

А. Н. Грачев, А. А. Макаров, С. А. Забелкин,
В. Н. Башкиров

ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЛИГНОЦЕЛЛЮЛОЗНОГО СЫРЬЯ В БИОТОПЛИВО И ХИМИЧЕСКИЕ ПРОДУКТЫ

Ключевые слова: термохимическая переработка, пиролиз, лигноцеллюлозное сырьё.

Описан процесс термохимической переработки лигноцеллюлозного сырья в биотопливо и химические продукты методом быстрого пиролиза. Исследовано влияние вида исходного сырья на выход продуктов пиролиза. Представлен производственный комплекс термохимической переработки растительной биомассы. Проведён экономический анализ данного комплекса.

Keywords: thermochemical processing, pyrolysis, lignocellulosic feedstock.

The process of thermochemical processing of lignocellulosic biomass into biofuel and chemicals by fast pyrolysis has been described. Influence of feedstock type on products yield has been investigated. An industrial complex for thermochemical processing of lignocellulosic biomass has been presented. Economical estimation of the complex has been conducted.

Сокращение запасов и нестабильность цен на ископаемые виды топлива, которые являются также и ценным сырьём для химического синтеза, делают всё более актуальной тему использования возобновляемых ресурсов. Несомненно, что низкокачественная древесина и отходы деревообработки являются одним из основных возобновляемых источников энергии для России. Энергетическое использование данного нереализованного потенциала древесной биомассы уже сейчас позволяет заменить более 10% внутреннего энергопотребления без нарушения баланса экосистемы [1]. Ежегодное количество только отходов деревообрабатывающих предприятий России составляет более 70 млн. м³ [2].

Кроме того, в нашей стране примерно 22-25 миллионов людей живут в отдалённых районах, не связанных с центральной энергетической системой, или в местах, где централизованное электроснабжение ненадёжно [3]. Также следует отметить, что, несмотря на значительные ресурсы природного газа, средний уровень газификации некоторых регионов не превышает 10% [1].

Квалифицированное использование не востребованного ресурса древесной биомассы в качестве биотоплива позволит обеспечить экономии традиционных видов топлив и получить дополнительный доход в местные бюджеты.

Однако использование данных объёмов отходов в качестве топлива для существующей энергетической инфраструктуры затруднительно по ряду причин.

1. Отсутствует система логистики биотоплива и технические средства для сбора хранения и транспортировки сырья

2. Текущая энергетическая инфраструктура, ориентированная на газообразное и жидкое топливо, не позволяет использовать твёрдое топливо, а переоборудование существующих котельных - капиталоемкое мероприятие и требует дополнительной инфраструктуры

3. Биологическая активность и рассредоточенность отходов не позволяет создать

стратегические запасы топлива, необходимые для сезонного использования.

Поэтому актуальной задачей является переработка неликвидной биомассы в продукты и топливо, которое может быть использовано как можно более эффективно в существующей инфраструктуре.

Термические методы, в зависимости от условий реализации процесса, позволяют обеспечить переработку биомассы в жидкое, твёрдое, либо газообразное биотопливо с улучшенными свойствами.

Одним из эффективных термических способов переработки биомассы в жидкое топливо является процесс быстрого пиролиза [4]. Физико-химическая сущность процесса быстрого пиролиза заключается в термическом разложении органических соединений биомассы в отсутствие окислителя при относительно низких температурах 450-550°C, высокой скорости нагрева 500-1000°C/с и незначительном времени пребывания продуктов в реакционном пространстве (до 2-3 с) [5]. В результате процесса при охлаждении парогазовой смеси образуются жидкие продукты (бионефть) с выходом до 80% масс в зависимости от режимных параметров и вида сырья.

Специалистами компании ООО «ЭнергоЛесПром» и сотрудниками кафедры химической технологии древесины Казанского национального исследовательского университета проводились исследования процесса быстрого пиролиза различных видов биомассы: древесины, торфа, иловых осадков сточных вод, отходов элеватора, куриного помёта [6,7,8,9,10].

