

БРИКЕТИРОВАНИЕ МЕСТНЫХ ТОПЛИВ И ОТХОДОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

М.С. Никишанин, Р.Ш. Загрудинов, П.К. Сеначин

В работе рассмотрены вопросы брикетирования углеродосодержащего сырья на основе местных топлив и отходов различного происхождения. Описаны технология и оборудование для приготовления топливных брикетов для систем индивидуального и централизованного энергообеспечения в сельской местности. Рассмотрена проблема утилизации и использования твердых бытовых отходов для их брикетирования, в том числе с применением механоактивации, и последующей энергетической переработки.

Ключевые слова: брикет, брикетирование, оборудование для брикетирования, местные топлива, твердые бытовые отходы, утилизация, энергетическая переработка, механоактивация.

ВВЕДЕНИЕ

В некоторых районах Алтайского края и других регионах Сибири с малолесистой местностью достаточно остро ощущается недостаток древесного сырья для отопления малоэтажного жилья. В то же время зачастую в этих районах имеется в достаточном количестве местное углеродосодержащее сырье различного происхождения: торф, лигнит, лигнин, отходы сельхозпереработки (лузга подсолнечника, шелуха злаковых культур, древесные опилки или щепа, солома и другое сырье). Например, в Кемеровской области имеются в большом количестве отходы угольного производства (шламы, кеки, дробленый каменный и низкосортный бурый уголь), зачастую переувлажненные и с избытком минеральных включений. Для эффективного сжигания этих отходов нами предлагаются технологии предварительной подготовки и брикетирования углеродосодержащего сырья [1].

Предприятие ООО «Брикетные технологии» создано в г. Барнауле в 2009 г. для промышленного внедрения технологии и производства оборудования для брикетирования и механического обезвоживания углеродосодержащего сырья, отходов углеобогащения, твердых бытовых отходов (ТБО) и прочих материалов, на основе собственных запатентованных разработок [2–4]. К настоящему времени накоплен уникальный опыт промышленного внедрения технологии брикетирования коксовой и полукоксовой мелочи, углей, ТБО и прочих материалов. В течение ряда лет ведутся работы по промышленному изготовлению оборудования, его совершенство-

ванию, внедрению новых технологий брикетирования (как с применением, так и без применения связующих веществ) с использованием собственных разработок, технологий и оборудования, включая технологии глубокой механоактивации исходного материала. В случае повышенных требований к прочности, термостойкости и водостойкости получаемых брикетов и гранул, разработаны комплексные, экологически безопасные связующие материалы (добавка которых в количестве от 1 до 5 % обеспечивает необходимые прочностные показатели) [5].

При этом повышается калорийность брикетов и они лучше растапливаются. В процессе переработки прессуемая масса за счёт прилагаемого давления и трения разогревается до температуры 80–95 °С, в результате чего идёт интенсивное испарение, удаление избыточной влаги и брикет активно набирает прочность.

Брикет (гранула) держит форму до самого конца горения, равномерно, практически полностью выгорая, длительность горения в среднем с полтора раза выше, чем горение угля. КПД котла, топки при работе на брикетах существенно увеличивается, в результате для выработки одинакового количества тепла расход брикетированного топлива на 10–30 % меньше.

Брикетированное топливо можно успешно использовать в существующих котельных и топках промышленного назначения без изменений конструкций котла и системы топливоподачи, а также в индивидуальных бытовых отопительных устройствах малоэтажного жилья. На рисунках 1 и 2 приведены фотографии с примерами сжигания топливных

БРИКЕТИРОВАНИЕ МЕСТНЫХ ТОПЛИВ И ОТХОДОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

брикетов в топках котельных установок и индивидуального жилья.

В настоящее время предприятием ООО «Брикетные технологии» разработано и производится оборудование для изготовления брикетов (линейка установок брикетирования производительностью от 2 до 12 т/час), а также в опытном порядке производятся высококалорийные бездымные экологически безопасные брикеты длительного горения.



