

А. А. Макаров, А. Н. Грачев, С. А. Забелкин,
С. А. Пушкин

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОРРЕФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ШНЕКОВОМ РЕАКТОРЕ В ИНТЕНСИВНЫХ РЕЖИМАХ

Ключевые слова: пиролиз, торрефикация.

В статье была доказана возможность получения торрефиката в горизонтальном шнековом реакторе в интенсивных режимах. Определена требуемая продолжительность пребывания исходного сырья в реакторе для обеспечения торрефикации и удержания в твердой фазе максимальной энергетической ценности продуктов, в сочетании с возможностью брикетирования без связующего.

Key words: pyrolysis, torrefication.

The article has proved the possibility to obtain torrefikate in horizontal screw reactor in the intensive modes. Determine the required residence time in the reactor feed to provide torrefaction and hold in the solid phase maximum energy value of food, combined with the possibility to make briquette without binder.

Современная цивилизация опирается на активное потребление энергии ископаемых сырьевых ресурсов во всех сферах жизнедеятельности. Каждый продукт на рынке имеет в своей стоимости существенную долю затрат на энергию. Энергоёмкость является ключевой проблемой для российской экономики в течение всего периода экономических реформ. В настоящее время экономика России потребляет более 500 г нефтяного эквивалента на каждый доллар ВВП, оценённого по паритету покупательной способности (или свыше 1,5 кг нефтяного эквивалента на каждый реальный доллар ВВП). Для сравнения: в большинстве развитых и развивающихся экономик этот показатель находится в пределах 0,1-0,2 кг н. э./долл. по шкале реального ВВП. Разница является фактически десятикратной [1].

Кроме того в РФ около 70 % территории с населением более 10 млн. человек относится к зоне децентрализованного энергоснабжения, где генерация электрической энергии осуществляется преимущественно с использованием электростанций на базе ДВС сжиганием заводского жидкого топлива. При этом на транспортировку топлива затрачивается в некоторых случаях до 50 % энергии топлива. Согласно данным энергетической стратегии РФ до 2030 г, износ основных фондов топливно-энергетического комплекса в электроэнергетике и газовой промышленности составляет почти 60 % [2]. В сочетании с низкой активностью инвесторов и недостающих более чем на половину инвестиций в топливно-энергетический комплекс РФ энергетическая безопасность страны ставится под угрозу. В связи с этим, при значительно более низкой, чем в странах ЕС, стоимости энергоносителей для российских тепловых станций (на 34,7% ниже европейской) стоимость электроэнергии для средних промышленных потребителей у нас выше на 25%. С 2011 года цены на электроэнергию для предприятий в России обогнали цены в США на 17 % [1]. В связи с вышеизложенным для России все более актуальной становится проблема вовлечения местных видов топлива в энергетический баланс с одновременным развитием технологий малой генерации тепловой и электрической энергии [3].

К местным видам топлива можно отнести ресурсы биомассы, торфа, отходов сельскохозяйственных и лесопромышленных предприятий, часть отходов предприятий коммунального хозяйства, бурые угли. Одним из наиболее специфичных для РФ и мира в целом возобновляемым ресурсом является биомасса растений. Потенциал биомассы, как химического аккумулятора солнечной энергии с минимальными капитальными вложениями колоссален (см. рис 1). Квалифицированное устойчивое использование ресурсов биомассы позволит полностью перекрыть текущее мировое энергопотребление.

Однако, несмотря на значительный потенциал, техническое использование биомассы в области генерации энергии весьма затруднительно по ряду причин. Во-первых, биомасса имеет низкую энергетическую плотность и рассредоточена по территории, что сопряжено с дополнительными затратами по ее сбору и транспортировке.

Во вторых, нестабильный гранулометрический состав и физические свойства приводят к неустойчивости точных процессов, в особенности, при промышленных масштабах генерации. В-третьих, гидрофильность и биологическая активность биомассы накладывает специальные требования для хранения. При отрицательных температурах, характерных для России, происходит смерзание топлива. Все эти причины сдерживают активное использование биомассы в энергетике [4].

