

Выводы:

– наибольшая экономическая эффективность технологической схемы производства вскрышных работ при эксплуатации россыпных месторождений достигается при высокой степени концентрации горных работ в рабочей зоне ($K_T = 80 \div 100\%$) и низкой концентрации комплексов горнотранспортного оборудования на уступах большой металлоемкости и относительно высокими затратами на транспортирование вскрыши во внутренний отвал;

– установлено, что к таким технологическим схемам относятся схемы комбинированной системы разработки предусматривающие использование комплексов вскрышного оборудования, включающих совместное применение экскаваторов-драглайнов, перегрузочного бункера и отвалообразователя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новожилов М.Г., Эскин В.С., Корсунский Г.Я. Теория и практика открытой разработки горизонтальных месторождений. – М.: Недра, 1978. – 327 с.
2. Собко Б.Е. Выбор и обоснование показателей оценки технологических схем разработки россыпных месторождений. – Сборник научных трудов НГУ № 27, РИК НГУ, 2007. – С. 42-47.

УДК 622.243.94:662.612.322

С.В. Демченко, мл. науч. сотр.,
ИГТМ НАН Украины

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ В КАМЕРЕ ГЕНЕРАТОРА ГАЗОВОЙ СТРУИ

Розглянуто процес неповного згорання вугільного пилу в камері генератору високотемпературного газового струменю, яка працює в режимі з нестачею окислювачу $\alpha < 1$. Отримано значення теоретичної температури графічним та теоретичним методами, а також склад продуктів неповного згорання вугільного пилу.

THE CALCULATION OF PARAMETERS OF THE COAL GASIFICATION IN THE GAS JET GENERATOR CAMERA

The process of incomplete combustion of the coal dusts in the first camera of high temperature gas jet generator that working in oxidant deficiency $\alpha < 1$ mode is considered. The values of theoretical temperature are obtained by graphic and theoretical methods as well products compound of coal dust incomplete combustion at two stage combustion.

Добыча и использование угля как первичного энергоносителя при существующих технологиях имеют определенные ограничения экономического, экологического и социального характера. Переход на «Чистые угольные технологии» позволит существенно снизить или даже полностью устранить эти сдерживающие факторы более широкого использования угля в большой энергетике. Одним из наиболее перспективных направлений является углегазификация и создание на ее основе угольно-водородной энергетики. Процесс термической переработки топлива, включаемый в большинство энерготехнологических схем, должен быть высокоинтенсивным и управляемым, позволяю-

щим регулировать выход и качество получаемых продуктов, от которых зависит экономика энерготехнологического использования топлива.

Ранее выполненными в ИГТМ НАН Украины теоретическими и экспериментальными исследованиями температуры продуктов полного сгорания углеводородного жидкого топлива доказано, что использование в качестве окислителя охлаждающего камеру сгорания воздуха приводит к существенному повышению энергетических параметров газовой струи [1,2]. Кроме того, такая схема подачи окислителя отличается простотой и надежностью в работе. Поэтому при разработке модели генератора газовой струи, работающего на пылевидном угле, для достижения удовлетворительного сгорания угля с низким содержанием летучих веществ следует принимать схему двухкамерного генератора, в котором реализуется способ двухстадийного сжигания топлива. В этом случае обеспечивается гомогенное горение, т.е. более тесное и активное взаимодействие горючего и окислителя и, как следствие, повышение скорости и полноты сгорания.

Изучение горения углерода в камере сгорания показало, что окисление сопровождается газификационным процессом. Процесс сгорания углерода протекает по следующим первичным реакциям:



Многочисленными опытами доказано, что углекислота CO_2 и окись углерода CO образуется одновременно. Количественное соотношение CO и CO_2 зависит от режимных условий. Так, при температуре до 1570К отношение $CO:CO_2 = 1$, а при повышении температуры оно увеличивается.

Почти всегда при горении углерода, кроме первичных реакций, протекают и вторичные:



Первые три написанные выше реакции являются гетерогенными, а последняя – гомогенной [3].

Изучение процессов горения при высокой температуре связано с двумя основными проблемами. Первой из них является определение состава и количества возможных продуктов горения, а также выяснение термодинамических свойств смеси при различных условиях горения. Второй проблемой является определение количества тепла, освобожденного при горении, максимальной достижимой температуры горения или работы, которая может быть получена при соблюдении установленных упрощений и при условиях, в которых происходит горение.