Рисунок 1 – Сжигание брикетов в котельной г. Прокопьевска



Рисунок 2 – Горение брикетов в бытовых отопительных устройствах

На рисунке 3 приведена фотография шнекопоршневого пресса линейки БТ. Это оборудование способно производить не только топливные брикеты для котельных установок и бытовых отопительных устройств, но и брикеты специального назначения, в т.ч. для газогенераторов плотного слоя, работающих в составе мини-ТЭЦ и комплексов по производству синтетических жидких топлив (СЖТ) [6], а также специальные брикеты для химических и металлургических производств [7].

УТИЛИЗАЦИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТБО

Твердые бытовые отходы (ТБО) образуются в результате бытовой деятельности населения. Состав и объем городских ТБО зависит от страны, местности, времени года и других факторов: бумага и картон до 40 %, далее в городах – органические (включая пищевые) отходы до 20 %; металл, стекло и пластик - по примерно 10 %; дерево, текстиль, резина и кожа по 3–5 % от общего количества [6, 8].

По статистике каждый житель выбрасывает около 200–250 кг бытовых отходов в год, а город с населением 500 тыс. человек ежедневно производит примерно тысячу тонн ТБО. Объем ТБО в России увеличивается и уже представляет экологическую угрозу. Любая задержка с обезвреживанием и уничтожением мусора может привести к появлению серьезных заболеваний и катастрофическому загрязнению. Ежегодно в России появляется более 40 млн. тонн отходов, которые вывозятся и подвергаются захоронению на необорудованных в соответствии с современными требованиями свалках. Площадь, отведенная под свалки, достигает 2,5 тысячи квадратных километров, на которых уже находятся около 90 млрд. тонн различных отходов.

Накопление и складирование таких отходов не только наносит существенный ущерб экологии и земельным ресурсам, но и крайне невыгодно с экономической точки зрения, так как на их основе могут быть получены высококачественные топливные брикеты, с заданными техническими свойствами и геометрическими параметрами.

Наверное, одной из серьезных проблем затрудняющих утилизацию ТБО в России является отсутствие отлаженной системы их сепарации. Во-первых, полностью отсутствует сепарация мусора в местах его сбора, т.е. распределение характерного мусора по различным бакам самими жителями, которая практически отлажена в развитых странах мира. Хотя, следует отметить, что в СССР принимались попытки внедрения этой схемы, но она всё-таки не прижилась. Вся обработка ТБО на полигонах сводится к неорганизованному сбору из наваленных куч мусора ряда его компонентов, представляющих ценность в качестве утильсырья для возврата их в жизненный цикл, таких как цветной металл, пластиковые контейнеры и РЕТ-тара и пр. А вся остальная часть мусора прессуется бульдозерами, на которые наваливается следующий слой. Поэтому практика широкого внедрения технологий получения из смешанного

ТБО более ценного промежуточного продукта с высоким энергетическим потенциалом и

готового к переработке является насущной необходимостью.



Рисунок 3 - Промышленный шнекопоршневой пресс БТ-3М для производства брикетов, производительностью 2-3 т/час

В настоящее время основным способом термической переработки ТБО является их прямое сжигание. По некоторым данным сегодня в мире эксплуатируется более 2 тыс. установок, сжигающих ТБО на механических колосниковых решетках, около 200 топок для термической переработки отходов в кипящем слое, примерно 20 барабанных печей, в основном цементных, где сжигают ТБО, а также, единичные установки с использованием пиролиза и газификации [8].

При этом практически все мировые энергоустановки используют обработанные ТБО, так называемый RDF (Refuse Derived Fuel). Топливо RDF используется в качестве частичного замещения основного вида топлива, например, для сжигания в цементных печах и энергетических установках в теплоэлектростанциях, а также на заводах по изготовлению строительных материалов. Высокие температуры, используемые в этих производствах, дают возможность сжигать этот вид топлива, не причиняя серьезного ущерба окружающей среде.

