

УДК 622.012.2.004.68

к.т.н. Павлов В. И.,
Табуницкий Д. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР, Россия, pavlow2005@rambler.ru)

ЗОЛЬНОСТЬ УГЛЯ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Установлены отклонения фактических значений эксплуатационной зольности от ее прогнозных значений, рассчитанных по стандартной методике по ряду угольных шахт. Получена множественная регрессионная модель зависимости этого отклонения от основных влияющих факторов. Уточнение эксплуатационной зольности добываемого угля позволит более надежно разрабатывать мероприятия по утилизации зольных остатков от сжигания угля.

Ключевые слова: зольный остаток, шлаковый отвал, природная зольность, угольный пласт, выемка, засорение, эксплуатационная зольность, расчетная зольность, ошибка расчета, влияющие факторы, регрессионная модель, уточненная зольность.

Постановка проблемы, обоснование ее актуальности. Добываемый уголь используется для получения тепловой энергии в тепловых электростанциях, котельных и частных домостроениях на территории Луганской Народной Республики. Основным показателем качества угля является зольность, определяющая содержание минеральных (не горючих) примесей в угле в процентах, т. е. негорючий остаток после сжигания угля. Зольность разрабатываемых угольных пластов шахтами ЛНР колеблется в пределах 8–18 %. Фактически пластовая зольность может быть намного выше из-за загрязнения в процессе накопления растительных остатков и образования угольного вещества. При планировании горных работ части угольных пластов с высокой зольностью не отрабатываются. Эти геологические запасы угля относят к забалансовым.

Во время выемки угля зольность увеличивается. В добываемый уголь попадают породные пачки, разделяющие угольный пласт на отдельные слои. Шнеки комбайна случайно цепляют породы почвы и кровли. Над угольным пластом могут залегать очень слабые породные слои, так называемая ложная кровля, которая обрушается сразу после выемки угольного пласта. Зольность добытого угля называется экс-

плуатационной. Она всегда больше пластовой зольности и может достигать 40 %. Средняя эксплуатационная зольность шахт Донбасса составляла 25–30 % по состоянию на 2013 г. При добыче одной средней по производительности шахтой 400 тыс. т угля в год после сжигания угля потребителями общие зольные отходы составляют от 100 до 120 тыс. т. Трудно себе представить темпы загрязнения воздушного бассейна, грунтовых вод и прежде всего наших черноземных почв.

Прогноз этого важного показателя нормируется стандартом [1]. Как показала практика, фактическая зольность иногда значительно отличается от расчетных значений. Поэтому уточнение значений зольности является актуальной научной и практической задачей.

Цель и задачи исследований. Целью данной статьи является повышение точности прогноза нормативной зольности добываемого угля. Для достижения указанной цели поставлена **задача:** исследовать влияние геологических и технологических факторов на отклонение фактических и расчетных значений зольности добываемого угля.

Изложение материала. Для решения поставленной задачи проанализированы статистические данные по 42 выемочным участкам 7 шахт ГХК Луганскуголь

(ш. «Луганская», ш. им. 19 съезда КПСС, ш. им. Артема, ш. «Лутугинская», ш. «Никанор-Новая», ш. «Черкасская», ш. «Вергелевская»). В данной работе исследования выполнялись методами математической статистики с помощью пакета прикладных программ Excel и Statistica [2]. Основные геологические и технологические факторы, которые проанализированы в данной работе, приведены в таблице 1.

В таблице использованы условные обозначения следующих показателей:

A_n — зольность нормативная, %;

$A_{экс}$ — зольность эксплуатационная, %;

Δ — отклонение зольности, %;

$m_{пл}$ — вынимаемая мощность пласта, м;

α — угол падения пласта, град;

$m_{лкр}$ — мощность ложной кровли, м;

$m_{лп}$ — мощность ложной почвы, м;

$m_{пр}$ — мощность присечки почвы, м;

ℓ — длина лавы, м;

r — отставание передвижки крепи от выемки комбайна, м.

Для выбранных выемочных участков значения эксплуатационной зольности превышают нормативные значения, поэтому прогнозный показатель $\Delta = A_n - A_{экс}$ имеет только положительное значение. На этапе предварительного анализа с помощью τ -критерия выявлено и удалено одно anomальное значение $\Delta = 12\%$, которое существенно отличается от остальных и может быть вызвано особенностями условий отработки выемочного участка. После удаления anomального наблюдения объем выборки составил $n = 41$ значение. В таблице 1 приведены минимальные, максимальные и средние значения факторов после удаления anomального наблюдения. Среднее отклонение нормативной и фактической зольности по исследуемым шахтам составляет 1,2 %, а максимальное — 6,2 %. Анализируя гистограмму распределения (рис. 1), можно предположить, что величина отклонений фактической и нормативной зольности подчиняется логнор-

мальному закону. Эта гипотеза подтверждается критерием Пирсона:

$$\chi_{набл}^2 = 5,54 < \chi_{кр}^2(0,05; 2) = 6,0.$$

Значит, отклонение фактической зольности от нормативной — случайная величина, без систематических ошибок, следовательно, может быть изучена статистическими методами и возможно построение прогнозной статистической модели.

Взаимосвязи показателей изучались с помощью корреляционного анализа. Результаты представлены в виде корреляционной матрицы (табл. 2). Для отбора факторов в прогнозную модель используем граф связей (рис. 2).

