УДК 622.142.5(622.023)

А.Н.Шеремет
Санкт-Петербургский горный ин-т, Россия

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА И СВОЙСТВ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

На основе статистического анализа установлены закономерности распределения зольности и истинной плотности для угля различных марок, разных месторождений России.

On the basis of a statistical analysis are established of regularity of distribution of ash content and true density for coal of the different types, for deferent deposits of Russia.

Уголь представляет собой сложную многокомпонентную горную породу растительного происхождения. Все многообразие свойств углей, а также выбор рационального направления их переработки определяется составом и свойствами слагающих его микрокомпонентов [1]. Ископаемые угли состоят из органической массы – горючей части, и негорючих веществ (балласта) – влаги и минеральных примесей. Органические компоненты углей, являющиеся продуктами изменения исходной углеобразующей растительной массы при оторфенении, диагенезе и углефикации, подразделяются на гелифицированные, фюзенизированные, липоидные. Неорганические компоненты в углях состоят из минеральных включений и неорганических примесей в углеобразующих компонентах. «Зола» и «минеральные примеси» в угле – понятия не идентичные. Зола представляет собой твердый негорючий остаток, получаемый при сжигании угля. А некоторые минеральные включения (карбонаты и сульфиды) при этом разлагаются или сгорают с выделением углекислого и сернистого газов, и получающийся в этом случае зольный остаток может оказаться по массе значительно меньше минеральных примесей [2].

Уголь характеризуется определенными физико-химическими и физико-механическими свойствами, важнейшие из которых: действительная и кажущаяся плотности, твердость, прочность, дробимость, пластичность и упругость. Эти свойства углей имеют большое практическое значение при разведке и отработке месторождений, обогащении и термической переработке. Одними из важнейших свойств являются действительная и кажущаяся плотности. Действительная плотность угля характеризует уголь в процессе его технологической переработки. Кажущаяся плотность угля (с учетом пор и трещин) необходима для подсчета запасов и учета добычи ископаемых углей. Устойчивая связь между плотностью угля и содержанием в нем минеральных примесей установлена давно. В ряде литературных

источников обращается внимание на линейный характер связи показателей плотности и состава, в частности действительной плотности и зольности [1, 2]. Но при содержании в углях более 45 % золы изменились закономерности связи этих показателей. Форма связи стала криволинейной. При широком диапазоне изменения зольности угольного пласта и добытой горной массы (угольно-породной смеси), что характерно при валовой открытой разработке, потребовалось проанализировать характер криволинейной связи плотности и зольности (d и A^d) в диапазоне от 10 до 90 %. С этой целью автором был выполнен регрессионный анализ с использованием программы EXCEL и подбор линий тренда на основе анализа коэффициентов аппроксимации. Для расчетов линий трендов при аппроксимации данных по методу наименьших квадратов были исследованы следующие виды связей между аргументами x_i (действительной плотностью) и y_i (зольностью):

$$y = mx + b,$$

где m – угол наклона; b – координата пересечения оси абсцисс;

$$y = b + c_1x + c_2x^2,$$

где c и b – константы;

$$y = b + c\ln x,$$

где c и b – константы; ln – функция натурального логарифма;

$$y = ce^{bx},$$

где c и b – константы; e – основание натурального логарифма;

$$y = cx^b,$$

где c и b – константы.

При регрессионном анализе [3] для каждой точки вычислялся квадрат разности между прогнозируемым значением y_{iv} и фактическим значением $y_{i\phi}$. Сумма квадратов этих разностей называется остаточной суммой квадратов. Затем подсчитывалась сумма квадратов разностей между фактическими значениями $y_{i\phi}$ и средним значением y, которая называется общей суммой квадратов (регрессионная сумма плюс остаточная сумма квадратов). Чем меньше остаточная сумма квадратов по сравнению с общей суммой квадратов, тем больше значение коэффициента детерминированности (аппроксимации) R, вычисляемого по формуле