Результаты исследования показали, что вид исходного сырья существенно влияет на материальный баланс процесса. Материальный баланс процесса быстрого пиролиза различных видов сырья представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Материальный баланс процесса быстрого пиролиза различных видов сырья

Сырьё	Жидкие продукты, %	Твёрдые продукты, %	Газ, %
Древесина	65	13	22
Торф	43	17	40
Куриный помёт	57	20	23
Древеснопомётная подстилочная масса	47	32	21
Отходы элеватора	52	23	25
Иловые осадки сточных вод	38	40	22

Получаемые жидкие продукты можно без предварительной подготовки использовать в качестве топлива для котлов [11]. После дополнительной подготовки они могут использоваться в качестве топлива для дизельных двигателей, газовых турбин, как моторное топливо [12]. Жидкие продукты также могут использоваться в качестве сырья при производстве связующего, лакокрасочных покрытий, полиэтилена, в дорожном строительстве (в качестве добавки в асфальт), для укрепления грунтов [13], в химической промышленности (извлечение различных химических веществ) [14], в качестве связующего при производстве древесноугольных брикетов [15].

В ходе многолетней исследовательской и конструкторской работы специалистами компании ООО «ЭнергоЛесПром» разработан производственный комплекс термохимической переработки растительной биомассы. Комплекс предназначен для получения жидких и твёрдых товарных продуктов (жидкое биотопливо, мелкодисперсный уголь) из различных видов растительных отходов, в том числе древесных. Техническая характеристика производственного комплекса представлена в таблице 2 а внешний вид на рисунке 1.

Таблица 2 – Техническая характеристика производственного комплекса

Наименование показателя	Показатель	Единица измерения
Производительность (сухая биомасса)	500	кг/ч
	2880	т/г
Количество персонала	9	чел.
Установленная электрическая мощность	50	кВт
Выход жидкости	53,1	%
Выход угля	12,3	%
Габаритные размеры пиролизного модуля (не более)	47,7 x 22,7 x 18	м - L x B x H

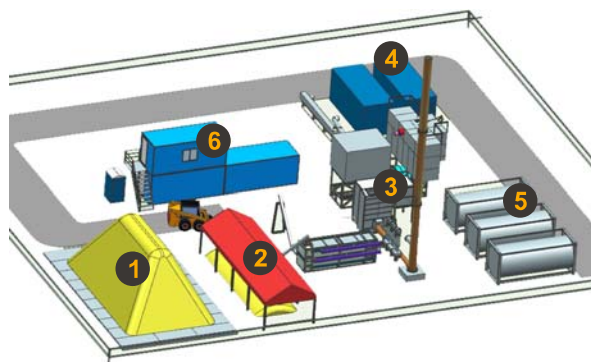


Рис. 1 – Общий вид производственного комплекса термохимической переработки растительной биомассы: 1 – склад отходов; 2 – сушильный участок; 3 – установка быстрого пиролиза; 4 – участок брикетирования; 5 – склад жидких продуктов; 6 – операторная

С целью оценки экономической устойчивости проекта переработки лесосечных отходов был проведен технико-экономический анализ основных показателей производства на базе разработанного комплекса в зависимости от отпускной цены бионефти. При этом стоимость древесных отходов устанавливалась на уровне 800 руб./т, фонд времени 300 суток, а капитальные затраты 15 млн. руб. Представленный на рис. 2 анализ устойчивости показателей проекта показывает, что проект весьма устойчив при широком диапазоне колебаний отпускной цены бионефти относительно базового значения. Даже в случае отпускной цены бионефти в размере 2,5 руб./кг, что конкурентоспособно относительно текущей цены природного газа (3,5 руб./м³), проект окупается менее чем за 5 лет.

