

Топливо и энергетика

УДК 676.166.7

DOI: <https://doi.org/10.33070/etars.1.2019.01>**Браверман В.Я.**, канд. техн. наук**ООО «Консалтингово-внедренческий центр "Возобновляемые ресурсы"», Одесса**
ул. Маршала Говорова, 10-Б, 65063 Одесса, Украина, e-mail: braverman@resources.odessa.ua

Замещение ископаемого угля в локальных твердотопливных котельных

Обоснована необходимость замещения ископаемого угля в локальных твердотопливных котельных биоуглем, получаемым из различных видов сельскохозяйственных отходов. При выборе наилучшей доступной технологии производства биоугля предложено применять интегральную оценку этой технологии, включая экономические, экологические и социальные аспекты. Показано, что прямое сжигание отходов сельскохозяйственной деятельности не соответствует требованиям экологической безопасности, а также требует значительных затрат на модернизацию существующего котельного оборудования. Для производства биоугля из отходов сельскохозяйственного производства предложено использовать современные методы термохимической деструкции: торрефикацию и карбонизацию. Конечным продуктом технологической линии торрефикации биомассы являются pellets или брикеты из биоугля с высокой теплотворной способностью, низким содержанием серы и тяжелых металлов, низкой эмиссией оксидов азота. На сегодняшний день наиболее передовой технологией переработки биомассы является технология карбонизации. Она полностью исключает загрязнение окружающей среды и имеет существенные преимущества по сравнению с другими технологиями. Это позволяет считать технологию карбонизации биомассы наилучшей доступной технологией для производства биоугля, жидкого биотоплива и других продуктов из непищевой биомассы. *Бібл. 15, рис. 2, табл. 1.*

Ключевые слова: биомасса, биоуголь, жидкое биотопливо, торрефикация, гидротермальная карбонизация.

Энергетическая стратегия Украины на период до 2035 г. «Безопасность, энергоэффективность, конкурентоспособность» (в дальнейшем Стратегия) предусматривает замещение углеродных видов топлива другими видами топлива там, где это экономически оправдано и технически возможно [1]. В частности, предлагается снижение доли поставок энергии из угля в структуре общей первичной поставки (Таблица Б.2

Приложения к Стратегии) с 30,4 % в 2015 г. до 12,5 % в 2035 г. Также Стратегией предусматривается увеличение доли поставок энергии из биомассы, биотоплива и отходов от 2,3 % в 2015 г. до 11,5 % в 2035 г. Для решения поставленных Стратегией задач нами предлагается использовать современные эффективные технологии мягкого пиролиза: торрефикацию и карбонизацию.

Из-за блокады грузооборота с неподконтрольными территориями в стране испытывается значительный дефицит угля, в первую очередь антрацита. Для отопления в локальных твердотопливных котлах в частном секторе и бюджетной сфере начали использовать энергетические (длиннопламенные и газовые) угли. В процессе термического разложения органической массы частиц длиннопламенных и газовых углей образуется до 30 % газообразных и 65–75 % твердых продуктов. Основное количество работающих в настоящее время твердотопливных водогрейных котлов проектировалось под сжигание углей марки антрацит с низким расположением теплообменных труб. Сжигание в этих котлах длиннопламенных углей существенно снижает их эффективность и срок службы.

При сжигании длиннопламенных углей образуются такие ядовитые газы, как угарный газ (оксид углерода), сернистый газ (диоксид серы), и газы, влияющие на климат (углекислый газ). Никакой другой тип невозобновляемого топлива не выбрасывает так много углекислого газа, как уголь. Загрязнение производят также угольная пыль и сажа.

Загрязнение воздуха является крупнейшим в мире экологическим риском для здоровья. Согласно данным ВОЗ, 7 млн человек умирает ежегодно от болезней, связанных с последствиями загрязнения воздуха. В Программе ООН по защите окружающей среды, принятой в г. Найроби в мае 2016 г., предусматриваются два основных направления деятельности относительно связей между состоянием окружающей среды и здоровьем человека: 1) декарбонизация — сокращение использования углеродного топлива и, следовательно, выбросов углекислого газа (CO_2) за счет замещения неуглеродными источниками энергии; 2) детоксикация — борьба с загрязнением воздуха за счет сокращения выбросов черного углерода и других загрязняющих веществ бытовыми и небытовыми потребителями энергоресурсов, а также обеспечение ответственности выбросов загрязняющих веществ целевым рекомендациям ВОЗ относительно диаметра мелких твердых частиц и концентрации оксида углерода.

В Парижском соглашении по климату от 2016 г. указано, что одним из основных приоритетов деятельности ЕС в период до 2020 г. станет переход к экономике с низким уровнем выбросов углерода, борьба с причинами изменения климата при создании более устойчивых к климату обществ.

