

установки, и процесс выпаривания после этого обычно прекращают. Остаточное содержание влаги при этом обычно составляет 1–3 % по массе нефтешлама [3].

Наиболее эффективно повысить максимальную производительность установки можно за счет увеличения числа полок испарителей вдвое, причем, ширина полок не влияет на максимальный выход пара, однако расстояние по высоте между соседними полками не должно быть слишком маленьким, иначе при перетекании слоя эмульсии с полки на полку не будет перемешивания ее слоев и не будет возникать «свежая» поверхность эмульсии. Очевидно, что при одних и тех же размерах корпуса выпарного аппарата число полок, увеличенное вдвое) теоретически может быть сделано бесконечно большим, однако на практике это число не может быть больше  $D/h_{\min}$ , где  $D$  – внутренний диаметр цилиндрического корпуса выпарного аппарата;  $h_{\min}$  – минимальное расстояние по высоте между соседними полками. Так, если  $D = 1,7$  м,  $h_{\min} = 0,005$  м, то максимальное число полок составит  $2N = 340$ , что в несколько десятков раз превышает число полок в выпарном аппарате БРНШ-3. В этом случае степень осушки нефтешлама может быть намного более глубокой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лукин С.В., Сеницын Н.Н., Сурикова А.Н. Тепловой расчет установки по выпариванию влаги из нефтепродуктов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 4 (65). – С. 33 – 37.
2. Лукин С.В., Сеницын Н.Н., Сурикова А.Н. Повышение тепловой эффективности блока разделения нефтешлама // Промышленная энергетика. – 2016. – № 2. – С. 33 – 37.
3. Лукин С.В., Сурикова А.Н. Оптимизация числа выпарных ступеней установки разделения нефтешлама // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 6 (67). – С. 14 – 19.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ РАЗЛОЖЕНИИ БИОМАССЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ БРИКЕТИРОВАНИЮ

Ибраева К.Т., Астафьев А.В., Суздальцев В.Е.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Проблема обеспечения топливом ресурсодефицитных регионов актуальна по настоящее время. Эти регионы, как правило, не имеют собственных запасов энергетически ценных топлив (каменного угля, нефти или природного газа), или разработка расположенных здесь месторождений экономически нецелесообразна. В результате энергообеспечение осуществляется за счет привозного топлива, в стоимость которого включены транспортные издержки. Это приводит к существенному удорожанию топлива и отражается на тарифах тепло- и электроэнергетики.

В связи с этим необходимо стремиться к вовлечению местных ресурсов сырья, пригодных для сжигания и не требующих огромных капиталовложений на его добычу. В качестве одного из возможных вариантов такого сырья может рассматриваться биомасса, которая является экологичным и возобновляемым ресурсом, расположенным на поверхности земли.

Главными сдерживающими факторами использования биомассы в качестве топлива являются малая теплотворная способность и сложности транспортировки даже на

небольшие расстояния: биомасса имеет низкую насыпную плотность, слеживается, крошится, а также смерзается при низких температурах воздуха. Поэтому её перевозка на расстояния более чем 25-30 км экономически нецелесообразна [1]. В связи с этим необходимо повышение её калорийности и транспортабельности.

При изучении вопроса повышения энергетических свойств биомассы для последующего сжигания авторами выделена теплотехнологическая переработка, как одно из наиболее часто публикуемых направлений исследований. Это направление подразумевает получение энергетических топлив путем термического воздействия на биомассу. Применительно к твердым органическим видам сырья, к которым и относится биомасса, авторами выделено два варианта теплотехнологической переработки: торрефикация топливных брикетов [1] и получение твердого композитного топлива [2]. В связи с тем, что механизм поведения органического сырья при теплотехнологической переработке до конца не изучен и зависит от множества факторов, как внешних (температура, давление, скорость нагрева), так и внутренних (состава топлива, минеральной части, влажности и др.), то в каждом конкретном случае необходимо проведение экспериментальных исследований для получения полной картины переработки (материальных и тепловых балансов, характеристик продуктов, тепловых эффектов). Целью работы ставится исследование теплового эффекта пиролиза биомассы применительно к её теплотехнологической переработке.