Следует заметить, что в России производство RDF практически отсутствует и, поэтому, все действующие мусоросжигательные котлы, расположенные в незначительном количестве у полигонов мегаполисов, работают на смешанных несортированных бытовых отходах, при этом только часть из них используют технологии, в которых практиче-

ски решены экологические проблемы [9–11].

RDF – топливо, полученное путем измельчения, сепарации и обезвоживания твердых бытовых отходов, с применением технологий их преобразования. В процессе сепарации и преобразований из отходов отбирается горючая и с высокой теплотой сгорания фракция. В зависимости от требований оборудования, для которого предназначается этот вид альтернативного топлива, RDF может быть приготовлен в измельченном состоянии, в виде пеллет или в виде спрессованных брикетов. Этот метод переработки ТБО появился в середине прошлого века и пользуется популярностью в технологически развитых странах.

Анализ литературы по топливу RDF показывает, что к этому классу топлива относятся практически все виды топлив, полученные из ТБО, без различия каким путём они получены. Причём предварительный этап приготовления RDF, так называемый «front-end» является общим для всех способов его производства. Состав оборудования системы «front-end» в развитых странах, то есть наличие сепарации прочных негорючих материалов, включая магнитных, измельчителей, грохотов, воздушных классификаторов, баллистического сепаратора, сепарации с использованием инфракрасных и рентгеновских лучей и пр. во многом зависит от композиционного состава ТБО, как сырья. По сути дела на

БРИКЕТИРОВАНИЕ МЕСТНЫХ ТОПЛИВ И ОТХОДОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

этом начальном этапе происходит первичное облагораживание ТБО и его подготовка к следующему этапу. Существующая сложившаяся в мире практика производства RDF из муниципальных твердых отходов (MSW) показывает, что схема производства состоит из ряда различных процессов, в целом включающих [5, 12]:

- первичную сепарацию у источника ТБО (на месте сбора производится отбор части стекла, металла, бумажно-картонных изделий и пищевых отходов в отдельные контейнеры);
- транспортировку ТБО к месту переработки и хранение;
- сортировку (автоматическую, полуавтоматическую или ручную) или механическую сепарацию;
- уменьшение размера (дробление, измельчение и размол);
- сепарацию и грохочение (с возвратом крупных фракций свыше 50 мм на повторное измельчение);
- смешивание всей измельченной массы;
- сушку и изготовление пеллетов или брикетов (этот процесс может включать в себя предварительную термическую обработку, а вид конечной продукции определяется техническими условиями потребителя);
- упаковку и складирование.

Обычно, перед измельчением смешанный материал (ТБО) подвергается грохочению для извлечения части, возвращаемой на повторное использование (например, металлы), инертной части (такие, как стекло) и отделяют влажную органическую биомассу способную к гниению (например, пищевые и растительные отходы) имеющую высокие значения влажности и зольности. Последняя часть, то есть влажная органическая биомасса может быть отправлена на дальнейшую обработку, такую как, компостирование или анаэробную переработку и могут быть использованы для улучшения почвы или просто захоронены. В некоторых случаях, органический материал может быть высушен в процессе биологической обработки (так называемый, процесс «сухой стабилизации»). Крупные фракции или отбрасываются или возвращаются на измельчение. Средние фракции, содержащие бумагу, картон, древесину, пластмассу и ткани можно сжигать сразу как сырое необработанное топливо (с-RDF) или высушивать и пеллетизировать (или брикетировать) в плотный RDF (d-RDF). Решение по переработке в пеллеты обычно принимается из условий хранения и наличия средств их сжигания.

Главным показателем качества топлива RDF для потребителя является его теплота сгорания и она в большей степени зависит от содержания в отходах горючих фракций. Средние значения теплоты сгорания топлива RDF лежат в пределах от 12 до 18 МДж/кг. Существуют методы увеличения теплоты сгорания топлива на конечной стадии процесса его производства. В него могут добавляться искусственные компоненты, обладающие более высокой теплотой сгорания. Это может увеличить область применения RDF, но при этом возрастает стоимость конечного продукта.

