

УДК 662. 747.

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РЕЖИМОВ ПОТОЧНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЕЙ УКРАИНСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Потапов Б. Б., Пинчук В. А.

Национальная металлургическая академия Украины

Металлургия Украины потребляет более одной трети общепромышленного расхода топлива, поэтому решение проблемы рационализации топливно-энергетического баланса государства во многом определяется структурой энергетического баланса металлургических предприятий. В настоящее время предприятия черной металлургии традиционно сориентированы на использование кокса и природного газа. Однако запасы природного газа и других дефицитных топлив ограничены, а стоимость покупного топлива высока. В связи с этим возникает необходимость использования в металлургических технологиях углей украинских месторождений: длиннопламенных, газовых, тощих и энергетических, [1].

Особый интерес представляет переработка рядовых марок углей в газ для его дальнейшего использования в металлургических технологиях и энергетике, так как газовое топливо имеет ряд преимуществ. Это направление активно развивается во многих странах мира, особенно в Германии и США. Разработка технологий и оборудования для газификации углей и является современной задачей производства, [2].

При решении этой задачи необходимо знать влияние марки угля, вида окислителя и его расхода на качество и выход генераторного газа.

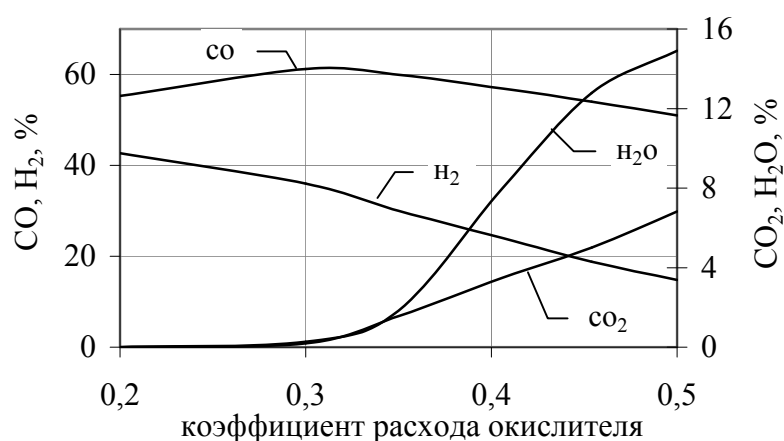


Рис.1. Содержание компонентов при кислородной газификации донецкого длиннопламенного угля

Исследование процессов газификации углей осуществлялось при помощи многоцелевого программного комплекса, предназначенного для определения характеристик равновесия, фазового и химического состава произвольных систем, [2]. Одной из решаемых задач является

расчет параметров горения с возможностью варьирования коэффициента расхода окислителя, энтальпии и температуры системы в целом.

Процесс кислородной газификации исследован на примере донецкого длиннопламенного, донецкого газового и днепроовского бурого углей. Составы углей приведены в таблице 1. Балансовые запасы длиннопламенных, газовых и бурых углей на Украине составляют около 45 % [3] и возможно использование этих марок углей для газификации.

Таблица 1

Марка угля	Состав угля, %						
	C <sup>P</sup>	H <sup>P</sup>	N <sup>P</sup>	O <sup>P</sup>	S <sup>P</sup>	A <sup>P</sup>	W <sup>P</sup>
Донецкий длиннопламенный уголь	53,9	3,9	1,1	9,4	3,0	15,7	13,0
Донецкий газовый уголь	60,7	4,1	1,1	5,8	3,2	18,1	7,0
Днепроовский бурый уголь	49,3	3,4	0,7	13,0	3,6	17,0	13,0

Результаты расчетных исследований кислородной газификации углей представлены в виде графических зависимостей и приведены на рисунке 1.

Из результатов исследований следует, что существует максимум содержания CO в газе, который соответствует определенному коэффициенту расхода окислителя.

