

*Пинчук В.А.* – канд. техн. наук, доц., НМетАУ

*Шарабура Т.А.* – аспирант, НМетАУ

*Потапов Б.Б.* – канд. техн. наук, проф., НМетАУ

*Шеенко И.М.* – магистр, НМетАУ

*Живолуп С.Г.* – магистр, НМетАУ

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА**

*Проведена экологическая оценка процесса газификации водоугольного топлива. Исследовано влияние температуры на выход серо- и азотосодержащих компонентов в генераторном газе при воздушной и кислородной газификациях водоугольного топлива. Представлено сопоставление количества вредных веществ, образующихся при сжигании угля, водоугольного топлива и генераторного газа.*

В связи с истощением запасов нефти и газа, а также роста на них цен, как на мировом, так и на внутреннем рынке, возрастает роль твердого топлива в топливно-энергетическом балансе Украины. Обострение экологической обстановки в мире и жесткие требования по снижению уровня отрицательного воздействия на окружающую природную среду не позволяют осуществить простой возврат к углю при замещении им в энергетике нефти и газа. Необходимо предварительное воздействие на уголь, способное обеспечить его экологическую и экономическую конкурентоспособность с нефтью и природным газом.

Поиски новых решений в направлении получения из угля топлива, не только более удобного для использования, но обладающего относительно невысокой стоимостью, привели к созданию топливных дисперсных систем на основе угля, к которым можно отнести водоугольное топливо [1 – 3].

Для производства водоугольного топлива возможно использование различных марок углей, в том числе, и отходов углеобогащения и шламов. Водоугольное топливо имеет свойства, позволяющие заменять им твердое, жидкое и газообразное топлива в различных топливопотребляющих агрегатах, а при необходимости, возможно совместное использование водоугольного топлива и других видов топлива – газа, мазута, угля. В процессе приготовления водоугольного топлива из угля удаляется часть минеральных компонентов и серосодержащих

соединений, кроме этого, могут быть введены специальные химические присадки для придания топливу заданных потребителем свойств.

По своим теплотехническим свойствам водоугольное топливо - новый вид топлива, характеристики термической переработки которого существенно отличаются от характеристик переработки веществ его составляющих [4, 5]. Полнота проработки водоугольного топлива составляет 98,5 – 99,7 %, что значительно выше аналогичных показателей при пылевидном сжигании угля (85 – 90 %).

Одним из рациональных направлений использования водоугольного топлива является газификация. Для оценки перспектив широкого применения технологии термической переработки водоугольного топлива, важно знать не только технико-экономические, но и экологические показатели. В связи с этим проведена экологическая оценка процессов сжигания и газификации водоугольного топлива (уголь 70 %, вода 29 %, реагент-пластификатор 1 %), а также сжигания генераторного газа, полученного при газификации водоугольного топлива.

Количество образующихся серо- и азотосодержащих веществ зависит от температуры процесса, а, следовательно, на их механизм образования будет оказывать влияние и способ газификации. Кроме того, на образование различных оксидов в газе оказывает влияние концентрация и состав окислителя [6].

При исследовании экологических характеристик процесса газификации водоугольного топлива в качестве окислителя рассматривался воздух и кислород. Исследовано влияние температуры газификации на содержание серо- и азотосодержащих компонентов в газе, и результаты исследования представлены на рис. 1, на примере процесса воздушной газификации при коэффициенте расхода окислителя, равном 0,35.

Исследованиями установлено, что в области температур 1200 – 1700 К в наибольшем количестве образуется сероводород  $H_2S$ , его содержание в среднем составляет 0,295 – 0,36 %.

Образование серооксида углерода  $CO$  имеет незначительный максимум при температуре, равной 1523 К, а его содержание составляет 0,022 %.

Образование топливного радикала  $SH$  носит возрастающий характер. Выход этого радикала колеблется в пределах 0,0002 – 0,0198 %.

Содержание в продуктах газификации серы  $S$  и  $S_2$  в газообразном состоянии в указанном диапазоне температур возрастает с относительно постоянной скоростью. Выход  $S$  в исследуемом диапазоне температур возрастает до 0,0009 %. Содержание  $S_2$  в газе составляет 0,0001 – 0,017 %.