Следующим немаловажным показателем качества топлива RDF при его производстве и применении являются экологические последствия его использования. Должен проводиться серьезный анализ компонентов, входящих в состав топлива и продуктов его утилизации (условий сжигания или газификации). В этом случае, при анализе морфологического и элементного состава исходного ТБО, следует прогнозировать состав RDF и условия его утилизации для исключения попадания вредных веществ в RDF или же в оборудовании энергоустановки предусмотреть дополнительные средства очистки (с учетом экономической оценки вариантов).

Важным фактором является также и количественный показатель производства RDF, производимого из одной тонны ТБО (MSW), который меняется в зависимости от типа сбора (состава ТБО) и качественных требований к процессу обработки. Информация из обзора [10] показала, что уровень производства RDF из ТБО варьируется между 23 и 50 % от веса отходов в зависимости от используемого процесса обработки.

В зависимости от состава измельченного и сепарированного ТБО следующим этапом приготовления RDF может быть выбран один из следующих методов:

- термическая переработка;
- биологическая переработка (аэробное или анаэробное сбраживание).

Биологическую переработку мы здесь не рассматриваем, так как целью данной статьи является рассмотрение предложений по производству брикетов из ТБО в установке, интегрированной в схему газификации. При этом в процессе изготовления брикетов из ТБО используется тепло, полученное при газификации этих же брикетов в газогенераторах плотного слоя.

По термической обработке можно рассмотреть два подхода.

- Торрефикация («обжарка» материала

без доступа окислителя) измельчённого отсепарированного ТБО. В свою очередь, здесь могут существовать две схемы:

– «Обжарка» материала производится во вращающейся барабанной печи, оборудованной горелкой с форкамерой, где сжигается часть генераторного газа. Режим поддерживается автоматически по температуре дымовых газов за печью. Газ выжигается в форкамере таким образом, что материал не соприкасается с открытым пламенем. Далее материал отправляется на брикетирование.

– Вторым источником тепловой энергии для торрефакции может служить часть дымовых газов за второй зоной трёхзонного газогенератора (выносной камеры сгорания), конструкция которой описана в [11]. При этом термическая обработка (торрефакция) сопровождается нагревом в инертной среде до температуры 200–250 °С, при которой происходит определённое обезвоживание полуфабриката, обугливание древесины и плавление пластика.

• Брикетирование измельчённого сепарированного ТБО по традиционной схеме ООО «Брикетные технологии» с максимальным прогревом брикетов до 200–250 °С и использованием внутреннего тепла, полученного при газификации. При этом процесс брикетирования происходит без добавления связующих – эту функцию выполняет размягчённый пластиковый материал.

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ БРИКЕТИРОВАНИЯ

В последние годы предприятием ООО «Брикетные Технологии» были проведены многочисленные исследования по получению брикетов, окускованного топлива из различных материалов. Целью всех этих исследований была разработка и оптимизация различных технологических операций по брикетированию на основе различных связующих материалов [5].

В последнее время нами проводились исследования и разработки технологий брикетирования с применением новых методов физико-химического воздействия:

- механоактивации;
- управляемых температурных воздействий;
- механической вибрации;
- ультразвуковой вибрации и других.

При этих воздействиях в отдельных случаях дополнительно применялись смазывающие материалы или материалы с малым сопротивлением трения.

Дополнительно по каждому типу получаемых брикетов исследовались их прочностные и теплотехнические характеристики и определялись области применения.

Результатом этих исследований являются разработанные технологические операции по недорогим и эффективным способам снижения влажности материалов, механического обезвоживания, комбинирования материалов различной исходной влажности и производства брикетов без добавления связующих.

Разрабатывались также технологии брикетирования, где в качестве связующего материалов использовались компоненты отходов производства. Такими материалами были полиэтилен, пластики в составе ТБО, лигнин и другие. Был проработан и процесс брикетирования измельчённого ТБО в шнековом прессе без добавления связующих, но с использованием содержащихся в брикетируемой массе пластиковых материалов (рисунок 4).

