

УДК 662.74:536.7

**РАСЧЕТ ПРОЦЕССА СЛОЕВОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ САРЫАДЫР (ПЛАСТ «НАДЕЖНЫЙ»)**

М.А. Набиев, Б.Т. Ермагамбет, Н.У. Нурғалиев

ТОО «Институт химии угля и технологии» (Казахстан, г. Астана)

Процесс газификации твердых топлив считается одним из наиболее перспективных направлений использования угля и позволяет получать синтез-газ для производства жидких моторных топлив, технологические газы для химической промышленности и металлургии, газообразный энергоноситель для производства электрической и тепловой энергии и др. При этом весьма актуальным является определение оптимальных технологических режимов ведения процесса, что возможно осуществить только на основе расчетных моделей газификации /1/.

Для реализации математического моделирования процесса слоевой газификации выбран метод проф. Доброхотова Н.Н., который используется при расчетах газификации как каменных, так и бурых углей /2/. Основным результатом расчета является определение состава и количества генераторного газа, исходя из рабочего состава угля, то есть без проведения экспериментов.

В данном методе расчет ведется отдельно по обеим стадиям: а) стадии сухого разложения (в верхней части генератора) и б) собственно процесса газификации (в нижней части генератора). При этом, исходя из практических данных, задаются распределением

содержащих в топливе углерода С, кислорода O₂ и водорода H₂ между составными частями генераторного газа. Затем подсчитывают количество CO, H₂, CO₂ и H₂O в газе, полученном по основному генераторному процессу в нижней части газификатора. Этот последний процесс характеризуется следующими уравнениями /2/:



Расчет процесса газификации Сарыадырского угля (пласт «Надежный») проводился в режиме дутья паро-воздушной смеси, значения расходов которых (согласно данной методике) принимались равными: водяного пара – 0,2; 0,3; 0,4 кг/кг и воздуха – 1,06; 1,11; 1,16 м³/кг (на 1 кг угля). В связи с этим количество расчетов проводилось 3² = 9 раз, т.е. комбинации проводились между всеми параметрами из этих интервалов. Выбор такого количества расчетов обусловлен определением оптимальных технологических режимов ведения процесса получения энергетического и синтез-газов. При этом основными отличительными характеристиками энергетического и синтез-газов будут являться наибольшие значения суммы основных горючих компонентов газа (CO, H₂, CH₄) и заданные объемные соотношения CO/H₂ (1-3) соответственно. Выбор указанных соотношений CO/H₂ обусловлен тем, что обычно их используют для синтеза жидких моторных топлив и различных ценных химических продуктов в зависимости от условий проведения синтеза /3/.

В таблице 1 приведена характеристика Сарыадырского угля.

Таблица 1. Характеристика Сарыадырского угля (пласт «Надежный»)

Топливо	Состав угля (на рабочую массу), %								Теплота сгорания, (ккал/кг)	
									ВЫСШ.	НИЗШ.
	W_t^r	A^r	V^{daf}	C^r	O^r	H^r	N^r	S^r	Q_y^e	Q_y^u
Сарыадыр	2,94	46,47	27,68	40,71	6,56	2,66	0,39	0,27	3932	3771

Результаты проведенного расчета представлены в таблице 2 и на рисунках 1,2. Теплотворную способность газа Q_g и КПД газификации η (в %) определяли как:

$$Q_g = (3016 \cdot CO + 2576 \cdot H_2 + 8558 \cdot CH_4 + 5620 \cdot H_2S) \cdot 0,01 \text{ ккал/м}^3$$

Q_g – теплотворная способность газа; 3016, 2576, 8558, 5620 – теплотворные способности газов (в ккал/м³) CO , H_2 , CH_4 , H_2S соответственно; CO , H_2 , CH_4 , H_2S – содержание компонентов в газе, об. %.

$$\eta = \frac{V_g \cdot Q_g}{M \cdot Q_y} \cdot 100 \%$$

Q_g и Q_y – теплотворные способности газа и угля соответственно (ккал/кг); V_g – объем полученного газа (м³); M – масса израсходованного угля (кг).

Анализ полученных данных показывает, что максимальный общий выход основных компонентов газа (H_2 , CO , CH_4) (48,35 % для сухого газа) наблюдается при наименьших расходах воздуха (1,06 м³/кг) и пара (0,2 кг/кг) (режим 3 в таблице 2). Аналогично, наименьший выход основных компонентов газа H_2 , CO , CH_4 (42,29 % для сухого газа) наблюдается при наибольших расходах воздуха (1,16 м³/кг) и пара (0,4 кг/кг) (режим 7 в таблице 2).

