

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор

ФГБОУ ВО «Уральский государственный
лесотехнический университет», к.п.н., доц.

Егорова Лилия Евгеньевна

2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет» на диссертационную работу Родионова Алексея Сергеевича, выполненную на тему «Разработка технологии термической переработки лигниноцеллюлозных отходов в активированный уголь», представленную в диссертационный совет 24.2.312.10 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины

Актуальность диссертационного исследования

Ежегодно предприятия лесопромышленного и агропромышленного комплексов Российской Федерации вырабатывают десятки миллионов тонн лигниноцеллюлозных отходов, большая часть которых не находит рационального применения и направляется на захоронение или сжигание, что влечет за собой экономические потери и негативное воздействие на окружающую среду. Вместе с тем указанные отходы представляют собой ценное вторичное сырье, потенциально пригодное для получения широкого спектра продуктов, среди которых особое место занимает активированный уголь – материал, востребованный в химической, фармацевтической, пищевой промышленности, а также в системах водоочистки и газоочистки.

Существующие технологии получения активированных углей базируются преимущественно на использовании ископаемого каменноугольного или древесного сырья, что сопряжено со значительными материальными и энергетическими затратами. В этой связи обращение к возобновляемым ресурсам, каковыми являются лигниноцеллюлозные отходы,

является актуальным и обоснованным. Диссертация Родионова А.С., направленная на разработку научно обоснованной технологии термической переработки указанных отходов в активированный уголь с установлением рациональных режимных параметров процессов сушки, пиролиза и физической активации, представляет собой своевременную и практически востребованную работу.

Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе Родионова А.С., обладают научной новизной.

Автором предложен нестационарный метод определения коэффициента влагопроводности лигниноцеллюлозного сырья, базирующийся на решении обратной задачи дифференциального уравнения теплопроводности, что позволило установить температурные зависимости данного коэффициента для лужки подсолнечника, скорлупы грецкого ореха и сосновой щепы в диапазоне 40 – 110 °С.

Соискателем разработана комплексная математическая модель, описывающая сквозной процесс термической переработки лигниноцеллюлозных отходов в активированный уголь. Модель включает описание стадий конвективной сушки, кондуктивного пиролиза и паровой активации, причем для последней учтено явление роста и взаимного перекрытия пор, что дает возможность прогнозировать изменение удельной поверхности и суммарного объема пор в зависимости от режимных параметров.

В диссертационной работе расчетно-экспериментальным путем определены рациональные параметры ведения технологических операций: для сушки рекомендован двухступенчатый температурный режим (прогрев при 235 °С с последующим снижением до 150 °С), для пиролиза температура 500 °С при толщине насыпного слоя 0,15 – 0,3 м, для паровой активации температура 900 °С при удельном расходе пара 2,5 кг/кг и продолжительности 25 – 40 минут. Установлено, что активированный уголь из скорлупы грецкого ореха достигает удельной поверхности 1370 м²/г и адсорбционной активности по йоду 625 мг/г, а из лужки подсолнечника 1300 м²/г и активности по метиленовому синему 474 мг/г, что сопоставимо с показателями промышленных марок активных углей.

Разработан способ получения активированного угля из лигниноцеллюлозных отходов, техническая новизна которого подтверждена патентами Российской Федерации (RU 2789699 C1, RU 2844881 C1).

Таким образом, полученные Родионовым А.С. результаты обладают научной новизной и вносят вклад в развитие теории и практики термической переработки растительного сырья.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертационной работы

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в разработке математической модели, описывающей совокупность взаимосвязанных процессов теплопереноса при термической конверсии

лигниноцеллюлозных отходов. Модель позволяет оценивать влияние режимных параметров на формирование пористой структуры активированного угля, что может быть использовано для научно обоснованного выбора условий проведения процессов сушки, пиролиза и активации, а также для прогнозирования качества целевого продукта.

Практическая значимость работы состоит в создании инженерных методик расчета основных узлов промышленной установки для получения активированного угля (сушилки тарельчатого типа, камеры кондуктивного пиролиза, шнековых транспортёров-затворов), а также в разработке технологической схемы процесса, обеспечивающей газодинамическую изоляцию стадий и рекуперацию тепловых потоков. В результате реализации предложенной технологии обеспечивается получение активированного угля, по своим характеристикам не уступающего промышленным маркам БАУ, при сроке окупаемости капитальных вложений немногим более четырех лет. Результаты исследований приняты к внедрению в ООО «Реализация альтернативных решений» (г. Казань) и используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Обоснованность научных положений, выводов и практических рекомендаций в диссертации Родионова А.С. не вызывает сомнений. Научные положения соответствуют основной цели и задачам исследования, формированию теоретических и методических положений по разработке и реализации технологии термической переработки лигниноцеллюлозных отходов в активированный уголь.

Положения и выводы обоснованы результатами собственного исследования, а также соотносятся с основополагающими положениями теории тепломассообменных процессов, химической кинетики и механики сплошных сред. Достоверность и точность результатов исследования обусловлена использованием в диссертационной работе математического моделирования и статистической обработки полученных результатов, а также значительным объемом экспериментальных данных. Данные получены с применением сертифицированного измерительного оборудования (термопары типа ТХА, расходомеры «ЭМИС-ВИХРЬ 200», электронные весы CAS MWP-300H). Расхождение расчетных и экспериментальных данных не превышает 17 %, что приемлемо для инженерных расчетов. Выводы и рекомендации по результатам исследований в достаточной степени аргументированы.

Основные положения диссертации опубликованы в 17 научных работах, в том числе в 5-ти статьях в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК, в 1 статье в издании, входящем в реферативную базу Scopus, получено 2 патента на изобретение и 9 трудов опубликовано в прочих изданиях. По своему содержанию публикации автора полностью соответствуют теме диссертационной работы.