Новым предложением для брикетирования углеродосодержащих материалов является способ с применением **механоактивации**.

Активация измельчением (механоактивация) - способ интенсификации физико-химических процессов. В её основе лежит изменение реакционной способности твёрдых веществ под действием механических сил.

Многообразные физические воздействия, сопровождающие удар, трение, воздействие знакопеременным давлением, в конечном счете, превращаются в физико-химические явления. Удар, трение, давление – основные способы механического воздействия на твёрдые материалы при измельчении. Они вызывают следующие физические явления:

- инициируют излучение электромагнитных волн в широком диапазоне, а также звуковых волн в материале и окружающей среде;
- производят тепло (теплоту как форму передачи энергии), вызывающее разогрев измельчаемого материала;
- вызывают эмиссию электронов и создают разность потенциалов;
- приводят к нарушению сплошности материала и увеличивают свободную поверхность вещества (за счет образования микропор);
- вызывают упругие и пластические деформации в материале.

Релаксация деформаций и остаточных напряжений в твёрдых телах при невысокой температуре протекает достаточно медлен-

БРИКЕТИРОВАНИЕ МЕСТНЫХ ТОПЛИВ И ОТХОДОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

но, и, следовательно, вещество подвергнутое действию механических сил, какое-то время обладает запасом «избыточной» энергии.

Через нарушение сплошности измельчаемого материала, происходит разрыв химических связей в веществе (механолиз, механокрекинг и т.п.). При дальнейшем тонком измельчении может возникнуть перестройка структуры вещества (изменение кристаллической решётки, появление дефектов кристаллической решетки, аморфизация структуры). При этом изменяются термодинамические характеристики вещества и его реакционная способность.

Общий физико-химический смысл механоактивации рассмотрен в монографии В.И. Молчанова и др. [13]. В последние годы исследователи уделяют все возрастающее внимание механической активации материалов, например [14, 15].

Активация измельчением позволяет усовершенствовать, существующие способы переработки полезных ископаемых, определить совершенно новые технологические схемы комплексного использования ресурсов. С помощью интенсификации физико-химических процессов механическим воздействием можно улучшить качество шихты, снизить технологические параметры спекания, автоклавной обработке и т.д.

В процессе воздействия на исходный угольный материал, происходит его дополнительное измельчение методом резки, трением, активным перемешиванием под давлением. При этом возможно измельчение замороженной угольной массы с разогревом на выходе до 90–95 град С, а при необходимости и более, в результате воздействия на материал и его разогрева происходит активное испарение влаги, что способствует осушению, обезвоживанию материала, повышению его пластических свойств и в последующем более лучшему уплотнению, брикетированию, ускоренному повышению прочности. То есть получение брикета лучшего качества с меньшими затратами энергии при прессовании, большей производительностью, с меньшей нагрузкой на пресс, что способствует увеличению моторесурса прессового оборудования.

В отдельных случаях получение качественного брикета без дополнительной

механоактивации в принципе невозможно.

Нами апробирован и предложен принципиально новый подход к вопросу подготовки угольной смеси, получения, брикетирования, гранулирования твердого топлива. Новизна состоит в повышении пластических свойств исходной массы за счёт **активного перемешивания под давлением, измельчения резкой и перетирированием брикетируемой массы, с повышением температуры до 90–95 °С**, а в необходимых случаях с применением гораздо более высоких температур. Это позволяет проводить измельчение и пластификацию материала (что влияет на снижение энергозатрат при гранулировании, брикетировании) и активировать материал (повысить его реакционную способность в процессе гранулирования или брикетирования).

Это дает возможность:

- 1) работать при повышенной влажности исходного сырья;
- 2) снизить энергозатраты на производство и прессование материала;
- 3) повысить на 15–30 % качество, плотность, прочность выпускаемого топлива;
- 4) повысить производительность прессового оборудования.

