

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ЗОЛЬНОСТЬЮ И СОДЕРЖАНИЕМ
ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ОТХОДАХ ФЛОТАЦИИ
ЧЕРВОНОГРАДСКОЙ ЦОФ**

В статті вказані технологічні, екологічні та економічні наслідки діяльності вуглепереробних підприємств. Також розглянуто статистичний розподіл між зольністю та органічним вуглецем у відходах вуглезбагачення. Отримано вираз, що дозволяє знаходити величину вмісту органічного вуглецю, знаючи зольність, для різних проб матеріалу.

**CORRELATION BETWEEN ASH VALUE AND CONTENT
OF ORGANIC CARBON IN WASH SLURRY WASTES OF
CPF "CHERVONOGRADSKAYA"**

In this paper are indicated technological, ecological and economical effects, caused under action of coal conversion factories. Also it is considered the statistic distribution between ash value and content of organic carbon in wash slurry wastes. It is obtained the expression, which allows to find the content of organic carbon, if we know the ash value, for various samples of material.

Процессы обогащения рядовых углей непосредственно связаны с постоянным образованием отходов в виде угольного шлама, который по своим качествам является мелкодисперсным и высоковлажным продуктом с повышенной зольностью. В настоящее время по различным данным в углеперерабатывающих регионах накопилось от 117 до 150 млн. т. углеотходов, которые занимают площадь около 1800 га. Как показал опыт работы более 30 обогатительных фабрик, образование шлама в основном составляет от 0,5 до 10% масс от перерабатываемого угля, зольность изменяется от 40 до 80%, а гранулометрический состав таков, что класс +0,5 мм составляет 2 – 15%, а класс - 0,5 мм – от 40 до 90% [1, 2].

Кроме этого, чрезмерное накопление таких отходов выводит плодородные земли из хозяйственного оборота и оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду, загрязняя атмосферный воздух, подземные и поверхностные воды, почву. При этом возникают и экономические проблемы. Так, часть капитала, вложенного в добычу и переработку угля, не окупается, а также углеобогатительное предприятие несет финансовые потери вследствие уплаты штрафов за нанесение экологического ущерба.

Усилия отечественных и зарубежных ученых в области переработки отходов добычи и обогащения направлены, прежде всего, на предупреждение и минимизацию их образования, а затем на их вторичное использование. Поэтому разработка новых технологических решений с получением товарного продукта с улучшенными потребительскими свойствами является актуальной и имеет большое практическое значение [3]. Результаты проведенных исследований [3, 4] показали, что по своему составу и свойствам углеотходы являются сложными полидисперсными системами, состоящими из частиц разно-

образной формы и крупности и отличающиеся между собой петрографо-минералогическим составом. Кроме того, важной особенностью отходов угольной промышленности по сравнению с другими видами минерального сырья является наличие в них органических веществ. Этот классификационный признак позволяет определить применимость угольных шламов в процессах его термической обработки.

Таким образом, в сложившейся экономической и экологической ситуации, представляется перспективным вовлечение отходов углеобогащения в хозяйственный оборот как мощную минерально-сырьевую базу, запасы которой более чем достаточны для создания высококоррентабельных перерабатывающих производств.

Целью работы является определения взаимосвязи между выборочными данными по содержанию органического углерода и зольности путем статистической обработки результатов экспериментов с помощью теории корреляции.

Для приблизительной оценки содержания органического углерода C_o можно использовать эмпирические соотношения. В работе [5], например, встречается следующее линейное уравнение:

$$C_o = a - bA, \quad (1)$$

где A – зольность углеотходов; a, b – коэффициенты определяемые в результате проведения эксперимента.

В качестве материала для исследований были взяты отходы процесса флотационного обогащения Червоноградской ЦОФ ЗАО «Львовсистемэнерго». На расстоянии 3 – 4 км от самой фабрики расположен шламонакопитель № 1, занимающий площадь 80 га. При этом общий объем шлама составляет 4500 тыс. м³. Пробы, отобранные с учетом методики планирования экспериментов в 14 точках по всей площади этого шламонакопителя, был осуществлен силами ИГТМ НАНУ первоначально в 1993 г. и охватывал шламы с максимальным и минимальным содержанием горючей массы, максимальной и минимальной влажностью, а также с некоторыми промежуточными значениями данных параметров. Результаты анализа этих проб приведены на рис. 1.

Как известно, линейное уравнение регрессии Y по X имеет вид [6]:

$$Y - \bar{Y} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} (X - \bar{X}), \quad (2)$$

где X, Y – неизвестные переменные; \bar{X}, \bar{Y} – выборочные средние для двух выборок; σ_x, σ_y – среднеквадратические отклонения для двух выборок; r – коэффициент корреляции.

