

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нефтехимии и техногенной безопасности

Термолиз многокомпонентных твердых отходов

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 252 группы

направления 18.04.01 «Химическая технология»

Института Химии

Скопца Станислава Сергеевича

Научный руководитель

профессор, д. х.н.

Р.И. Кузьмина

Заведующий кафедрой

д.х.н., профессор

Р.И. Кузьмина

Саратов 2023

Введение

Магистерская работа Скопца Станислава Сергеевича посвящена термолизу многокомпонентных твёрдых отходов.

На сегодняшний день важной проблемой в экологии перед миром встает утилизация твердых бытовых и промышленных отходов. Её суть заключается в увеличении отрицательного влияния промышленных и бытовых объектов на окружающую среду. Что проявляется в виде несанкционированного сжигания, а также захламления жилых территорий и водоемов. Таким образом, перед миром встает необходимость разработки новых схем утилизации и переработки, а также модернизации уже изобретенных.

Быстрое увеличение автомобильного парка ведет к образованию значительных масс изношенных автомобильных шин, которые в свою очередь, вследствие своей устойчивости к воздействиям окружающей среды, значительно ее загрязняют. Одним из самых легких в осуществлении способов утилизации является их сжигание, но данный метод сопровождается опасными выбросами, которые негативно влияют на экологию и человеческое здоровье, из-за наличия в составе токсинов, приводящих впоследствии к острым и хроническим заболеваниям [1].

Производство пластмасс имеет устойчивую динамику к росту на всем протяжении их существования, и, если рост объема производства продолжится в таком же темпе, то к концу 2050 года будет произведено 26000 млн т полимеров, 6000 млн т полипропиленовых и акриловых волокон. Прогноз глобальных тенденций в области переработки, сжигания и утилизации пластиковых отходов до 2050 года предполагает, что 9000 млн т пластиковых отходов будет переработано, 12000 млн т сожжено, а еще 12000 млн т выброшено на свалку или в природную среду. Характер этого распределения в разных странах и регионах примерно одинаковый [2].

Безопасная утилизация ила сточных вод из года в год также повышает свою актуальность. Только лишь в Российской Федерации каждый год производится около 2,6 миллиона тонн осадков сточных вод. В мире практикуется утилизация

путем внесения ила сточных вод в почву, что, во-первых, приводит к ее загрязнению, вследствие нахождения в составе тяжелых металлов и патогенных организмов, а во-вторых экономически не целесообразна из-за больших затрат на транспортировку [3].

Различные производства, специализирующиеся на деревообработке, характеризуются как одна из важнейших частей промышленности Российской Федерации. Важной задачей перед страной встает увеличение объема производства данной отрасли, но вместе с прогрессивным ростом продукции будет увеличиваться и объем отходов. Таким образом встает вопрос об утилизации данных отходов для сохранения экологии, а также получение от этого экономической выгоды. На данный момент в государствах с высоким показателем производства древесно-целлюлозной продукции, организованы микробиологические и термохимические переработки биомассы в спирты, жидкие и газообразные топлива [4].

Актуальным решением для переработки органосодержащих отходов сегодня выступает метод термического пиролиза. Использование оборудования безвредного для окружающей среды, и получения энергии из производимого топлива, даёт возможность, данному способу отвечать современным экологическим и экономическим требованиям [5,6].

Термолиз – это процесс термического разложения органических соединений, протекающий без участия кислорода. На выходе образуются продукты в трех агрегатных состояниях: углеводородсодержащий газ, пиролизная жидкость и кокс. Получаемый газ применяется для получения легких углеводородов, пиролизная жидкость – в качестве жидкого топлива, а кокс используется в качестве технического углерода [7].

Актуальность данных исследований заключается в необходимости поиска и исследовании альтернативных, экологически чистых способов утилизации твердых бытовых и промышленных отходов.