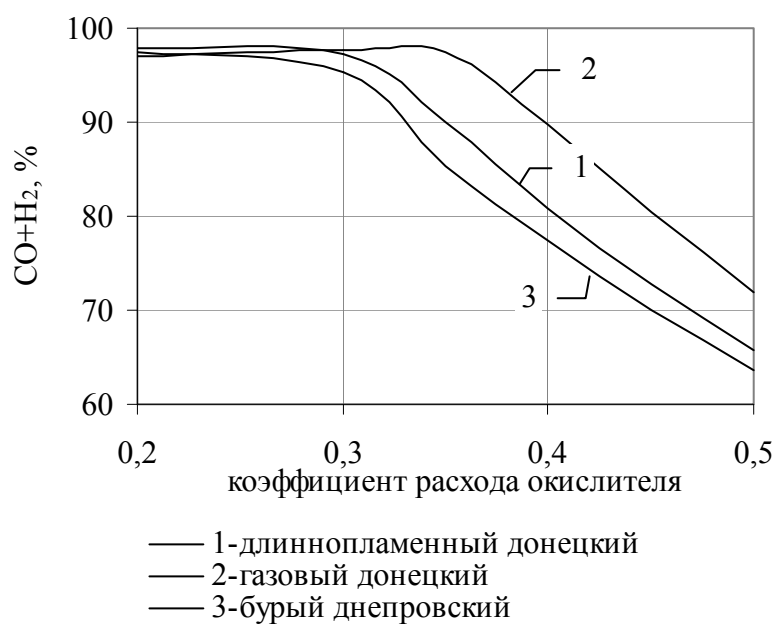


Рис. 2 Содержание восстановительных компонентов при кислородной газификации различных марок углей

Для донецкого длиннопламенного угля он равен 0,3, для донецкого газового - 0,36, для днепроовского бурого угля - 0,27. При увеличении коэффициента расхода окислителя относительно максимума содержание CO уменьшается, а содержание CO<sub>2</sub> увеличивается.

При уменьшении коэффициента рас-

хода окислителя относительно максимума происходит снижение содержания CO в газе в связи с тем, что окислителя недостаточно для полной переработки углерода. Содержание  $H_2$  в газе определяется наличием влаги в исходном топливе и с увеличением коэффициента расхода окислителя уменьшается, при этом содержание  $H_2O$  увеличивается.

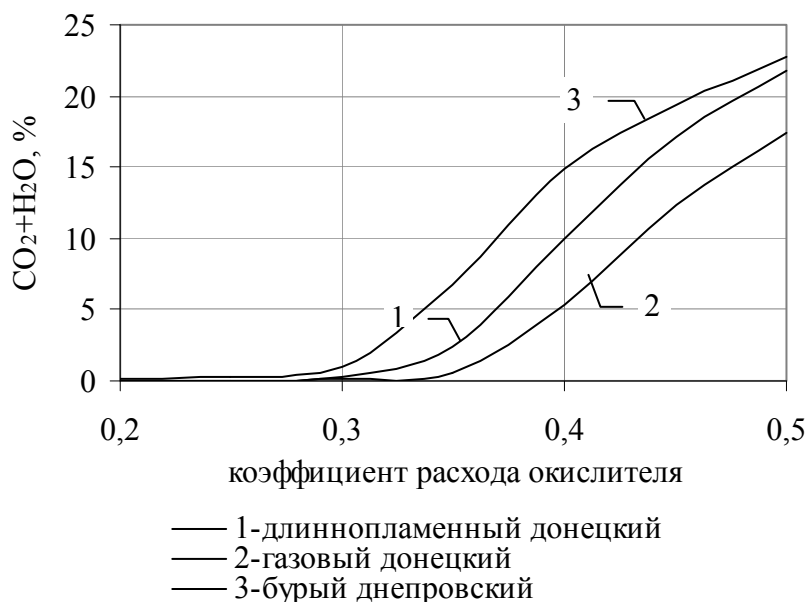


Рис. 3. Содержание окислительных компонентов при кислородной газификации различных марок углей

На рисунках 2-3 представлены графические зависимости содержания восстановительных ( $CO+H_2$ ) и окислительных ( $CO_2+H_2O$ ) компонентов от коэффициента расхода окислителя.

Из графиков видно, что границы стабильного содержания восстановительных компонентов однозначно определяются рациональным

коэффициентом расхода окислителя и не носят экстремального характера. Содержание окислительных компонентов также однозначно определяется этим значением.

