

УДК 662.8.092:531.3 (575.2) (04)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПИРОЛИЗА УГЛЯ В ШНЕКОВОМ РЕАКТОРЕ

А.П. Муслимов, Э.А. Асанов

Рассмотрены параметры технологического режима пиролиза угля и приведены экспериментальные данные и расчетные формулы, позволяющие осуществлять управление процессами в реакторе.

Ключевые слова: пиролиз; шнековый реактор; характеристики процесса.

При получении полукокса различают в зависимости от температуры пиролиза низкотемпературное (720–770 К), среднетемпературное (970–1070) коксование. В традиционных технологиях продуктами пиролиза угля являются полукокс, смола и газ, причем, выход этих продуктов различается как по объему, так и по марке исходного угля. Количество продуктов, образующихся в процессе полукоксования, взаимосвязано и с размером частиц перерабатываемого топлива. При увеличении размера частиц топлива, подвергаемого полукоксанию, несколько уменьшается выход смолы, но повышается количество пирогенетической воды

и газа. Определяющее влияние на выход и состав продуктов полукоксования оказывает конечная температура, до которой нагревают топливо. Повышение конечной температуры также приводит к нарастанию количества получаемой смолы, пирогенетической воды и газа. Выход полукокса и его качество в этих условиях снижается.

В последние годы разрабатываются технологии, позволяющие в пределах технологического цикла достичь повышения качества полукокса за счет удаления сопутствующих продуктов [1]. При этом используют слоевые реакторы шахтного типа с обратным воздушным дутьем. Из-за низкой произ-

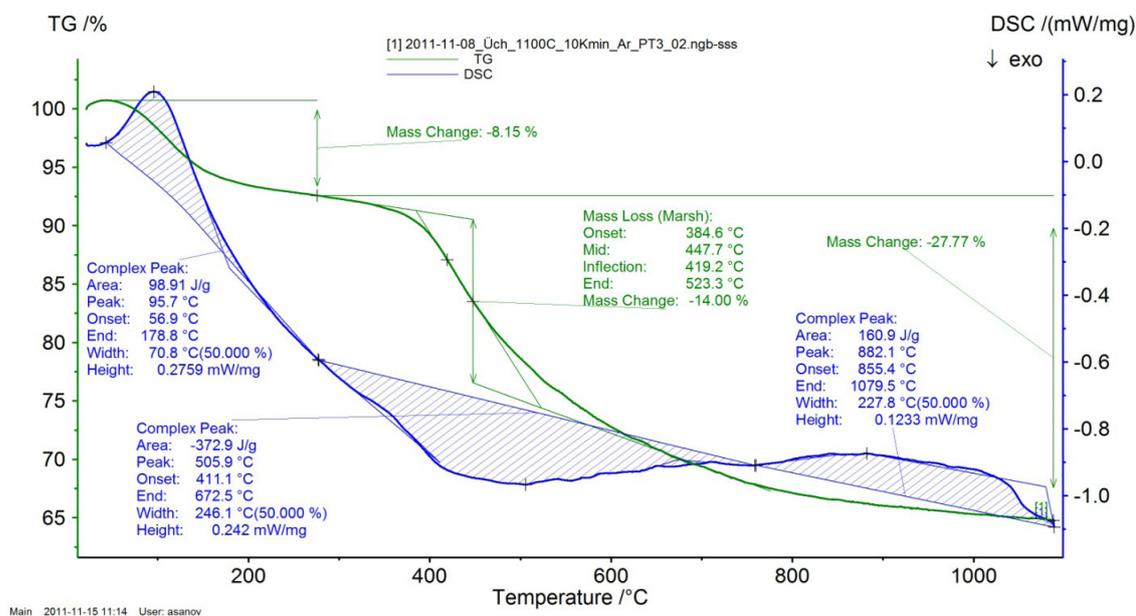


Рисунок 1– Изменение массы образца бурого угля месторождения Кара-Кече

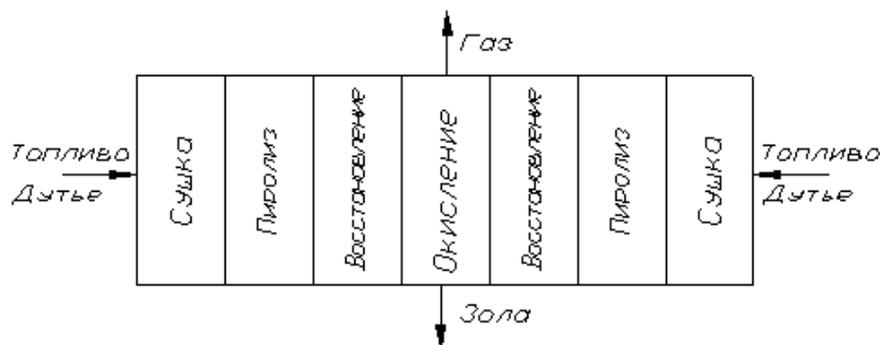


Рисунок 2 – Принципиальная схема пиролиза угля в шнековом реакторе

водительности и сложности управления параметрами процесса они не находят широкого применения. Нами выполнен комплекс исследований, позволяющий исключить отмеченные выше недостатки.