Целью магистерской работы является исследование процесса пиролиза твердых отходов разного состава и происхождения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать термохимические фазовые превращения твердых отходов, включая иловый осадок сточных вод, изношенные резино-технические изделия, лигнин и пластмассовые отходы;
- изучить состав и физико-химические свойства газообразных, жидких и твердых продуктов пиролиза;
- оценить возможные направления применения полученных продуктов пиролиза твердых отходов.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

- выявлены закономерности влияния условий термолиза на соотношение продуктов фазового превращения твердых отходов разного состава и происхождения;
- показано, что термохимическое превращение многокомпонентного илового осадка, включающего при температуре до 800°C, сопровождается образованием углеродного материала с высокоразвитой удельной поверхностью и влагоемкостью;
- пиролитическая жидкость пиролиза содержит углеводороды разных классов, кислородсодержащие соединения и компонент, выкипающий до 100°C характеризуется октановым числом равным 93 пунктам по исследовательскому методу.

Выпускная квалификационная работа Скопца Станислава Сергеевича «Термолиз резинотехнических отходов и ила сточных вод» состоит из 51 страницы и содержит следующие главы:

Глава 1 – Литературный обзор;

Глава 2 – Экспериментальная часть;

Глава 3 – Результаты исследования термолиза твёрдых отходов

Текст сопровождается 24 таблицами и 13 рисунками.

Основное содержание работы. В первой главе выпускной квалификационной работы проведен литературный обзор. Представлена

классификация твердых отходов. Рассмотрены методы переработки резинотехнических отходов, лигнина, пластмасс и ила сточных вод. Приведены схемы установок процесса пиролиза для утилизации органических отходов.

По принятой в РФ классификации отходы подразделяются на отходы производства и отходы потребления [8].

Основными отходами производства:

- отходы добычи и обогащения полезных ископаемых; зола, шлаки, углесодержащие отходы;
- отходы, имеющие в своем составе пластмассу и полимеры;
- отходы, содержащие природные (текстильные) и синтетические волокна;
- отходы, содержащие резину, асбест;
- отходы стекла и строительных материалов;
- отходы переработки древесины, кожи;
- отходы сельскохозяйственного производства.

Основными отходами потребления:

- макулатура, бой стекла;
- изношенные резино- и асбестосодержащие изделия;
- изношенные изделия из пластмассы, кожи;
- бывшие в употреблении изделия из древесины;
- жилищно-коммунальные отходы, в том числе и пищевые.

В зависимости от объемов отходы классифицируют как крупнотоннажные и малотоннажные, а также по влиянию на окружающую среду разделяют на вредные и безвредные.

Твердые отходы могут быть как очень токсичными, так и инертными, что напрямую зависит от их состава, в котором могут присутствовать такие токсины как: мышьяк, фтор, фосфор, ртуть, так и инертные вещества: гипс, мел, глинозем.

Одним из наиболее масштабных источников резиносодержащих отходов являются отработанные автомобильные покрышки, в состав которых входят

компоненты, которые не поменяли своих полезных качеств и не потеряли в рентабельности. Данными компонентами являются каучук, металл и корд [9].

Данный вид отходов несет риски для экологии, так как практически не подвержен влиянию окружающей природной среды и бактериальному воздействию, а при хранении на свалках загрязняет почву и атмосферу различными вредными веществами [10].

Способы утилизации отходов подразделяются на 3 основных группы: химические физические, химико-физические. Главным образом, в наше время применяются методы физического характера, такие как механическое дробление, и химические такие как термолиз и сжигание [11,12].

При механическом измельчении могут использовать покрышки любых размеров и степени изношенности. Продуктом метода является резиновая крошка, определенного фракционного состава, отделенная от металла и текстиля. Данная крошка используется в производстве различных дорожных покрытий, таких как тротуарная плитка, покрытие детских и спортивных площадок, асфальтобитумные смеси. Неэффективность метода заключается в относительной дороговизне оборудования и узком спектре получаемого продукта [13].

Резиновая крошка, применяется как альтернатива песку, для изготовления используют специальные мельницы, в зависимости от которых размер варьируется от 0,425 до 4,75 мм [14, 15].

Актуальным физико-химическим методом переработки является регенерация. Суть метода заключается в получении регенерата, который в дальнейшем используется при производстве новых каучуков для резинотехнической промышленности. Регенерат позволяет экономить каучук, а также повышает устойчивость резины к атмосферному старению, окислению и разрастанию трещин [16].

Помимо складирования широко распространено сжигание автомобильных покрышек. Этот способ неблагоприятен как для экономики, так и для экологии. В составе шин содержится большое количество общей серы. Более того при

горении формируются такие продукты как пирен, фанантрен, антрацен, флуорантен, и др. [17].