Предприятием ООО «Брикетные технологии» разработан, изготовлен, испытан и успешно применяется смеситель-измельчитель-механоактиватор типа СИМ-1 (рисунок 5).

Одним из предложений предприятия ООО «Брикетные технологии» является получение уплотнённого, спрессованного материала, но не в классическом понимании как брикет или гранула, а в виде пластин оптимальной толщиной от 3 до 35 мм. Получение такого углеродосодержащего топлива позволяет объединить два процесса в одном аппарате, устройстве. При этом в результате выше указанного воздействия на угольный материал, происходит его интенсивный разогрев, перемешивание, усреднение состава и полученный на выходе пластинчатый угольный материал, который интенсивно охлаждается, испаряется влага и получается плотный, достаточно прочный пригодный для непосредственного использования в котельном, топочном устройстве, топливный элемент, или в классическом понимании «пластинчатый брикет».

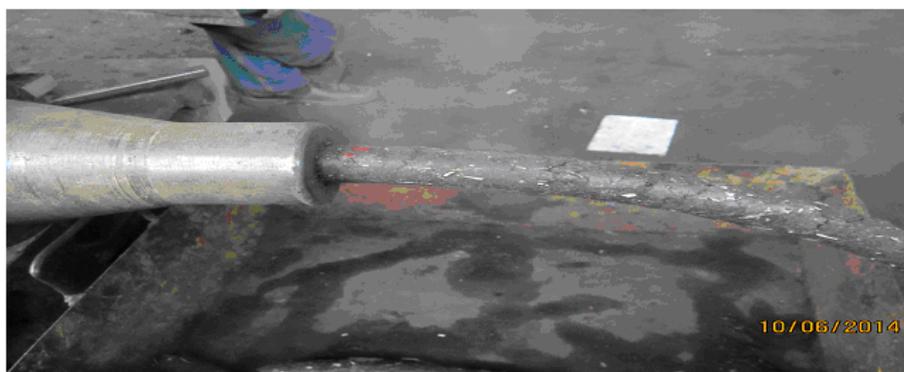


Рисунок 4 - Неразрезанный брикет, получаемый из ТБО



Рисунок 5 - Механоактиватор СИМ-1, производительностью до 15 т/час

ВЫВОДЫ

– Предлагаемая организация производства топливных брикетов является гибкой, производительность оборудования и объемы производства могут варьироваться в широком диапазоне в зависимости от вида и количества конкретного сырья, потребностей заказчика и его финансовых возможностей.

– В настоящее время в Алтайском крае и других регионах России имеется большое количество не используемых в местной энергетике органических материалов (сырья и отходов различного происхождения), которые возможно применить для получения брикетированного топлива, сорбентов и для других целей.

– Для решения вышеперечисленных задач остро стоит вопрос в создании завода по выпуску современного, достаточно уникаль-

ного оборудования для механического обезвоживания, вытеснения жидкости, брикетирования, гранулирования угольных, коксовых, полукоковых материалов, а также отходов сельского хозяйства, животноводства, торфа, иловых осадков, ТБО и прочего сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никишанин, М. С. Разработка технологии и комплекса подготовки коксовых брикетов / М. С. Никишанин, Е. М. Пузырев, К. С. Афанасьев // Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики (ЭЭТПЭ-2007): Матер. Всерос. научно-практ. конф. / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, 17-20 октября 2007 г. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2007. – С. 116–117.

2. Пат. 2298028 (РФ). Способ получения топливных брикетов / Головичев А. И, Никишанин М. С., Магера В. С., Жарков. С. В. – Заявка 2006101271. Действует с 16.01.2006. Зарегистрирован в ГР изобретений РФ 27.04.2007.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1 2016

БРИКЕТИРОВАНИЕ МЕСТНЫХ ТОПЛИВ И ОТХОДОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

3. Пат. ПМ 87318 (РФ). Установка для сушки / Пузырев Е. М., Лурий В. Г., Голубев В. А., Никишанин М. С. – Заявка 2009123127. Действует с 18.06.2009. Зарегистрирован в ГР ПМ РФ 10.10.2009.