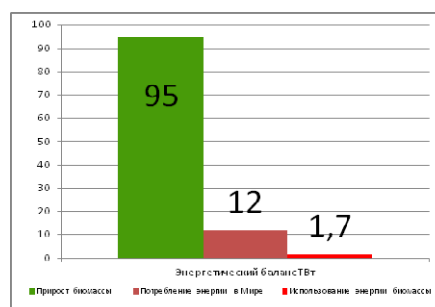


Рис. 1 - Мировой энергетический баланс биомассы растений

На практике существует ряд термохимических процессов, которые позволяют более эффективно использовать древесные отходы. Наряду с пиролизом и газификацией можно выделить и торрефикацию. Торрефикация это процесс термической обработки древесины, обычно при температуре 300-375 °С, в нейтральной либо восстановительной среде, в результате которой происходит изменение надмолекулярной структуры лигноцеллюлозного комплекса с улучшением топливных свойств. В процессе торрефикации происходит отщепление боковых цепей полисахаридов и частичное разложение пентозанов.

В результате этого, увеличивается теплота сгорания, а, следовательно, и энергетическая ценность древесины, снижается ее равновесная влажность, а также приобретает гидрофобность за счет структурных изменений. Также у торрефицированной древесины выше биологическая стойкость и способность к измельчению (см. табл. 1).

Таблица 1 - Свойства торрефицированной древесины

	Торрефицированная древесина	Древесина
Внешний вид		
Теплота сгорания, МДж /кг	22-23	7-19
Влажность, % абс	2-5	8-100
Затраты на измельчение, КВт*ч/т (200 мкм)	300	1600
Биостойкость	Устойчива	Неустойчива
Влагостойкость	Гидрофобная (не впитывает влагу)	Гидрофильная (впитывает влагу)
Плотность топливных гранул	0,55-0,75	0,75-0,85

Основной целью процесса торрефикации является обеспечение наибольшего содержания энергии в твердой фазе - торрефикате, что осуществляется путем нагрева исходного сырья до температуры не выше 375 °С, температуры активного разложения целлюлозы. Тем не менее, осуществление процесса при температуре нагреваемой среды ниже данной температуры, торрефикация происходит в течение сравнительно длительного времени (более 1 часа).

В данном аспекте интересной видится идея торрефикации древесины при незначительных по продолжительности воздействиях, возможно чередующихся, с более высокой температурой процесса с последующей релаксацией температурного поля, и, как следствие, интенсификацией процесса.

Понятно, что в данном случае характеристики получаемого торрефиката будут неравномерно распределены по толщине частицы, но, тем не менее, интенсификация процесса играет важное практическое значение.

С целью определения технологических параметров процесса термического разложения древесины в режиме торрефикации при более высоких температурах, характерных для процесса пиролиза (550°С), были проведены исследования процесса на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 2.

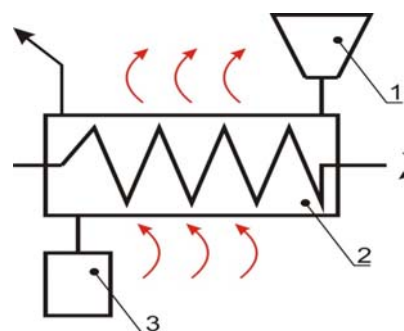


Рис. 2 - Схема установки по исследованию процесса торрефикации

Установка включает в себя систему герметичной загрузки сырья 1, состоящую из накопительного бункера и системы заслонок; цилиндрического реактора шнекового типа 2; сборника торрефиката 3 и системы отвода парогазовой смеси.

Эксперимент осуществлялся следующим образом. Древесное сырье загружалось в бункер 1, затем порциями подавалось в нагретый до температуры 550 °С реактор, где выдерживалось заданное время, после чего выгружалось в герметичный сборник продуктов 3. Причем продолжительность пребывания сырья в реакторе регулировалась частотой вращения ротора и составляла от 2 до 300 с. Образующаяся ПГС отводилась из зоны реакции и утилизировалась.

Задача исследований состояла в определении требуемой продолжительности пребывания исходного сырья в реакторе для обеспечения торрефикации и удержании в твердой фазе максимальной энергетической ценности продуктов, в сочетании с возможностью брикетирования без связующего. В качестве исходного сырья использовались опилки, полученные из древесины сосны, влажностью 8% (абс.) с эквивалентным диаметром 1,5-2 мм.

