

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

к.т.н., доцента Кутаковой Натальи Алексеевны

*на диссертационную работу Фахрутдиновой Лейсан Рамилевны на тему
«Технология и аппаратурное оформление процесса извлечения бетулина из
коры берёзы»,*

**представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного
хозяйства и переработки древесины**

Тема диссертационного исследования Фахрутдиновой Л.Р. актуальна в свете современных тенденций, направленных на углубленную переработку возобновляемого растительного сырья, утилизацию отходов и развитие биоэкономики. Накопление значительных объемов березовой коры на деревообрабатывающих предприятиях при одновременном наличии на внутреннем рынке дефицита высокоценного биологически активного вещества – бетулина, основная доля которого импортируется, является серьезным противоречием российского рынка. Разрешение этого противоречия путем разработки эффективной отечественной технологии является насущной задачей. Бетулин, обладающий доказанным комплексом фармакологических свойств (противовоспалительных, противовирусных, противоопухолевых), представляет интерес для медицинской, фармацевтической и косметической отраслей промышленности. Таким образом, работа выполнена на стыке важных народнохозяйственных вопросов: ресурсосбережения, импортозамещения, создания новых продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений.

Во введении обоснованы актуальность, цель и задачи, раскрыты научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

Глава I представляет собой аналитический обзор современного состояния техники и технологии извлечения бетулина. Рассмотрены различные методы экстракции (классическая органическими растворителями, сверхкритическая, водная, с применением СВЧ и УЗ), их достоинства и недостатки. Проанализированы

существующие способы отделения бересты от луба и аппаратное оформление процессов.

Глава II посвящена математическому описанию процесса экстракции. Формализована физическая картина процесса, разработана система дифференциальных уравнений, описывающих прогрев, пропитку и экстракцию бетулина из бересты толуолом.

Глава III включает экспериментальную часть. Описан созданный экспериментальный комплекс, методики исследования процессов сепарации, пропитки и экстракции. Приведен анализ результатов, подтверждающих адекватность математической модели и позволяющих определить оптимальные параметры процессов.

Глава IV посвящена промышленной реализации разработанного способа. Представлена принципиальная схема установки, инженерные методики расчета основного оборудования (экстрактора, узла регенерации растворителя) и дана оценка экономической эффективности внедрения технологии на конкретном предприятии.

Научная новизна исследования заключается в создании целостной, научно обоснованной технологии переработки коры берёзы. Новым является разработанный и запатентованный способ сепарации бересты от луба, основанный на комплексном учете влияния влажности сырья, времени и режима измельчения, а также различий в плотности и гидрофильности компонентов коры. Впервые установлен вид зависимости коэффициента массопроводности бересты от температуры при пропитке толуолом, что является ключевым параметром для моделирования. Существенной новизной обладает разработанная математическая модель, формализующая процесс экстракции как трехстадийный, с различными гидродинамическими режимами и изменяющимися во времени и пространстве концентрациями бетулина. На основе модели впервые обоснованы и экспериментально проверены рациональные параметры экстракции, включая модуль экстракции, температура, продолжительность стадий и размер частиц. Новизна подтверждается патентами на способ сепарации коры и на технологию комплексной переработки коры, а также разработанным аппаратным оформлением всего технологического цикла.

Все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются обоснованными и достоверными. Исследование базируется на обширном аналитическом обзоре современного состояния вопроса. Для экспериментальной части использован комплекс сертифицированного и специально разработанного оборудования, что обеспечило воспроизводимость и точность измерений. Методики исследований, включая ситовой отбор, изучение кинетики влагопоглощения и осаждения, проведение экстракции – соответствуют современным требованиям. Достоверность математической модели подтверждена согласованностью расчетных характеристик с экспериментальными данными, при этом автор дает объяснения имеющимся расхождениям. Экономические расчеты, приведенные в работе, основаны на реальных производственных показателях. Личный вклад автора во все этапы работы, от постановки экспериментов до анализа данных и формулировки выводов, не вызывает сомнений.

Теоретическая значимость работы состоит в углублении знаний о физико-химических процессах, протекающих при переработке коры берёзы: сепарации на бересту и луб, пропитке и экстракции. Полученные данные о свойствах луба и бересты, коэффициенте массопроводности, кинетике экстракции представляют ценность для научного сообщества, занимающегося переработкой растительного сырья. Разработанная математическая модель вносит вклад в теорию массопереноса в пористых средах и может быть адаптирована для описания родственных процессов. Практическая значимость определяется комплексным характером разработки, готовой к внедрению.

Сформулированные методические рекомендации и инженерные методики расчета позволяют проектировать и создавать промышленные установки по производству бетулина. Внедрение технологии на АО «Ласкрафт» г. Казань и ее высокая экономическая эффективность (срок окупаемости 1,5 года) являются прямым доказательством практической ценности работы. Реализация разработки будет способствовать созданию новых рабочих мест, решению экологических проблем и укреплению сырьевой безопасности страны в области биологически активных веществ.

