

Повышение температуры может ускорить процессы разрыва поперечных связей, но при масштабировании технологии получения бутилрегенерата это нецелесообразно вследствие больших затрат электроэнергии. По полученным результатам можно судить о том, что происходит преимущественно межмономерная деструкция макромолекул бутилкаучука в составе диафрагменных резин в ходе облучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздовский В. Ф. Переработка и использование невосстанавливаемых изношенных шин. – Москва: ВЕСКОМ, 2018. – 370 с.
2. Хакимуллин Ю. Н. Структура, свойства и применение радиационных регенератов резин на основе бутилкаучука: монография. – Казань: КГТУ, 2010. – 186 с.
3. Оптимизация свойств радиационного бутилрегенерата, применяемого в технологии шин / С. Г. Тихомиров, О. В. Карманова, М. А. Кулигина [и др.] // Каучук и резина–2023: традиции и новации: материалы XI Всероссийской конференции. – Москва: ООО «Издательство «Каучук и резина», 2023. – С. 78–79.

УДК 504.4.054

Е. В. Батурина, доц., канд. техн. наук;  
Е. А. Рудыка, доц., канд. техн. наук;  
Н. Ю. Санникова, доц., канд. хим. наук  
(ФГБОУ ВО «ВГУИТ», г. Воронеж, Российская Федерация)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ КРУПНОТОННАЖНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА**

Большое количество древесных отходов (крайние обрезки стволов, ветки, пеньки, отходы санитарной обработки леса и лесопарковых зон в городах, отходы в виде использованной деревянной тары и изделий из дерева, горелый лес) требует их эффективной переработки. На данный момент известен ряд способов и оборудования для утилизации древесных отходов. Большинство этих изобретений посвящено прямому сжиганию древесных отходов, их измельчению, подсушке, брикетированию с последующей газификацией и получением древесного угля или генераторного газа. Способы и установки, требующие для измельчения и подсушки древесных отходов до щепы, имеют невысокий общий КПД, т.к. много энергии тратится на измельчение и предварительную подсушку щепы. Особое место в данной проблеме занимает горелый лес, который требуется переработать на месте при отсутствии электроэнергии. При этом речь идет именно об утилиза-

ции, а не производстве товарной продукции. Однако в этом случае можно получить полезный товарный продукт – древесный уголь. Для этого была разработана передвижная установка для переработки горелого леса. Процесс пиролиза основывается на разных свободно-радикальных реакциях термодеструкции целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз. Эти реакции происходят в условиях температур 200–400°C. Пиролиз древесины является экзотермическим процессом, в ходе которого получается большой объем тепла (примерно 1150 кДж/кг) [1].

Технологическая схема пиролиза древесины состоит из этапов:

- сушка древесины (<150°C) – удаление влаги без значительного изменения химического состава древесины и образования газообразных продуктов. Требуется подвода теплоты;

- начало распада древесины (150–280°C) – разложение отдельных компонентов древесины с изменением химического и элементного состава с выделением воды, угольной кислоты, СО, уксусной кислоты и других продуктов. Требуется подвода теплоты;

- пиролиз (280–450°C) – активный распад древесины с выделением тепла и образованием большого количества продуктов разложения. Процесс экзотермический и не требует подвода теплоты;

- прокаливание угля (450–600°C) с выделением небольшого количества жидких продуктов и значительного объема газообразных продуктов. Требуется подвода теплоты [2, 3].

В результате пиролиза древесины образуются основные первичные продукты:

- древесный уголь (25–4%), который может найти свое применение: в качестве бытового топлива; восстановителя при производстве сплавов металлов; сорбента (активированный уголь) для химических (очистка газовых и жидких сред), пищевой, фармацевтических (очистка лекарственных препаратов) отраслей промышленности и т.д.;

- водный конденсат (жидкая) представляет собой свобододисперсную лиофобную систему (эмульсию), в которой дисперсионной средой является водный раствор органических веществ (спирты, кислоты, эфиры, карбонильные соединения, фенолы и т.д.), а дисперсной фазой – малорастворимые в воде продукты пиролиза. При отстаивании жидкой происходит коагуляция и компоненты дисперсной фазы образуют сплошную структуру, называемую отстойной смолой в количестве 4–11%;

- неконденсируемые газы используются как топливо.

Технологическая схема переработки горелого леса с получением вторичной полезной продукции работает следующим образом. Отходы горелого леса после дробления в шредере подаются в пиролизный

реактор, где разлагаются при температуре 500°C. В процессе пиролизной переработки образуется парогазовая смесь и твердая углеродная фракция.

