

УДК 614.842

*Ю.В. Луценко, канд. техн. наук, доцент, нач. каф., НУГЗУ*  
*Е.А. Яровой, преподаватель, НУГЗУ*

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ**

(представлено д-ром техн. наук Кривцовой В.И.)

Определены оптимальные параметры процесса подземной газификации угля для основных направлений использования получаемого многокомпонентного газа.

**Ключевые слова:** предел распространения пламени, горючий газ, подземная газификация, уголь.

**Постановка проблемы.** Есть необходимость в проведении исследований по более глубокому изучению процессов образования генераторных газов, определению степени влияния различных технологических факторов на их состав и пожароопасные свойства. Получаемый в процессе подземной газификации угля генераторный газ должен иметь не только узкую область взрывоопасных концентраций, но и обладать определенными технологическими и потребительскими свойствами. Влияние различных технологических параметров на показатели процесса подземной газификации взаимосвязано, о чем свидетельствует значительное количество нелинейных слагаемых в полученных уравнениях регрессии [1,2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проведенными ранее исследованиями [1-4] определены зависимости влияния различных технологических факторов на состав и концентрационные пределы распространения пламени многокомпонентных горючих газов подземной газификации угля, однако оптимальных параметров ведения процесса газификации определено не было.

**Постановка задачи и ее решение.** Задачей исследования является определение оптимальных параметров процесса подземной газификации угля.

Эти параметры следует определять для конкретных направлений использования генераторного газа. Так для энергетического использования обобщенным показателем, характеризующим потребительские свойства газа, является максимальное количество тепловой энергии, получаемой при его сжигании. Эта величина пропорциональна двум показателям: выходу газа на единицу массы газифицируемого твердого продукта ( $y_7$ ) и теплотворной способности газа ( $y_{11}$ ). Поэтому критерий оптимизации в данном случае выглядит следующим образом:

$$y_7 \cdot y_{11} \rightarrow \max . \quad (1)$$

Однако, исходя из условий обеспечения пожаровзрывобезопасности процесса газификации угля, также должно соблюдаться условие:

$$(y_2 + y_5)y_7 \rightarrow \max , \quad (2)$$

обеспечивающее сужение области воспламенения получаемого газа путем увеличения содержания в нем негорючих компонентов  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ .

При использовании полученного газа для органического синтеза либо как восстановителя целевыми компонентами являются водород ( $y_3$ ) и оксид углерода ( $y_4$ ). Тогда критерий оптимизации:

$$(y_3 + y_4)y_7 \rightarrow \max . \quad (3)$$

Получаемый для этих целей газ является наиболее пожаровзрывоопасным, так как имеет широкий диапазон области воспламенения. Поэтому для снижения пожаровзрывоопасности процесса целесообразным будет введение еще одного критерия оптимизации:

$$y_7 \cdot y_8 \rightarrow \max , \quad (4)$$

позволяющего повысить нижний КПР пламени получаемого газа.

Полученные выше выражения для функций отклика [1] (показателей получаемого газа) от варьируемых факторов были использованы для определения максимумов следующих комплексов величин:  $F_1 = y_7 \cdot y_{11}$ ,  $F_2 = (y_2 + y_5) \cdot y_7$ ,  $F_3 = (y_3 + y_4) \cdot y_7$  и  $F_4 = (y_7 + y_8) \cdot y_8$ , где  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$  и  $y_5$  – содержание соответственно  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  и  $\text{N}_2$  в сухом газе в объемных процентах,  $y_7$  – выход сухого газа из 1 кг твердого топлива,  $y_8$  – нижний КПР пламени,  $y_{11}$  – низшая теплотворная способность, то есть полученные уравнения были использованы для нахождения технологических режимов, позволяющих одновременно получать больше газа с большим содержанием  $\text{H}_2$  и  $\text{CO}$  и соответственно больше газа и с большей теплотворной способностью, при относительно небольшой области воспламенения. Таким образом, речь идет о нахождении максимумов функций 4-х переменных  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и  $F_4$  в интервале кодированных значений:  $-1 \leq x_i \leq 1$ ;  $i = 1, 2, 3$  где  $x_1$  – расход воздуха на дутье при газификации,  $x_2$  – расход пара на дутье при газификации,  $x_3$  – температура в реакционной зоне. В резуль-

тате получено, что для  $F_1$  и для  $F_3$  максимумы функций находятся на краю интервала в точках  $x_{i1\max} = (-1, 1, 1, 1)$ ;  $x_{i3\max} = (-1, 1, -1, 1)$ . Таким образом, максимальные значения  $F_1$  и  $F_3$  достигаются при минимальном в данном интервале значений расходе воздуха и максимальном расходе пара. Что же касается температуры в реакционной зоне, то максимуму  $F_1$  соответствует  $x_3 = 1$  (максимальное значение на интервале), а максимуму  $F_2$  соответствует  $x_3 = -1$  (минимальное значение), то есть для получения максимального количества газа с максимальным содержанием  $H_2$  и  $CO$  требуется температура в реакционной зоне  $T = 1000$  °С, а для получения максимального количества газа с максимальной теплотворной способностью температура в реакционной зоне должна быть  $T = 800$  °С.