Наиболее важным показателем корреляционной связи между этими данными служит коэффициент корреляции, характеризующий степень линейной связанности двух параметров. Для его расчета воспользуемся методикой, приведенной в работе [5]. Обозначим зольность через X , содержания органического углерода через Y , при этом объем выборки $n = 14$. Затем на основании этих данных составлена табл. 1

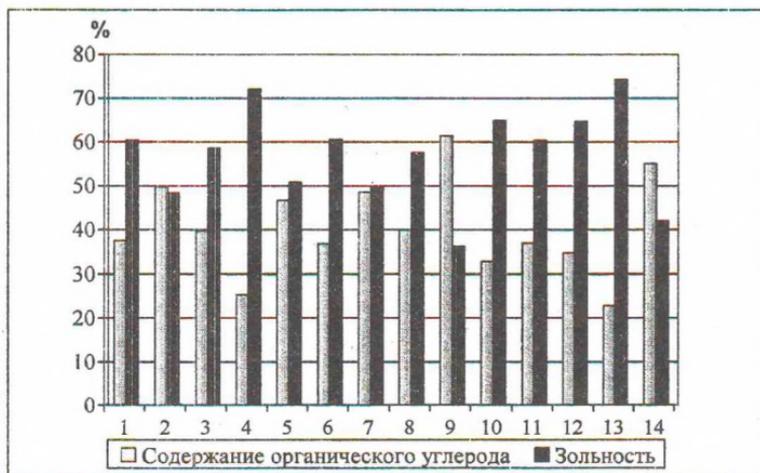


Рис. 1 – Содержание органического углерода и зольность углеотходов Червоноградской ЦОФ

Последние два столбца этой таблицы составлены для проверки проделанных вычислений. Проверка

$$\sum_{i=1}^n (X_i + Y_i)^2 = \sum_{i=1}^n X_i^2 + \sum_{i=1}^n Y_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n X_i Y_i;$$

$$133775,7 = 47264,5 + 24564,4 + 2 \cdot 30973,4.$$

показывает, что вычисления сделаны без ошибок.

Последовательно находим выборочные средние:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{800,4}{14} = 57,2;$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} = \frac{568,1}{14} = 40,6.$$

Таблица 1 – Данные для расчета коэффициента корреляции

№ пробы	X	Y	X ²	Y ²	XY	X + Y	(X + Y) ²
1	60,4	37,5	3648,2	1406,3	2265,0	97,9	9584,4
2	48,3	49,7	2332,9	2470,1	2400,5	98,0	9604,0
3	58,5	39,7	3422,3	1576,1	2322,5	98,2	9643,2
4	72,0	25,3	5184,0	640,1	1821,6	97,3	9467,3
5	50,8	46,7	2580,6	2180,9	2372,4	97,5	9506,3
6	60,5	36,8	3660,3	1354,2	2226,4	97,3	9467,3
7	49,7	48,6	2470,1	2362,0	2415,4	98,3	9662,9
8	57,6	40,0	3317,8	1600,0	2304,0	97,6	9525,8
9	36,3	61,4	1317,7	3770,0	2228,8	97,7	9545,3
10	64,9	32,8	4212,0	1075,8	2128,7	97,7	9545,3
11	60,4	37,0	3648,2	1369,0	2234,8	97,4	9486,8
12	64,7	34,7	4186,1	1204,1	2245,1	99,4	9880,4
13	74,3	22,8	5520,5	519,8	1694,0	97,1	9428,4
14	42,0	55,1	1764,0	3036,0	2314,2	97,1	9428,4
Сумма	800,4	568,1	47264,5	24564,4	30973,4	1368,5	133775,7

В данном случае среднеквадратические отклонения равны:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2}{n} - \bar{X}^2} = \sqrt{\frac{47264,5}{14} - (57,2)^2} = 10,2;$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Y_i^2}{n} - \bar{Y}^2} = \sqrt{\frac{24564,4}{14} - (40,6)^2} = 10,3.$$

Искомый коэффициент корреляции определяется из выражения:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i Y_i) - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\frac{1}{14} \cdot 30973,4 - 57,2 \cdot 40,6}{10,2 \cdot 10,3} = -1,0.$$

Полученная величина по модулю $|r| = 1$ максимальна, что указывает на наличие тесной связи между X и Y, т.е. между зольностью и содержанием органического углерода в углеотходах. Знак «-» показывает обратно пропорциональную зависимость параметров. Таким образом, при увеличении зольности углеотходов содержание органического углерода будет уменьшаться.

Найдем уравнение регрессии, которое позволит вычислять с достаточной вероятностью содержание органического углерода, если известна зольность. Определим регрессию Y по X , т.е. рассчитанные величины подставим в уравнение (2). Для этого сначала найдем коэффициент регрессии Y по X по следующей зависимости:

$$r \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = -1,0 \cdot \frac{10,3}{10,2} = -1,0.$$

Согласно (2), уравнение регрессии Y по X будет иметь вид:

$$Y - 40,6 = -1(X - 57,2)$$

или после несложных преобразований и при замене переменных получим:

$$C_o = 97,8 - A. \quad (3)$$

Полученное уравнение регрессии хорошо согласуется с формулой (1), что соответствует теоретическим исследованиям. График этой функции показан на рис. 2.