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_{i\phi} - y_{iv})^2}{(\sum y_{i\phi}^2) - (\sum y_{i\phi})^2 / n}.$$

Коэффициент детерминированности показывает, насколько хорошо уравнение, полученное с помощью регрессионного анализа, объясняет взаимосвязь между переменными, т.е. по своей значимости он аналогичен индексу корреляции, применяемому для характеристики интенсивности связи при нелинейных соотношениях. Коэффициент детерминированности изменяется от нуля до единицы. Если он равен единице, то имеет место полная корреляция с исследуемой математической моделью, т.е. нет различия между фактическими и оценочными значениями функции. В противоположном случае, если коэффициент детерминированности равен нулю, уравнение регрессии неудачно для предсказания значений функции. Кроме того, с целью более обоснованного вывода формы регрессии для всех типов линий тренда были просчитаны значения погрешности функций m_y:

$$m_y = \pm\sqrt{\sum(y_{i\phi} - y_{iv})^2 / n}.$$

Автором было проанализировано свыше 3000 проб Кузнецкого, Экибастуз-

ского, Челябинского, Подмосковного и других бассейнов на предмет установления связи «действительная плотность – зольность» и около 1000 проб на предмет качества связи «кажущаяся плотность – зольность». Анализу подверглись пробы угля практически полного ряда степени метаморфизма марок $Б_2$, $Б_3$, Г, ГЖ, К, Т, ПА. Полученные результаты подтвердили мнение, что наилучший вид регрессии, описывающий связь показателей состава и свойств угольных пластов, имеет формулу полинома второй степени $d = 0{,}0001A^2 + 0{,}0046A + 1{,}323$ (см. рисунок). Это подтверждают и довольно высокие показатели коэффициента детерминированности, принимающие значения от 0,85 (для Листвянского карьера, Кузбасс) до 1,0 (для Экибастуза).

Для изучения природы исследуемой связи показателей состава и свойств угольных пластов необходимо исследовать законы распределения системы «действительная плотность – зольность» и, в частности, закон распределения самих этих показателей внутри системы. Распределение показателя – это совокупность его значений с соответствующими частотами, частностями или вероятностями. Результаты исследования выборок дадут эмпирическое распределение значений показателей состава и свойств угля анализируемых месторождений и, при достаточно



Зависимость действительной плотности от зольности

представительном объеме, охарактеризуют распределение зольности и действительной плотности угля в границах всего месторождения. Распределение показателей зольности и действительной плотности в пределах месторождения, выражающее в математической форме взаимосвязь этих показателей и их вероятностей, называют законом распределения. Для выдвижения гипотезы о законах распределения показателей были предварительно рассчитаны и проанализированы статистические характеристики закона распределения: Мо – мода, $X_{ср}$ – среднее значение показателя, Ме – меридиана, А – асимметрия, V – коэффициент вариации, $\sigma_а$, $\sigma_э$ – погрешности определения асимметрии и эксцесса.

Анализ полученных данных (табл.1, 2) позволяет сделать вывод, что для действительной плотности практически по всем месторождениям условие асимметричности выполняется на 40-50 %. Сравнение значений асимметрий и эксцессов с их утроенными средними квадратическими ошибками позволило сделать следующие выводы. Для действительных плотностей углей марок Т-ПА, ПА, Т Кузнецкого месторождения асимметрия, как и эксцесс, не существенны. Это указывает на возможное нормальное распределение. Для углей марок Г-ГЖ, К, Т-К, $Б_3$ Экибастузского, Кузнецкого, Челябинского и Ангренского месторождений асимметрия существенна, она преимущественно левосторонняя. Эксцесс в ряде случаев тоже больше допустимого значения. Значения Мо, Ме и $X_{ср}$ не слишком варьируют при преимущественной левой асимметрии, что позволяет выдвинуть гипотезу о нормальном распределении. Этого нельзя сказать о зольности. Практически для всех месторождений наблюдаются значения коэффициента вариа-