В работе исследованы пробы торфа, доставленных с двух месторождений Томской области, и древесная щепа из нескольких типов древесины (сосна, береза, осина). Все пробы выдержаны до воздушно-сухого состояния. Для оценки теплового эффекта переработки были проведены термогравиметрический (ТГ) и дифференциальный термический (ДТА) анализы на микротермоанализаторе STA 449C (Netzsch, Германия). Скорость нагрева выбрана согласно [4] равной 10 °С в минуту. Анализы выполнены в инертной среде (гелий) с целью исключения влияния кислорода на точность результатов исследования.

Дифференциально термический анализ (рис. 1) показал, что при температуре биомассы порядка 400 °С в неё начинают протекать реакции, сопровождающиеся экзотермическим эффектом. Выделение тепла продолжается до температуры ~550 °С, затем снова наблюдаются экзотермические процессы меньшей интенсивности.

В интервале температур 150-400 °С также наблюдаются экзотермические реакции. Однако для древесной щепы величина настолько мала, что можно говорить об отсутствии каких-либо тепловых превращений в этом диапазоне температур. При нагреве образцов торфа № 1 и № 2 в интервале температур 220–330 °С наблюдались экзотермические тепловые эффекты, равные 100 и 60 кДж/кг соответственно.

Эти особенности необходимо учитывать в случае термического брикетирования или торрефикации торфа. Нагрев некоторых видов торфа свыше 220 °С может привести к возникновению экзотермических реакций и последующему самовозгоранию торфа. Упоминание о подобных эффектах, встречающихся при торрефикации древесных пеллет с целью повышения потребительских свойств, приведено в работе [5], согласно которой нагрев пеллет до температуры 220–250 °С приводил к повышению их температуры до 700-800 °С.

В целом же результаты ДТА-анализа позволяют сделать вывод, что нагрев всех исследованных образцов биомассы сопровождался суммарным экзотермическим эффектом, который для древесной щепы составил – 1164кДж/кг, торфа № 1 – 1535 кДж/кг, торфа № 2 – 791 кДж/кг. Это показывает возможность автотермического протекания теплотехнологической переработки при температурах свыше 400 °С.