Ниже рассматривается первая стадия процесса горения твердого топлива в камере генератора тепла при коэффициенте избытка окислителя $\alpha < 1$, т.е. случай неполного горения топлива (газификации). Состав продуктов неполного горения топлива при температуре $T < 2500K$ и $\alpha = 0,7$ определяется равновесием

реакции конверсии CO водяным паром [4]



Расчет выхода и состава продуктов неполного сгорания на 1 кг твердого топлива производится при известных составах топлива и окислителя и заданном значении коэффициента избытка окислителя.

Выход азота V_{N_2} определяется по формуле

$$V_{N_2} = V_{0_{N_2}} + 0,79(\alpha - 1)V_{0_B}, \quad (1)$$

где $V_{0_{N_2}}$, V_{0_B} – теоретический выход соответственно азота и воздуха, приходящихся на 1 кг сжигаемого топлива, м³/кг.

Теоретический выход азота определяется так же, как и при полном горении

$$V_{0_{N_2}} = 0,008N^p + 0,79V_{0_B},$$

где N^p – рабочая масса азота в топливе, %.

Выход остальных продуктов неполного горения определяется совместным решением четырех уравнений:

1) уравнение константы равновесия реакции конверсии CO водяным паром

$$K_p = V_{CO_2} \cdot V_{H_2} / (V_{CO} \cdot V_{H_2O}); \quad (2)$$

2) уравнение баланса углерода

$$V_{CO_2} + V_{CO} = 0,01866C^p; \quad (3)$$

3) уравнение баланса водорода

$$V_{H_2} + V_{H_2O} = 0,111H^p + 0,0124W^p + 0,00124\alpha V_{0_B} d_B + 1,24G_\phi; \quad (4)$$

4) уравнения баланса кислорода

$$V_{CO_2} + 0,5V_{CO} + 0,5V_{H_2O} = 0,0070^p + 0,0062W^p + \\ + 0,01\alpha V_{0_B} O_{2_B} + 0,00062\alpha V_{0_B} d_B + 0,622G_\phi, \quad (5)$$

где $V_{CO_2}, V_{H_2}, V_{CO}, V_{H_2O}$ – выход соответственно углекислого газа, водорода, окиси углерода, водяного пара, приходящихся на 1кг сжигаемого топлива в камере генератора тепла, кг/м³; C, H , – масса соответственно углерода и водорода в топливе, %, индексом p обозначается рабочая масса вещества; O_{2B} – масса кислорода в воздухе, %; W^p – влага рабочей массы топлива, %; d_e – влажесодержание воздуха, кг/м³ (в соответствии с работой [4] может быть принято равным 0,013 кг/м³); G_ϕ – удельный расход пара на распыливание топлива (от 0,03 до 1кг/кг в зависимости от типа форсунки).

Для решения системы уравнений значения V_{H_2O}, V_{H_2} и V_{CO} , выраженные через V_{CO_2} , из уравнений (3)-(5) подставляют в уравнение (2). Для известной температуры равновесия значение K_p выбирают из таблицы 7.11 в работе [4].

Равновесный состав продуктов неполного горения и их теоретическую температуру определяют графическим методом (рис. 1), как указано в работе [4]. Построив зависимость полученных значений выходов продуктов горения и $T_{геор}$ от принятых значений равновесной температуры T_p , находят истинные значения $T_{геор}$ в точке пересечения кривой $T_{геор} = f(T_p)$ с прямой $T_{геор} = T_p$. Для полученного значения $T_{геор}$ по графику определяют равновесный выход продуктов неполного горения, а затем рассчитывают их состав.