Данные о содержании органического углерода, полученные в результате проведения эксперимента и рассчитанные по выведенной формуле (3), сведены в табл. 2:

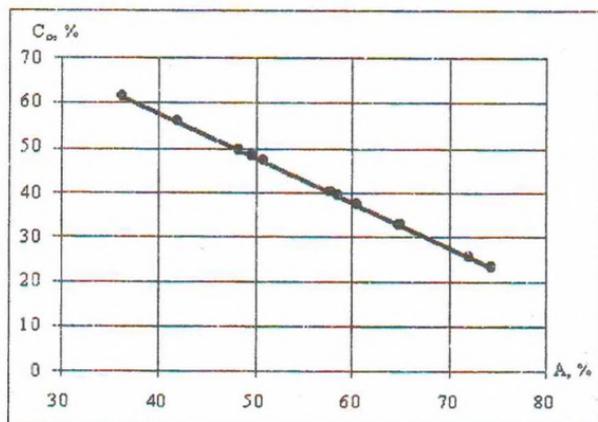


Рис. 2 – Расчетный график зависимости содержания органического углерода от зольности углеотходов Червоноградской ЦОФ

Таблица 2 – Данные для расчета критерия Стьюдента

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$A, \%$	60,4	48,3	58,5	72,0	50,8	60,5	49,7	57,6	36,3	64,9	60,4	64,7	74,3	42,0
$C_o, \%$	37,5	49,7	39,7	25,3	46,7	36,8	48,6	40,0	61,4	32,8	37,0	34,7	22,8	55,1
$C_o \text{ расч. } \%$	37,4	49,5	39,3	25,8	47,0	37,3	48,1	40,2	61,5	32,9	37,4	33,1	23,5	55,8
d_i	0,1	0,2	0,4	-0,5	-0,3	-0,5	0,5	-0,2	-0,1	-0,1	-0,4	1,6	-0,7	-0,7

Для проверки гипотезы о значимости результатов определения содержания органического углерода двумя способами воспользуемся критерием Стьюдента, методика нахождения которого изложена в работе [7]. Вначале вычислим параметр d_i (табл. 2), равный результату от вычитания четвертой строчки из третьей. Далее последовательно находим:

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} = \frac{-0,7}{14} = -0,05;$$

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i\right)^2}{n}}{n-1}} = \sqrt{\frac{4,81 - \frac{(-0,7)^2}{14}}{14-1}} = 0,61;$$

$$t_{\text{набл}} = \frac{\bar{d} \cdot \sqrt{n}}{s_d} = \frac{-0,05 \cdot \sqrt{14}}{0,61} = -0,31.$$

Воспользовавшись таблицей критических точек распределения Стьюдента по выбранному уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = n - 1 = 14 - 1 = 13$, найдем точку, которая равняется $t(\alpha; k) = t(0,05; 13) = 2,16$. Поскольку

$$|t_{\text{набл}}| < t(0,05; 13);$$

$$|-0,31| < 2,16,$$

то нет оснований отвергать гипотезу об одинаковых двух средних нормальных совокупностях C_o и $C_o \text{ расч.}$, исходя из равенства их математических ожиданий. А, следовательно, результаты экспериментальных и теоретических расчетов различаются незначимо.

Таким образом, с помощью уравнения (3), зная зольность углетоходов Червоноградской ЦОФ, можно всегда определить содержание органического углерода в них, не прибегая к построению зависимостей и не пользуясь эмпирическими и полуэмпирическими формулами с низкой точностью.

Как показали последующие исследования, пробы, отобранные в последующие годы для проведения эксперимента, содержат более 50 % органиче-

ского углерода. Это позволяет их отнести к высокоуглеродистому минеральному сырью, что позволяет рассматривать данный вид отходов обогащения как дополнительный источник нетрадиционного твердого топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров В.И. Состояние и проблемы развития углеобогащения Украины / В.И. Федоров, И.П. Курченко, А.А. Золотко // Уголь Украины. – 1999. – № 8. – С. 13–17.
2. Серегин А. И. Разработка технологических схем переработки угольных шламов в товарную продукцию / А.И. Серегин, Е.Г. Горлов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 5. – С. 241–244.
3. Саранчук В.И. Флотирование углей реагентами из продуктов коксохимии / В.И. Саранчук, И.А. Аровин, Л.Я. Галушко. – Донецк: Східний видавничий дім, Кальміус, 2006. – 192 с.
4. Фоменко Т. Г. Шламы, их улавливание и обезвоживание / Т.Г. Фоменко, И.С. Благов, А.М. Коткин, В.С. Бутовецкий. – М.: Недра, 1968. – 203 с.
5. Лебедев В.В. Комплексное использование углей / В.В. Лебедев, В.А. Рубан, М.Я. Шпирт. – М.: Недра, 1980. – 239 с.
6. Батунер Л.М. Математические методы в химической технике / Л.М. Батунер, М.Е. Позин. – Л.: Химия, 1968. – 824 с.
4. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1975. – 333 с.