Для уменьшения выбросов от сжигания угля в Украине в 2017 г. принят Национальный

план по сокращению выбросов в атмосферу от крупных сжигающих установок (далее НПСВ) [2]. Целью НПСВ является постепенное сокращение выбросов диоксида серы, оксидов азота и веществ в виде взвешенных твердых частиц, недифференцированных по составу пыли от существующих крупных сжигающих установок, номинальная тепловая мощность которых составляет 50 МВт и более. В Украине в настоящее время установлено и работает большое количество локальных твердотопливных угольных котлов мощностью до 50 МВт. Только в рамках Государственной программы по энергоэффективности на замену газовых котлов физическими лицами было выдано 21391 кредитов на сумму 364,5 млн грн. Исходя из средней суммы кредита 17,0 тыс. грн, замена производилась в основном на твердотопливных котлах.

В Одесской обл. в бюджетной сфере по состоянию на декабрь 2017 г. установлено и находится в эксплуатации свыше 420 твердотопливных угольных котлов, включая 330 металлических котлов близкой конструкции марок КТО, КСТ, КСТБ, КСГБ и 90 чугунных котлов марок НИСТРУ и УНИВЕРСАЛ. Всего в отопительный сезон этими твердотопливными котельными сжигается свыше 40 тыс. т длиннопламенных газовых углей. При этом объем годовых выбросов в атмосферу составляет, т: всего — 5906,4; CO_2 — 383,2; NO_2 — 2542,4; SO_2 — 368,0; твердых частиц — 2612,8.

Такой объем вредных выбросов приводит к росту числа разнообразных заболеваний: дыхательных путей (астма, бронхиты, инфекции нижних дыхательных путей); хронические болезни легких у детей; сердечно-сосудистые заболевания; рак легких у женщин; низкая масса тела детей при рождении; рак мочевыводящих путей. Особо опасное воздействие выбросы от сжигания углей оказывают на детей в возрасте до 12 лет, у которых еще не сформировалась иммунная система, способная адекватно реагировать на эти загрязнения [3].

Угледобывающие предприятия Украины в январе-апреле 2018 г. сократили добычу угля на 1,832 млн т (14 %) по сравнению с аналогичным периодом 2017 г. — до 11,236 млн т, в том числе энергетических марок — на 1,678 млн т (15,6 %), до 9,77 млн т.

Технологии замещения ископаемого угля на биоуголь

При выборе наилучшей прогрессивной технологии замещения природного угля в твердотопливных котельных необходимо исходить из

интегральной оценки рассматриваемых технологий. Для интегральной оценки эффективности технологий необходимо учитывать экономический, экологический и социальные аспекты.

Экономический эффект складывается из доходов от реализации вторичных продуктов в результате применения наилучшей технологии переработки и утилизации.

Экологический эффект от применения рассматриваемых технологий — это стоимостная оценка предотвращенного экологического ущерба от загрязнения окружающей природной среды (атмосферного воздуха, водных, почвенных и земельных ресурсов). Этот аспект интегральной оценки технологий соответствует требованиям Европейского Союза по верификации экологических технологий (Environmental Technology Verification (ETV)). Основным требованием ETV является заслуживающая доверия надежная и независимая верификация функционирования экологических технологий. Экологической технологией является такая технология, которая создает экологическую добавочную стоимость и (или) измеряет экологические параметры. Такие технологии будут играть все возрастающую роль в решении экологических проблем и задач устойчивого развития [4].

Социальный эффект — это, прежде всего, снижение заболеваемости населения вследствие экологической нормализации условий жизнедеятельности человека, рост денежных доходов населения и внебюджетных общественных фондов в результате реализации проекта и приведение хозяйственной деятельности в соответствии с основными социальными потребностями населения.

Учитывая все эти факторы, а также политические аспекты необходимости ухода от использования газа, наиболее распространенным источником замещения угля в Украине является производство альтернативного топлива из биомассы. Количество такого топливного ресурса из биомассы ежегодно растет и к 2020 г. достигнет 45 млн т. Мировой опыт показывает, что использование 40 % всего объема биомассы в энергетических целях не вредит сельскохозяйственному производству. Из 18 млн т биомассы может быть получено 6 млн т биоугля.

Технологии конвертирования энергии биомассы

Энергия биомассы может конвертироваться в удобные для практического применения виды энергии с помощью различных технологий. При выборе конкретной технологии заме-

щения природного угля следует также учитывать затраты на замещение и в самих твердотопливных котлах, то есть, желательно, как можно меньше переделывать сами твердотопливные котлы. С учетом этого требования далее нами рассматриваются только два способа извлечения энергии из биомассы: прямое сжигание и пиролиз.

Под прямым сжиганием биомассы в твердотопливных котлах сегодня понимается сжигание пеллет или брикетов из биомассы. Для сжигания пеллет твердотопливные котлы должны быть дополнительно оборудованы бункером и системой автоматической подачи пеллет, что не всегда возможно из-за отсутствия необходимых площадей. Использование брикетов не требует переделки и модификации котельного оборудования. При прямом сжигании брикетов из соломы следует учесть, что солома содержит соединения, которые не только затрудняют ее технологическое использование, но и оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду. При сжигании брикетов из соломы выбросы в атмосферный воздух содержат диоксиды серы, оксиды азота и углерода, частицы сажи.