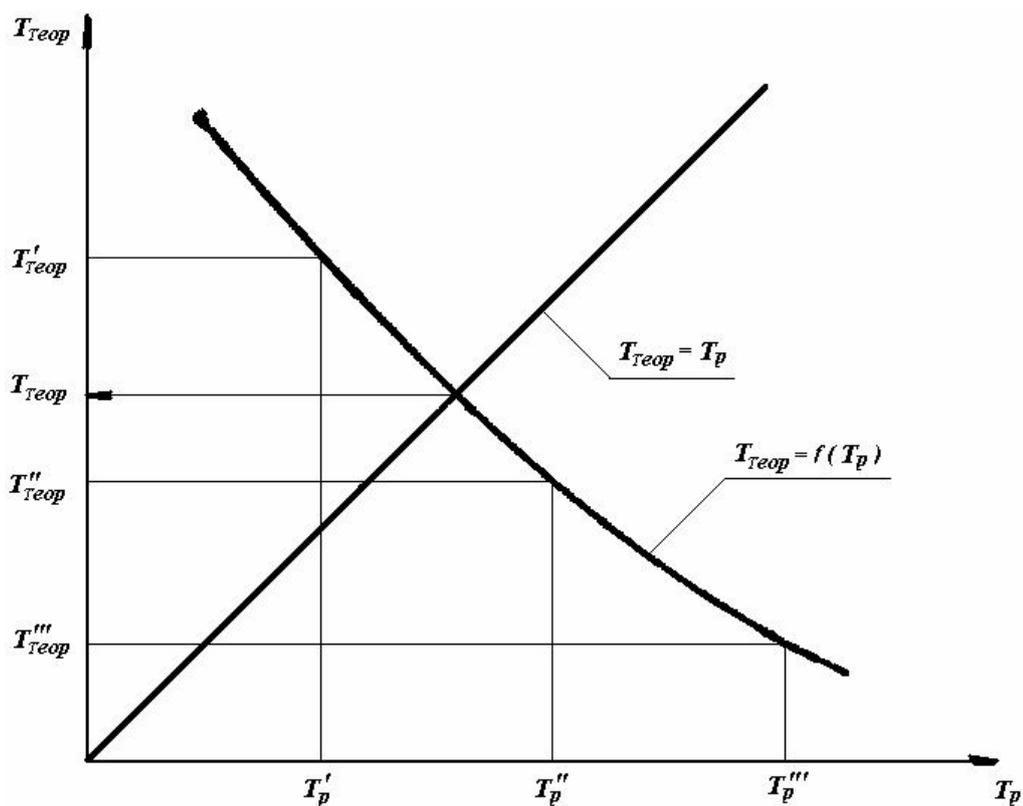


Рис. 1 – К расчету теоретической температуры горения

В теплотехнических расчетах, не требующих высокой точности, может быть использована упрощенная методика расчета теоретических температур.

Так как при $T < 2500\text{K}$ диссоциирует лишь малая часть CO_2 и H_2O , а продукты диссоциации в общем объеме продуктов сгорания составляют еще меньшую часть, для упрощенного расчета теоретической температуры горения принимают, что энтальпия продуктов сгорания не меняется в результате диссоциации CO_2 и H_2O . При таком допущении

$$T_{\text{теор}} = \frac{Q_n^p + V_6 c_6 T_6 + c_T T_T - q_d}{\sum V_i c_i}, \quad (6)$$

где Q_n^p - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; c_i - теплоемкость отдельных компонентов продуктов сгорания, кДж/(м³·К); V_i - выход продуктов сгорания, м³; q_d - потеря теплоты от диссоциации CO_2 и H_2O , кДж/кг.

Индексы v и t относятся соответственно к воздуху и топливу.

Потери теплоты от диссоциации CO_2 и H_2O определяются выражением

$$q_d = 1264 \alpha_d V_{\text{CO}_2} + 10800 \beta_d V_{\text{H}_2\text{O}},$$

где α_d - степень диссоциации углекислого газа, %; β_d - степень диссоциации водяного пара, %.

Значения α_d и β_d берутся из таблиц 7.14 и 7.15 в работе [4].

Для иллюстрации применения описанной методики приведен пример расчета показателей неполного горения угля в камере генератора тепла. Расчеты приведены для следующих исходных данных: топливо - Донецкий каменный уголь марки «Д»; распыливание в камере сгорания - воздушное ($W_{\text{двг}}=0$); коэффициент избытка воздуха $\alpha=0,7$; температура угля $T_T=293\text{K}$; удельная теплоемкость угля $c_T=1,3\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$; температура воздуха, подаваемого для горения $T_6=293$ и 673K .

Физико-химическая характеристика угля: $C^T=75,5\%$; $H^T=5,5\%$; $N^T=1,6\%$; $O^T=13,2\%$; $S_n^T=4,2\%$; $A^c=18\%$; $W^p=13\%$; $Q_n^p=23,56$ МДж/кг.