Выбору параметров новой технологической установки и обеспечению их управляемости и стабильности в процессе работы предшествовали исследования теплофизических параметров местных

углей и определение режимов их пиролиза. На базе исследовательской лаборатории энерготехнологической переработки угля Фрайбергской горной академии (Германия) были проведены эксперименты с кыргызскими углями на предмет получения термооблагороженных продуктов и горючего газа. Для определения конечной температуры процесса полукоксования проведен анализ DSC-TG-диаграмм.

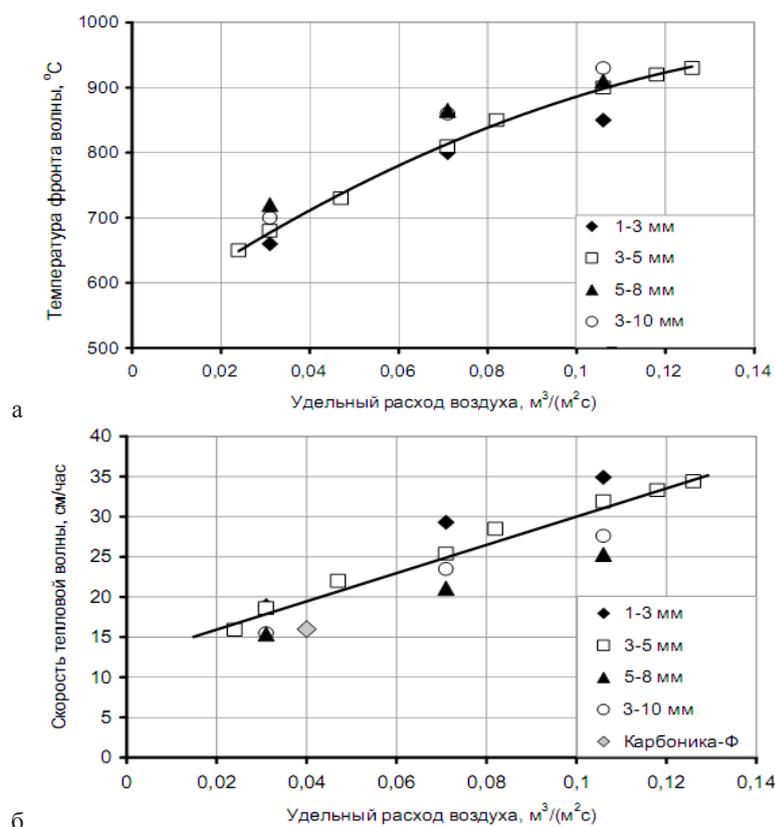


Рисунок 3 – Зависимость температуры во фронте тепловой волны (а) и скорости (б) ее перемещения от расхода воздуха

На рисунке 1 приведен график анализа процесса потери массы образцом Кара-Кечинского бурого угля по методу Марша и наложена DSC-кривая. На графике видно, что определяющая стадия процесса пиролиза начинается в области 385°C и заканчивается в области 524°C, что подтверждает и DSC-кривая. Исходя из этих данных и технического анализа исследуемых углей, разработана технология их переработки в шнековом реакторе.

Реализация процесса пиролиза угля в шнековом реакторе осуществлялась по схеме, приведенной на рисунке 2. Технология пиролиза угля в горизонтально расположенном цилиндрическом реакторе реализуется путем подачи угля и воздуха в камеру с двух противоположных сторон, ее розжигом в центральной части реактора, сушки, пиролиза или окислительной карбонизации угля с получением среднетемпературного кокса (попутного горючего газа), и его выгрузки.

Отличительной особенностью реализуемого процесса пиролиза угля является то, что сырье в камеру подается непрерывно, что повышает производительность. Путем подачи необходимого объема воздуха с противоположной стороны розжига, обеспечивается эффект обратной тепловой волны [2]. При использовании данной технологии пиролиза угля в слоевом процессе с обратным воздушным дутьем за счет огневого обезвреживания происходит нейтрализация опасных продуктов.