Строительство очистных сооружений при каждом твердотопливном котле (что делается на больших ТЭЦ) экономически невыгодно. В силу реализации экологических требований вполне естественным является разработка технологий централизованной подготовки топлива из соломы с очисткой его от вредных выбросов при сжигании. К таким технологиям относятся, прежде всего, технологии мягкого пиролиза биомассы: торрефикация и карбонизация.

Торрефикация

Это мягкий пиролиз растительной биомассы, то есть процесс термохимического преобразования растительных материалов при температуре от 300 до 500 °С и медленном нагреве без доступа воздуха или, простыми словами, обжаривание. Конечным продуктом технологической линии торрефикации биомассы являются пеллеты или брикеты из биоугля. Биоуголь (biochar, hydrochar, biosoal, синтетический уголь) — это уголь, произведенный искусственным путем из биомассы. По сравнению с ископаемым углем у биоугля имеются такие преимущества: высокая теплотворная способность (25–30 МДж/кг); низкое содержание серы и тяжелых металлов; высокая эффективность сгорания; низкая эмиссия NO_x ; высокая температура плавления золы (1400 °С), обеспечивающая устранение проб-

лем, связанных со спеканием биомассы и образованием шлаков в котлах; высокая энергетическая плотность, благодаря которой снижаются транспортные расходы, требуются меньшие объемы складских помещений; возможность длительного хранения без изменений свойств; высокая гидрофобность, что позволяет обходиться без особого режима хранения.

Низкая насыпная плотность таких растительных отходов, как солома, шелуха подсолнечника, измельченный камыш, требует предварительного их уплотнения перед процедурой торрефикации или карбонизации. Полученный в процессе торрефикации или карбонизации биоуголь имеет пористую структуру и низкую механическую прочность, поэтому для сжигания биоугля на колосниковых решетках в твердотопливных котлах его необходимо уплотнять (прессовать) и получать из него брикеты.

Технологическая схема производства биоугля из отходов реализуется в виде следующих трех последовательных этапов: 1) гранулирование либо брикетирование биомассы; 2) карбонизация либо торрефикация уплотненной биомассы с получением биоугля; 3) брикетирование биоугля.

Согласно закону Украины «О содействии производству и использованию биологических видов топлива», предприятия, которые производят топливные брикеты и гранулы, до 2020 г. освобождены от налогов на прибыль.

Технологии получения биоугля из биомассы начали активно развиваться совсем недавно. В Европе с 2011 г. стали производить торрефицированный уголь, а также пеллеты и брикеты из него. Компания Topell Energy в 2011 г. построила завод по производству торрефицированных пеллет из биомассы производительностью 60 тыс. т/год в г. Дейвен (Нидерланды). В 2011 г. немецкая компания Andritz Separation GmbH заявила об использовании инновационной технологии ускоренной карбонизации биомассы ACB (Accelerated Carbonized Biomass) и запустила демонстрационный мини-завод производительностью 1 т/ч торрефицированных пеллет или брикетов в г. Фронлайтен (Австрия). Подобный завод мощностью 1 т/ч был построен в 2012 г. в Дании, в 2013 г. производительность этого завода довели до 3 т/ч.

На побережье Балтийского моря, в Холмсунде, в 2013 г. шведской компанией BioEndev AB был смонтирован и введен в эксплуатацию демонстрационный завод производительностью 16 тыс. т торрефицированных пеллет в год. Первое место в мире по количеству компаний и государственных институтов, работающих в

сфере торрефицированного биотоплива, прочно удерживает Нидерланды [5]. В 2012 г. в стране была создана Ассоциация торрефикации (The Dutch Torrefaction Association (DTA)). В 2013 г. такая же ассоциация была создана в Европе.

В США большое количество компаний занимается производством торрефицированных брикетов и пеллет. Это, прежде всего, AgriTech Producers (Южная Каролина), CNFBiofuels (Калифорния), Earth Care Products (Канзас), EcoFuels (Северная Каролина), HM3 Energy (Орегон), Intergo Earthfuels (Северная Каролина), New Earth (Вашингтон), Renewable Fuel Technologies (Калифорния), Terragreen Energy (Пенсильвания), Torrefaction Technologies (Мэн), Wyssmont (Нью-Джерси). Базирующаяся в Вашингтоне компания TSI в 2010 г. создала первую пилотную мобильную торрефикационную установку, которая поместилась в обычный трейлер. С 2013 г. компания начала разработку и выпуск оборудования широкого модельного ряда мощностью до 300 тыс. т торрефицированных пеллет в год.

Стремительно развивается отрасль торрефикации и в Китае.

В процессе торрефикации — термической деструкции целлюлозы и гемицеллюлозы, входящих в состав исходного органического сырья (таблица), — одновременно с основным твердым продуктом образуются летучие газы. Интересно, что рисовая солома и береза очень похожи по своему компонентному составу.