Для изучения влияния состава золы угля на состав получаемого генераторного газа было проведено исследование кислородной газификации донецкого длиннопламенного угля с учетом состава золы. Состав золы приведен в таблице 2. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Таблица 2

Состав золы донецкого длиннопламенного угля

Содержание в золе, %						
$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$SO_3$	$P_2O_5$
25.4	20.1	15.0	15.5	6.0	10.0	10.0

Таблица 3

Состав генераторного газа при кислородной газификации донецкого длинно-пламенного угля

Коэффициент расхода окислителя	Состав генераторного газа, %					
	CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	Прочие
Без учета состава золы						
0,4	56,9	24,0	3,2	9,5	0,54	5,86
0,5	51,0	14,8	6,8	14,9	0,50	11,83
С учетом состава золы						
0,4	54,7	21,0	3,5	10,0	0,52	10,28
0,5	49,1	13,6	6,7	14,0	0,47	16,03

Установлено, что содержание компонентов генераторного газа, за исключением серосодержащих, отличается в пределах 3-4 %. Все дальнейшие расчеты выполнены без учета состава золы.

При дальнейших исследованиях получен наилучший состав генераторного газа для каждой марки угля, который приведен в таблице 4. Коэффициент расхода окислителя при этом для донецкого длиннопламенного угля - 0,3, для донецкого газового - 0,36, для днепровского бурого угля - 0,27

Таблица 4

Состав генераторного газа при кислородной газификации

Марка угля	Состав генераторного газа, %						
	CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Прочие
Донецкий длиннопламенный уголь	61,2	36,0	0,5	0,7	0,3	0,46	0,84
Донецкий газовый уголь	67,0	30,0	0,6	0,7	0,4	0,21	1,09
Днепровский бурый уголь	61,1	36,1	0,4	0,6	0,1	0,57	1,13

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что при рациональном коэффициенте расхода окислителя может быть получен газ приблизительно одинакового состава с теплотой сгорания на уровне 11,7 МДж/м<sup>3</sup>. Соотношение содержания H<sub>2</sub> и

CO, CO<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O, а также серосодержащих компонентов однозначно определяется содержанием исходных элементов в топливе.

Для приведенных составов газа были получены показатели процесса кислородной газификации, которые представлены в таблице 5.

Таблица 5

## Показатели процесса кислородной газификации

Марка угля	Расход кислорода, м <sup>3</sup>			Расход угля, кг		Выход газа, м <sup>3</sup> /кг
	на 1 кг угля	на 1 м <sup>3</sup> газа	на 1 ГДж в газе	на 1 м <sup>3</sup> газа	на 1 ГДж в газе	
Донецкий длиннопламенный уголь	0,35	0,21	18,0	0,59	50,8	1,68
Донецкий газовый уголь	0,48	0,28	23,6	0,58	48,9	1,73
Бурый днепропровский уголь	0,28	0,18	15,6	0,65	55,6	1,53

Из полученных данных следует, что расход кислорода на 1 кг угля самый низкий у днепропровского бурого угля, а самый высокий - у донецкого газового.