Автореферат диссертации является адекватным и полным отражением

содержания диссертационной работы. Все основные положения, выносимые на защиту, выводы, научные результаты и рекомендации корректно изложены в автореферате. Объем и структура автореферата соответствуют установленным требованиям.

Замечания и вопросы

1. В работе недостаточно обоснована эффективность толуола как экстрагента при извлечении бетулина. В аналитическом обзоре имеется описание способа с использованием смеси толуола с петролейным эфиром (Рощин В.И. и др.) на с. 30 и описание установки, пригодной для использования толуола в качестве экстрагента, разработанной в ФГБОУ ВО «КНИТУ» (Сафина А.В. и др.) (с. 38-40). Следовало бы в виде таблицы привести сравнительные данные по выходу бетулина при использовании различных экстрагентов, включая толуол, для обоснования его выбора.

2. Тoluол токсичен и пожароопасен. Вопрос об остаточном содержании его в продукте не рассматривался. Представляет интерес возможность создания гибридных или ступенчатых процессов. Рассматривалась ли, например, целесообразность использования на первой стадии более полярного и безопасного растворителя (например, этанола) для удаления балластных веществ с последующим извлечением бетулина толуолом для достижения максимальной его чистоты?

3. Математическая модель, безусловно, является сильной стороной работы. В связи с этим вопрос: проводилась ли валидация модели на данных, полученных в условиях, отличных от использованных для ее калибровки (например, при другом гидромодуле или размере частиц), и если да, то какова ее предсказательная способность в этих условиях?

4. В работе отсутствуют данные о составе получаемого продукта. Вместе с бетулином извлекаются его спутники, в т. ч. лупеол и другие тритерпеноиды. Характеристика продукта с указанием содержания собственно бетулина была бы уместна.

5. Были ли проведены исследования по влиянию возможного накопления в рециркулирующем растворителе сопутствующих экстрактивных веществ (смол, жирных кислот) на кинетику процесса экстракции и качество конечного продукта – бетулина?

6. В разделе 3.3.1 показано, что плотность бересты и луба существенно различается. Возникает вопрос: исследовалась ли возможность применения для

сепарации не метода гравитационного отстаивания, а более интенсивных процессов, например, в гидроциклонах, что могло бы повысить производительность и снизить продолжительность стадии разделения фракций?

7. В работе представлена методика расчета экстрактора, в котором нагрев осуществляется через рубашку. Рассматривался ли альтернативный вариант конструкции с внутренним теплообменником, который мог бы обеспечить более интенсивный тепломассообмен, и как его наличие повлияло бы на инженерные расчеты и, в конечном счете, на продолжительность стадии прогрева?

8. Экономический расчет демонстрирует высокую эффективность проекта. Для более полной оценки хотелось бы видеть анализ чувствительности проекта к ключевым переменным, таким как цена на сырье (кору), колебания рыночной стоимости бетулина и возможное увеличение капитальных затрат на оборудование, соответствующее требованиям взрывобезопасности.

9. Требуется доработать вывод 2 ЗАКЛЮЧЕНИЯ (с.102), т.к. в диссертации не приведены заявленные сведения о пористости, растворимости компонентов, но есть данные по водопоглощению; в автореферате в этом пункте лишнее слово «пористость». Вывод 5 ЗАКЛЮЧЕНИЯ и автореферата требует уточнения: ... экстракции **бересты толуолом...**

Заключение

Диссертационная работа Фахрутдиновой Лейсан Рамилевны представляет собой завершенное научное исследование, отвечающее критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Основные результаты работы опубликованы в авторитетных рецензируемых изданиях и защищены патентами. Указанные в отзыве замечания носят уточняющий характер и могут быть устранены автором при дальнейшей работе. Диссертация, автореферат и опубликованные работы соответствуют требованиям ВАК. Диссертационная работа Фахрутдиновой Л.Р. полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в текущей редакции), а именно: «Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук должна быть научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны технические, технологические или иные решения, имеющие

Фахрутдинова Лейсан Рамилевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины.

Официальный оппонент: кандидат технических наук (05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины), доцент, профессор кафедры целлюлозно-бумажных и лесохимических производств ФГБОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ имени М.В. Ломоносова)»

Кутакова Кутакова Н.А.

«05 » ноября 2025 года

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет (САФУ имени М.В. Ломоносова)», 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17; телефон: 8950963-19-95, e-mail: n.kutakova@narfu.ru.

Личную подпись Кутаковой
Проректор по образовательной



А. М. Талмужев

Вход. № 05-8685
« 03 » 12 / 2025 г.
подпись С.И.