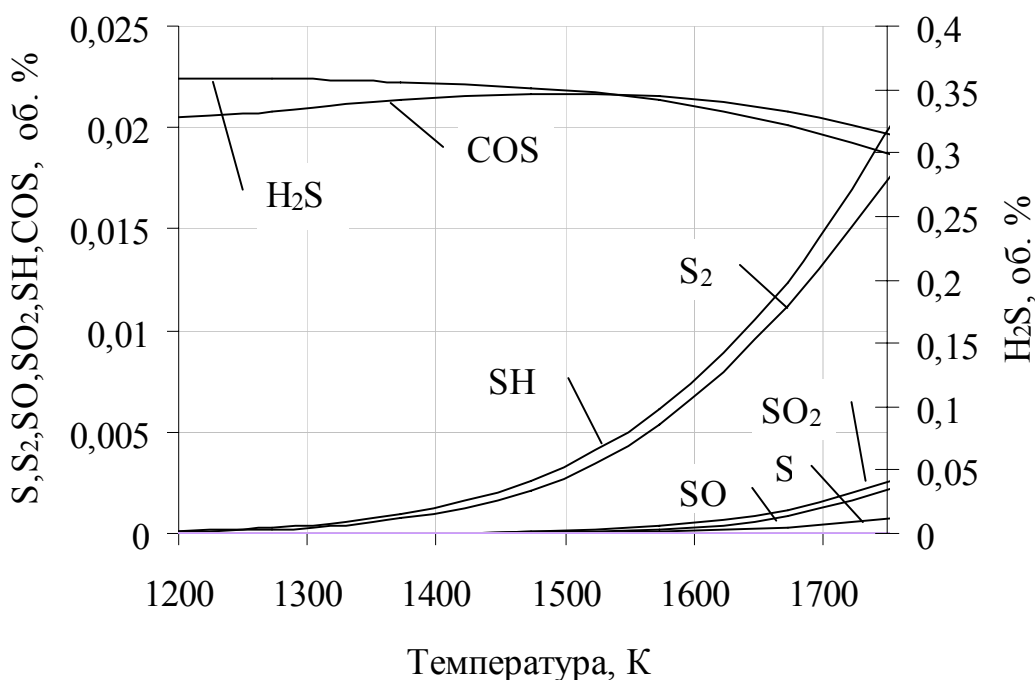


Рисунок 1 – Влияние температуры в реакторе на образование серосодержащих компонентов в газе

Выход SO и SO<sub>2</sub> при изменении температуры процесса носит возрастающий, с относительно стабильной скоростью, характер и составляет 0,00005 – 0,0025 % и 0,00008 – 0,0028 % соответственно.

Содержание в продуктах газификации азотосодержащих компонентов в рассматриваемом диапазоне температур незначительно и возрастает с увеличением температуры процесса. Выход оксида азота NO возрастает до 0,00001 %. Также происходит образование аммиака NH<sub>3</sub> в количестве 0,00018 – 0,0011 % и циановодорода HCN в количестве 0,00004 – 0,00007 %.

При температурах, ниже 1000 К, происходит образование органических серо- и азотосодержащих компонентов.

Характер образования газа многокомпонентного состава при кислородной газификации имеет аналогичный вид. Сопоставление количества серо- и азотсодержащих веществ, образующихся при воздушной и кислородной газификациях водоугольного топлива, приведены в таблице 1.

Таким образом, исследованиями установлено, что получаемый генераторный газ в наибольшем количестве содержит сероводород H<sub>2</sub>S, очистка от которого с его конверсией в товарную серу не вызывает технологических затруднений и позволяет повысить технико-экономические показатели процесса переработки водоугольного топлива.

Таблица 1

Количество серо- и азотсодержащих веществ в газе при воздушной и кислородной газификациях водоугольного топлива

Вещество	Количество веществ в продуктах газификации, мг/м <sup>3</sup>	
	воздушная газификация	кислородная газификация
S	0,0000013 – 11,9	0,0000013 – 14,1
S <sub>2</sub>	0,048 - 565	0,049 - 509
SO	0,000011 – 54,8	0,00001 – 36,8
SO <sub>2</sub>	0,00013 – 84,4	0,000099 – 31,5
S <sub>2</sub> O	0,00000054 – 0,72	0,00000048 – 0,43
SH	0,063 – 324	0,088 – 445
H <sub>2</sub> S	4453 – 5502	9059 - 10685
COS	516 - 518	963 - 989
NH <sub>3</sub>	1,33-26,8	0,37-6,6
HCN	0,48-1,27	0,21-0,35

Кроме того, в генераторном газе, полученном из водоугольного топлива, могут содержаться зольные частицы размером 30 – 50 мкм и выше, которые легко улавливаются обычными очистными аппаратами. Степень улавливания таких зольных уносов составляет 98 – 99 %, что резко снижает выбросы твердых частиц с отходящими газами.

Также проведена экологическая оценка и сравнение процесса сжигания газового угля, водоугольного топлива, полученного из этого угля и генераторного газа (после его предварительной очистки от сероводорода), полученного при газификации водоугольного топлива. Результаты исследований представлены в таблицах 2 и 3.

Приведенные данные показывают, что наименьшее количество вредных веществ содержится в продуктах сгорания генераторного газа. Видно, что при сжигании генераторного газа выход SO<sub>x</sub> в 9 раз меньше, чем при сжигании водоугольного топлива и в 10 раз меньше, чем при сжигании угля, а выход NO<sub>x</sub> в 1,5 – 2 раза меньше, чем при сжигании угля.