Таблица 2. Варианты ведения процесса газификации угля
Сарыадырского месторождения (пласт «Надежный»)

Режим	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расход пара (кг/кг)	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Расход воздуха (м³/кг)	1,16	1,11	1,06	1,16	1,11	1,06	1,16	1,11	1,06
Температура газификации (°C)	900	900	900	900	900	900	900	900	900
Выход влажного газа (м³/кг)	2,04	2,00	1,96	2,16	2,12	2,08	2,29	2,24	2,20
Выход сухого газа (м³/кг)	1,89	1,85	1,82	1,94	1,90	1,87	1,97	1,94	1,91
Сумма: CO+ H ₂ + CH ₄ (об. %)	40,93 44,25	42,99 46,36	44,95 48,35	38,57 43,12	40,48 45,11	42,27 46,98	36,48 42,29	38,22 44,21	39,87 45,99
Соотношение: H ₂ /CO	0,654	0,651	0,649	0,847	0,845	0,843	1,029	1,027	1,026
Состав газа (%):	влажный / сухой								
CO ₂	5,88 6,35	5,26 5,67	4,68 5,03	7,82 8,75	7,37 8,21	6,94 7,71	9,06 10,50	8,71 10,07	8,39 9,67
CH ₄	2,56 2,76	2,61 2,82	2,67 2,87	2,41 2,69	2,46 2,74	2,51 2,79	2,28 2,64	2,32 2,69	2,36 2,73
CO	23,20 25,09	24,46 26,37	25,64 27,58	19,58 21,89	20,61 22,97	21,57 23,97	16,86 19,54	17,71 20,48	18,51 21,35
H ₂ S	0,07 0,08	0,08 0,08	0,08 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08	0,07 0,08
H ₂	15,17 16,40	15,92 17,17	16,64 17,90	16,58 18,54	17,41 19,40	18,19 20,22	17,34 20,11	18,19 21,04	19,00 21,91
N ₂	45,24 48,92	44,04 47,49	42,90 46,13	42,64 47,67	41,45 46,21	40,33 44,83	40,32 46,75	39,16 45,27	38,06 43,88
H ₂ O	7,52 -	7,26 -	7,01 -	10,55 -	10,29 -	10,03 -	13,75 -	13,51 -	13,27 -
C ₂ H ₄	0,37 0,39	0,37 0,40	0,38 0,41	0,34 0,38	0,35 0,39	0,36 0,40	0,33 0,38	0,33 0,38	0,34 0,39
Итого	100	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Теплота сгорания Q _г , ккал/м³	1420,2	1483,4	1542,7	1372,7	1431,5	1486,7	1337,8	1393,6	1445,9
η _г (КПД), %	71,04	72,81	74,41	70,47	72,21	73,79	70,02	71,75	73,32

Увеличение расхода водяного пара (в диапазоне 0,2-0,4 кг/кг) приводит к:

- 1) заметному повышению концентрации диоксида углерода CO_2 и водорода H_2 ,
- 2) заметному уменьшению выхода оксида углерода CO и незначительному снижению доли компонентов метана CH_4 ; азота N_2 , этилена C_2H_4 .
- 3) повышению целевого соотношения $\text{H}_2:\text{CO}$ (от 0,65 до 1,03);
- 4) уменьшению суммарного выхода основных компонентов газа ($\text{H}_2, \text{CO}, \text{CH}_4$).
- 5) увеличению общего выхода газа;
- 6) уменьшению теплоты сгорания Q_r , КПД газификации η_r .

Влияние H_2O в пунктах 1)-3) можно объяснить тем, что в соответствии с реакцией водяного газа: $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$.

Увеличение расхода воздуха приводит к аналогичному влиянию на состав газа, за исключением того, что уменьшается выход H_2 и повышается выход азота N_2 .

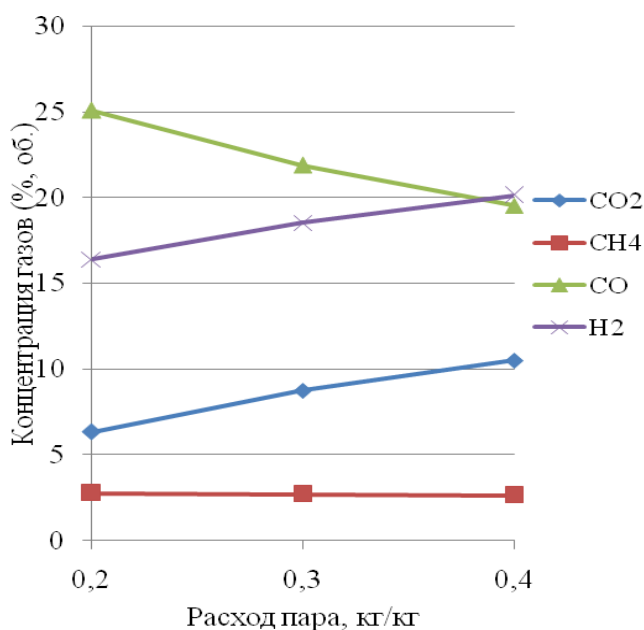


Рис.1. Влияние расхода водяного пара (на 1 кг угля) на выход компонентов сухого газа из Сарыадырского угля при расходе воздуха 1,16 м³/кг