Здесь символы A - зола, S_n - летучая сера, индексы T и c обозначают горючую и сухую массу топлива.

После пересчета горючей и сухой массы топлива в рабочую получим следующую характеристику угля: $C^p=53,83\%$; $H^p=3,92\%$; $N^p=1,14\%$; $O^p=9,41\%$; $S_n^p=3\%$; $A^p=15,7\%$; $W^p=13\%$.

На рис. 2 приведен состав продуктов неполного сгорания ($\alpha=0,7$) угля и их теоретическая температура. Из графика определяем значения компонентов продуктов неполного сгорания: $V_{\text{CO}_2}=0,465\text{м}^3/\text{кг}$; $V_{\text{CO}}=0,540\text{м}^3/\text{кг}$; $V_{\text{H}_2\text{O}}=0,475\text{м}^3/\text{кг}$; $V_{\text{H}_2}=0,120\text{м}^3/\text{кг}$. Выход азота определяется по формуле (1) и составляет $V_{\text{N}_2}=3,112\text{м}^3/\text{кг}$. Теоретическая температура продуктов неполного сгорания угля составляет $T_{\text{теор}}=1950\text{K}$.

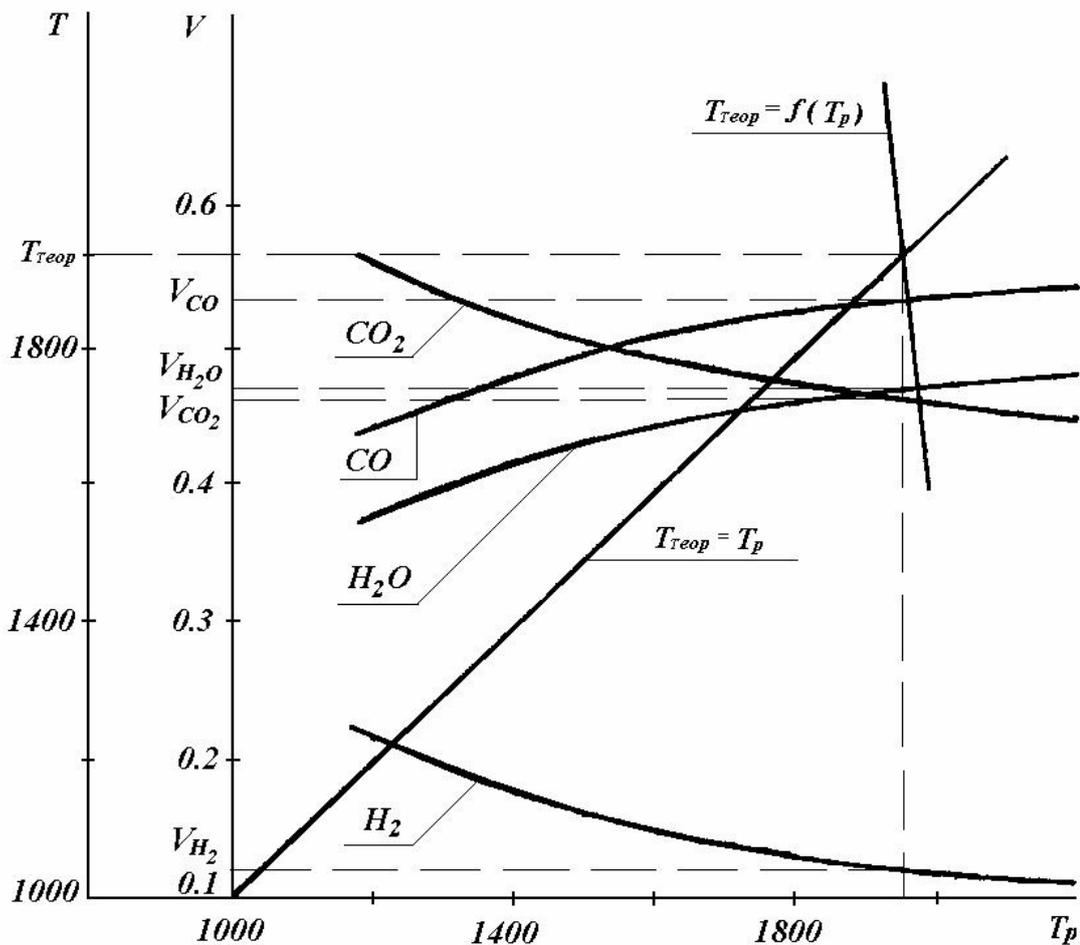


Рис. 2 – Состав продуктов неполного сгорания угля и их теоретическая температура при $\alpha=0,7$

