

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА: СВЧ-ТЕРМОЛИЗА, МЕХАНОХИМИИ И ПИРОЛИЗА

Рыжникова Е.А.^{1,2} (аспирант)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Кулагин В.А.¹

¹Сибирский федеральный университет

²Нижевартовский государственный университет

ryzhnikova.k@yandex.ru

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Фонда научно-технологического развития Югры. Соглашение № 2024-518-09.

Введение

В научной среде уже давно активно обсуждаются вопросы газификации торфа, и по этой теме опубликовано множество статей, включая наши собственные работы [1-4]. В нашем исследовании мы сосредоточили внимание на пиролизе, чтобы оценить его эффективность.

Мы провели патентно-литературный анализ трех методов: СВЧ-термолиза, механохимии и традиционного пиролиза, применив их к торфу. Однако, как показал наш поиск информации, существует недостаток актуальных данных: если последние сведения о СВЧ-термолизе относятся к 2024-2025 годам, по пиролизу есть только базовые сравнения, а по механохимии, за период с 2023 по 2026 год, отсутствуют научные работы, связанные с получением горючего газа [2, 4, 5]. В нашей работе мы четко выделили имеющиеся данные и определили существующие пробелы в исследованиях.

Основная часть

В период с 2023 по 2026 годы велись активные исследования в области глубокой переработки торфа. Особое внимание уделялось экспериментам с СВЧ-термолизом, сосредоточившись на фракциях продуктов и процессе нагрева, а не на составе газа.

Механохимия, несмотря на достигнутые успехи, имеет свои ограничения, связанные с получением гуминовых кислот и сорбентов, что затрудняет её широкое применение. В то же время пиролиз имеет богатый опыт как экспериментального, так и промышленного использования. Для повышения выхода водорода и CO₂ в этом процессе используются такие методы, как торрефикация и смешивание с отходами.

СВЧ-термолиз предполагает микроволновый нагрев торфа при температуре 400-600 °С. Этот метод даёт богатые фенолами продукты и требует умеренной сушки, однако отличается высокой энергозатратностью. Механохимия, в свою очередь, основана на механической активации торфа без внешнего нагрева в диапазоне температур 20-100 °С. Она позволяет работать с влажным сырьём, что снижает энергозатраты, но имеет ограничение в виде износа оборудования. Пиролиз, в свою очередь, представляет собой термическое разложение торфа при температуре 400-800 °С с тщательной сушкой до уровня влажности менее 15%. Этот процесс является энергоёмким, но позволяет получать широкий спектр продуктов, включая кокс, бионефть и газы.

Преимущества СВЧ-технологии заключаются в её высокой скорости, равномерности и компактности. Механохимия отличается экологичностью и простотой в использовании. Пиролиз же выделяется своей универсальностью и промышленной зрелостью.

Однако у каждой технологии есть свои недостатки: СВЧ требует больших затрат энергии и стоит дороже; механохимия приводит к износу технологического оборудования и как правило позволяет производить небольшие объёмы продукции; пиролиз предъявляет высокие требования к сушке, продукты получаются неоднородными, а капитальные вложения требуют значительных инвестиций.

Уровень готовности технологий можно оценить следующим образом: СВЧ: 4-5 баллов; механохимия: 4-6 баллов; пиролиз: 7-9 баллов для биомассы и 6-7 баллов для торфа.

Каждая технология находит своё применение: СВЧ: производство инновационных химикатов и карбонизация; механохимия: получение биоактивных продуктов, сорбентов и удобрений; пиролиз: комплексная энергетическая переработка.

С точки зрения экологичности, механохимия является самой «зелёной» технологией, СВЧ занимает среднюю позицию, а пиролиз требует очистки газов и оставляет зольные отходы.

Дальнейшие сравнения проведем только СВЧ и пиролиз из-за отсутствия информации о качестве топлива и энергоэффективности механохимии.