Перспективным способом переработки является сольволиз резиновых отходов при температуре 250-400 °С, что меньше температуры пиролиза, так как термодеструкция резины происходит в среде растворителя. В качестве растворителя как правило используют циклические или ароматические углеводороды, а также изоалканы. Суспензия, полученная в процессе, применяется в производстве гидроизоляционного покрытия.

Также актуальным способом на сегодняшний день считается каталитическая гидроконверсия. Она осуществляется при гидрокрекинге гудрона совместно с резиной в присутствии катализаторов на основе кобальта, никеля, молибдена. Продуктом данного процесса являются дистиллятные жидкости с низким содержанием непредельных углеводородов и серы [18].

Еще одной альтернативой распространённым методам считают пиролиз. Метод заключается в термической деструкции резины при отсутствии доступа кислорода. Процесс осуществим при широком интервале температур от 450 °С до 1000 °С. В результате процесса получают широкий ассортимент продуктов в трех агрегатных состояниях, состав которых зависит от температуры. Газовые и жидкие продукты специально обрабатываются после чего становятся возможным их использование в качестве топлива. Твердый остаток может быть использован в различных отраслях промышленности в качестве адсорбента, наполнителя, также применяется совместно с вторичным связующим полимером для производства брикетированного топлива, и др. [19-21].

Очистка сточных вод биологическим методом приводит к возникновению избытка активного ила. Это происходит за счет быстро увеличивающейся массы микроорганизмов, которая со временем становится больше массы поступающих загрязнений, что ведет к уменьшению доступного кислорода и, как следствие, негативно влияет на эффективность активного ила. Для решения данной проблемы необходимо постоянно выводить излишек с установки, и утилизировать.

Самым распространённым и дешевым способом утилизации является обезвоживание и, впоследствии, складирование на специализированных иловых картах. Несмотря на отсутствие необходимости дополнительного оборудования данный метод требует значительных территориальных затрат. Помимо этого, в иле содержатся: вредные органические соединения, соединения тяжелых металлов, патогенные бактерии и вирусы. В результате чего при данном методе утилизации есть опасность загрязнения почв и грунтовых вод.

Сжигание применяется на иловых остатках которые в течение длительного времени обезвоживались на иловых картах. Данный метод плохо решает территориальную проблему, также загрязняет атмосферу продуктами горения.

Наиболее перспективные методы переработки заключаются в использовании ила сточных в качестве удобрений или топлива.

В первом случае технология предполагает биокомпостирование активного ила с растительными и пищевыми отходами, после обеззараживания и обезвоживания до 50%. Продуктом метода является компост который применяется в качестве органического удобрения.

Во втором же случае технология заключается в производстве топливных гранул, что выполнимо благодаря высокому содержанию органики в иле сточных вод. Сжигание сухих гранул экономически не выгодно, помимо этого остается не решенной проблема с вредными выбросами в атмосферу, поэтому целесообразно в дальнейшем применить процесс пиролиза. Основным продуктом данной технологии является углеводородный газ используемый в качестве топлива [22-24].

В наше время разрабатывается множество методов переработки пластиковых отходов с выходом из них энергоемких продуктов. К ним относятся, прежде всего, методы термохимической переработки: сжигание, газификация, плазменная газификация, пиролиз, гликолиз, гидролиз, аминолиз и гидрирование. Главная цель данных способов заключается в получении углеводородных продуктов, которые будут применимы для использования в

качестве топлива. Важный плюс пиролиза заключается в возможности отделения неорганической части как твердой фракции и дальнейшее ее использование.

Процесс термолиза пластиков, как правило, протекает при высоких температурах в диапазоне от 500 до 800°C, конечный продукт характеризуется широким спектром углеводородов. Процесс проходит со значительно меньшим выделением токсичных и вредных газов, в сравнении со сжиганием. Данные аргументы делают процесс пиролиза хорошей альтернативой традиционным способам переработки отходов [2].

Лигнин – это важный отход бумажной и деревообрабатывающей промышленности. Содержание данного вещества зависит от типа используемого древесного сырья, и соответственно варьируется от 17% до 30% объема. В наше время важной злободневной задачей является, введение лигнина в большом объеме в разные отрасли промышленности, потому что сегодня только меньшая доля вводится в эксплуатацию.

