

Выбор наиболее энергоэффективного метода низкотемпературного пиролиза соломы

Исьемин Р. Л., Кузьмин С. Н., Михалев А. В., кандидаты техн. наук,
Милованов О. Ю., Коняхин В. В., инженеры

Тамбовский государственный технический университет

Николополус Н., Граммелис П.

Clean Energy, Ltd (Греция)

Приведены результаты расчета энергоэффективности низкотемпературного пиролиза соломенных гранул при ведении процесса в одну и две стадии. Показано, что КПД процесса значительно повышается, если низкотемпературный пиролиз вести в две стадии, причем на первой стадии поддерживать температуру 260, на второй — 240 °С.

Ключевые слова: биомасса, низкотемпературный пиролиз, энергоэффективность.

Солома как топливо может эффективно использоваться в энергетике, в том числе при совместном сжигании ее с углем. Например, в Польше на многих угольных электростанциях активно внедряются технологии совместного сжигания, и энергетические компании закупают соломенные гранулы, которые экономически оправданно перевозить на большие расстояния, удобно хранить, а подачу гранул в топливный тракт котла легко механизировать и автоматизировать. Основным источником топливных гранул, в том числе гранул из соломы, для польских и ряда других европейских потребителей является Украина, в меньшей степени — Россия. Российские производители биотоплива уступают украинским и другим конкурентам из-за удаленности производств биотоплива от потребителей. Вместе с тем европейские потребители биотоплива могут дать серьезный стимул для развития российской биоэнергетики, поэтому надо оказывать всемерную научно-техническую поддержку нашим предприятиям с расчетом, что в недалеком будущем они станут поставщиками своей продукции как на экспорт, так и на внутрироссийский рынок. В частности, разработка и внедрение технологии низкотемпературного пиролиза (отжига) биомассы позволит повысить экспортный потенциал российских биотопливных предприятий, поскольку подвергнутое такой обработке биотопливо имеет более высокое объемное теплосодержание, отличается влагостойкостью (обычные гранулы при малейшем контакте с водой разрушаются, а подвергнутые отжигу гранулы могут до 24 ч находиться в воде без разрушения) и не подвергается гниению [1].

При финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по государственному контракту № 16.526.11.6010 от 28 октября 2011 г. российские авторы статьи разрабаты-

вают технологию и оборудование для низкотемпературного пиролиза биомассы (соломенных гранул и гранул, изготовленных из древесных отходов). Схема разработанного реактора представлена на рис. 1. В вертикальном корпусе располагаются по крайней мере две тарелки, на которых происходит отжиг биомассы. Она поступает на верхнюю тарелку, обрабатывается, затем перегружается на нижнюю тарелку, где процесс обработки завершается. Обработанная биомасса выгружается и охлаждается через рубашку реактора.

Нагрев биомассы осуществляется через стенки реактора высокотемпературным органическим теплоносителем (ТЛВ-330), а перемещение ее с тарелки на тарелку реализуется с помощью лопастей мешалки, установленных на вертикальном валу. Для исключения возгорания биотоплива в надслоевое пространство каждой тарелки подается инертный газ (азот, двуокись углерода или водяной пар). Четное количество тарелок обусловлено необходимостью повышения КПД процесса низкотемпературного пиролиза. С этой целью его предложено выполнять в две стадии при разной температуре.

Как показал анализ литературных источников, для некоторых видов биомассы, например для соломы, процесс низкотемпературного пиролиза происходит в две стадии. На рис. 2 в полулогарифмических координатах представлено изменение безразмерной массы P подвергаемого низкотемпературному пиролизу образца соломы в зависимости от времени обработки t при различной температуре T_r [2, 3]. Из рисунка видно, что при температуре выше 250 °С процесс идет в две стадии, причем до 340 °С продолжительность первой стадии значительно больше второй. Очевидно, на первой стадии происходит удаление летучих веществ из биомассы, прежде всего — влаги, а на второй стадии — час-