Продолжительность пребывания регулировалась путем изменения частоты вращения вала и рассчитывалась с помощью зависимости, представленной на рис.3, которая показывает, что с увеличением частоты вращения, продолжительность пребывания сырья в реакторе снижается.

В таблице 2 и на рис. 4 представлены результаты проведенных исследований.

Как видно из рис. 4 при увеличении продолжительности пребывания сырья в реакторе увеличивается содержание нелетучего углерода, а содержание воды и летучих веществ уменьшается. Также необходимо отметить, что при продолжительности

выдержки сырья в реакторе более 90-100 с содержание нелетучего углерода составляет более 68%.

Такой продукт, согласно ГОСТ 7657-84 [5], является древесным углем. Содержание нелетучего углерода в торрефикате при обеспечении брикетирования без связующего должно составлять не более 43%, что соответствует продолжительности пребывания сырья в данном реакторе 30 сек. Также следует отметить, что в данном диапазоне торрефикации зольность существенно не меняется

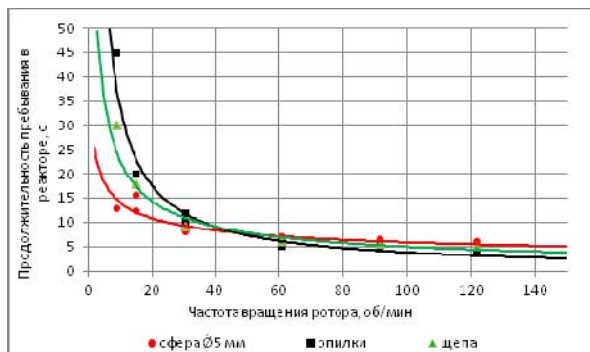


Рис. 3 - Зависимости продолжительности пребывания сырья в реакторе от частоты вращения ротора

Таблица 2 - Результаты исследований

Продолжительность выдержки, с	Содержание воды, %	Содержание летучих веществ	Содержание нелетучего углерода	Удельная Тепл. сгор., МДж/кг
0	8	0,73	0,27	18,626
30	1	0,55	0,43	24,309
60	0,9	0,44	0,55	31,617
120	0,8	0,25	0,74	31,709
180	0,8	0,19	0,80	31,781
240	0,7	0,18	0,82	31,790
300	0,5	0,13	0,86	31,791

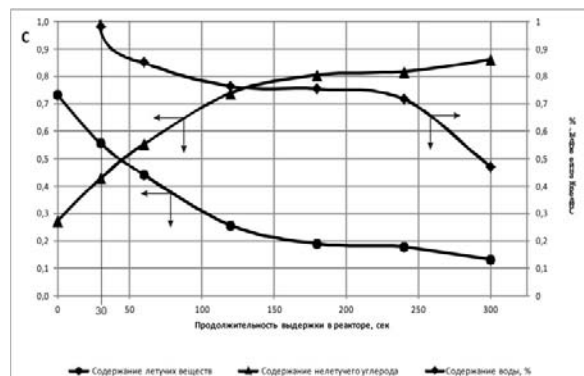


Рис. 4 - Зависимость содержания воды, нелетучего углерода и летучих веществ в твердых продуктах от продолжительности выдержки в реакторе

Таким образом, в результате проведенных исследований была доказана возможность получения торрефиката в горизонтальном шнековом реакторе в интенсивных режимах.

Литература

1. Экономика должна быть экономной, Журнал «Энергия промышленного роста» № 10 Октябрь 2006.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.
3. Макаров, А.А. Математическая модель термического разложения древесины в абляционном режиме / А.А. Макаров, А.Н. Грачев, Р.Г. Сафин, А.Т. Шаймуллин // Вестник Казанского технологического университета «Вестник КГТУ». Казань. – 2011. №8,- С. 68-73.
4. А.Н. Грачев Переработка древесины в жидкое топливо и его энергетическое использование, Забелкин С.А., Грачев А.Н., Башкиров В.Н., Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 24. С. 39-42.
5. ГОСТ 7657-84 Уголь древесный. Технические условия.

© А. А. Макаров - канд. техн. наук, доц. каф. химической технологии древесины КНИТУ,; smakarov86@gmail.com; А. Н. Грачев – д-р техн. наук, проф. той же кафедры; С. А Забелкин - канд. техн. наук, доц. той же кафедры; С. А. Пушкин – асп. той же кафедры.