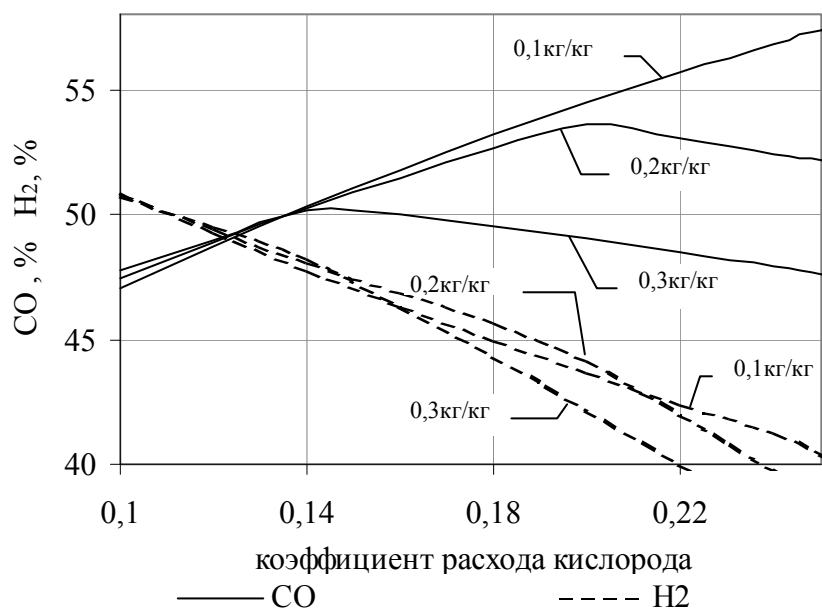


Рис 4. Содержание компонентов в продукте при парокислородной газификации донецкого длиннопламенного угля

Однако при этом самый высокий расход угля на 1 м<sup>3</sup> газа у бурого днепропровского угля, а самый низкий - у донецкого газового угля. Для днепропровского бурого угля характерен самый низкий выход газа. Сравнивая иссле-

двумя марки угля, следует отметить, что лучшие показатели процесса кислородной газификации у донецкого газового угля.

Для кислородной газификации характерен избыток теплоты процесса, что может приводить к повышению температуры газогенератора и генераторного газа. Поэтому целесообразно это физическое тепло превратить в химическое тепло газа путем добавления в процесс водяного пара, разложение которого осуществляется по эндотермической реакции, [4].

Исследования парокислородной газификации углей осуществлялись при расходах пара 0,1-0,3 кг/кг и коэффициентах расхода кислорода 0,1-0,35. Результаты расчетных исследований представлены на рисунке 4.

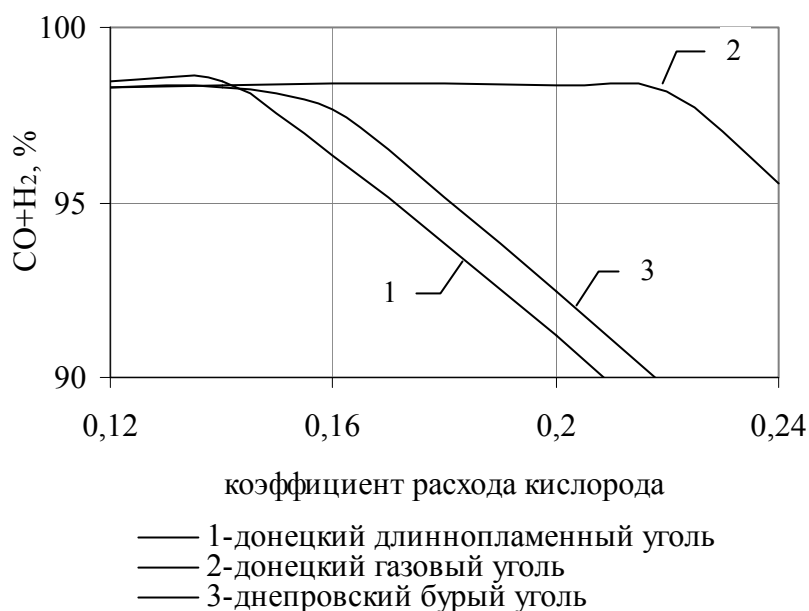


Рис.5. Содержание (CO+H<sub>2</sub>) в продукте при парокислородной газификации различных марок углей

Из графиков видно, что при каждом расходе пара существует максимум содержания CO в газе, который соответствует определенному коэффициенту расхода кислорода. Содержание H<sub>2</sub> в газе с увеличением коэффициента расхода кислорода уменьшается.

При увеличении расхода пара максимум содержания CO и H<sub>2</sub> в

газе смещается в сторону меньших коэффициентов расхода кислорода. При расходах пара до 0,3 кг/кг содержание CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O в газе не превышает 2 %. При анализе полученных данных были выбраны соотношения окислителей, обеспечивающие максимальное содержание CO и H<sub>2</sub> и низкие расходы кислорода.

Для донецкого длиннопламенного угля рациональным является расход пара 0,3 кг/кг угля и коэффициент расхода кислорода 0,14, для донецкого газового угля - расход пара 0,3 кг/кг угля и коэффициент расхода кислорода 0,22, для днепропровского бурого угля – расход пара 0,2 кг/кг и коэффициент расхода кислорода 0,16. Содержание вос-

становительных компонентов при этих соотношениях окислителей приведены на рисунке 5. Состав генераторного газа, получаемого при этом, представлен в таблице 6.

