

АВТОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПИРОЛИЗА БИОМАССЫ ЗА СЧЕТ СОБСТВЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ

А.В. Астафьев

Томский политехнический университет
ЭНИН, ПГС и ПГУ, группа 5ВМ6А

Одной из главных проблем энергетики является её пагубное влияние на здоровье живых организмов и состояние окружающей среды [1].

С целью снижения вредного воздействия на окружающую среду мировая энергетика стремится к увеличению доли использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Одним из наиболее универсальных видов ВИЭ, с точки зрения энергетического использования, является биомасса. Однако до сих пор остаются проблемы, препятствующие её широкому использованию в качестве топлива. К этим проблемам относят низкие теплотехнические характеристики (высокая влажность, низкая теплота сгорания), шлаковую способность золы, неоднородный фракционный состав, хрупкость, крошимость и др., что приводит к высоким эксплуатационным затратам на сжигание традиционными методами [2]. В связи с этим исследования, направленные на повышение эффективности энергетического использования биомассы, являются актуальными в настоящее время.

Одним из наиболее универсальных и перспективных направлений переработки биомассы для последующего её эффективного использования в качестве топлива является пиролиз. Биомасса является высокорекреационным и термически нестойким сырьём, поэтому целесообразно рассматривать низкотемпературный тип пиролиза для её переработки.

Основным сдерживающим фактором широкого использования пиролиза биомассы является необходимость подвода тепла, предназначенного для организации и протекания процесса. Существует мнение о протекании низкотемпературного пиролиза за счет собственных тепловых эффектов [3]. В данной работе исследован тепловой эффект низкотемпературного пиролиза биомассы, на основе которого сделана оценка возможности её термической переработки в автотермическом режиме. Рассмотрено влияние влажности на величину тепловых затрат и автотермичность пиролиза.

Рассмотрены наиболее распространенные в Томской области (Россия) типы биомассы: солома, щепа из различных пород древесины, сосновые опилки, торф Суховского месторождения. Изучаемая биомасса выдержана до воздушно-сухого состояния и проанализирована согласно ISO 5068-1:2007, ISO 1171:2010, ISO 5071-1:3013. Теплота сгорания (Q_i^r) определена в калориметре АБК-1 (Россия), элементный состав – на анализаторе Vario Micro Cube (Elementar, Германия). Содержание в топливе диоксида углерода карбонатов определено ускоренным объемным методом согласно ISO 925-97. Полученные теплотехнические характеристики представлены в таблице 1.

Табл. 1. Теплотехнические характеристики биомассы

Характеристика	солома	щепа	опилки	суховской торф
Влажность W^a , %	7.0	7.8	7.0	9.9
Зольность на сухую массу A^d , %	2.8	1.9	1.6	22.8
Выход летучих веществ V^{daf} , %	78.5	81.5	83.4	74.8
Теплота сгорания на сухую беззольную массу Q^{daf} , МДж/кг	19.6	18.9	19.8	20.1
Низшая теплота сгорания Q_i^r , МДж/кг	17.7	17.1	18.1	11.8
Элементный состав на сухую беззольную массу, %				
C^{daf}	50.20	50.32	52.5	52.06
H^{daf}	6.36	6.05	6.58	6.31
N^{daf}	1.09	0.24	0.22	3.58
S^{daf}	следы	следы	следы	0.20
O^{daf}	42.35	43.39	40.70	37.85

Проба суховского торфа имела высокое содержание диоксида углерода карбонатов $(CO_2)_M^d$, равное 9,82%.

Для исследования тепловых эффектов пиролиза биомассы проведены термогравиметрический (ТГА) и дифференциальный термический (ДТА) анализы на микротермоанализаторе STA 449C (Netzsch, Германия).

На примере дифференциально-термического анализа соломы (рис. 1 а) видно, что при нагреве от 20 до 120°C происходило испарение влаги (кривая ТГ), содержащейся в соломе, что сопровождалось эндотермическим пиком (кривая ДТА). При температуре 180°C наблюдалось начало термического разложения соломы (кривая ТГ), протекающее без четко выраженных тепловых эффектов. Температура 220°C являлась началом протекания экзотермических реакций, заканчивающихся при 580°C, что иллюстрировалось в виде пика на кривой ДТА.

Результаты дифференциально-термического анализа остальных проб биомассы приведены на рис. 1 (б, в, г). Щепа и опилки аналогично соломе имели экзотермический пик, наблюдаемый в интервале температур от 240-250 до 550-570°C. При термическом разложении торфа наблюдалось два экзотермических пика. Первый экзотермический пик регистрировался при 200-210°C и оканчивался при 320-340°C. Второй экзотермический пик (основной) наблюдался при 370-385°C и продолжался до 530-570°C (рис. 1 г, кривая ДТА). Согласно экзотермическим пикам определены величины тепловых эффектов топлив.