Для  $F_2$  и  $F_4$  максимумы функций находятся на краю интервала в точках  $x_{i2\max} = (+1, -1, -1, -1)$ ;  $x_{i4\max} = (-1, -1, -1, -1)$ . Таким образом, максимальные значения  $F_2$  и  $F_4$  достигаются при минимальном в данном интервале значений расходе пара и температуре, что же касается расхода воздуха, то максимуму  $F_2$  соответствует  $x_1 = 1$  (максимальное значение на интервале), а максимуму  $F_4$  соответствует  $x_1 = -1$  (минимальное значение), то есть для получения максимального количества газа с максимальным содержанием  $CO_2$  и  $N_2$  требуется расход воздуха на дутье при газификации поддерживать на уровне  $5000$  м<sup>3</sup>/т твердого топлива, а для получения максимального количества газа с максимальным нижним КПП пламени расход воздуха на дутье при газификации должен быть  $3000$  м<sup>3</sup>/т твердого топлива.

**Выводы.** Наилучшие показатели газификации были достигнуты при расходе воздуха -  $3080$  м<sup>3</sup>/т угля и расходе пара -  $680$  кг/т угля. При этом обеспечиваются максимальные теплотворная способность газа и степень конверсии углерода при относительно небольшой области воспламенения.

Рациональный уровень температуры процесса газификации должен определяться с учетом не одного, а нескольких критериев, влияние которых разнонаправлено. Результаты выполненных исследований позволяют рекомендовать в качестве такового температуру в реакционной зоне: при получении газа для последующего энергетического использования  $800$  °С, для использования в химическом синтезе –  $1000$  °С.

Так как процесс подземной газификации не имеет в Украине промышленной реализации, то на состав и свойства получаемого многокомпонентного газа нет значений ДСТУ, которым он должен был бы соответствовать. Однако в сравнении с другими газами, используемыми в энергетических целях, получаемый горючий газ при рекомендуемых нами технологических параметрах соответствует предъявляемым к ним требованиям по значению теплотворной способности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Луценко Ю.В. Влияние основных технологических факторов подземной газификации углей на воспламеняемость получаемых газов/ Ю.В.Луценко, Е.А.Яровой // Проблемы пожарной безопасности. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 26. Харків: Університет цивільного захисту України – 2009. – С.113-117.

2. Луценко Ю.В. Влияние основных технологических факторов подземной газификации углей на верхний концентрационный предел распространения пламени/ Ю.В.Луценко, Е.А.Яровой // Проблемы пожарной безопасности. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 27. Харків: Національний університет цивільного захисту України – 2010. – С.136-139

3. Луценко Ю.В. Получение горючих газов методом подземной газификации углей / Ю.В.Луценко, Е.А.Яровой // Проблемы пожарной безопасности. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 20. Харків: Університет цивільного захисту України – 2006. – С.128-132

4. Луценко Ю.В. Определение состава и области воспламенения газов, образующихся при подземной газификации угля / Ю.В.Луценко, Е.А.Яровой // Проблемы пожарной безопасности. Зб. наук. пр. УЦЗ України. Вип. 22. Харків: Університет цивільного захисту України – 2007. – С.138-142

nuczu.edu.ua

Ю.В. Луценко, Е.А. Яровой

**Забезпечення пожежовибухонебезпеки процесу підземної газифікації вугілля.**

Визначені оптимальні параметри процесу підземної газифікації вугілля для основних напрямів використання отриманого багатокомпонентного газу.

**Ключові слова:** межа поширення полум'я, горючий газ, підземна газифікація вугілля, вугілля.

J.V. Lutsenko, E.A. Yarovoy

**Providing fire explosive process of underground coal gasification.**

The optimal parameters of underground coal gasification for the main directions derived using multidimensional gas.

**Keywords:** limit the spread of flame, combustible gas, underground coal gasification, coal.