

УДК 662.743

Губинский М.В., Шишко Ю.В., Шевченко Г.Л., Усенко А.Ю.,
Федоров С.С., Кремнева Е.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ОТХОДОВ БИОМАССЫ В ПЛОТНОМ СЛОЕ

Использование отходов биомассы в энергетических целях в последнее время вызывает в нашей стране все больший интерес. Это обусловлено не только повышением цен на ископаемые виды топлив, но еще и тем, что биомасса является CO_2 – нейтральным топливом, а значит, ее использование позволит снизить эмиссию парниковых газов в атмосферу по сравнению с углем и газом.

Теоретические основы переработки органических отходов сельского хозяйства и промышленности изучены достаточно подробно [1,2] и при переходе к практическому применению основной задачей является разработка малозатратных процессов и технологий, позволяющих получать энергию с низкой себестоимостью, способную конкурировать с энергией из ископаемых видов топлива.

Данные исследования являются этапом создания комплексной технологии переработки органических отходов промышленности и сельского хозяйства для совместного производства тепловой и электрической энергии.

В качестве сырья для предлагаемой технологии могут быть использованы любые мелкодисперсные органические отходы сельского хозяйства и промышленности, например, лузга подсолнечника, скорлупа грецкого ореха, гречневая и просяная шелуха, опилки, за исключением рисовой шелухи, имеющей высокую (до 20 %) зольность, что отрицательно влияет на качество углистого остатка [1].

Технология основана на двухстадийном процессе переработки биомассы. На первой стадии сырье проходит термическую обработку в процессе пиролиза в реакторе шахтного типа, в котором организуется режим фильтрационного горения в плотном слое [3], с образованием углистого остатка. На второй стадии углистый остаток может подвергаться газификации, причем, технически оба процесса могут быть проведены в одном реакторе.

В процессе пиролиза сырья получается пиролизный газ, который используется в энергетическом или технологическом агрегате для замены природного газа, либо для энергетического обеспечения процесса (подогрева воздуха, подогрева топлива, получения пара). Одним из основных условий эффективного использования пиролизного газа является его сжигание в горячем состоянии, что позволяет полностью использовать энергетический потенциал конденсирующихся компонентов.

Углистый остаток, полученный на первой стадии процесса, может быть реализован как самостоятельное сырье для производства, например, топливных древесно-угольных брикетов, а может быть подвергнут паровой активации (прямо в реакторе) и реализовываться уже в виде активированного угля.

Генераторный газ, получаемый в процессе газификации, может использоваться для питания двигателя внутреннего сгорания.

Преимуществами двухстадийного процесса является возможность получения газа с низким содержанием смол без применения в схеме системы очистки.

В работе проведены экспериментальные исследования двухстадийного процесса пиролиза и газификации скорлупы грецкого ореха с насыпной плотностью 400 кг/м^3 , и шелухи гречки с насыпной плотностью 150 кг/м^3 в плотном слое в режиме фильтрационного горения.

Для исследования процесса пиролиза в плотном слое была создана пилотная установка, представленная на рисунке 1.