Таблица 1

Показатели работы выемочных участков

Показатель	Величина		
	min	max	среднее
A_n	10,2	44,3	25,7
$A_{экс}$	11,3	45,5	25,8
Δ	0,0	6,2	1,2
$m_{пл}$	0,80	1,75	1,13
α	1	28	8
$m_{лкр}$	0,00	0,40	0,04
$m_{лп}$	0,00	3,50	0,50
$m_{пр}$	0,00	0,30	0,05
ℓ	115	300	187
r	0,00	17,50	8,11

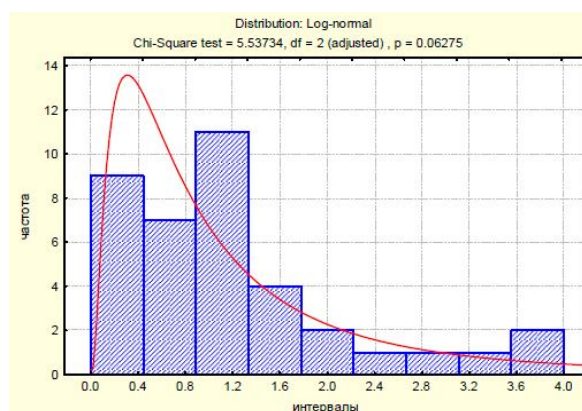


Рисунок 1 — Распределение отклонений фактической зольности от нормативной

Таблица 2

Корреляционная матрица показателей

	Δ	$m_{пл}$	α	$m_{л\ кр}$	$m_{л\ п}$	$m_{пр}$	ℓ	r
Δ	1,00	-0,33	-0,08	-0,29	0,23	0,17	0,11	-0,26
$m_{пл}$	-0,33	1,00	-0,08	-0,01	-0,19	-0,38	0,31	0,15
α	-0,08	-0,08	1,00	0,17	-0,14	0,27	-0,03	-0,18
$m_{л\ кр}$	-0,29	-0,01	0,17	1,00	-0,16	-0,16	-0,14	0,00
$m_{л\ п}$	0,23	-0,19	-0,14	-0,16	1,00	-0,17	0,28	-0,26
$m_{пр}$	0,17	-0,38	0,27	-0,16	-0,17	1,00	-0,36	0,01
ℓ	0,11	0,31	-0,03	-0,14	0,28	-0,36	1,00	-0,37
r	-0,26	0,15	-0,18	0,00	-0,26	0,01	-0,37	1,00



Рисунок 2 — Граф взаимосвязей показателей

Жирным шрифтом в таблице 2 отмечены значимые величины коэффициентов корреляции по критерию Стьюдента при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

В модель множественной регрессии включаем наиболее влияющие факторы, при этом исключаем мультиколлинеарные (взаимосвязанные между собой) факторы. Мультиколлинеарными факторами являются $m_{пл}$ и $m_{пр}$ ($R = -0,38$), $m_{пл}$ и ℓ ($R = -0,31$), $m_{пр}$ и ℓ ($R = -0,36$), r и ℓ ($R = -0,37$). Для анализа конкретной технологической ситуации полезную информативность имеет знак коэф-

фициента корреляции. Знак «плюс» означает прямо пропорциональную связь, а знак «минус» — обратно пропорциональную.

Зависимость отклонения фактической и нормативной зольности (Δ) от влияющих факторов описывается регрессионным уравнением:

$$\Delta = 2,432 - 1,395 \cdot m_{пл} + 3,049 \cdot m_{л\ кр} - 0,032 \cdot r. \quad (1)$$

Надежность уравнения связи подтверждается F -критерием при уровне значимости 0,05. Значимость коэффициентов рег-

рессии проверена по статистике Стьюдента — все коэффициенты значимы. Коэффициент множественной корреляции значим и равен 0,51.

С помощью уравнения (1) сделан прогноз среднего значения отклонения фактической зольности от нормативной при максимально возможных в данных условиях значениях влияющих факторов. Прогнозное значение по уравнению (1) составило $\Delta=2,8\%$. Средняя квадратическая ошибка прогноза составляет 1,1 %, относительная ошибка прогноза — 32,5 %.

Библиографический список

1. СОУ 10.1.00185755.001-2004. Уголь бурый, каменный и антрацит. Методика расчета показателей качества. К. : Мінпаливенерго України, 2004. 39 с.
2. Подлипенская Л. Е., Кулакова С. И. Математическая статистика для горняков: учеб.-метод. пособие. — Алчевск : ГОУ ВО ЛНР «ДонГТИ», 2022. 166 с.

© Павлов В. И.

© Табунщик Д. В.

Рекомендована к печати директором ООО «ПКФ «Геолсервис» Крамаренко А. А., научным сотрудником ЦЛОИ «Орион» ДонГТУ Сергейчук О. В.

Статья поступила в редакцию 18.05.2023.

Ph.D. Pavlov V. I., Tabunshchik D. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR, Russia, pavlow2005@rambler.ru)
COAL ASH CONTENT AS AN INDICATOR OF ENVIRONMENTAL POLLUTION

Deviations of the operational ash content actual values from its predicted values, calculated through the standard method, were established for a number of coal mines. A multiple regression model of the deviation dependence on the main influencing factors has been obtained. Clarification of the operational ash content of the mined coal will allow more reliable developing some measures for the ash residues disposal after coal combustion.

Keywords: ash residue, slag dump, natural ash content, coal seam, excavation, clogging, operational ash content, calculated ash content, calculation error, influencing factors, regression model, refined ash content.