмещения стадий.

3. *Оптимизация состава питательной среды на основе ферментативного гидролизата стимуляторами биосинтеза этанола,* такими как сульфат аммония, монофосфат калия, дрожжевой экстракт, сульфат магния, кальций хлористый. Автором установлено, что внесение в ферментативный гидролизат добавок в оптимальных количествах позволяет повысить выход биоэтанола на 8,4 %.

4. *Выбор штамма *Saccharomyces cerevisiae*.* Автор протестировал штаммы *S. cerevisiae* Y-3137 и *S. cerevisiae* Y-3136, предназначенные для производства спирта из зернового сырья, в сравнении со штаммом *S. cerevisiae* Y-1693, который использовался в базовой технологии; и показал, что штамм *S. cerevisiae* Y-3136 наиболее эффективен. Данная работа также показывает, что исследуемые штаммы могут применяться в технологии технического биоэтанола из непищевого сырья без адаптации, и свидетельствует о доброкачественности ферментативных гидролизатов из химически предобработанной шелухи овса.

5. *Применение метода фермент-субстратной подпитки при получении биоэтанола.* Автором были проведены опыты с применением фермент-субстратной подпитки до повышенных концентраций субстрата в сравнении с опытом без подпитки. Разработанный технологический режим подпитки до

150 г/л, позволяющий повысить концентрацию биоэтанола в 2,1 раза, был использован в дальнейшей работе.

б. Апробация оптимизированной технологии получения биоэтанола на опытно-промышленном производстве привела к получению бражки с концентрацией биоэтанола 5,4 % об. Учитывая, что концентрация биоэтанола в бражке должна быть выше 4 мас. % для экономической дистилляции, в диссертационной работе этот предел был достигнут.

После дистилляции и фракционного разделения биоэтанол был проанализирован на содержание летучих примесей и передан в стороннюю организацию для его каталитической дегидратации в этилен.

В седьмом подразделе третьей главы диссертант сравнивает полученные результаты с мировыми показателями выхода биоэтанола из шелухи овса и другого целлюлозосодержащего сырья и делает вывод, что полученные им результаты превышают результаты получения биоэтанола из шелухи овса и близки к мировому уровню в сравнении с другим сырьем. Здесь же автор приводит примерную оценку экономической эффективности применения оптимизированной и базовой технологии. Цена биоэтанола по оптимизированной технологии ниже на 19,8 %, чем по базовой технологии и сопоставима с ценой биоэтанола из сельскохозяйственных отходов в некоторых странах. Таким образом, цель диссертационной работы была достигнута.

Сделанные в конце диссертации выводы полностью согласуются с поставленной целью и задачами работы.

Рукопись автореферата полностью отражает основное содержание диссертации, соответствует выводам и положениям, выносимым на защиту.

Наряду с общей высокой положительной оценкой работы, к ней имеются некоторые **замечания и пожелания**:

1. На мой взгляд является неудачным формат представления цитируемых литературных источников – «по мере использования». Выбранный соискателем вариант расположения литературы в списке неудобен (хотя и допустим) в связи с тем, что в нем трудно ориентироваться и искать нужный источник. Этот способ чаще всего применяется в статьях (докладах), где список использованных литературных источников небольшой. Для диссертации лучше использовать алфавитно-хронологический принцип.

2. На сегодняшний день существует огромный выбор ферментных препаратов. Что положено соискателем в основу выбора именно использованных в работе ферментных препаратов?

3. Чем объясняется использование автором культуры *Saccharomyces cerevisiae* Y-1693 (для осуществления спиртового брожения) при применении метода фермент-субстратной подпитки с целью получения биоэтанола?

4. При представлении данных экспериментов по содержанию примесей в образцах биоэтанола (табл.3.7, стр. 85) и в этиловом спирте из пищевого и непищевого сырья (табл.3.8, стр.86) автором не соблюдена размерность результатов измерений в системе «Си».

5. Анализ полученного биоэтанола проводился по ГОСТ 32039-2013 Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический метод определения подлинности, в котором предусмотрено определение содержания 23 токсичных микропримесей. В диссертации результаты данного исследования (табл.3.7, стр.85), к сожалению, приведены не в полном объеме, что не позволило автору дать более подробную характеристику целевому продукту и придать логическую законченность проведенному эксперименту.

Однако, приведенные в отзыве замечания не носят принципиального характера, не снижают значимости проведенных исследований и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

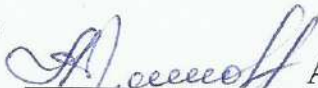
Заключение

Выполненная Мироновой Галиной Федоровной диссертационная работа «Повышение эффективности процесса получения биоэтанола из шелухи овса» является завершенной научно-квалифицированной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, вносящие существенный вклад в научное направление биоконверсии нетрадиционного целлюлозосодержащего сырья, имеющие существенное значение для развития страны в области биотехнологий.

По качеству выполнения, объему исследований, теоретической и практической значимости диссертация соответствует заявленной научной специальности и полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), а ее автор, Миронова Галина Федоровна, заслуживает

присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 03.01.06 – биотехнология (в том числе бионанотехнологии).

«28» 04 2021 г.

Официальный оппонент, доктор технических наук по специальности 05.18.07 Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ, заведующая Отделом технологии и контроля производства спиртных напитков, директор Всероссийского научно-исследовательского института пищевой биотехнологии – филиала ФГБУН Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи  Абрамова И.М.

Адрес: 111033, г. Москва, ул. Самокатная, 4Б, ВНИИПБТ
Телефон: +7 (495) 362-44-95, E-mail: 4953624495@mail.ru