Таблица 2

Количество серо- и азотсодержащих веществ, образующихся при сжигании различных видов топлива

Вещество	Количество веществ в продуктах сгорания, мг/м <sup>3</sup>		
	угля	водоугольного топлива	генераторного газа
S	2,52 – 8,89	0,99 – 3,95	0,25 – 0,85
S <sub>2</sub>	0,0011 - 0,0048	0,00056– 0,0027	0,000019 – 0,000072
SH	0,69– 2,23	0,44 – 1,57	0,11 – 0,331
H <sub>2</sub> S	0,071 - 0,21	0,078 – 0,24	0,019 - 0,048
HSO	0,013- 0,036	0,0079 – 0,024	0,0017 – 0,0045
SOH	0,14 - 0,34	0,098 – 0,26	0,019 – 0,046
COS	0,061 - 0,18	0,034 – 0,11	0,0086 – 0,023

Таблица 3

Количество  $SO_x$  и  $NO_x$  в продуктах сгорания различных видов топлива

Вещество	Количество веществ в продуктах сгорания, г/м <sup>3</sup>		
	угля	водоугольного топлива	генераторного газа
SO	2,39 – 4,62	1,47– 3,02	0,24 – 0,46
SO <sub>2</sub>	563 - 569	569 - 572	60,6 - 61,2
SO <sub>3</sub>	0,25 - 0,29	0,24 - 0,28	0,023 - 0,025
NO	389 - 519	218 - 308	239 - 343
NO <sub>2</sub>	0,21 – 0,25	0,096 – 0,13	0,095 – 0,13

Таким образом, использование угля в виде водоугольного топлива для технологических и энергетических целей позволяет существенным образом улучшить экологические показатели термических способов переработки угля. При специально подобранном составе топлива и соответствующей технологии его термической переработки может быть обеспечен уровень вредных выбросов с продуктами сгорания, не превышающий предельно допустимых уровней для рассматриваемой территории. Кроме того, при термической переработке водоугольного топлива возможно рациональное использование его минеральной части, путем выделения редких элементов, и для производства дорожно-строительных материалов [7].

### Выводы

1. Анализ свойств и характеристик водоугольного топлива и продуктов его переработки показал перспективность его использования в энергетике и металлургии. Использование угля в виде водоугольного топлива для технологических и энергетических целей позволяет существенным образом улучшить теплотехнические и экологические показатели процесса термической переработки.

2. При экологической оценке процесса газификации водоугольного топлива установлено, что при возрастании температуры происходит увеличение серосодержащих соединений в генераторном газе. В наибольших количествах образуется  $H_2S$ , содержание которого в рассматриваемом диапазоне температур составляет 4,5 – 10 г/м<sup>3</sup>, также наблюдается образование  $COS$ ,  $SH$ ,  $S_2$  и других веществ. Образование азотосодержащих соединений  $NO$ ,  $NH_3$  и  $HCN$  в рассматриваемом диапазоне температур незначительно.

3. Проведена экологическая оценка процесса сжигания газового угля, водоугольного топлива, полученного из этого угля, и генераторного газа, полученного при газификации водоугольного топлива, показала, что при сжигании генераторного газа выход  $SO_x$  в 9 раз меньше, чем при сжигании водоугольного топлива и в 10 раз меньше чем

при сжигании угля, а выход  $\text{NO}_x$  в 1,5 – 2 раза меньше, чем при сжигании угля.

### Список литературы

1. Ходаков Г.С. Водоугольные суспензии в энергетике // Теплоэнергетика. – 2007. – № 1. – С. 35 – 45.
2. Трубецкой К.Н. Проблемы внедрения водоугольного топлива в России // Уголь. – 2004. – № 9. – С. 41 – 46.
3. Морозов А.Г., Мосин С.И., Мурко В.И. ВУТ в теплоэнергетике // Энергия: экономика, техника, экология. – 2007. – № 4. – С. 29 – 33.
4. Сжигание высокообводненного топлива в виде водоугольных суспензий / Под ред. Б.В. Канторовича, Г.Н. Делягина. – М.: Наука, 1967. – 194 с.
5. Горение дисперсных топливных систем / Под ред. В.М. Иванова и Г.Н. Делягина. – М.: Недра, 1969.
6. Потапов Б. Б., Пинчук В. А. Термодинамические исследования экологических характеристик процесса газификации углей Западного Донбасса (ГХП "Павлоградуголь") / Экотехнологии и ресурсосбережения. – 2002. – № 3. – С. 121 – 124.
7. Пинчук В. А., Потапов Б. Б., Коваленко Е. А. Технология комплексной переработки низкосортных углей и отходов углеобогащения // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2004. – № 2. – С. 125 – 129.

*Рукопись поступила 26.06.2009 г.*