Компонентный состав биомассы

Сырье	Гемицеллюлоза	Целлюлоза	Лигнин	Другое
Солома пшеницы	18,1	29,0	27,4	25,5
Солома риса	26,0	40,8	17,9	15,3
Стебли кукурузы	32,6	33,5	11,0	22,9
Кукурузные кочерыжки	37,7	33,5	15,1	13,7
Сосна	17,8	47,8	19,7	14,7
Лиственница	24,8	37,6	24,6	13,0
Береза	26,5	39,4	19,7	14,4
Осина	20,3	44,0	21,8	13,9

Горючие компоненты, входящие в состав летучих газов, могут сжигаться, а выделяющееся при этом тепло использоваться для сушки перерабатываемого сырья. Основным недостатком систем торрефикации является большое потребление тепловой энергии.

Тепловая энергия, необходимая для предварительной сушки и собственно торрефикации, может быть получена за счет сжигания части производимых торрефицированных продуктов.

Технологии процесса торрефикации можно условно разделить на две группы в зависимости от способа подвода тепла: на технологию прямого и непрямого нагрева. Технология с прямым подводом тепла более эффективна. Ее эффективность может быть еще увеличена за счет перемешивания сырья в барабанных реакторах, а также реакторах псевдоожиженного слоя.

Барабанная печь непрерывной карбонизации экологического типа китайского производства использует очищенные дымовые газы, образующиеся в процессе карбонизации, в качестве горючего газа для сгорания и повторного использования. Барабанная печь карбонизации имеет такие основные преимущества: отсутствие выбросов дымовых газов, то есть отсутствие загрязнения окружающей среды; высокую производительность и высокую степень автоматизации. Барабанная печь непрерывной торрефикации пригодна для тиражирования и крупномасштабного производства.

Конструктивные решения рассматриваемых технологий торрефикации необходимо оценивать с точки зрения имеющегося опыта применения этих технологий и возможности их масштабирования для получения более высокой производительности. В [6] сравниваются различные типы реакторов для торрефикации и показано, что наибольшее распространение получили технологии со шнековым реактором, вращающимся барабаном и псевдоожиженным слоем.

Системы торрефикации различаются также по способу подготовки первичной биомассы и виду готовой продукции. Торрефицированный продукт может быть в виде угольного порошка либо спрессованный в топливные брикеты или pellets.

Для целей замещения ископаемого угля, сжигаемого на колосниковых решетках в твердотопливных котлах, pellets и брикеты должны быть таких геометрических размеров, чтобы не проваливаться через отверстия в колосниковых решетках.

Карбонизация биомассы

Типовая схема карбонизации биомассы представлена на рис.1. Для выполнения экологических требований по защите окружающей среды от вредных выбросов разработаны барабанные печи непрерывной карбонизации.

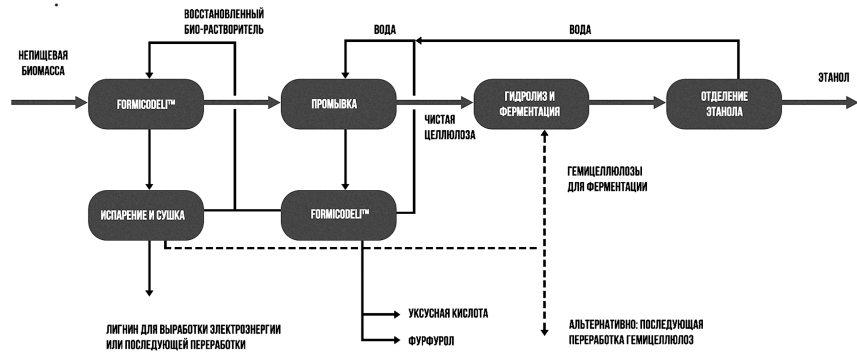


Рис.1. Типовая схема карбонизации биомассы.

Печи непрерывной карбонизации экологического типа так же, как и печи торрефикации, используют очищенные дымовые газы, образующиеся в процессе карбонизации, в качестве горючего газа для сгорания или повторного использования.

На первом этапе осуществляется газификация исходного сырья (биомассы) в печи газификации. Полученный синтез-газ после охлаждения и очистки используется в качестве источника тепла первоначальной карбонизации для нагрева печи карбонизации. Когда температура в печи достигает заданного уровня, загружается сырье и проводится его карбонизация. Образующийся в процессе карбонизации дымовой газ, подвергаясь распылению, охлаждению и очистке, подается на сжигание и нагрев барабана. В процессе производства температура карбонизации может подниматься до 600–900 °С.

Типичная комплектация барабанной печи карбонизации: печь газификации для предварительного производства газа; система для очистки дымового газа до горючего газа, а также система охлаждения для превращения горячего пара в воду; автоматическое загрузочное устройство с преобразователем частоты для регулирования скорости подачи сырья — биотоплива; барабан карбонизации требуемой производительности; разгрузочное устройство с функцией охлаждения.