Выход продуктов низкотемпературного пиролиза определен на лабораторной установке, подробно описанной в работе [4].

По полученным материальным балансам и значениям тепловых эффектов проведена оценка возможности автотермического протекания пиролиза согласно методике [4]. Условием автотермичности является необходимость превышения величиной теплового эффекта суммы тепловых затрат, необходимых на

сушку сырья (Q_1), нагрев (Q_2) до температуры начала разложения биомассы, нагрев до состояния углеродистого остатка (Q_3), нагрев летучих продуктов пиролиза – газа (Q_4), паров пирогенетической воды (Q_5) и смолы (Q_6):

$$Q_{ТЭ} \geq Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6. \quad (1)$$

Результаты расчета пиролиза биомассы приведены в таблице 2.

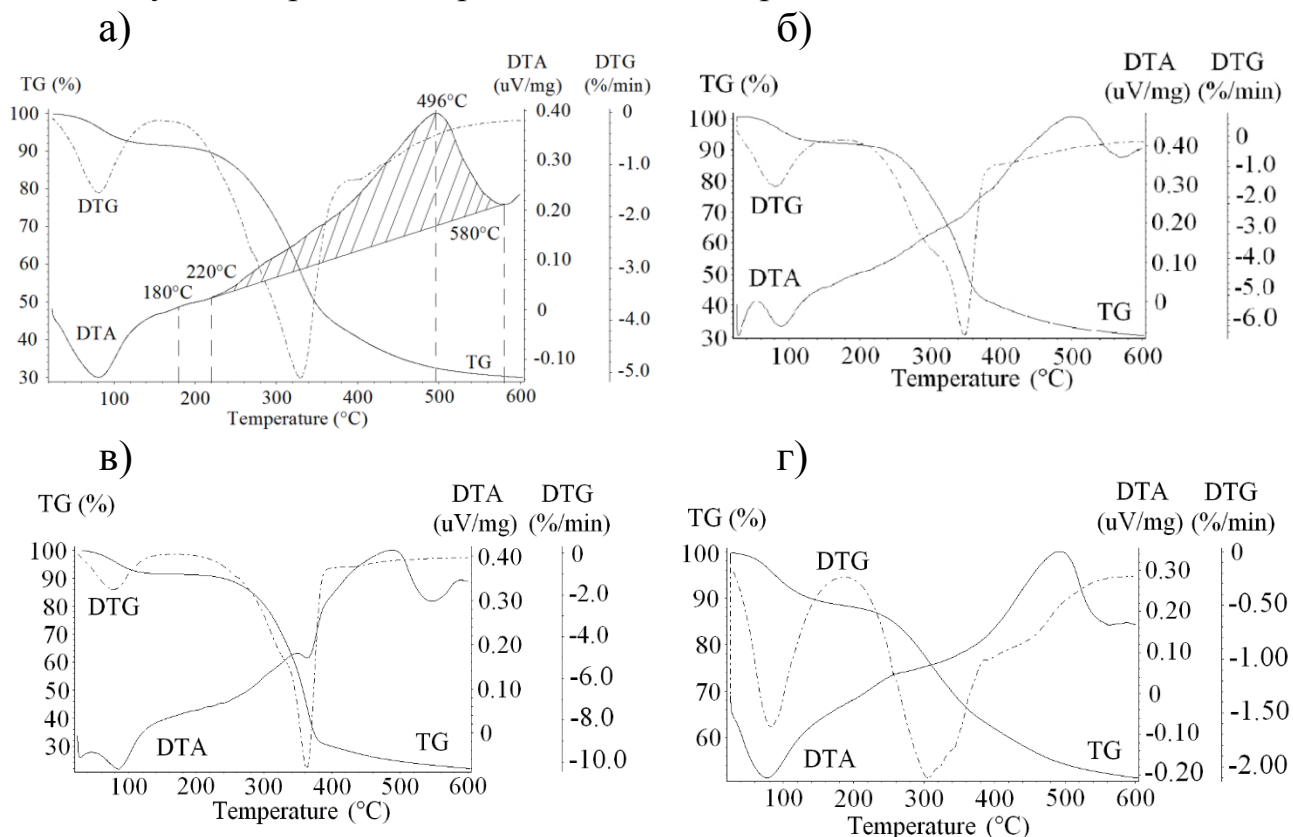


Рис. 1. Кривые дифференциально-термического анализа биомассы: а) – солома, б) – щепка, в) – опилки, г) – суховской торф.