Основные методы утилизации данного отхода сводятся на диспергационные, адгезионные и поверхностно-активные характеристики данного сырья. Они используются в качестве диспергаторов (для углеродной сажи, инсектицидов, гербицидов, глин, красителей, пигментов, керамических материалов); эмульгаторов, стабилизаторов, наполнителей (для почв, дорожных покрытий, асфальта, восков, каучуков, мыла, латексов, пены для огнетушения); соединений, связующих металлов (в технологической воде, в сельскохозяйственных микроудобрениях); добавок (к буровым растворам, бетону цементу, моющим средствам, дубильным веществам, резинам, пластикам на основе виниловых мономеров); связующих и клеящих веществ (для гранулированных кормов, типографической краски, литейных форм, руд); частичных заменителей реагентов (при получении карбамидоформальдегидных и феноло-формальдегидных смол, фурановых и эпоксидных смол, полиуретанов) [25].

На сегодняшний день актуальными методами использования технического лигнина становится его термическое разложение с получением пиролизного

жидкого продукта, который возможно использовать в химическом и энергетическом направлениях. Для высокого выхода жидких продуктов актуальным способом термохимической переработки отходов существует процесс быстрого контактного пиролиза [26].

Процесс пиролиза протекает по цепному свободно-радикальному механизму [27,28]. Все реакции пиролиза подразделяются на первичные и вторичные. В результате первичных реакций происходит разложение высокомолекулярных углеводов с получение углеводов с меньшей молекулярной массой. Для первых стадий процесса характерно увеличение объема реакционной массы и эндотермичность.

Вторичные реакции характеризуются взаимодействием продуктов, образовавшихся на начальных этапах процесса, и уменьшением объема реагирующей массы. Вторичные процессы экзотермичны. Ко вторичным реакциям относятся конденсация или поликонденсация аренов, устойчивых при высоких температурах, а также образование твердого углеродного остатка – кокса.

Пиролизная установка непрерывного действия

Изобретение [29] предназначено для переработки органических веществ как одинакового состава, так и многокомпонентных смесей. Суть установки заключается в непрерывном процессе её работы, а также наличием возможности прогрева сырья в пиролизной камере, разделения газообразного продукта на воду и жидкие углеводороды в конденсаторе, а также предварительного нагрева образующихся газообразных продуктов после их отделения.

Способ переработки органического сырья с получением синтетического топливного газа

Данная схема [30] представляет собой метод переработки путем высокотемпературного абляционного пиролиза. Установка оптимизирована на максимальный выход синтез газа и пиролизного кокса. Полученный газ пригоден для использования в газовых турбинах, генераторов, газо-поршневых установках

и для получения тепловой энергии. Пиролизный кокс может быть использован для производства активированного угля, строительных материалов.

Во второй главе магистерской работы описана экспериментальная часть работы, методика проведения опытов, схема лабораторной пиролизной установки, и методики проводимых расчетов.

В третьей главе магистерской работы представлены результаты исследований термолиза твердых отходов и получаемых продуктов. Полученный газ был исследован методом хроматографического анализа, таким образом был составлен материальный баланс и получен состав газа. Были исследованы твердые продукты пиролиза лигнина и ила сточных вод на удельную площадь поверхности. Описано исследование применения твердого продукта пиролиза илового осадка в качестве сорбента для нефтепродуктов. Приведен состав и октановое число жидкого продукта пиролиза илового остатка.

Выводы

1. Проведено систематическое исследование термохимического превращения твердых отходов, включая иловый осадок сточных вод, изношенные резино-технические изделия, лигнин, пластмассовые отходы и их смеси в интервале температуры 20-800°C без доступа воздуха на лабораторной установке периодического действия.

2. Показано, что независимо от исходного состава и происхождения отходов, образуются газообразные, жидкие и твердые соединения. Материальный баланс продуктов показал, что скорость нагрева в процессе пиролиза определяет фазовое соотношение продуктов. Быстрый пиролиз приводит к интенсификации глубины термолиза и увеличению выхода газообразных продуктов (до 14,9% масс.). Теплотворная способность газа, содержащего углеводороды C₁-C₅, водород и оксид углерода (IV) составляет 4000 кДж/м³.

3. Установлено, что термохимическое превращение илового осадка сточных вод и лигнина приводит к получению углеродного материала с

высокоразвитой удельной поверхностью (154-180 м²/г), обладающего поглотительной способностью по углеводородам нефти (до 80 % масс.).