Гидротермальная карбонизация

В последние годы технологии карбонизации стремительно развиваются. Созданы технологии гидротермальной карбонизации (ГТК) [7] и гидротермальной карбонизации паром [8]. В процессе ГТК биомасса влажностью до 80 % с низкой теплотворностью превращается в биоуголь. ГТК — это преобразование биомассы в угольные продукты и воду под воздействием температуры

и давления без доступа воздуха. Процесс ГТК происходит при температуре около 230 °С и под давлением около 2,5 МПа. ГТК — это физико-химический метод, экзотермический процесс. При расщеплении содержащихся в биомассе цепочек углеродов на воду и углерод выделяется тепло. Карбонизация происходит в течение 5–12 ч, при этом сохраняется 95–100 % углерода.

Базовый модуль, разработанный компанией GRENOL, рассчитан на переработку ежедневно 10 т биомассы влажностью до 70 % с выходом 1,8 т угля теплотворной способностью 6 кВт/кг. Кроме того, образуется 6 м³ технологической воды.

Преимущества технологии ГТК перед другими технологиями переработки биомассы: высокая экологическая чистота технологии, исключая загрязнение окружающей среды; отсутствие необходимости предварительной сушки биомассы, что позволяет значительно снизить стоимость оборудования; возможность использования разных видов биомассы, включая низкосортную, которая пригодна только для утилизации; простота обслуживания оборудования и низкие эксплуатационные расходы; возможность использования смеси, состоящей из различных видов биомассы.

Эти преимущества позволяют считать технологию ГТК наилучшей доступной технологией, которая может быть охарактеризована как технологический процесс, технический метод, основанный на современных достижениях науки и техники, направленный на снижение негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду и имеющий установленный срок практического применения с учетом экономических, технических, экологических и социальных факторов.

Применение технологии гидротермальной карбонизации позволяет: а) без существенных переделок котельных заменить ископаемый уголь в твердотопливных котлах на биоуголь; б) использовать для производства биоугля любой вид биомассы; в) уйти от затрат тепловой энергии на сушку биомассы; г) полностью убрать вредные выбросы в атмосферу вблизи школьных и дошкольных учреждений; д) снизить детскую заболеваемость, вызванную выбросами от сжигания углей; е) сократить выбросы в атмосферу, связанные со сжиганием остатков сельскохозяйственной деятельности на полях.

Компании, разрабатывающие технологии ГТК

Немецкая компания Suncoal в 2007 г. запатентовала технологию CarboREN. В 2008 г. в г. Кенигс-Вустерхаузен в качестве пилотного проекта была запущена экспериментальная установка ГТК. В 2011 г. компания Suncoal инициировала регистрацию Федерального союза гидротермальной карбонизации.

Швейцарской группой компаний AVA-CO2 Schweiz AG в 2010 г. была введена в действие промышленная установка по технологии ГТК производительностью 8400 т/год. В 2012 г. была запущена вторая такая же установка. AVA-CO2 использует технологию периодического (порционного) ГТК-процесса. Оборудование сконструировано по модульному принципу, что позволяет его легко монтировать и интегрировать в имеющуюся инфраструктуру. AVA-CO2 запатентовала свои продукты под марками AVA cleancoal и AVA biochar. Под Берлином в 2010 г. был запущен завод, работающий по технологии AVA-CO2, производительностью 12 тыс. т/год.

Компания Carbon Solutions Deutschland GmbH запатентовала специальный фильтр для очистки отработанной воды. Carbon Solutions принимает участие в европейской программе Eurochar (рамочная программа ЕС по развитию научных исследований и технологий). В этой программе участвуют также компании и институты из Франции, Великобритании и Италии. В настоящее время Carbon Solutions выполняет заказ на монтаж линии по производству биоугля производительностью 10 тыс. т/ч.

Испанской компанией Ingelia [9] запатентован в 2012 г. модульный завод ГТК. Одним из самых ценных продуктов, полученных компанией Ingelia, является чистая вода. Во время процесса ГТК мокрая биомасса карбонизируется, и содержащаяся в ней вода отделяется от твердой фракции. После фильтрующего пресса содержание твердого вещества в воде составляет около 2–3 %.

Компанией GRENOL разработана технология карбонизации паром, вышедшая из «гидротермальной карбонизации», при которой процесс происходит ниже кривой давления пара, примерно при 200 °С. Для реализации требуется большой объем пара, что существенно удорожает производство. По своему действию разрушения клеточной структуры при высокой температуре и давлении эта технология повторяет технологию получения спиртов второго поколения из отходов.

Работы по карбонизации биомассы начаты также в России и Украине. Имеются разработки компании ООО «Альтернативные технологии» (г. Москва) [10]. Ведутся работы в отделе возобновляемых органических ресурсов Института возобновляемой энергетики НАН Украины под руководством канд. техн. наук Ключа В.П. [11]. Однако все эти работы носят экспериментальный характер и только готовятся к промышленному внедрению.

Комплекс карбонизации, состоящий из двух линий приема, хранения и брикетирования соломы и одной линии карбонизации производительностью 4300 тыс. т биоугля в год (14 т/сут), имеет расчетную цену 750 тыс. долл. с учетом стоимости оборудования для брикетирования. Биржевая стоимость биоугля на сегодняшний день составляет 214 долл./т. Окупаемость вложенных средств — 3 года.