Табл. 2. Тепловые затраты и тепловой эффект пиролиза биомассы

Вид биомассы	Влажность W^a , %	Тепловые затраты на осуществление процесса пиролиза, кДж/кг						Тепловой эффект ($Q_{ТЭ}$), кДж/кг	Суммарный тепловой эффект (Q), кДж/кг
		Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6		
солома	7.0	184.5	113.0	447.4	48.4	121.6	32,7	1371.8	424.2
щепка	7.8	203.9	105.8	435.2	45.8	108.7	41,6	1017.0	76.0
опилки	7.0	183.0	106.7	415.8	32.2	133.1	37,6	987.7	79.3
суховской торф	9.9	258.8	98.0	332.7	28.2	46.1	23,5	776.7	-10.6

Из таблицы видно, что величина теплового эффекта, наблюдаемого при низкотемпературном пиролизе соломы и древесины (щепы и опилок), превышает значение тепловых затрат, необходимых для осуществления процесса. Это свидетельствует о возможности переработки этого сырья в автотермическом режиме при условии предварительной подсушки до воздушно-сухого состояния. Данные результаты подтверждены другими исследователями [5]. Тепловые затраты на осуществление пиролиза у рассматриваемой пробы торфа превышают теплоту, выделяющуюся за счет протекания экзотермических реакций.

Влияние на автотермичность процесса оказывает исходная влажность топлива. В связи с этим была проведена оценка суммарного теплового эффекта при различной исходной влажности топлив (рис. 2).

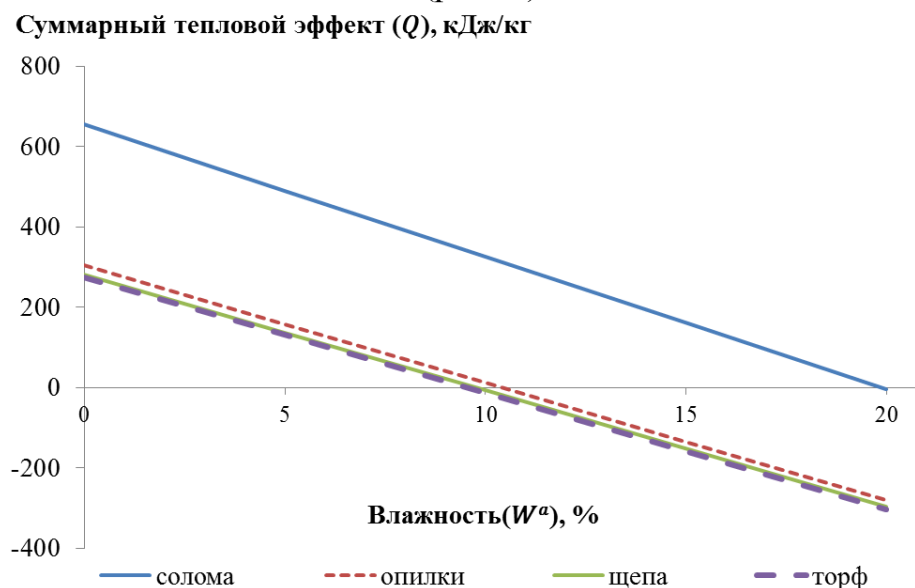


Рис. 2. Зависимость суммарного теплового эффекта (Q) в процессе пиролиза торфа от влажности

Из рис. 2 видно, что переработка суховского торфа может быть осуществлена в автотермическом режиме при условии предварительного подсушивания до значения влажности $W^a = 9,5\%$. Максимальная влажность, при которой возможно автотермическое протекание пиролиза, для соломы равна $19,9\%$, щепы – $10,4\%$, опилок – $9,7\%$.

ЛИТЕРАТУРА:

1. World Energy Outlook Special Report. Energy and Air Pollution. – Paris: International Energy Agency, 2016. – 266 p.
2. Вититнев Ю.И., Учитель А.Д., Кормер М.В., Лялюк В.П., Ляхова И.А., Шмельцер Е.О. Проблемы транспортировки угольных концентратов в период отрицательных температур окружающей среды // Кокс и химия. – 2013. – № 5. – С. 13-19.
3. Kulesh R.N., Orlova K.Y. Field Research of Firing Stored Peat Critical Conditions, MATEC Web of Conferences 72 (2016) 01055.
4. Tabakaev R., Astafev A., Dubinin Yu., Yazykov N., Yakovlev V. Evaluation of autothermal pyrolysis of peat realization for power generation // Waste and Biomass Valorization (в печати).
5. M. Amutio, G. Lopez, R. Aguado, J. Bilbao, M. Olazar, Biomass oxidative flash pyrolysis: Autothermal operation, yields and product properties, Energy and Fuels 26 (2012) 1353–1362.

Научный руководитель: Р.Б. Табакаев, к.т.н., научный сотрудник каф. ПГС и ПГУ ЭНИН ТПУ.