Выход продуктов неполного сгорания угля определяется по формуле

$$V_I = V_{CO_2} + V_{CO} + V_{N_2} + V_{H_2O} + V_{H_2}.$$

Объемная доля компонентов продуктов сгорания определяется из выражения

$$r_i = \frac{V_i}{V_{\tilde{A}}} \cdot 100$$

и составляет $r_{CO_2} = 9,9\%$; $r_{CO} = 11,5\%$; $r_{N_2} = 66,0\%$; $r_{H_2} = 2,6\%$; $r_{H_2O} = 10\%$.

Молекулярная масса смеси газов составляет

$$\mu_{см} = \sum_i^n r_i \mu_i = 0,099 \cdot 44 + 0,115 \cdot 28 + 0,66 \cdot 28 + 0,026 \cdot 2 + 0,1 \cdot 18 = 27,9 \text{ кг/кмоль.}$$

Значение теоретической температуры газов, определенное по формуле (6)

(решается методом последовательных приближений), равно 1943К. Видно хорошее согласование результатов определения теоретической температуры продуктов сгорания графическим и теоретическим методами.

Таким образом, в процессе теоретических исследований, на примере исходного топлива – Донецкого каменного угля марки «Д», была получена теоретическая температура продуктов неполного сгорания угольной пыли в первой камере генератора газовой струи $T_{теор} \approx 1950\text{К}$ при коэффициенте избытка окислителя 0,7. Также определен состав продуктов неполного горения угольной пыли: $r_{CO_2} = 9,9\%$; $r_{CO} = 11,5\%$; $r_{N_2} = 66,0\%$; $r_{H_2} = 2,6\%$; $r_{H_2O} = 10\%$, которая является исходными данными для последующего расчета параметров процесса полного сгорания во второй камере газоструйного генератора реактивного типа. Для дожигания продуктов неполного сгорания в качестве окислителя используется подогретый сжатый воздух (хладагент первой камеры), что позволяет получить газовую струю с высокими тепловыми параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Л.М. Пути повышения энергетических параметров газовой струи термоинструмента/Л.М. Васильев, Е.Ю. Пигида, Н.Н. Панасенко//Геотехническая механика. Сб. науч. тр./ИГТМ НАН Украины - Днепропетровск, 1988. – Вып. 6. – С. 89-95.
2. Пигида Е.Ю. Способ повышения эффективности разрушения горных пород газовыми струями/Е.Ю. Пигида, В.А. Танцура, М.М. Кононова, Б.И. Милов // Разрушение горных пород при статическом и динамическом нагружении. Сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины – Днепропетровск, 1990. – С. 65-69.
3. Пигида Е.Ю. Определение параметров камеры сгорания угольной пыли в теплогенерирующих устройствах / Е.Ю. Пигида, Я.А. Пристай, Л.М. Васильев // Геотехническая механика. Сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины – Днепропетровск, 2004. – Вып. 49. – С. 167-172.
4. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / Под общей ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина, кн.2, – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 557 с.

УДК 622.224:532.528

П.Ю. Моисеенко, инженер,
ОАО "Краснодонуголь"

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕРАТОРА КАВИТАЦИИ ЖИДКОСТИ ПРИ ГИДРОИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Розглянуто конструктивні особливості кавітаційних генераторів коливання тиску при імпульсному нагнітанні рідини у вугільні пласти.

THE DESIGN FEATERS OF THE LIQUID CAVITATION GENERATOR AT HYDRO-PULSE INFLUENCE

The design features of the cavitations generators of pressure oscillation at the impulsive injection of liquid in the coal layer are considered.

Применение различных режимов нагнетания жидкости в угольные пласты с целью создания безопасных условий ведения горных работ по пылевому и газовому факторам многократно проверено и подтверждено практикой ведения горных работ. Вместе с тем ухудшение горно-геологических условий на