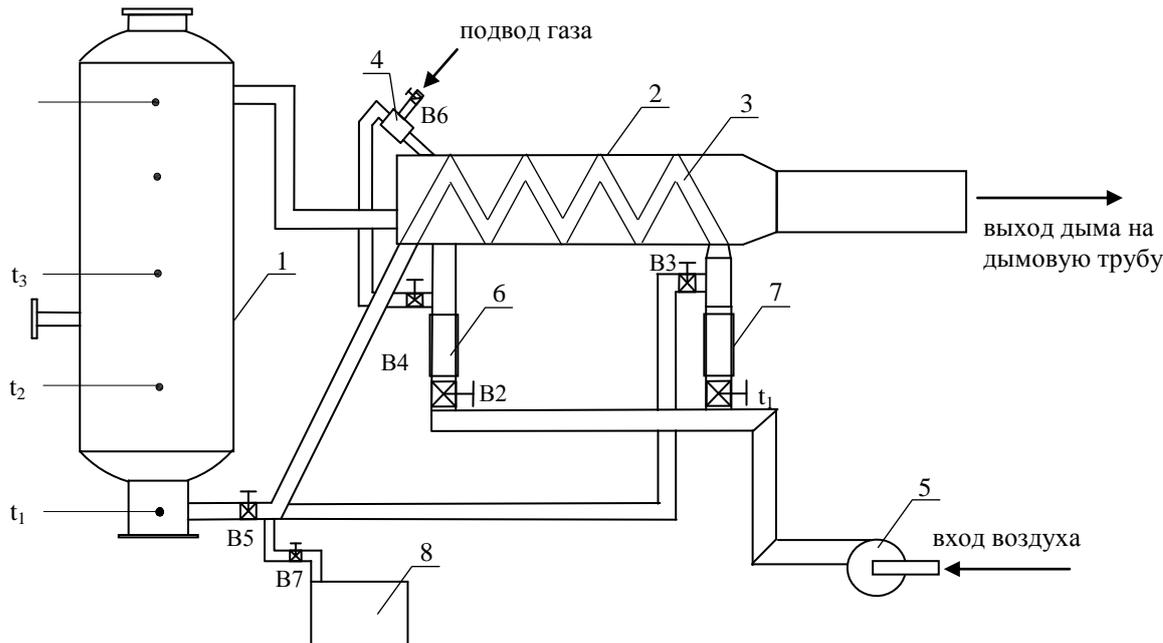


Рисунок 1 – Схема пилотной установки по исследованию процесса пиролиза отходов биомассы в плотном слое:

- 1 – камера-реактор; 2 – горелочный тоннель; 3 – воздухоподогреватель; 4 – дежурная горелка;
5 – воздуходувка; 6, 7 – счетчики газа; 8 – парогенератор

Загрузка исходного сырья производилась через крышку в верхней части камеры-реактора 1, после чего крышка закрывалась. Габаритные размеры реактора: высота 700 мм, диаметр 300 мм. Масса загружаемой биомассы ~ 20 кг.

Запуск установки начинался с разогрева материала воздухом, нагретым до температуры 100–120 °С.

Нагрев воздуха производился в воздухоподогревателе 3, который размещен в горелочном тоннеле 2. Для разогрева воздуха в начальный момент запуска установки использовалась дежурная горелка 4, работающая на природном газе. Расход природного газа на процесс составлял 1–1,5 м³.

После равномерного прогрева слоя отходов до температуры 50 °С производился поджиг слоя. Фронт горения в слое исходного сырья двигался сверху вниз, навстречу потоку воздуха. Образующийся в процессе пиролизный газ отводился в горелочный тоннель 2 и дожигался. Стабильность горения пиролизного газа поддерживалась горелкой 4. Полученные в процессе дожигания дымовые газы отводились в дымовую трубу.

Подача воздуха в камеру-реактор 1 и в горелочный тоннель 2 осуществлялась с помощью воздуходувки 5, для измерения расходов воздуха, поступающего в слой отходов биомассы и на горение, использовались счетчики газа 6 и 7.

Регулирование температуры воздуха на входе в камеру-реактор 1 производилось подмешиванием холодного воздуха, контроль температуры осуществлялся с помощью термоэлектрического термометра t_1 типа ХА с диаметром электродов 0,2 мм. Для контроля за общим ходом процесса по высоте камеры-реактора были установлены термоэлектрические термометры t_2 , t_3 и t_4 .

После завершения процесса пиролиза в полученный древесный уголь с целью его активации подавался пар из парогенератора 8 путем подмешивания пара в воздух. Продолжительность подачи пара составляла около 2 часов. После завершения процесса активации подача паровоздушной смеси прекращалась, камера-реактор 1 герметично

закрывалась и уголь остывал естественным путем. Затем открывалась нижняя крышка камеры-реактора 1, уголь выгружался в герметичную емкость.

Так как рабочий диапазон температур в установке составляет 200–1000 °С, все элементы установки были теплоизолированы.

По окончанию процесса производился отбор проб углистого остатка на анализ. После охлаждения реактора производилось взвешивание углистого остатка.

Была проведена серия, состоящая из 8 экспериментов. На первом этапе экспериментов был установлен диапазон изменения расхода воздуха, в котором в дальнейшем проводились исследования. Критерием выбора расхода воздуха являлся температурный режим и скорость протекания процесса. Для исследуемого сырья удельный расход воздуха составил $0,4 \div 1,5$ кг/кг сырья.

В ходе экспериментальных исследований процесса пиролиза в плотном слое в режиме фильтрационного горения были получены параметры, позволяющие вести автотермический процесс, требующий энергетического обеспечения только в начальный промежуток времени – при запуске установки, то есть, в момент поджига слоя. После стабилизации выхода пиролизного газа его сжигание происходило без дополнительной подачи природного газа, вторичный воздух на сжигание пиролизного газа подавался в соотношении 4:1.

Важными параметрами процесса являются вид фронта горения и равномерность движения фронта по сечению слоя, которые определяются равномерностью поджига поверхности слоя биомассы и распределением потока воздуха по сечению установки и не зависят от площади поперечного сечения реактора.