Другие области применения гидротермальной карбонизации

Утилизация твердых бытовых отходов

Использование технологии ГТК для утилизации органической составляющей твердых бытовых отходов позволяет также создать замкнутый цикл 100 %-й утилизации отходов. Вначале осуществляется сортировка твердых бытовых отходов, отбираются фракции, пригодные для повторного использования (бумага, стекло, металл, пластик, песок, щебень). Оставшиеся органические и растительные отходы подлежат ГТК с получением биоугля.

Производство спиртов второго поколения

В процессе ГТК на первом этапе под воздействием температуры и давления разрушается первоначальная клеточная структура биомассы, что также происходит в современных методах получения спиртов второго поколения из отходов сельскохозяйственной деятельности.

На сайте компании Biochemtex [12] приводится описание технологии PROESA™, разработанной компанией Biochemtex совместно с BetaRenewables; завод расположен в г. Кресчентино (Италия).

На сайте компании Clariant (г. Штраубинг, Бавария) [13] описан разработанный этой компанией биотехнологический процесс SUNLIQUID®. Эти процессы получения сахаров второго поколения основаны на первой фазе, в которой биомасса также подвергается воздействию высоких температур и давлению, что позволяет отделить по-

лисахариды (целлюлоза и гемицеллюлоза) от лигнина. Далее полисахариды обрабатывают ферментами, которые выделяют простые сахара, затем ферментируются дрожжами в этанол.

Канадская компания Iogen Corporation (г. Оттава), инвестировала 500 млн долл. в исследование и разработку технологий, имеет более 300 патентов. Компания Iogen в настоящее время дальше всех продвинулась в коммерциализации технологии производства этанола из биомассы. Используя свою технологию, Iogen производит целлюлозный этанол, начиная с 2004 г.

Особо актуальной становится задача выбора прогрессивной технологии производства биоэтанола в связи с подготовкой Верховной Радой Украины законопроекта «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо розвитку сфери виробництва рідкого палива з біомаси та впровадження критеріїв сталості рідкого палива з біомаси та біогазу, призначеного для використання в галузі транспорту».

Химические методы разделения биомассы с использованием катализаторов и биологических растворителей [14, 15]

При химической переработке биомассы все шире применяются катализаторы, которые ускоряют химические превращения, увеличивают выход целевого продукта и уменьшают вредные выбросы. Преимуществом использования катализаторов является и то, что указанные эффекты достигаются без дополнительных затрат энергии.

Исследователи из Висконсинского университета в Мадисоне предложили способ усовершенствования технологии превращения несъедобной биомассы в химикаты и топливо, которые традиционно производят из нефтепродуктов. Чтобы повысить эффективность использования трех компонентов, из которых состоит биомасса (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин), химики применили гамма-валеролактон — растворитель, который получают из растительного материала. Ученые отмечают, что этот растворитель особенно эффективен в разделении биомассы на фракции и позволяет максимально сократить количество отходов при переработке биоматериала. Кроме того, 99 % растворителя можно повторно использовать в замкнутом цикле производства. До сих пор потери растворителя были главным препятствием к тому, чтобы процесс переработки биомассы стал экономически выгодным. Исследователи успешно опробовали вещество на кормовой кукурузе, березе, тополе, хвойных деревьях и еще 30 видах биомассы.

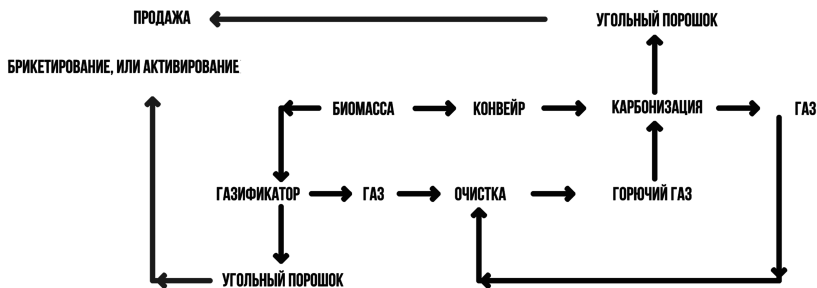


Рис.2.Схема технологии Formico®.

Финской компанией Chempolis разработана технология Formico® для биообработки недревесных и непродовольственных материалов (рис.2).

Переработка биологических веществ, основанная на технологии Formicobio™, отвечает трем ключевым аспектам концепции экологически безопасного, рационального и рассчитанного на долгосрочную перспективу природопользования: экологическому, экономическому и социальному.

Используя новый тип биологического растворителя, эта технология преодолевает проблемы, с которыми обычно сталкиваются другие технологии. Технология Formico® является безотходной, путем разделения фракций она позволяет производить из биомассы высококачественную целлюлозу для производства бумаги, биоэтанол, биоуголь и такие химические вещества, как фурфурол и уксусная кислота. Основные преимущества этой технологии: использование остатков, образующихся в процессе производства продуктов питания и сельскохозяйственных отходов, отсутствие необходимости сбора древесины и истощения лесных ресурсов; не требует большого объема внешней энергии, технология является самодостаточной; отсутствуют выбросы CO₂; минимальное потребление воды; не производит сточных вод и выбросов в атмосферу. Из 1000 т соломы можно получить по технологии Formico®, т: целлюлозы — 400; биотоплива — 500; фурфурола — 40; уксусной кислоты — 30.