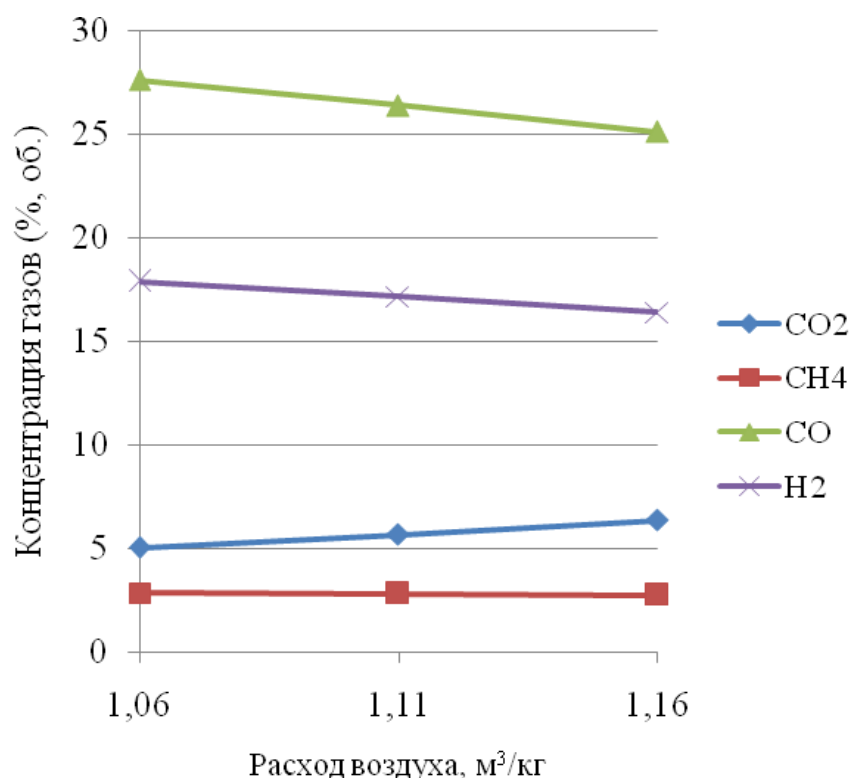


Рис. 2. Влияние расхода воздуха (на 1 кг угля) на выход компонентов сухого газа из Сарыадырского угля при расходе водяного пара 0,2 кг/кг

Полученные данные показали, что для получения энергетического газа с наибольшими показателями по калорийности и КПД газификации необходимо, чтобы расходы вдуваемого пара и воздуха были наименьшими, но достаточными для качественного сжигания угля, т.е. с минимальными остатками шлака. Таким условиям из заданных диапазонов значений количества паро-воздушного дутья соответствует режим 3 (таблица 2), в котором получаемое количество наибольшей суммы основных компонентов газа (H_2, CO, CH_4) – 48,35 %. Для режима 3, соответствующего оптимальному режиму ведения процесса для получения энергетического газа, в таблице 3 представлен материальный баланс процесса газификации. Незначительное расхождение между статьями расхода и прихода связано с погрешностью расчета, что составляет $\approx 0,12$ %.

Для получения синтез-газа наиболее подходит режим 7 с максимальным соотношением $H_2/CO = 1,029$ при максимальных значениях расходов воздуха ($1,16 \text{ м}^3/\text{кг}$) и водяного пара ($0,4 \text{ кг/кг}$) (таблица 2).

Таким образом, проведение моделирования процесса газификации позволяет находить оптимальные технологические параметры ведения процесса, такие как расходы паро-воздушного дутья.

Таблица 3. Материальный баланс процесса получения газа.

Наименование статей прихода и расхода	кг
<i>Приход</i>	
1. Уголь	100,0
2. Водяной пар	20,0
3. Воздух	135,1
Итого расход	255,1
<i>Расход</i>	
1. Синтетический газ	204,4
2. Унос углерода в топливе	1,6
3. Зола ($A^r = 46,5 \%$)	46,5
4. Неразложившийся пар (10 % от H_2O)	2,3
Итого расход	254,8

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозов, А.Б. Разработка автотермической технологии производства полукокса и активированного угля: Дисс. работа канд. техн. наук: 01.04.14 / А.Б. Морозов. – Красноярск. - 2003. - 171 с.

2. С.Д. Бесков. Техно-химические расчеты. 3-е издание, исправл. /под ред. Я.Г. Алавердова. – 468 с.

3. Нагорнов, А. Н. Исследование и разработка технологии газификации малозольных углей в плотном слое под давлением при паровоздушном дутье: диссер. работа на соискание ученой степени к.т.н. – Барнаул, 2010. – 124 с.