Скорость перемещения фронта горения по высоте слоя определялась по изменению температуры в слое, которое фиксировалось термопарами. При подаче воздуха фронт горения, первоначально расположенный на поверхности слоя, смещается навстречу потоку воздуха, а за фронтом горения остается твердый углистый остаток. При движении фронта горения слой топлива последовательно проходит стадии нагрева, сушки и выхода газообразных компонентов. Выделившиеся газообразные вещества по химическому составу содержат CO_2 , H_2 , H_2O , CH_4 , CO , O_2 , смолы и другие органические соединения, которые реагируют с кислородом воздуха, образуя фронт горения, температура в котором достигает 600–700 °С. Скорость прохождения фронта горения по высоте слоя составила 6–16 см/час.

По окончании процесса пиролиза всего слоя, при дальнейшей подаче воздуха, начинался процесс газификации коксового остатка, который сопровождался повышением температуры в нижней части слоя до 950–1050 °С. В процессе пиролиза факел в горелке для сжигания пиролизного газа имеет соломенный цвет, ввиду наличия значительного количества смол. При переходе к процессу газификации коксового остатка светимость факела падает и он становится голубого цвета. Отсутствие смол в газе, получаемом в период газификации, делает возможным использование этого газа в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания.

Основными продуктами процесса пиролиза являются пиролизный газ, теплота сгорания которого составляет 14–16 МДж/кг, температура – 450–600 °С и углистый остаток. Для скорлупы грецкого ореха оптимальный удельный расход воздуха, соответствующий максимальному выходу газа, составляет 0,8–1,2 кг/кг. Дальнейшее увеличение расхода приводит к увеличению свободного воздуха в пиролизном газе и снижению температуры в камере-реакторе. Для шелухи гречки наблюдается практически пропорциональная зависимость между расходом воздуха и интенсивностью выхода пиролизного газа. Верхний предел расхода воздуха ограничивается скоростью уноса частиц углистого остатка из камеры-реактора и составляет 3,5–7,0 кг/кг. Температура слоя в процессе пиролиза при таком расходе воздуха находится в диапазоне 650–750 °С.

Базовим результатом процесу є одержання деревного вугля та фізическої теплоти продуктів згорання піролізного газу. В подальшому кожен споживач, виходячи з потребностей свого виробництва, може використовувати фізическу теплоту продуктів згорання піролізного газу для одержання теплової енергії в формі гарячої води та (або) пари на технологію або побутові потреби, для підігріву повітря, а коксовий залишок може бути використаний за наступними напрямками:

- як самостійне тверде паливо;
- як вихідне сировина для наступної газифікації або активації;
- для внесення в ґрунт.

Ефективність останнього напрямку виражається двома основними факторами. По-перше, з вуглецевого балансу виводиться частина вуглецю, яка потрапляє в ґрунт. По-друге, наявність в ґрунті вуглецевого залишку дозволяє затримувати мінеральні добрива, які легко вимиваються та розчиняються водою. Цей напрямок інтенсивно розвивається в країнах з суттєвою часткою «бідних» ґрунтів. Однак ця технологія може бути використана та в країнах з «багатими» ґрунтами, для їх ефективного відновлення після вирощування певного виду культур, наприклад, кукурудзи, підсопличника та ін., які в процесі росту виснажують ґрунт.

Висновки

Проведені дослідження процесу переробки біомаси є етапом створення технології комплексної переробки біомаси та її відходів. Виконані експериментальні дослідження двохстадійного процесу піролізу та газифікації скорлупи грецького горіха та гречаної шелухи в щільному шарі в режимі фільтраційного горіння, дозволяють вибрати раціональні режими ведення процесу піролізу біомаси та наступної утилізації теплоти піролізного газу.

Представлена технологія придатна для переробки мелкодисперсних відходів сільськогосподарського та промислового призначення та дозволяє одержувати кінцевий продукт процесу в залежності від потреб споживачів.

Література

1. Левин Э.Д. Теоретические основы производства древесного угля. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 152 с.
2. Miller, R. S. and Bellan, J., 1997. A generalized biomass pyrolysis model based on superimposed cellulose, hemicellulose and lignin kinetics. Combust. Sci. and Tech. 126, 97–137.
3. Степанов, С.Г. Автотермическая технология получения углеродных сорбентов / С.Г. Степанов, А.Б. Морозов, С.Р. Исламов // Кокс и химия. – 2003. – № 7. – С. 48–55.

УДК 662.743

Губинський М.В., Шишко Ю.В., Шевченко Г.Л., Усенко А.Ю.,
Федоров С.С., Кремнева К.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІРОЛІЗУ ВІДХОДІВ БІОМАСИ В ЩІЛЬНОМУ ШАРІ

У статті наведено результати експериментальних досліджень процесу піролізу скорлупи грецького горіха та гречаної лушпиння в щільному шарі в режимі фільтраційного горіння. Встановлено закономірності руху фронту горіння по висоті шару. Отримані результати дозволяють вибрати раціональні режими проходження процесу піролізу біомаси та подальшої утилізації теплоти піролізного газу.