

Ю.В. Луценко, к.т.н., доцент, начальник кафедры, УГЗУ,
Е.А. Яровой, преподаватель, УГЗУ

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ОБЛАСТИ
ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ГОРЮЧИХ
ГАЗОВ ОТ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА
ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ**

(представлено д-ром техн. наук Э.Е. Прохачем)

Определено влияние технологических факторов процесса подземной газификации угля на состав и воспламеняемость горючих газов.

Постановка проблемы. В условиях энергетического кризиса в Украине актуальной проблемой является поиск альтернативных традиционным энергоносителям. Одни из эффективных путей решения проблемы является газификация низкосортных углей, в частности – подземная. Обеспечению пожаровзрывобезопасности процесса подземной газификации углей в Украине не уделялось должного внимания. Горючесть и теплотворная способность многокомпонентных газовых смесей напрямую зависят от компонентного состава газов. Поэтому в настоящее время существует острая необходимость в прогнозировании состава и области воспламенения газов получаемых в процессе подземной газификации углей.

Анализ последних достижений и публикаций. В результате анализа работ [1-3] была разработана математическая модель образования горючих газов при подземной газификации угля. Однако вследствие влияния на процесс газообразования значительного количества технологических и природных факторов разработанная математическая модель требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Постановка задачи и ее решение. Задачей проведения исследований является получение зависимостей основных характеристик пожарной опасности газов (НКПРП, ВКПРП, теплота сгорания) от условий проведения технологического процесса подземной газификации углей с целью предотвращения пожаров и взрывов на объектах их получения, хранения и транспортирования.

Известно [4], что любой процесс может быть охарактеризован некоторой зависимостью выхода процесса y от действующих факторов x_1, x_2, \dots, x_n .

В качестве независимых переменных для процесса подземной газификации были выбраны следующие показатели:

1. Расход воздуха на дутье при газификации, л/100г твердого топлива (x_1);
2. Расход пара на дутье при газификации, г/100г твердого топлива (x_2);
3. Температура в реакционной зоне, °С (x_3);
4. Давление в реакционной зоне, МПа (x_4).

В качестве функций отклика были выбраны экспериментально определяемые показатели:

- компонентный состав газа ($Y_1 - Y_6$) - по данным анализа на хроматографе;
 - выход газа (Y_7), учитываемый газовыми часами;
 - нижний концентрационный предел распространения пламени (Y_8);
 - верхний концентрационный предел распространения пламени (Y_9);
- а также расчетные величины:
- влажность газа (Y_{10}), определяемая из баланса влаги в улавливающей аппаратуре;
 - теплотворная способность (Y_{11}) и плотность газа (Y_{12}) – по его составу.

Имеющиеся априорные сведения о процессе [5-7] позволили выбрать область экспериментирования и интервалы варьирования факторов (табл.1.)

Таблица 1 – Кодирование факторов при исследовании процесса газификации твердого топлива

№ п/п	Интервал варьирования и уровень факторов	Расход воздуха, л/100г	Расход пара, г/100г	Температура в реакционной зоне, °С;	Давление в реакционной зоне, МПа.
1.	Нижний уровень $x_i = - 1$	300	60	800	0.2
2.	Нулевой уровень $x_i = 0$	400	70	900	0.3
3.	Верхний уровень $x_i = + 1$	500	80	1000	0.4
4.	Интервал варьирования δ_i	100	10	100	0.1
5.	Кодовое обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4

Для обозначения расчетов коэффициентов регрессии, по результатам факторного эксперимента, производилось преобразование переменных по формуле

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\delta_i}, \quad (1)$$

где X_i - натуральные значения фактора.

Такое преобразование позволяет по результатам опытов определить для линейной модели коэффициенты регрессии, значения ко-

торых вычисляют по формулам:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j ; \quad (2)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ji} y_j ; \quad (3)$$

$$b_{lm} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{jl} y_{jm} y_j , \quad (4)$$

где N – число опытов полного факторного эксперимента; j - номер опыта; i, l, m - номера факторов.