При экспериментальном исследовании устанавливался выход коксового продукта приемлемого качества из угля разной фракции при разных расходах воздуха и температурах обработки. Измерялись и рассчитывались характеристики процесса термообработки угля:

- максимальная температура и скорость перемещения фронта горения по длине реактора (камеры пиролиза);
- скорость потери массы угля; удельный выход и калорийность попутного газа;
- выход твердого продукта и его теплота сгорания.

Известно [1], что необходимый температурный режим обеспечивается за счет определенного количества подаваемого воздуха. Последнее, в свою очередь, влияет на скорость реализации процесса или на производительность реактора (см. рисунок 3).

Для обеспечения стабильности подачи угля необходимо также обеспечить постоянство скорости вращения шнековых нагнетателей угля. В качестве привода валов шнековых нагнетателей реактора использован гидравлический привод, принципиальная схема которого приведена на рисунке 4.

Стабилизация скорости вращения вала гидромотора достигается за счет обратной гидравлической

связи. Схема стабилизации скорости подачи угля шнеком, зависящая от угловой скорости вращения вала гидродвигателя, состоит из насоса 1 с постоянной производительностью, дросселя 2 золотниковой типа, основного клапана 3, пружины 4, редукционно-основного клапана 6, параллельно подключенного к дросселю для обеспечения постоянства перепада давления $\Delta P = (P_H - P) = \text{const}$ на дросселе независимо от нагрузки на гидромоторе 7, демпферов 5 для гашения колебания давления в системе в переходных режимах.

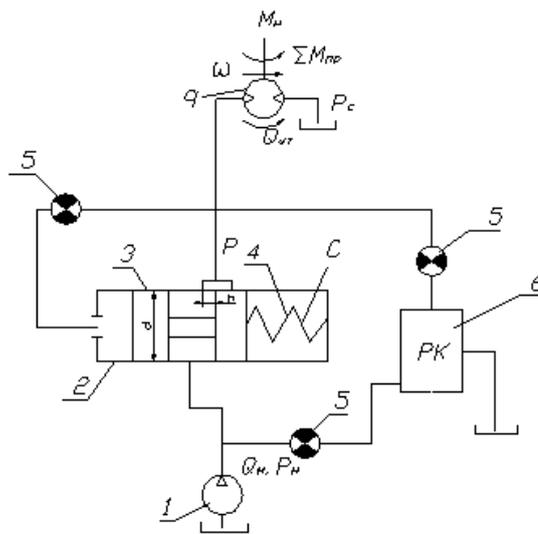


Рисунок 4 – Принципиальная схема стабилизации скорости вращения шнекового реактора

Стабилизация скорости подачи угля шнеком ω обеспечивается следующим образом: при возрастании нагрузки на валу гидромотора M_H повышается давление в его рабочей полости $P = \frac{M_H}{q}$, где q – рабочий объем гидромотора. При этом возрастают внутренние утечки в гидродвигателе $Q_{ym} = K_{ym}P$, что ведет к уменьшению скорости вращения вала мотора.

Одновременно возросшее давление P перемещает основной клапан дросселя вправо, при этом величина проходной щели дросселя h возрастает ровно настолько, чтобы компенсировать внутренние утечки в гидромоторе.

Скорость движения щелевого цилиндра с обратной гидравлической связью определяется следующим выражением для случая увеличения нагрузки на ΔR_H :

$$\omega = \frac{Q}{2\pi q} - \frac{K_{ym}P}{2\pi q} + \frac{\mu\pi d \sqrt{2g\Delta P / \gamma \Delta h}}{q}, \quad (1)$$

где Δh – величина дополнительного открытия щели дросселя под действием усилия R_H .

С другой стороны,

$$K_g = \mu\pi d \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta P} \text{ или } Q = \mu\pi d \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta P} \cdot h, \quad (2)$$

где K_g – коэффициент усиления дросселя; d – диаметр клапана.

Условие равновесия клапана:

$$p \cdot f_{\text{кл}} = c \Delta h, \quad (3)$$

где $f_{\text{кл}}$ – площадь торца клапана; c – коэффициент жесткости пружины дросселя.

С учетом приведенных выше соотношений формула (1) примет вид:

$$\omega = \frac{K_3(h + \Delta h)}{\frac{q}{2n}} - \frac{K_{ym}(M_H + \Delta M_H) \frac{1}{K_M}}{\frac{q}{2n}}$$

Очевидно, что для полной стабилизации необходимо выполнение следующего условия:

$$\frac{K_3 \Delta h}{\frac{q}{2n}} = K_{ym} \frac{(M_H + \Delta M_H) \frac{1}{K_M}}{\frac{q}{2n}}, \text{ т.е.}$$

$$K_g \Delta h = K_{ym} \cdot \frac{1}{K_M} (M_H + \Delta M_H). \quad (4)$$

Коэффициент жесткости пружины и площадь торца клапана определяются из формулы (4). На рисунке 5 приведена расчетная схема регулятора расхода дроссельного типа.

