

4. А.с. 1139713 СССР, МПК C02F 3/20. Устройство для аэрации жидкости / Н.Ф. Мещеряков.
5. А.с. 1341167 СССР, МПК C02F 3/20 Устройство для аэрации жидкости: / А.Р. Гросс.

УДК 662.74

Кривова К. Д., Худякова Г. И., Рыжков А. Ф.  
Уральский федеральный университет,  
uge87@mail.ru

## **КОНВЕРСИЯ ЭКИБАСТУЗСКОГО УГЛЯ В ВОЗДУШНОЙ И ПАРОВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ**

В последнее время уделяется большое внимание разработке способов экологичного использования твердого топлива [1], которое, как известно, при прямом сжигании без последующей очистки дымовых газов наносит значительный ущерб окружающей среде. Способы снижения выбросов вредных и опасных веществ топочными методами ведутся многими научными коллективами в России и за рубежом. Одним из путей экологичного использования твердого топлива может служить газификация, последующая очистка и сжигание топливного газа. Полученный топливный газ может использоваться как топливо для тепловых двигателей (ДВС, ГТУ).

Помимо решения экологических вопросов, установки газификации твердого топлива могут служить альтернативой традиционным энергоисточникам. При создании независимого источника топливом могут служить уголь, дрова, опилки и т.д. Особенно актуальной представляется разработка газификаторов малых размеров, относительно простых в изготовлении и способных работать на низкосортных видах твердого топлива, которые имеют высокое содержание влаги или золы.

Газификация твердого топлива – достаточно сложный процесс, поэтому требуются серьезные математические проработки, а также применение методов моделирования, где каждый параметр зависит от целого набора внешних и внутренних факторов, требуются серии экспериментов с изменением параметров процесса: скорости подачи топлива и окислителя, температурной программой, составом дутья и т.д.

Объектом исследования служат процессы в реакторе термохимической конверсии, который работает на угольной пыли стандартного помола. Дутьевым агентом может быть воздух и воздух с присадкой водяного пара.

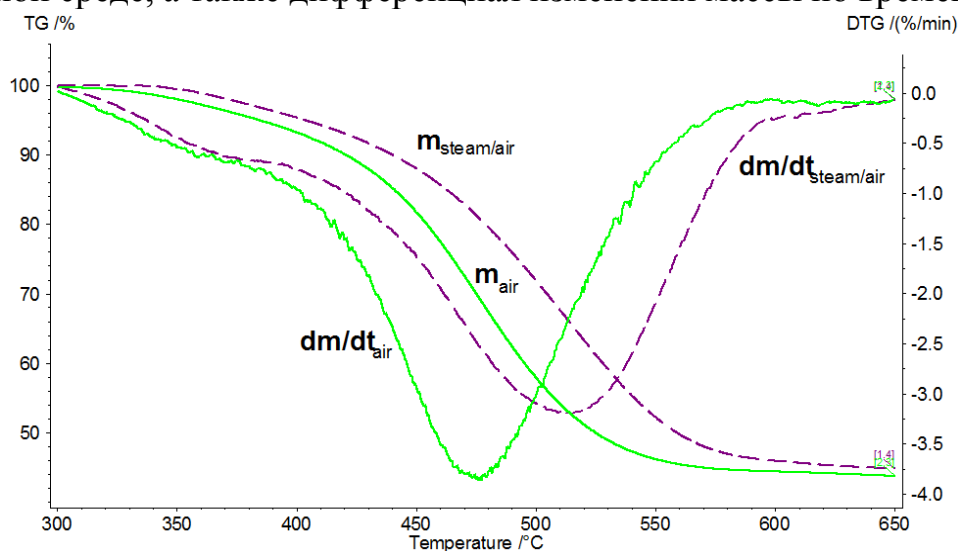
Целью данной работы является моделирование процессов конверсии исходного угольного топлива в воздушной и паровоздушной среде для разработки малой установки газификации твердого топлива при помощи комплекса «Netzsch» как инструмента для экспериментального исследования процессов конверсии топлива.

Одним из основных лабораторных методов для проведения термохимической конверсии твердых топлив является термогравиметрический анализ, кото-

рый позволяет определить кинетические характеристики топлива в различных режимах конверсии, а также скорости его выгорания. Данный метод позволяет регистрировать изменение массы топливной навески, например угля, подвергающейся нагреву в печи при заданной скорости разогрева и дутьевом агенте. Получаемая в эксперименте кривая изменения массы образца в зависимости от времени дает возможность установить температурные диапазоны различных стадий (сушка, выход летучих, выгорание коксового остатка), а также рассчитать эффективные значения кинетических параметров путем соответствующей математической обработки.

Все эксперименты проводились на приборе NETZSCH STA 449F3 со стандартным ТГ-ДСК держателем. Устройство прибора позволяет также организовать синхронный термический анализ эффектов реакции с одновременным измерением концентрации выделяющихся газов на масс-спектрометре. Температура разогрева печи программируется в диапазоне от 25 до 1250 °С. К образцу угля подводится смесь газов, которая позволяет исследовать процесс конверсии в различных режимах конверсии – сжигания в воздухе и газификации в паровоздушной среде.

Исходное топливо (частицы экибастузского угля) подвергалось нагреву со скоростью 7,5 К/мин с воздушным и паровоздушным дутьем (соотношение пар/воздух 0,2 мас.). В ходе экспериментов определено, что влажность представленного образца топлива составила 2 %, зольность 45 %, выход летучих 22 %. На рисунке приведены кривые убыли массы навески топлива в воздушной и паровоздушной среде, а также дифференциал изменения массы по времени.