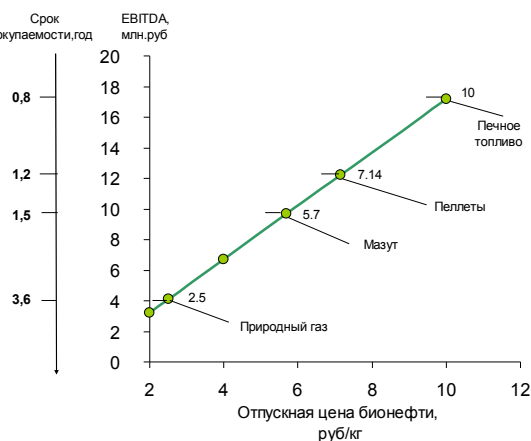


Рис. 2 – Зависимость основных показателей проекта от отпускной цены бионефти

Таким образом, термическая переработка низкотоварной древесины и лесосечных отходов в биотопливо и древесноугольные брикеты позволит переработать невостребованные ресурсы и улучшить экологическую обстановку, создать

дополнительные рабочие места, и наконец, получить дополнительный доход.

Литература

1. Грачев А.Н., Башкиров В.Н., Валеев И.А., Хисматов Р.Г., Макаров А.А., Тунцев Д.В, *Энергетика Татарстана*, **4**, 16-20 (2008).
2. Грачев А.Н., Сафин Р.Г., Таймаров М.А., Гильфанов К.Х., Тунцев Д.В, *Проблемы энергетики*, **11-12**, 21 – 25 (2009).
3. Возобновляемая энергетика в России // Отчёт Международного энергетического агентства, 2003. 120 с.
4. Забелкин С.А., Грачев А.Н., Башкиров В.Н., Мулламухаметов Ф.И., *Вестник Казанского технологического университета*, **10**, 369-375 (2010).
5. Забелкин С.А., Грачев А.Н., Башкиров В.Н., *Вестник Казанского технологического университета*, **24**, 39-42 (2011).
6. Гильфанов М.Ф., Башкиров В.Н., Файзрахманова Г.М., Забелкин С.А., Грачев А.Н., Халитов А.З., Земсков И.Г. *Вестник Казанского технологического университета*, **18**, 66-68 (2012).
7. Забелкин С.А., Грачев А.Н., Башкиров В.Н., Черезова Е.Н.. *Вестник Казанского технологического университета*, **8**, 79-84 (2010).
8. Забелкин С.А., Грачев А.Н., Башкиров В.Н. *Вестник Казанского технологического университета*, **10**, 86-91 (2011).
9. Таймаров М.А., Гильфанов К.Х., Грачев А.Н., Забелкин С.А. *Вестник Казанского технологического университета*, **4**, 52-54 (2011).
10. Забелкин С.А., Тунцев Д.В., Грачев А.Н., Башкиров В.Н. *Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник*, **4**, 79-84 (2010).
11. Макаров А.А., Грачев А.Н., Забелкин С.А., Пушкин С.А. *Вестник Казанского технологического университета*, **13**, 177-179 (2013).
12. Файзрахманова Г.М., Забелкин С.А., Герке Л.Н., Грачев А.Н., Башкиров В.Н. *Вестник Московского государственного университета леса. Лесной вестник*, **7**, 131-135 (2012).
13. Файзрахманова Г.М., Забелкин С.А., Грачев А.Н., Башкиров В.Н., Макаров А.А. *Вестник Казанского технологического университета*, **8**, 312-314 (2013).
14. Куликов К.В., Литвинов В.В., Пиялкин В.Н., Башкиров В.Н. *Вестник Казанского технологического университета*, **13**, 197-200 (2012).
15. Забелкин С.А., Файзрахманова Г.М., Грачев А.Н., Башкиров В.Н. *Вестник Казанского технологического университета*, **15**, 101-103 (2012).

© **А. Н. Грачев** - д.т.н., профессор каф. химической технологии древесины КНИТУ, energolesprom@gmail.com; **А. А. Макаров** - к.т.н., доцент той же кафедры, smakarov86@gmail.com; **С. А. Забелкин** - к.т.н., доцент той же кафедры, szabelkin@gmail.com; **В. Н. Башкиров** - д.т.н., профессор той же кафедры, vlad_bashkirov@mail.ru