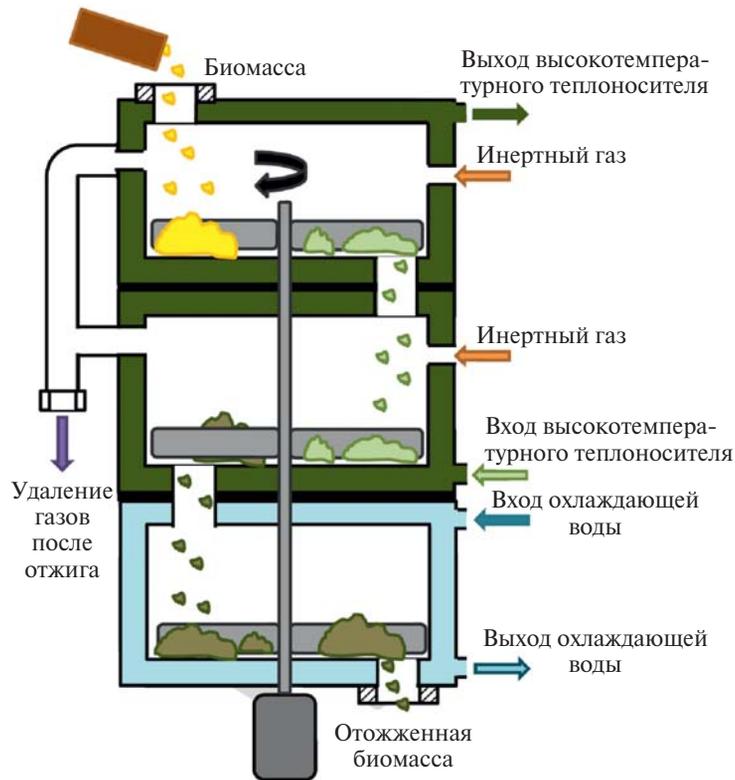


Рис. 1. Схема реактора для низкотемпературного пиролиза биогранул

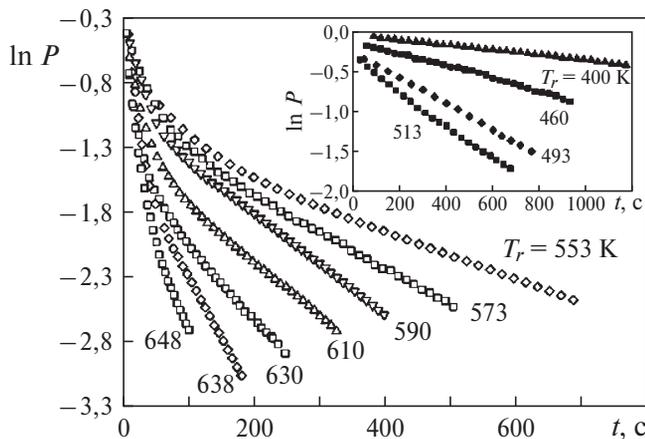


Рис. 2. Изменение безразмерной массы образца в зависимости от температуры t и времени обработки T_r в полулогарифмических координатах [2, 3]:

$P = (W - M_{c_x})/M_0$; W и M_0 — текущая и начальная массы образца; M_{c_x} — масса образца после завершения пиролиза

точное разложение твердой массы и переход ее в газообразную форму. Продолжительность первой стадии уменьшается с ростом температуры до тех пор, пока последняя не достигнет $300\text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 3).

Если процесс вести в одну стадию, т. е. обеспечивать очень высокую скорость нагрева биомассы, то его энергоэффективность (КПД), определяемая как отношение тепловой энергии, содержащейся в обработанной

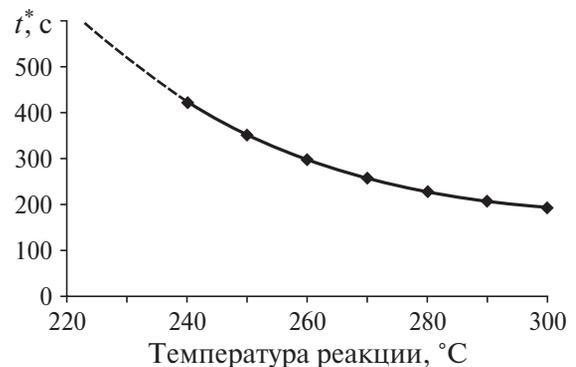


Рис. 3. Зависимость продолжительности t^* первой стадии процесса от температуры

биомассе, к затраченной тепловой энергии, будет низкой.

Ниже представлены результаты расчета КПД процесса при различных условиях термообработки и разном количестве стадий. Расчет теплоты сгорания и химического состава биотоплива в зависимости от температуры и времени обработки проводили по полуэмпирическим соотношениям, полученным в [4].