Оценка структуры и содержания работы

Диссертационная работа Родионова Алексея Сергеевича на тему

«Разработка технологии термической переработки лигниноцеллюлозных отходов в активированный уголь» состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 164 страницах, содержит 59 рисунков и 24 таблицы. В приложении представлены результаты статистической обработки экспериментальных данных, приведена оценка экономической эффективности, копии патентов на изобретения и акт о внедрении.

В первой главе представлен литературный обзор, включающий в себя описание современного состояния проблемы переработки лигниноцеллюлозных отходов, их классификацию и химический состав, обзор методов термической переработки растительного сырья, технологий производства активированного угля, а также аппаратурного оформления данных процессов.

Во второй главе представлена физическая картина процесса получения активированного угля, его формализация, а также разработанное математическое описание стадий конвективной сушки, кондуктивного пиролиза и паровой активации.

В третьей главе представлены результаты математического моделирования и экспериментальных исследований процесса получения активированного угля. Автором экспериментально определены теплофизические и массопроводные характеристики исследуемого сырья, проведена верификация математических моделей, определены рациональные режимные параметры процессов сушки, пиролиза и активации. Данные математического моделирования подтверждены экспериментальным путем. Полученные автором результаты сопровождаются обсуждением и аргументированы выводами, что облегчает восприятие и понимание диссертационной работы.

В четвертой главе представлено описание разработанной промышленной установки для получения активированного угля, приведены инженерные методики расчета ее основных узлов, выполнен технико-экономический анализ предлагаемой технологии. Соискателем разработана технологическая схема процесса и представлена конструкция установки, защищенная патентами Российской Федерации. Технико-экономическими расчетами доказана целесообразность и экономическая эффективность предлагаемых решений.

Рекомендации по практическому использованию результатов и выводов, приведенных в диссертационной работе

Предложенная технология термической переработки лигниноцеллюлозных отходов в активированный уголь может применяться на предприятиях лесопромышленного и агропромышленного комплексов, где ежегодно образуются значительные объемы вторичного растительного сырья, такого как лоза подсолнечника, скорлупа грецкого ореха, древесная щепа и другие отходы.

Разработанные математические модели процессов сушки, пиролиза и паровой активации представляют интерес для научно-исследовательских и проектных организаций, занимающихся вопросами термической конверсии биомассы, и могут быть адаптированы для получения углеродных сорбентов

из иных видов растительного сырья.

Полученные результаты также могут быть востребованы при формировании региональных программ по утилизации отходов. Организация производства активированного угля по предлагаемой технологии на базе действующих предприятий, располагающих собственным сырьем, позволит снизить издержки на утилизацию отходов и получить дополнительный источник дохода, что, несомненно, представляет интерес для малых и средних предприятий в данной области.

Замечания по диссертационной работе

1. Первую главу целесообразно было бы дополнить более детальным анализом существующих способов активации углеродсодержащих материалов, в частности, активации диоксидом углерода, что позволило бы провести сравнительную оценку эффективности различных активирующих агентов.
2. В третьей главе автором указывается, что для определения коэффициента влагопроводности использовались образцы, полученные прессованием лигниноцеллюлозных отходов при давлении 52,5 МПа. Данный раздел требует уточнения, каким образом указанная процедура прессования влияла на исходную пористую структуру материала и, как следствие, на значения определяемого коэффициента.
3. Автором не приводится детального сопоставления энергозатрат на получение активированного угля по предлагаемой технологии с аналогичными показателями существующих промышленных производств, что усилило бы аргументацию в пользу практической значимости работы.
4. Отсутствуют экспериментальные исследования по оценке изменения сорбционных характеристик полученного активированного угля в процессе его длительного хранения или после нескольких циклов регенерации, что важно для прогнозирования эксплуатационного ресурса материала.
5. В четвертой главе предложена схема промышленной установки, однако в ней недостаточно детально отражены узлы системы автоматического контроля и управления технологическими параметрами, что является важным аспектом при масштабировании процесса.

Заключение

Диссертационная работа Родионова Алексея Сергеевича на соискание ученой степени кандидата технических наук является завершенным научным трудом и вносит определенный вклад в исследование и решение задачи повышения эффективности переработки лигниноцеллюлозных отходов путем разработки технологии их термической конверсии в активированный уголь с установлением рациональных режимов для процессов сушки, пиролиза и физической активации.

По объему, новизне и значимости результатов диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Содержание диссертации сформулировано на основе опубликованных автором научных трудов, что подтверждает достоверность выдвинутых на защиту теоретических и практических рекомендаций. Содержание автореферата

полностью соответствует основным положениям представленной диссертации.

Диссертационная работа и автореферат соответствуют паспортам научных специальностей: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, а именно п. 10 «Методы, технологии и технические средства обеспечения экологической безопасности, переработки и утилизации отходов сельскохозяйственного производства, эколого-реабилитационные процессы и технологии»; 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины, а именно п. 4 «Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах».

Диссертационная работа Родионова А.С. на тему «Разработка технологии термической переработки лигноцеллюлозных отходов в активированный уголь» является научно-квалификационной работой и соответствует критериям, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в текущей редакции), предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса и 4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины.

Диссертационная работа и автореферат были рассмотрены на заседании кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», протокол № 9 от «06» 05 2026 г.

Отзыв подготовил:

кандидат технических наук (05.21.03 – Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины), доцент, доцент кафедры «Высшая школа биотехнологии» ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Гиндулин Ильдар Касимович



«7» мая 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, улица Сибирский тракт, д. 37; телефон: 8 (343) 221-21-00, e-mail: rector@m.usfeu.ru

Вход. № 05-8982
«01» 06 2026 г.
подпись 