4. Пат. ПМ 87386 (РФ). Шнековый пресс для удаления жидкости из продуктов (варианты) / Никишанин М. С., Пузырев Е. М., Лурий В. Г. и др. – Заявка 2009124639. Действует с 30.06.2009. Зарегистрирован в ГР ПМ РФ 10.10.2009.

5. Никишанин, М. С. Углеродосодержащие брикеты на разных связующих веществах, их теплотехнические характеристики и использование в газогенераторах / М. С. Никишанин, П. К. Сеначин // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 305–311.

6. Загруддинов, Р. Ш. Подготовка и газификация твердых бытовых отходов в двухзонных газогенераторах прямого процесса, работающих в составе мини-ТЭЦ и комплексов по производству синтетических жидких топлив / Р. Ш. Загруддинов, В. Н. Нигуторов, Д. Г. Малыхин, П. К. Сеначин, М. С. Никишанин, С. А. Филипченко // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4/3. – С. 47–62.

7. Никишанин, М. С. О возможности использования безобжиговых брикетов на основе коксовой мелочи в литейном производстве / М. С. Никишанин, Е. Г. Григоркин, В. М. Динельт, В. И. Ливенец // Известия вузов. Черная металлургия. – 2008. – № 2. – С. 67–68.

8. Утилизация твёрдых отходов / под ред. Д. Вилсона: в двух томах. – М.: Стройиздат, 1985. – Том 1. – 336 с., Том 2. – 348 с.

9. Загруддинов, Р. Ш. Слоевые газогенераторы для региональной энергетики / Р. Ш. Загруддинов, А. Ф. Рыжков, Т. Ф. Богатова, Д. Г. Малыхин, А. В. Попов, В. Н. Нигуторов // Электрические станции. – 2012. – № 10. – С. 42–49.

10. Попов А. В., Рыжков А. Ф., Силин В. Е. Исследование процессов многозонной газификации

биомассы / «Горение твёрдого топлива»: Сборник докладов VI Всероссийской конференции (с участием иностранных учёных). Часть 3. – Новосибирск, ИТ СО РАН, 8-10 ноября 2006 г. – С. 126–136.

11. Попов, А. В. Управляемый процесс газификации биомассы / А. В. Попов, А. Ф. Рыжков // Промышленная энергетика. – 2008. – № 1. – С. 27–31.

12. Загруддинов, Р. Ш. Технологии газификации в плотном слое: монография / Р. Ш. Загруддинов, А. Н. Нагорнов, А. Ф. Рыжков, П. К. Сеначин и др.; под ред. П. К. Сеначина. – Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2009. – 296 с.

13. Молчанов, В. И. Активация минералов при измельчении / В. И. Молчанов, О. Г. Селезнева, Е. Н. Жирнов. – М.: Недра, 1988. – 208 с.

14. Соломинцев, С. Ю. Влияние механической активационной обработки компонентов шихты системы Ni-Al-добавки в производстве пористых материалов методом СВС / С. Ю. Соломинцев // Ползуновский вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 144–148.

15. Бурдуков, А. П. Использование механоактивированных углей микропомола в энергетике / А. П. Бурдуков, В. И. Попов, В. А. Фалеев, Т. С. Юсупов // Ползуновский вестник. – 2010. – № 1. – С. 93–98.

Никишанин М.С., директор ООО «Брикетные технологии», г. Барнаул, e-mail: mc17@yandex.ru.

Загруддинов Р.Ш., к.т.н., зам. директора ООО «Новые энергетические технологии», г. Рязань, e-mail: ravzag@yandex.ru.

Сеначин П.К., д.т.н., профессор Алт. гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, в.н.с. Ин-та теплофизики СО РАН, e-mail: senachinpk@mail.ru.