С целью выяснения степени достоверности отличия полученных значений коэффициентов регрессии от нуля проводилась статистическая проверка значимости коэффициентов регрессии, позволяющая установить оказывает ли данный фактор заметное влияние на процесс.

Критерием оценки влияния является степень отличия от нуля значения коэффициента, т.е. если значение b_i будет незначимо отличаться от нуля, а изменение выхода y_n при изменении уровня соответствующего фактора будет соизмеримо с ошибкой его определения, то, следовательно, влияния нет.

Оценку значимости коэффициента регрессии производим с помощью критерия Стьюдента [4].

Математическая обработка экспериментальных данных, позволила получить следующие уравнения регрессии:

состав генераторного газа:

метан:

$$y_1 = 1,15 - 0,5x_1 - 0,1x_2 ; \quad (5)$$

диоксид углерода:

$$y_2 = 13,11 + 1,36x_1 - 0,69x_2 - 0,71x_3 - 0,79x_4 - 0,14x_1x_2 + 0,14x_1x_3 - 0,14x_1x_4 - 0,14x_2x_4 + 0,14x_2x_3 + 0,14x_3x_4 + 0,14x_1x_2x_3 - 0,14x_1x_2x_4 + 0,14x_1x_3x_4 - 0,14x_2x_3x_4 + 0,14x_1x_2x_3x_4 \quad (6)$$

водород:

$$y_3 = 14,38 - 0,51x_2 - 0,41x_3 + 0,36x_4 - 0,17x_2x_3x_4 ; \quad (7)$$

оксид углерода:

$$y_4 = 16,49 - 1,74x_1 + 1,24x_2 + 1,36x_3 ; \quad (8)$$

азот:

$$y_5 = 54 + 0,41x_1 - 0,24x_3 - 1,13x_4 + 0,39x_1x_4 + 0,61x_1x_2x_4 - 0,35x_1x_3x_4 - 0,31x_1x_2x_4 - 0,45x_1x_2x_3x_4 ; \quad (9)$$

кислород:

$$y_6 = 0,89 + 0,375x_1 - 0,075x_2 + 0,062x_4 + 0,088x_1x_2 - 0,05x_1x_3 - 0,05x_1x_4 - 0,075x_2x_3 - 0,05x_2x_4 + 0,088x_1x_2x_3 - 0,19x_1x_2x_4 - 0,05x_2x_3x_4; \quad (10)$$

свойства сухого газа:

выход, м³/кг твердого топлива:

$$y_7 = 4,45 - 0,1x_3 + 0,072x_4 + 0,051x_1x_4 - 0,057x_2x_3 + 0,059x_1x_2x_4 - 0,049x_1x_3x_4 - 0,058x_1x_2x_3x_4; \quad (11)$$

нижний концентрационный предел распространения пламени, %:

$$y_8 = 20,14 + 0,89x_1 + 0,16x_2 - 0,84x_4 + 0,14x_3x_4 + 0,17x_1x_2x_4 + 0,23x_2x_3x_4; \quad (12)$$

верхний концентрационный предел распространения пламени, %:

$$y_9 = 66,29 + 4,25x_1 + 0,71x_2 + 0,28x_3 + 0,87x_4 + 0,35x_1x_2 - 0,47x_1x_2x_4; \quad (13)$$

влажность, г/м³:

$$y_{10} = 104,2 + 26,69x_2 + 9,56x_3 - 6,94x_4 + 4,31x_2x_3 - 3x_1x_2x_4 + 3,1x_3x_4; \quad (14)$$

низшая теплотворная способность, кДж/м³:

$$y_{11} = 3984,3 - 473,1x_1 - 12,3x_2 + 50,4x_3 + 299,7x_4 - 52,5x_1x_2 - 105,8x_1x_3 + 52,5x_1x_4 - 63x_2x_3 - 105,8x_2x_4 + 46,2x_3x_4 - 107,4x_1x_2x_3 + 41,5x_1x_2x_4 + 102,2x_1x_3x_4 + 34,2x_2x_3x_4 + 27,2x_1x_2x_3x_4; \quad (15)$$