При пиролизе торф нагревается поверхностно и кондуктивно, что приводит к низкой теплопередаче. В отличие от этого, СВЧ-термолиз нагревает торф равномерно и быстро, не создавая локальных перегревов. Это обеспечивает более высокую эффективность процесса.

Глубина переработки и выход ценных продуктов при использовании СВЧ значительно выше, а состав продуктов более разнообразен.

Пиролиз остаётся менее энергоэффективным, в то время как СВЧ-термолиз улучшает этот показатель, одновременно увеличивая производительность и глубину переработки торфа.

Выводы

Микроволновый пиролиз – это быстрый и энергоэффективный метод глубокой переработки торфа, позволяющий получать ценные продукты, такие как сырьё и сорбенты. Однако, несмотря на свою менее высокую эффективность, традиционный пиролиз остаётся основным способом промышленной переработки торфа в больших масштабах.

Главные преимущества микроволнового пиролиза – его высокая скорость и экономичность. Однако при масштабировании этого метода возникают две проблемы: высокая стоимость оборудования и необходимость равномерного нагрева.

Классический пиролиз, напротив, привлекателен для малых регионов и развития технологий благодаря своей экономичности и доступности сырья. Он более экологичен, работает по замкнутому циклу и универсален, так как не требует учёта диэлектрических свойств торфа.

Исходя из проведённого анализа, можно с уверенностью утверждать, что пиролиз, хотя и уступает СВЧ-технологии по многим параметрам, остаётся основным и наиболее эффективным способом газификации твёрдых веществ.

Однако в процессе пиролиза остаётся ещё много неизученных аспектов. Один из них – использование ингибиторов. Ингибиторы, применяемые в нефтехимическом пиролизе для уменьшения коксообразования, оказываются неэффективными для торфа из-за его кислородсодержащей структуры и радикальных реакций, которые приводят к образованию газов.

В то же время, в пиролизе биомассы ингибиторы помогают уменьшить спекание золы и образование канцерогенов, а катализаторы увеличивают выход газа.

В области твёрдого топлива применение ингибиторов связано с некоторыми трудностями, но открывает новые горизонты для борьбы с вторичным коксообразованием. Добавление таких веществ, как фенолы (например, 2,6-ди-трет-бутилфенол и α -токоферол) и доноры водорода (например, тетралин и декалин), может увеличить выход лёгких газов за счёт стабилизации радикалов.

Минеральная часть золы содержит катализаторы спекания и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). Чтобы уравновесить реакцию кинетику, необходимо использовать пассивирующие добавки, такие как фосфаты.

Применение ингибиторов для повышения выхода газа – это новая область, которая требует глубокого понимания физико-химических свойств полимеров, а не только торфа.

Список использованной литературы

1. Портнов Д.А., Григоров И.Р., Батраков П.А. Условия производства торфяных брикетов и особенности использования биотоплива в Ханты-Мансийском автономном округе // XXVII Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета: материалы конференции, Нижневартовск, 9–10 апреля 2025 г. – Нижневартовск: Нижневартковский государственный университет, 2025. – С. 335–342.

2. Тунцев Д.В. и др. Исследование кинетики быстрого термокондуктивного пиролиза древесной коры и торфа // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов. – 2018. – С. 158–163.

3. Батраков П. А. и др. Анализ возможностей повышения эффективности процесса термического разложения торфа для получения летучих веществ // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2025. – Т. 18. – №. 6. – С. 728-746.

4. Крапивницкая Т. О. и др. Исследование продуктов термодеструкции верхового торфа микроволновым излучением // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2024. – Т. 14. – №. 2 (49). – С. 265-274.

5. Уткин А. А., Мазиров М. А., Савоськина О. А. Влияние минеральных удобрений и природного цеолита на показатели плодородия торфяной низинной почвы, урожайность и качество продукции полукочанного салата // Земледелие. – 2024. – №. 3. – С. 23-28.