4. Выявлено, что пиролитическая жидкость содержит углеводороды разных классов, в том числе парафины, нафтены, олефины, ароматические и кислородсодержащие соединения, а компонент, выкипающий до 100°С характеризуется октановым числом в 93 пункта по исследовательскому методу, и 77 по моторному, может быть использован в составе комбинированного топлива.

5. Показано, что компаундирование сырья пиролиза из твердых отходов разного происхождения, позволяет варьировать соотношение продуктов, их состав и параметры режима пиролиза для получения материалов с заданными характеристиками.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Горячаева, А.А. Экспериментальные исследования резинотехнических отходов / А.А. Горячаева, Р.А. Дяркин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза: ПензГТУ, 2013. – С. 177-180.
- 2 Ковалева Н.Ю. Пиролиз пластиковых отходов. Обзор / Н.Ю. Ковалева, Е. Г. Раевская, А. В. Роцин // Химическая безопасность. – Москва: Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, 2020. – С. 48-79.
- 3 Хасимова, А.М. Оценка воздействия продукта пиролиза илов сточных вод на содержание подвижного калия в почве / А.М. Хасимова, А. Н. Грачев, В.А. Кулагина, С.А. Забелкин // Химия и инженерная экология – XVIII сборник трудов международной научной конференции. – Казань: КНИТУ-КАИ, 2018. – С. 394-396.
- 4 Тунцев Д.В. Энергетическое использование жидких продуктов быстрого пиролиза древесины / Д.В. Тунцев, С.А. Забелкин, А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров // Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник. –Казань: Казанский ГТУ, 2010. – С. 79-83.
- 5 Бочавер, К. З. Низкотемпературный термолиз в переработке резинотехнических отходов / К. З. Бочавер, В. Н. Клушин // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2013. – № 11. – С. 35-40.
- 6 Филимонов, О.И. Особенности ПЭТ-тары как вторичного антропогенного сырья и ценообразование в сфере ее переработки / О.И. Филимонов // СПбГЭУ, 2015. – 12 с.
- 7 Пузырев, Е.М. / Разработка технологии пиролиза и применение газогенераторов при утилизации отходов / Е.М. Пузырев, В.Г. Лурий, В.А. Голубев, А.В. Лаптов, М.Е. Пузырев // Ползуновский вестник / Барнаул: АлГТУ, 2010.– С. 87-92.
- 8 Фролов, А. А. Анализ конкурентных преимуществ технологий переработки изношенных автомобильных шин / А. А. Фролов, С. А. Фролова // Региональная экономика: теория и практика. – 2010. – Т. 41, № 176. – С. 18-23.

- 9 Большакова, М. А. Обзор современных методов утилизации шин / М. А. Большакова, А. С. Домнина // Современные технологии: проблемы и перспективы: сборник статей всероссийской научно-практической конференции для аспирантов, студентов и молодых учёных, г. Севастополь, 20-23 мая 2019 г. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2019. – С. 157-160.
- 10 Смычагин, Е. О. Анализ, оценка количества и способы утилизации отработанных автомобильных покрышек / Е. О. Смычагин, Шутов Р. И. // Электронный сетевой политематический журнал "Научные труды КУБГТУ". – 2019. – № 3. – С. 960-966.
- 11 Бурахта, В. А. Пиролиз автомобильных покрышек как способ получения моторных топлив / В. А. Бурахта // под ред. проф. Бурахта В. А. – Уральск: ЗКФ АО «НЦГНТЭ». – 2017. – 120 с.
- 12 Гунич, С. В. Анализ процессов пиролиза отходов производства и потребления / С. В. Гунич, Е. В. Янчуковская // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2016. – № 1. – С. 86-93.
- 13 Моисеенков, Д. В. Сравнительный анализ методов утилизации отработанных автомобильных покрышек / Д. В. Моисеенков // Наука молодых - будущее России сборник научных статей 5-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 4 т. Курск, 2020. – ФГБОУВО «НИУ «МЭИ». – 2020. – С. 383-386
- 14 Sofi A. Effect of waste type rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review // J. Ain Shams Engineering. 2018. V. 9. P. 2691-2700.
- 15 Shubram B., Anil K. M., Purnima B. Evaluation of modified bituminous concrete mix developed using rubber and plastic waste materials // International Journal of Sustainable Built Environment. 2017. V. 6. P. 442-448.
- 16 Долинская, Р. М. Рециклинг отходов резинотехнических изделий / Р. М. Долинская, Н. Р. Прокопчук // Полимерные материалы и технологии. – 2020. – Т. 6, № 1. – С. 6-24.
- 17 Попов, В. С. Твёрдое топливо на основе тяжёлых бытовых отходов / В. С. Попов, А. В. Папин, А. Ю. Игнатова // Химия и химическая технология:

достижения и перспективы сборник материалов 3 всероссийской конференции. Кемерово, 16 - 17 ноября 2016 года. – Кемерово: КузГТУ. – 2016. – 50 с.

18 Юсевич, А. И. Получение нефтехимического сырья из резиновых отходов методом термического сольволиза / А. И. Юсевич, Н. Н. Малевич, Т. Н. Генарова // Нефтехимия. – 2020. – Т. 60, № 4. – С. 556-574.

19 Назаров, В. И. Сравнительный анализ технологий утилизации резинотехнических изделий методом пиролиза / В. И. Назаров, Д. А. Макаренков, А. В. Грималык // Шаг в будущее: теоретические и прикладные исследования современной науки: материалы XIII молодёжной международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Изд-во: «CreateSpace». – 2017. – С. 48-52.

20 Семенова, С. Ю. Проблемы утилизации полимерных отходов / С. Ю. Семенова // Научные записки. – ОрелГИЭТ. – 2015. – № 2. – С. 251-255.

21 Попов, В. С. Возможности получения брикетированного топлива отходов пиролиза автошин с использованием связующего – вторичного полимера / В. С. Попов, А. В. Папин, А. Ю. Игнатова // Вестник КузГТУ. – 2016. – № 1. – С. 172-177.

22 Зарипова, Ю. А. Анализ методов переработки активного избыточного ила / Ю. А. Зарипова, Р. Н. Апкин // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Москва. – 2020.– Изд-во: Индивидуальный предприниматель Туголуков Александр Валерьевич. – 2020. – С. 152-155.

23 Буренков, С. В. Термическая утилизация иловых осадков сточных вод методом быстрого пиролиза в сеточном реакторе / С. В. Буренков, А. Н. Грачев, С. А. Забелкин // Вестник Казанского технологического университета. Казань. – КНИТУ-КАИ, – 2016. – Т. 19, № 19. – С. 40-43.

24 Ручкина, О. И. Методы утилизации осадков городских очистных сооружений / О. И. Ручкина, А.Н. Зверева // Современные технологии в

строительстве. теория и практика.– Пермь: ПНИПУ.– 2020. – Т. 1. – С. 192-196.

25 Просвирников, Д.Б. Исследование механизма паровзрывного диспергирования лигноцеллюлозного материала / Д.Б. Просвирников, Р.А. Халитов, В.А. Лашков // Вестник Казанского технологического университета. – Казань: КНИТУ, 2014. – Т.17. – № 1. – С. 241-243.

26 Садртдинов, А.Р. Получение древесного угля и жидких продуктов пиролиза / А.Р. Садртдинов, И.И. Хуснуллин, З.Г. Сатгарова // Деревообрабатывающая промышленность. Москва.– 2012. – № 1. – С. 4-6.

27 Потехин В.М., Сыроежко, АМ Пекаревский, Б.В. Теоретические основы процессов переработки природных энергоносителей. Учебное пособие. – СПб.: СПбГТИ (ТУ), 2010. – 156 с.

28 Суербаев Х. А. Технология нефтехимического синтеза: учебное пособие – Алматы: казак университет, 2011. – 211 с.

29 Пат. 2734311 Российская Федерация. Пиролизная установка непрерывного действия и способ переработки твердых бытовых отходов / С.Г. Георгиевич, В.В. Касторнов. Заявка № 2019117262 от 03.06.2019; опубл. 25.10.2020, Бюл. № 29.

30 Пат. 2721695 Российская Федерация. Способ переработки органического сырья с получением синтетического топливного газа в установке высокотемпературного абляционного пиролиза гравитационного типа / Ю. Ф. Юрченко. Заявка № 2020105044 от 04.02.2020; опубл. 21.05.2020, Бюл. № 15.