Уравнение динамического равновесия клапана регулятора расхода имеет следующий вид:

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} + F_g + F_{yn} + F_{зуд} = P f_{\text{кл}}, \quad (5)$$

где m – масса якоря и клапана; F_g – сила вязкого трения между золотником и корпусом регулятора:

$$F_g = 6\pi\eta RV,$$

где R – радиус клапана; V – скорость движения клапана; η – динамическая вязкость масла; F_{yn} – сила упругости пружины регулятора:

$$F_{yn} = ch;$$

$F_{зуд}$ – гидравлическая сила потока масла, проходящего через регулятор:

$$F_{зуд} = 2\mu x h \Delta p \cos 69^\circ,$$

где μ – коэффициент расхода для таких регуляторов; x – периметр пропускной щели, в данном случае при диаметре пропускной щели d_1 , $x = \pi d_1$.

Подставляя указанные выше формулы в уравнение равновесия, получим:

$$m \frac{d^2 h}{dt^2} + 6\pi\eta RV + ch + 2\mu x h \Delta p \cos 69^\circ = P f_{\text{кл}}.$$

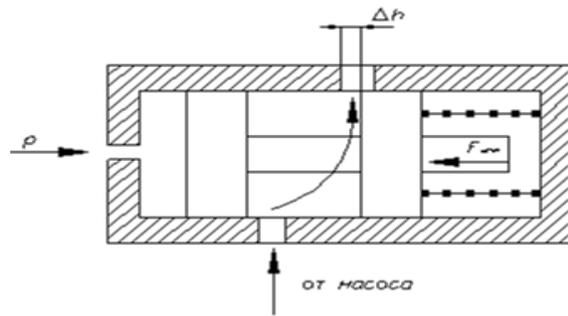


Рисунок 5 – Расчетная схема регулятора расхода дроссельного типа

Или поделив на $c + 2\mu x h \Delta p \cos 69^\circ$, получим:

$$(T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1)h = P f_{\text{кл}}, \quad (6)$$

где T_0 – постоянная времени клапана,

$$T_0 = \sqrt{\frac{m}{c + 2\mu x \Delta p \cos 69^\circ}},$$

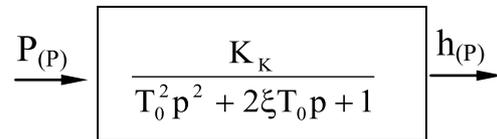
ξ – коэффициент относительного демпфирования, $\xi = \frac{3\mu\eta R}{T_0(c + 2\mu x \Delta p \cos 69^\circ)}$.

Передаточная функция данного звена:

$$W(p)_g = \frac{\Delta h(p)}{\Delta M_H} = \frac{K_k}{T_0^2 p^2 + 2\xi T_0 p + 1}, \quad (7)$$

где $K_k = \frac{f_{\text{кл}}}{c + 2\mu x h \Delta p \cos 69^\circ}$.

Структурная схема имеет вид:



При известных исходных данных несложно рассчитать и получить в виде графиков переходную характеристику регулятора расхода. Аналогично для пропускной щели, зная уравнение расхода $Q = k_g h$, устанавливается передаточная функция в виде

$$W(p)_{щ} = \frac{Q(p)}{h(p)} = k_g, \quad (8)$$

где k_g – коэффициент усиления данного звена.

По известной величине угловой скорости приводного вала шнекового реактора и конструктивных параметров рассчитывается его производительность

$$P = 0,785(D^2 - d^2)(s - b)\phi\kappa\omega/2\pi,$$

где D – наружный диаметр питателя; d – диаметр вала, м; s – шаг винта, м; b – толщина витков, м; ϕ – коэффициент заполнения полостей винта; κ –

коэффициент проскальзывания дозируемого материала в полостях винта (0,3...1,0); ω – угловая скорость винта.

Литература

1. Технология совмещенного производства полуккокса и горючего газа из угля / С.Г. Степанов,

С.Р. Исламов, А.Б. Морозов // Уголь. 2002. № 6. С. 27–29.

2. Асанов Э.А. Организация и управление процессом переработки угля в шнековом газогенераторе // Вестник КРСУ. 2011. Том 11. № 11. С.119 – 122.