На рис. 4, а приведены зависимости КПД процесса от температуры при одностадийном его проведении (высокая скорость нагрева биомассы). Как видно из рисунка, энергоэффективная область ведения процесса очень узка по времени, за этот период полностью

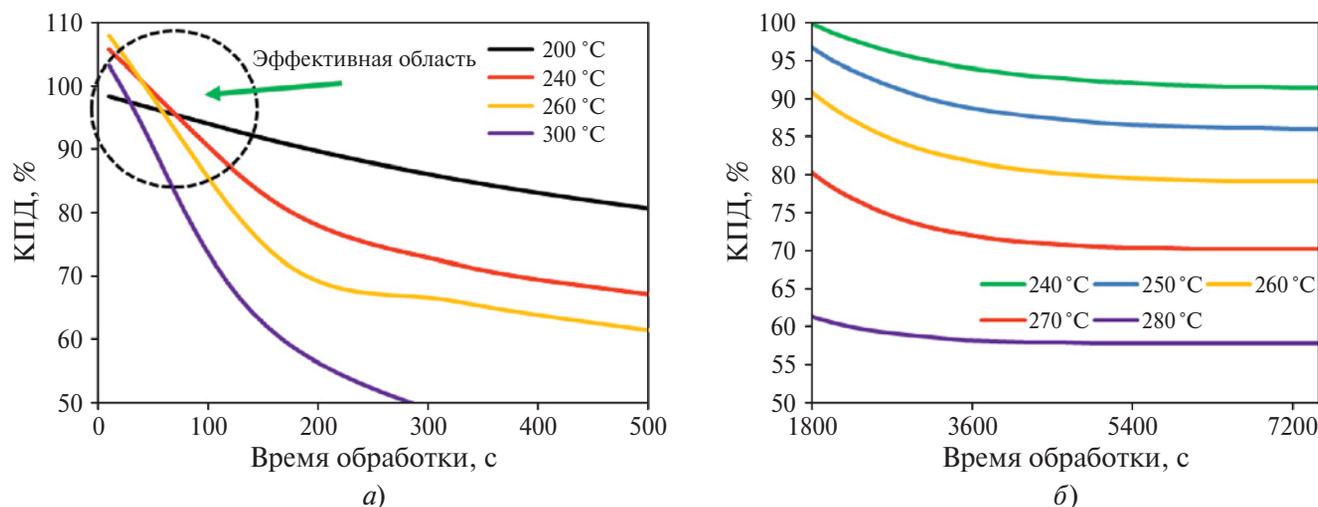


Рис. 4. Зависимости КПД процесса от температуры и продолжительности обработки при осуществлении процесса в одну (а) и две (б) стадии

Показатель	Номер варианта			
	1	2	3	4
Температура, °С:				
1-й стадии	240	260	240	
2-й стадии	260	240	260	260
Продолжительность, с:				
1-й стадии	1800	1800	2000	
2-й стадии	1800	1800	1600	3600
Потеря массы, %	68,11	77,62	69,15	72,09
КПД процесса, %	81,20	92,53	82,43	81,62

невозможно осуществить процесс низкотемпературного пиролиза: при температуре 240 – 300 °С из биомассы будет удалена только влага, а разложения целлюлозы не произойдет. Следовательно, при ведении процесса в одну стадию нельзя обеспечить влагостойкость обработанной биомассы и устойчивость ее к гниению.

При проведении процесса в две стадии можно достичь полного завершения процесса низкотемпературного пиролиза и добиться его высокой энергоэффективности. На рис. 4, б показано, что энергоэффективность процесса снижается с повышением температуры. Для обеспечения высокого КПД процесс низкотемпературного пиролиза необходимо вести при различных температурах на разных стадиях: на первой — при более высокой, на второй — при более низкой.

В таблице приведены расчетные значения потери массы и значения КПД процесса низкотемпературного пиролиза при различных вариантах его осуществления. Как видно, КПД резко (более чем на 10 %) повыша-

ется, если процесс низкотемпературного пиролиза вести в две стадии, причем на первой стадии поддерживать температуру 260, а на второй — 240 °С.

В настоящее время разрабатывается конструкторская документация и изготавливается опытный образец реактора, в котором будет осуществляться процесс низкотемпературного пиролиза биомассы с максимальным КПД в две стадии.

Список литературы

1. **Разработка** технологической схемы и определение оптимальных параметров процесса отжига биомассы / Р. Л. Исьемин, С. Н. Кузьмин, Е. Ю. Филатова и др. — Промышленная энергетика, 2012, № 4.
2. **Di Blasi. C., Lanzetta M.** Intrinsic kinetics of isothermal xylan degradation in inert atmosphere. — Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1997, № 40 – 41.
3. **Lanzetta M., Di Blasi. C.** Pyrolysis kinetics of wheat and corn straw. — Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 1998, № 44.
4. **Torrefaction** of agricultural and forest residues / D. Tito Ferro, V. Vigouroux, A. Grimm and R. Zanzi. — Cubasolar, 2004, April 12 – 16 Guantánamo; Cuba.