плотность, г/м³:

$$y_{12} = 1171,5 + 12,3x_1 - 9,4x_4 + 2x_2x_3 + 2,03x_1x_3x_4 + 3,4x_2x_3x_4; \quad (16)$$

Среднее арифметическое значение функции отклика для каждой серии параллельных опытов определялось по формуле

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ji}; \quad (j = 1, 2, \dots, N), \quad (17)$$

где k – число параллельных опытов, проведенных при одинаковых

условиях.

Воспроизводимость процесса проверяли по критерию Кохрена [4]

$$G = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2} \leq G(0,05; f_N; f_j), \quad (18)$$

где $\max S_j^2$ - наибольшая из дисперсий в точках плана; $G(0,05; f_N; f_j)$ - табличное значение критерия Кохрена при 5%-м уровне значимости; $f_N = N$ - число независимых оценок дисперсий; $f_j = k-1$ - число степеней свободы каждой оценки.

Дисперсию воспроизводимости определим по формуле

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j^2. \quad (19)$$

С ней связано число степеней свободы $f = N(k-1)$.

Оценку дисперсии адекватности определяли по формуле

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{N-e} \sum_{j=1}^N (y_j^э - y_j^п)^2. \quad (20)$$

Проверку адекватности линейной модели выполним с помощью критерия Фишера [4]. Адекватность обоснована, если выполняется неравенство

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \leq F(0,05; f_{ад}; f_y), \quad (21)$$

где $F(0,05; f_{ад}; f_y)$ - критерий Фишера при 5%-ном уровне значимости;

$f_{ад} = N - k - 1$ - число степеней свободы дисперсии адекватности; f_y - число степеней свободы дисперсии воспроизводимости.

Неравенства (18) и (21) выполняются, следовательно процесс воспроизводим, модель адекватна реальному технологическому процессу подземной газификации угля и может использоваться для прогнозирования состава получаемых газов и параметров их пожарной опасности.

Выводы. В результате проведенных исследований определена зависимость области воспламенения и теплоты сгорания горючих газов от условий проведения процесса подземной газификации угля, а именно расхода воздуха, расхода пара в дутье, температуры и давления в реакционной зоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Луценко Ю.В., Шаршанов А.Я., Яровой Е.А. Математическая модель процессов образования горючих газов при подземной газификации угля. Проблемы пожарной безопасности : Сб.научных тр.УЦЗ Украины.- Вып.24.-Харьков:УЦЗУ, 2008. – С.105-115.
 2. Е.В. Крейнин, Е.И. Шифрин Математическая модель процес сов горения и газификации угля в канале подземного газогенератора//ФГВ. 1993, №5, С. 21-28.
 3. Шаршанов А.Я., Луценко Ю.В., Олейник В.В., Шульга И.В. Математическая модель процесса газификации углей в газогенераторах // УглеХимический журнал. 2001, № 3-4, С. 33-40.
 4. Винарский М.С., Лурье М.В. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Киев, «Техніка», 1975, 168 с.
 5. Бродский С.Я, Евстафьев В.А., Кафаров В.В., Четкин В.А. Системный анализ процессов получения синтетических жидких топлив. – М.: Химия, 1994, 272 с.
 6. Кривулин В.Н., Ловачев Л.А, Баратов А.Н., Макеев В.И, Исследование влияния ускорения на концентрационные пределы воспламенения. – В кн.: Горение и взрыв. М.: Наука, 1972, С. 286 – 288.
 7. Макаров Г.Н., Харламович Д.А. Химическая технология твердых горючих ископаемых. – М.: Химия, 1986. – 496 с.
- nuczu.edu.ua

Статья поступила в редакцию 18.03.2009 г.