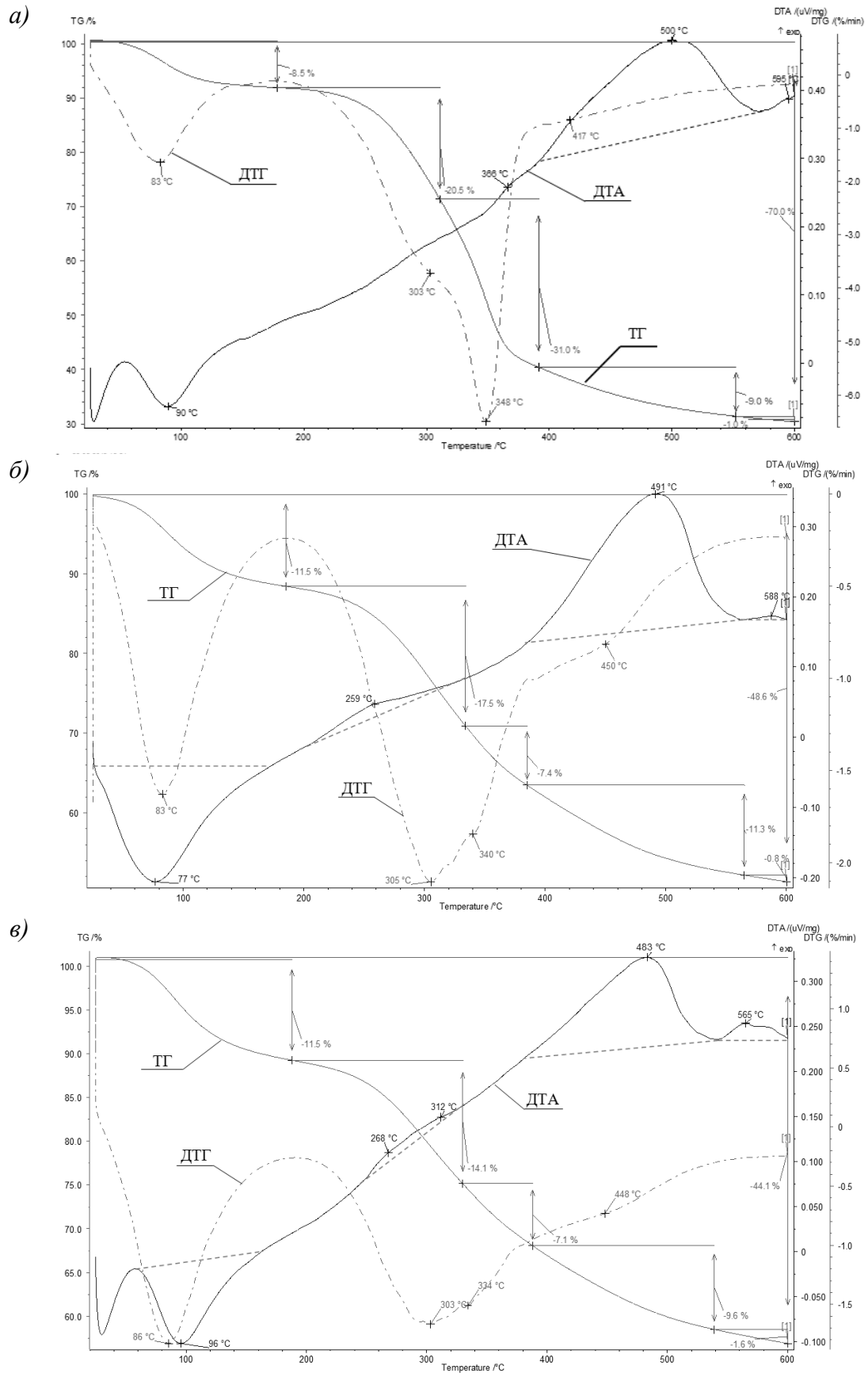


Рис. 1. Результаты дифференциального термического анализа биомассы: а) – образец щепы №1; б) – образец торфа № 1; в) – образец торфа № 2

Результаты термогравиметрического анализа показывают, преобладание твердого остатка среди всех продуктов, получаемых при переработке торфа (выход твердого остатка составляет более 60%), что позволяет прийти к выводу о целесообразности переработки торфа в твердые продукты. Прочие (жидкие и газообразные) продукты имеют небольшой выход и потребуют большого расхода исходного сырья при переработке. Переработка древесной щепы целесообразна как в твердое, так и в газообразное топливо.

#### Выводы

Результаты исследования тепловых эффектов, возникающих при нагреве биомассы, показали, что термическая переработка исследуемых образцов сопровождалась протеканием экзотермических реакций при температуре свыше 400 °С. Отмечено, что термическое прессование или торрефикацию торфа необходимо проводить при температурах ниже 220 °С, так как в некоторых видах торфа уже при данной температуре возможно протекание экзотермических реакций, способных привести к самовозгоранию.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-50124 (мол\_нр).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боярко Г.Ю., Бернатонис П.В., Бернатонис В.К. Торфяная промышленность России и мира. Анализ состояния и перспективы развития // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2014. – № 6. – С.56–61.
2. Fagernäs L., Kuoppala E., Arpiainen V. Composition, utilization and economic assessment of torrefaction condensates // Energy & Fuels. – Vol. 29. – 2015. – P. 3134–3142.
3. Табакаев Р.Б., Казаков А.В., Заворин А.С. Термическое обогащение низкосортного твердого топлива // Химия твердого топлива. – 2015. – № 5. – С. 3–9.
4. Табакаев Р.Б. Теплотехнология получения твёрдого композитного топлива из низкосортного органического сырья: Автореферат ... дис. канд. техн. наук. – Красноярск: СФУ, 2015. – 20 с.
5. Зайченко В.М. Повышение потребительских свойств твердого топлива из биомассы // Энергосбережение. – 2014. – № 3. – С. 66–68.

#### **ВЛИЯНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА РАСЧЕТ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

Волынцева О.А., Гаврилова А.Е., Груздев И.М., Шелюг С.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург

Исследования, проводимые в последнее время как в России [1-3], так и за рубежом [4, 5], показали, что в электрических сетях растет доля нелинейной и несинусоидальной нагрузки. Они в свою очередь обуславливают появление нормальных несимметричных и несинусоидальных режимов электрических сетей. Методики расчета и анализа таких режимов сопряжены с серьезными сложностями и требуют существенной модификации общепринятых алгоритмов моделирования электрических сетей базирующихся на допущении о симметричности и синусоидальности нагрузок и элементов электрической сети [6].