Таблица 6

## Состав генераторного газа при парокислородной газификации углей

Марка угля	Состав генераторного газа, %						
	CO	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> S	N <sub>2</sub>	Прочие
Донецкий длиннопламенный уголь	50,1	46,1	0,6	1,1	0,71	0,3	1,09
Донецкий газовый уголь	53,8	42,4	0,8	1,2	0,62	0,27	0,91
Днепроvский бурый уголь	52,1	44,1	0,5	1,5	0,82	0,27	0,71

Из анализа полученных данных следует, что в составе газа произошло перераспределение (содержание CO уменьшилось, содержание H<sub>2</sub> увеличилось), но теплота сгорания осталась практически без изменений ( $Q_{н}^p=11,7$  МДж/м<sup>3</sup>).

Показатели процесса парокислородной газификации приведены в таблице 7.

Таблица 7

## Показатели парокислородной газификации углей

Марка угля	Расход кислорода, м <sup>3</sup>			Расход угля, кг		Выход газа, м <sup>3</sup> /кг
	на 1 кг угля	на 1 м <sup>3</sup> газа	на 1 ГДж в газе	на 1 м <sup>3</sup> газа	на 1 ГДж в газе	
Донецкий длиннопламенный уголь	0,17	0,08	6,9	0,49	41,8	2,04
Донецкий газовый уголь	0,29	0,14	11,9	0,47	40,3	2,11
Днепроvский бурый уголь	0,16	0,09	8,0	0,57	48,5	1,76

Из приведенных данных следует, что расход кислорода на 1 кг угля уменьшится по сравнению с кислородной газификацией для донецкого длиннопламенного угля на 53,1 %, для донецкого газового на 38,8 %, для днепроvского бурого угля на 41,3 %, рас-

ход угля на  $1 \text{ м}^3$  газа уменьшился соответственно на 17,6 %, на 18 %, на 13 %, а выход газа увеличился соответственно на 21,4 %, на 22 %, на 15 %.

Анализируя результаты расчетов процессов кислородной и парокислородной газификации энергетических углей, следует отметить, что для достижения высокого качества генераторного газа необходимо для каждой марки угля индивидуально определять расходные характеристики процесса. В результате этого может быть для различных углей (с различной зольностью и влажностью) достигнут практически одинаковый состав генераторного газа с теплотой сгорания на уровне  $11,7 \text{ МДж/м}^3$ .

При выборе показателей парокислородной газификации необходимо стремиться к достижению максимального содержания ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ) в газе и низкому расходу кислорода. Из полученных данных следует, что теплота сгорания генераторного газа, полученного в процессе парокислородной газификации, не изменилась, а расход кислорода уменьшился почти в 2 раза по сравнению с кислородной. Лучшие показатели газификации у донецкого газового угля. Однако, и при кислородной газификации днепровского бурого угля можно получить газ с теплотой сгорания на уровне  $11,7 \text{ МДж/м}^3$ , но при этом выход газа будет меньше на 11,6 % при кислородной и на 16,6 % при парокислородной газификации по сравнению с донецким газовым углем.

Полученные результаты расчета могут использоваться при разработке режимных характеристик кислородной и парокислородной газификации углей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы газификации углей / Сборник докладов всесоюзного симпозиума, Красноярск, 1991.-212 с.
2. Математическое моделирование процессов сжигания-газификации пылеугольных топлив в дисперсных потоках./ В. П. Пацков, Б. Б. Потапов, Н. В. Чернявский, А. Н. Веденьев. -Киев.-1990.-44 с. - (Препр. /АН УССР Ин-т пробл. энергосбережения: 90-14).
3. Скляр М. Г., Старовойт А. Г. // Кокс и химия. 1997. №1. с. 2-9.
4. Шиллинг Г.-Д., Бонн, Краус У. Газификация угля. Пер. с нем. С. Р. Исламов./ Под ред. С. Р. Исламова. - М.: Недра, 1986.-175 с.