Парогазовая смесь из пиролизного реактора поступает в циклон для удаления твердых частиц пыли и золы, которые отправляются на утилизацию. Очищенная парогазовая смесь направляется через систему конденсаторов, орошаемых технической водой, в каплеотбойник, для удаления лишней влаги. Осушенный пиролизный газ подается в газгольдере, где накапливается. Часть пирогаза отправляется на реализацию стороннему потребителю, а часть идет на сжигание в топку. Образовавшиеся после сжигания пиролизного газа в топке дымовые газы поступают в смеситель, где смешиваются с атмосферным воздухом до заданной температуры. Далее топочный газ поступает в пиролизный реактор, для поддержания в нем заданной температуры.

Измельченные отходы горелого леса с помощью наклонного патрубка подаются в вертикальный шнековый питатель. Он представляет собой вертикальный цилиндрический корпус, внутри которого установлен конический шнек со сплошными витками. Шнек приводится в движение с помощью электропривода.

Отходы горелого леса с помощью питателя подаются в реактор с заданным расходом, кроме того за счет конической формы шнека отходы уплотняются. Уплотненные отходы горелого леса в выходной цилиндрической части питателя обеспечивают такое гидравлическое сопротивление, при котором пиро газ не попадает в питающий шнек и далее в атмосферу, а атмосферный воздух не поступает в реактор, что исключает возгорание пирогаза, образующегося в процессе пиролиза.

Из питателя отходы поступают в горизонтальный реактор, который обогревается дымовыми газами, которые образуются при сжигании пирогаза (или природного газа во время пуска установки в работу). Дымовые газы поступают в рубашку реактора, а удаляются через патрубки. Дымовые газы поддерживают в реакторе температуру 500°C. При этой температуре отходы горелого леса подвергаются пиролизу с образованием вторичных полезных продуктов в виде парогазовой смеси и твердого остатка.

Интенсификацию процесса теплообмена, а значит, сокращение времени пиролиза отходов горелого леса обеспечивают за счет более частого отбора от стенки реактора горячих отходов и доставки к стенке новых порций менее нагретых частиц и слоев отходов, и перемешивания массы отходов во всем объеме. Эту функцию выполняет ворошитель, установленный внутри горизонтального реактора. Ворошитель реактора со скребками вращается в течение всего периода пиро-

лиза со средней, требуемой для эффективного перемешивания материала, частотой. Во время выгрузки твердой фракции – угля, частоту вращения ворошителя увеличивают, что ускоряет разгрузку и, следовательно, повышает производительность процесса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рациональное использование древесных отходов // Электронный ресурс: <http://odrevesine.ru/obrabotka/othody-ilitvorichnoesyre.html>.
2. Лесохимия – современное состояние и перспективы развития // Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/n/lesohimiya-sovremennoe-sostoyanie-i-perspektiv>.
3. Пиролиз древесины // Электронный ресурс: <https://cotlix.com/chto-takoe-piroliz>.

УДК 661

А. А. Бурков, доц., канд. хим. наук; К. А. Земцова, студ.  
(ФГБОУ ВО «ВятГУ», г. Киров, Российская Федерация)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И БИОУГЛЕРОДА

Биоуглерод – это наполнитель, получаемый карбонизацией возобновляемого растительного сырья. Интерес к биоуглероду обусловлен его свойствами, такими как высокая химическая и термическая стабильность, отличные электрические свойства и большая площадь поверхности, низким воздействием на окружающую среду. В данной работе была исследована возможность получения биокomпозитов на основе полилактида и биоуглерода.

Для улучшения совместимости полярного полилактида с неполярным биоуглеродом проводят модификацию наполнителя различными веществами. В частности, в исследовании [1] проводилась обработка кислотой, щелочью, силаном, результатом чего является улучшение межфазной адгезии между наполнителем и полимером. В данной работе химическая модификация выполнялась соляной кислотой, в качестве источника биоуглерода использовались отходы деревообрабатывающей промышленности Кировской области.

Предварительно измельченные опилки проходят процесс карбонизации в низкотемпературной печи. В ходе процесса температуру повышали от комнатной до 200°C, а затем до 400°C со скоростью нагрева 10°C/мин. Температуру поддерживали на уровне 400°C в течение часа, чтобы могла произойти карбонизация. Печь охлаждали до комнатной температуры со скоростью 6,16 °C/мин. Далее полученный