Технология Formicofib™ от компании Chempolis обеспечивает наиболее экономичный и устойчивый способ производства целлюлозы для бумажной промышленности. Благодаря технологии Formicofib™ можно производить высококачественную целлюлозу из недорогих местных недревесных биомасс. Эту технологию производства целлюлозы можно непосредственно интегрировать в бумагоделательную промышленность.

Технология третьего поколения Formicobio™ от компании Chempolis обеспечивает наиболее экономичный и устойчивый способ производства

биоэтанола из лигноцеллюлозного сырья так же, как и технологии второго поколения.

Анализ интегральной оценки рассматриваемых технологий позволяет сделать вывод, что на текущий момент замещение ископаемого угля на биоуголь и топливо из него в твердотопливных котельных является самым эффективным и низко затратным способом с точки зрения сокращения выбросов и охраны здоровья.

Список литературы

1. Энергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». — <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>
2. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок : Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 року № 796-р. — http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245255506&cat_id=245255478
3. Браверман В.Я., Кушнерук В.И., Третьякова Е.В., Шафран Л.М. Энергоэффективность, энергосбережение и здоровье. Актуальные проблемы транспортной медицины. 2018. № 1. С. 11–23.
4. Передерий С. Торрефицированная биомасса: особенности, технологии, перспективы. — <http://greenergy.com.ua/info-data/torrefitsirovannaya-biomassa-osebennosti-tehnologii-perspektivy/>.
5. Передерий С. Биоуголь — новое или хорошо забытое старое? Возрождение гидротермальной карбонизации биомассы в Европе. ЛесПромИнформ. 2014. № 3.
6. Кузьмин С.Н., Ляшков В.И., Кузьмина Ю.С. Нетрадиционные источники энергии. Биоэнергетика. М. : ИНФРА-М, 2016. 129 с.
7. Гидротермальная карбонизация для переработки любого вида биомассы в биоуголь. — http://intercentre.de/hydrothermal_carbonization/
8. Гидротермальная карбонизация. Карбонизация паром. Презентация. — http://intercentre.de/wp-content/uploads/2016/10/Gemeinsame-Präsentation-НТСVТС_rus.pdf
9. Завод ГТК компании Ingelia (Испания). — <https://ingelia.com/index.php/modelo-negocio/carbonizacion-de-biomasa/?lang=en>
10. ООО «Альтернативные технологии». Производство биоугля методом гидротермальной карбонизации из отходов деревообработки и другого органического материала. Москва, 2016. — <http://docplayer.ru/76362193-Proizvodstvo-biouglya-metodom-gidrotermalnoy-karbonizacii-iz-othodov-derevoobrabotki-i-drugogo-organicheskogo-materiala.html>

11. Ключ В.П. Автотермическая технология карбонизации птичьего помета. *Відновлювана енергетика*. 2015. Вып. 2, С.84–87.
12. Cellulosic Ethanol PROESA™. — <http://www.bio-chemtex.com/en/proesa>.
13. Превращение соломы в биотопливо с помощью SUNLIQUID®. — <https://www.clariant.com/ru-RU/Innovation/Innovation-Spotlight-Videos/sunliquid>
14. Хели Антила. Ресурсоэффективное использование биомассы может изменить мир. — <https://fortuneenergyblog.wordpress.com/2018/04/18/resource-efficient-use-of-biomass-can-change-the-world/>
15. Технология производства целлюлозного этанола formicobio™. — <http://www.chempolis.com/products-services/cellulosic-ethanol-technology-formicobio/>

Поступила в редакцию 14.12.2018

Браверман В.Я., канд. техн. наук

ТОВ «Консалтингово-впроваджувальний центр "Поновлювані ресурси"», Одеса
вул. Маршала Говорова, 10-Б, 65063 Одеса, Україна, e-mail: braverman@resources.odessa.ua

Заміщення викопного вугілля у локальних твердопаливних котельнях

Обґрунтовано необхідність заміщення викопного вугілля у локальних твердопаливних котельнях на біовугілля, вироблене з різних видів сільськогосподарських відходів. При виборі найкращої доступної технології виробництва біовугілля запропоновано застосовувати інтегральну оцінку цієї технології, враховуючи економічні, екологічні та соціальні аспекти. Показано, що пряме спалювання відходів сільськогосподарської діяльності не відповідає вимогам екологічної безпеки, а також потребує значних витрат на модернізацію існуючого котельного обладнання. Для виробництва біовугілля з відходів сільськогосподарського виробництва запропоновано використовувати сучасні методи термохімічної деструкції: торефікацію та карбонізацію. Кінцевим продуктом технологічної лінії торефікації біомаси є пелети або брикети з біовугілля з високою теплотворною здатністю, низьким вмістом сірки та важких металів, низькою емісією оксидів азоту. На теперішній час найбільш передовою технологією переробки біомаси є технологія карбонізації. Вона повністю виключає забруднення навколишнього середовища та має істотні переваги у порівнянні з іншими технологіями. Це дає можливість вважати технологію карбонізації біомаси найкращою доступною технологією для виробництва біовугілля, рідкого біопалива та інших продуктів з нехарчової біомаси. *Бібл. 15, рис. 2, табл. 1.*

Ключові слова: біомаса, біовугілля, рідке біопаливо, торефікація, гідротермальна карбонізація.

