

## **СО<sub>2</sub>-отрицательные технологии термохимической конверсии биомассы** **Хутская Н.Г., Пальченок Г.И.**

Белорусский национальный технический университет

*Пиролиз биомассы* – процесс термического разложения органической массы без доступа кислорода с образованием конденсирующихся (высокомолекулярные органические соединения – смолы, Н<sub>2</sub>О) и неконденсирующихся газов (Н<sub>2</sub>, СО, СН<sub>4</sub>, СО<sub>2</sub>) и твёрдого продукта – биоугля (в частности, древесного угля), соотношение между которыми является функцией температуры, давления и скорости нагрева сырья.

Пиролиз является обязательной первой стадией других процессов термохимической конверсии (сжигания, газификации), протекающей последовательно за сушкой частицы сырья (малые числа Био,  $Bi < 1$ ) или существенно перекрываясь с ней во времени ( $Bi > 10$ ).

Связывание биоуглерода, полученного в результате пиролиза биомассы, в составе стабильных соединений, позволяет снизить выброс СО<sub>2</sub> в атмосферу, что превращает биомассу из СО<sub>2</sub>-нейтрального топлива (с учетом равновесного поглощения диоксида углерода живыми растениями) в СО<sub>2</sub>-отрицательное.

*Использование биоугля для улучшения почвы* привлекло в последнее внимание, как одно из перспективных направлений развития "зеленой" энергетики [1]. Внесение в почву твёрдых продуктов пиролиза растительной биомассы (отходы древесины, растениеводства, навоз, кости) может использоваться для реабилитации почвы и повышения её плодородия. В результате возрастает урожайность зерновых культур; повышается способность почвы удерживать воду; снижается необходимое количество вносимых удобрений; возрастает рН почвы (раскисление); повышается катионообменная способность почвы (ЕКО), снижается утечка питательных компонентов; улучшаются условия для размножения земляных червей; связанный углерод "консервируется" в почве, не превращаясь в СО<sub>2</sub>.

Представляет интерес использование реабилитационной способности биоугля в отношении повышения продуктивности бедных почв (песчаников, обработанных торфоразработок), на которых выращиваются энергетические посадки. В пользу этого подхода свидетельствует положительный опыт Швеции, где летучая зола от сжигания биомассы используется в качестве удобрения для лесопосадок. Экономическая целесообразность использования биоугля в агротехнике зависит от его одобрения в рамках Механизма чистого развития (МЧР) Киотского протокола (ст. 12) в качестве средства "сертифицированного сокращения выбросов" парниковых газов.

*Производство углеродных наноматериалов из биомассы.* Сдерживающими факторами широкого внедрения углеродных наноматериалов (УНМ), в частности, углеродных нанотрубок (УНТ) является низкая производительность (от ~ 1 мг /сут. до ~ 1 г/ч) известных технологий их получения и, соответственно, высокая стоимость.

Известен зарубежный опыт (РФ, Китай, Франция) синтеза УНТ из метана и непредельных углеводородов в кипящем слое частиц Fe/Mo/Ni-катализаторов при температуре 600-700 °С и атмосферном давлении [2, 3]. В результате образуются наноагломераты, состоящие из спутанных УНТ с внешним диаметром ~ 10 нм и длиной несколько мкм. Содержание УНТ (преимущественно многостенных) в получаемом углеродном продукте составляет 70-80 %. По мере осуществления процесса синтеза исходный материал КС – катализатор замещается наноагломератами. Производительность лабораторного реактора диаметром 50 мм достигает 2 кг/сут. при выходе УНТ до 80%. Сообщается о реакторах единичной мощностью до 50 кг/сут. Это позволяет резко снизить стоимость УНМ. Недостатком описанного метода является использование в качестве сырья продуктов переработки природного газа и нефти.

Техническая возможность получения УНТ из продуктов пиролиза древесины и отходов пластмасс в двухступенчатом реакторе кипящего слоя впервые экспериментально показана в [2, 3]. Данный метод позволяет резко снизить себестоимость такого высокотехнологичного продукта как УНТ за счет использования дешевого местного возобновляемого сырья и упрощения технологического процесса.

При термохимической конверсии биомассы образуются твердые (коксовый остаток) и летучие продукты (смолы, оксиды углерода, легкие углеводороды, водород), соотношение которых определяются условиями конверсии. Практически все летучие продукты могут использоваться в качестве сырья для получения УНМ или реагентов активации катализатора (водород). Связывание углерода, содержащегося в биомассе, делает процесс производства из нее УНМ "СО<sub>2</sub>-отрицательным" (способствующим уменьшению выбросов диоксида в атмосферу).

Пиролиз растительной биомассы, особенно мягкий и пиролиз под давлением, позволяет получить малозольное твердое топливо – соответственно среднекалорийную (до 21 МДж/кг) гидрофобную торрефицированную биомассу и высококалорийный (до 33 МДж/кг) биоуголь, перспективные для индивидуального или совместного сжигания с ископаемыми углями.

Интеграция процесса газификации/пиролиза в схему циркуляции угольного котла с топкой циркулирующего кипящего слоя по схеме полигенерации позволяет без снижения мощности котла заместить часть

ископаемого угля сухим высокореакционным малозольным биоуглем, стабилизировать топочный процесс и производить синтез–газ или жидкое биотопливо в качестве товарного продукта.

Использование биоугля для реабилитации почвы и повышения ее плодородия, а также производство углеродных нанотрубок из продуктов пиролиза биомассы позволяют связать углерод в твердых устойчивых формах, что превращает конверсию биомассы в CO<sub>2</sub>-отрицательный процесс.

### Литература

2. Lehmann, J., Gaunt, J., and Rondon, M. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems // *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*. 2006. Vol. 1 No. 2. P. 150-155.
3. Термохимическая конверсия биомассы в кипящем слое: производство энергии и высокотехнологичных материалов / В.А.Бородуля, Г.И. Пальченко, О.С. Рабинович и др. // VI Минский международный форум по тепло- и массообмену. Минск, 2008. Доклад PL-04. 22 с.
4. Получение углеродных наноматериалов из древесной биомассы в псевдоожиженном слое / В.А. Бородуля, Г.И. Пальченко, О.С. Рабинович и др. // *Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук*. 2010. № 3. С. 85-88.