Конверсия исходного угля в воздушной и паровоздушной среде

Анализируя приведенные зависимости скорости убыли массы по времени, можно отметить, что для паровоздушного дутья реакция идет с некоторым отставанием ( $dm/dt$ ) ввиду недостаточного количества окислителя, подводимого к топливной навеске, а также присутствия пара, который оказывает общий эндотермический эффект. Однако добавление пара к воздушному дутью обогащает получаемый синтез-газ водородом.

Определение кинетических характеристик происходит по общему уравнению процесса (1) независимо от типа исследуемого топлива, параметров ТГА эксперимента. Общее расчетное уравнение включает степень конверсии ( $X$ ), множитель, учитывающий физико-химические свойства образца, и модель превращения частицы  $F(X)$ , константу скорости  $K(T)$ , парциальное давление газа-реагента  $P_r$ , порядок реакции  $n$ :

$$dX/dt = k(T) f(X) P_r^n. \quad (1)$$

Учитывая, что концентрация газа-реагента оставалась постоянной и, принимая порядок реакции равным единице, кажущееся значение константы скорости химического реагирования можно выразить, используя известное уравнение Аррениуса (2):

$$k = k_0 e^{E/RT}, \quad (2)$$

где  $k_0$  и  $E$  – предэкспоненциальный множитель и энергия активации соответственно.

Для определения кинетических констант процесса газификации угля в разных средах методом ТГА использовались стандартные средства интерпретации данных термоаналитических измерений. Задача состояла лишь в корректном выборе модели конверсии. Существуют несколько основных моделей, предложенных различными исследователями, одной из них является объемная модель (volumetric model), в ней  $f(X) = 1-X$ . Данная модель построена на предположении, что гетерогенная реакция взаимодействия окислителя с углеродом происходит на поверхности частицы, а площадь поверхности реагирования уменьшается по мере конверсии. Представленный метод является наиболее простым способом обработки данных, получаемых с помощью термогравиметрического анализа. При этом значение энергии активации и предэкспоненциального множителя рассчитываются для конкретного режима реагирования и для широкого диапазоне конверсии (таблица).

Кинетические характеристики топлива

Параметры эксперимента	Дутьевой агент	Воздух	Пар/воздух
Энергия активации	$E_a$ , кДж/моль	102,7	88,3
Предэкспоненциальный множитель	$k_0$ , 1/с	$3,1 \cdot 10^4$	$1,5 \cdot 10^3$
Достоверность	$r$	0,999	0,999

При этом конверсия исходного угля в среде воздух/пар имеет меньшую энергию активации, для конверсии паром требуется дополнительное количество энергии от сжигания топлива, однако такая реакция обогащает продукты газификации водородом, что увеличивает теплоту сгорания газа. Оптимальным можно назвать режим с выгоранием исходного топлива в воздухе и последующей газификацией смеси коксового остатка топлива и исходного угля в паровоздушной среде.

Определены кинетические характеристики топлива и скорость выгорания исходного топлива в различных режимах, моделирующих установку конверсии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-01226/14 А.

#### Список литературы

1. Ryzhkov A.F., Bogatova T.F., Val'tsev N.V., Gordeev S.I., Khudyakova G.I., Osipov P.V., Abaimov N.A., Chernyavskii N.V., Shul'man V.L. Development of Low Temperature Thermochemical Conversion Reactors for Coal Power Engineering // Thermal Engineering. December 2013. Vol. 60. Issue 12. P. 895–903.

УДК 621.316.9

Кримготов А. Э.<sup>1</sup>, Ключев Р. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Астраханский государственный технический университет (АГТУ)

<sup>2</sup>Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ)  
kluev-roman@rambler.ru

### РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНОГО УГЛА ОТКЛЮЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАЛЫХ ГЭС

В условиях постоянного роста тарифов на электроэнергию в РСО-Алания особую актуальность приобретают вопросы обеспечения республики дешевой и качественной энергией. Наибольший энергетический потенциал РСО-Алания заключается в использовании энергии высокогорных рек. В настоящее время Северо-Осетинский филиал ОАО «РусГидро» включает 6 гидроэлектростанций (ГЭС), заканчивается строительство каскада Зарамагских ГЭС на р. Ардон и ряда малых ГЭС на р. Урух. На кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» СКГМИ (ГТУ) большое внимание уделяется вопросам исследования водно-энергетических режимов, а также статической и динамической устойчивости ГЭС. В статье приведены результаты расчета предельного угла отключения трехфазного короткого замыкания (КЗ) при исследовании динамической устойчивости для генератора с автоматическим регулированием возбуждения (АРВ) пропорционального действия малой ГЭС (МГЭС) «Фаснальская».

На МГЭС установлены 4 генератора по 1,6 МВт каждый. Общая мощность – 6,4 МВт, напряжение – 6,3 кВ. Точка присоединения – п/ст 35/6 кВ «Фаснал», РУ 6 кВ – 2 фидера на одной секции. Передача мощности идет по двухцепным воздушным ЛЭП, выполненным проводом марки АС-120/19, протяженностью 360 м.

Расчет динамической устойчивости:

1. Составление схемы замещения для нормального (I), аварийного (II) и послеаварийного (III) режимов работы синхронного генератора (СГ).

2. Построение угловых характеристик мощности СГ при трехфазном коротком замыкании на одной из ЛЭП 6 кВ.

3. Построение площадей ускорения  $A_{\text{уск}}$  и торможения  $A_{\text{торм}}$  и определение предельного угла отключения КЗ.

Целью расчета является определение предельного угла отключения короткого замыкания (КЗ) ( $\delta'_{\text{пр}}$ ), при котором еще сохраняется возможность