Braverman V. Ya., Candidate of Technical Sciences

Renewable Resources Consulting Innovation Center, Odessa

10-B, Marshala Govorova Str., 65063 Odessa, Ukraine, e-mail: braverman@resources.odessa.ua

On the Replacement of Fossil Coal in Local Solid Fuel Boilers

The paper substantiates the need to replace fossil coal in local solid fuel boilers by biocoal produced from various types of agricultural waste. Selection of the best available technology for biocoal production should be based on an integrated assessment including economic, environmental and social aspects. It is noted that direct combustion of agricultural waste does not meet environmental safety standards and also requires significant costs for modernization of existing boiler equipment. It is proposed to produce biocoal from agricultural waste using modern methods of thermochemical treatment – torrefaction and carbonization.

End-products of biomass torrefaction – biocoal pellets or briquettes – have high calorific value, low sulfur and heavy metal contents, and low nitrogen oxide emissions. Hydrothermal carbonization is currently the most advanced biomass processing technology. It completely prevents pollution and has a number of significant advantages over other methods of biomass treatment. These advantages make it possible to consider hydrothermal carbonization to be the best available technology for the production of biochar, liquid biofuel and other products from non-food biomass. *Bibl. 15, Fig. 2, Tab. 1.*

Key words: biomass, biocoal, liquid biofuel, torrefaction, hydrothermal carbonization, best available technology.

References

1. Energy Strategy of Ukraine for the Period until 2035 «Safety, Energy Efficiency, Competitiveness». – <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358> (Ukr.)
2. The National Plan for Reducing Emissions from Large Combustion Plants. Approved by the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November 8, 2017 No. 796-p. – http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245255506&cat_id=245255478 (Ukr.)
3. Braverman V.Ya., Kushneruk V.I., Tretyakova E.V., Shafran L.M. Energy Efficiency, Energy Saving and Health. *Aktual'ni problemi transportnoi medicine [Actual problems of transport medicine]*. 2018. No. 1. pp. 11–23. (Rus.)
4. Perederiy S. Torrefied Biomass: Properties, Technologies, and Future Prospects. – <http://greenergy.com.ua/info-data/torrefitsirovannaya-biomassa-osobennosti-tehnologii-perspektivy/>. (Rus.)
5. Perederiy S. Biocoal: New or Well-forgotten Old? Revival of Hydrothermal Carbonization of Biomass in Europe. *LesPromInform*. 2014. No. 3. (Rus.)
6. Kuzmin S.N., Lyashkov V.I., Kuzmina Yu.S. Unconventional Energy Sources. *Bioenergy*. Moscow : INRA-M, 2016. 129 p. (Rus.)
7. Hydrothermal Carbonization Converts All Types of Biomass into Biocoal. – http://intercentre.de/hydrothermal_carbonization/ (Rus.)
8. Hydrothermal Carbonization. Vapor Hydrothermal Carbonization. – http://intercentre.de/wp-content/uploads/2016/10/Gemeinsame-Prasentation-HTCVTC_rus.pdf (Rus.)
9. Alternative Technologies LLC: Using Hydrothermal Carbonization to Produce Biocoal from Wood Waste and Other Organic Matter. Moscow, 2016. – <http://docplayer.ru/76362193-Proizvodstvo-biouglya-metodom-gidrotermalnoy-karbonizacii-iz-othodov-derevoobrabotki-i-drugogo-organicheskogo-materiala.html> (Rus.)
10. Ingelia's HTC Plant. – <https://ingelia.com/index.php/modelo-negocio/carbonizacion-de-biomassa/?lang=en>
11. Klyus V.P. [Poultry Litter Autothermal Carbonization]. *Vidnovliuvalna energetyka. [Renewable Energy]*. 2015. Iss. 2. pp. 84–87. (Rus.)
12. Cellulosic Ethanol PROESA™. – <http://www.biochemtex.com/en/proesa>.
13. The SUNLIQUID® Process for Converting Straw into Biofuel. – <https://www.clariant.com/en-RU/Innovation/Innovation-Spotlight-Videos/sunliquid> (Rus.)
14. Heli Antila, Chief Technology Officer, Fortum: Resource-efficient Use of Biomass Can Change the World. – <https://fortumforenergyblog.wordpress.com/2018/04/18/resource-efficient-use-of-biomass-can-change-the-world/> (Rus.)
15. Cellulosic Ethanol Technology Formicobio™. – <http://www.chempolis.com/products-services/cellulosic-ethanol-technology-formicobio/>. (Rus.)

Received December 14, 2018