Таблица 1

Статистические характеристики распределения зольности A^d

Месторождение, шахта (карьер)	Мо, %	$X_{ср}$, %	Ме, %	A	$3\sigma_а$	Э	$3\sigma_э$	V, %	Марка угля
Экибастуз	31,6	45,73	41,9	0,53	0,36	-0,52	0,71	28	Г-ГЖ
Кузбасс	17	41,87	34,8	0,263	0,37	-1,47	0,74	64	К
Томусинский карьер									
Шахта Ленина	86,8	47,5	47,9	0,04	0,42	-1,59	0,85	65	К
Сибиргинский карьер	10,8	24,9	16,4	1,77	0,40	1,95	0,8	87	К
	15,6	17,61	13,3	3,17	0,61	10,64	1,22	84,5	К
Листвянский карьер	13,6	41,53	44,6	0,02	0,36	-1,4	0,72	56	Т-ПА
	48,7	33,41	27	0,65	0,45	-0,6	0,90	55,8	ПА
Шахта Шушталепская	5,3	21,0	10,4	1,84	1,53	2,43	3,06	110	Т
	21	28,75	22,4	1,73	0,62	1,98	1,25	80	Т
Алардинская шахта	6	26,49	14,1	1,48	0,69	0,69	1,38	99	Т-КТ
Челябинское месторождение, карьер Коркино	32,7	34,02	33,3	1,32	0,46	3,19	0,92	14,2	$Б_3$
Ангрен	11,8	36,76	24,8	0,55	0,35	-1,25	0,71	72	$Б_3$
	8,6	11,09	9,45	1,99	0,68	4,3	1,35	54,5	$Б_3$
Назаровский карьер	10,8	12,8	10,8	2,69	0,47	7,6	0,94	45,8	$Б_2$

Таблица 2

Статистические характеристики распределения действительной плотности d

Месторождение, шахта (карьер)	Мо, т/м^3	$X_{ср}$, т/м^3	Ме, т/м^3	A	$3\sigma_а$	Э	$3\sigma_э$	V, %	Марка угля
Экибастуз	1,62	1,75	1,68	0,85	0,36	0,09	0,71	11	Г-ГЖ
Кузбасс	1,42	1,87	1,8	0,48	0,37	-0,88	0,74	21	К
Томусинский карьер									
Шахта Ленина	1,45	1,91	1,82	0,37	0,42	-1,19	0,85	24	К
Сибиргинский карьер	1,46	1,72	1,55	1,3	0,40	0,67	0,8	20	К
Листвянский карьер	1,5	1,91	1,96	0,04	0,36	-0,78	0,72	16,2	Т/ПА
	1,94	1,92	1,91	0,4	0,45	0,59	0,90	12,6	ПА
Шахта Шушталепская	2,01	1,88	1,94	0,28	1,53	1,06	3,06	1,2	Т
Алардинская шахта	1,42	1,66	1,48	1,6	0,69	1,23	1,38	24,4	Т-КТ
Челябинское месторождение, карьер Коркино	1,7	1,71	1,71	1,59	0,46	4,4	0,92	3,6	$Б_3$
Ангрен	1,6	1,87	1,71	0,77	0,35	-0,76	0,71	17,7	$Б_3$

ции $V > 50$ %. Исключение составляют лишь Экибастуз, Челябинское месторождение и Назаровский карьер. Значения Мо, Ме и $X_{ср}$ варьируют в широких пределах, поэтому применение закона нормального распределения для них сомнительно. Требуется дальнейшая обработка данных по критериям Пирсона и Колмогорова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Еремин И.В.* Петрография и физические свойства углей / И.В.Еремин, В.В.Лебедев, Д.А.Цикарев. М.: Недра, 1980. 263 с.

2. *Кирюков В.В.* Методы исследования вещественного состава твердых горючих ископаемых. Л.: Недра, 1970. 240 с.

3. *Фестер Э.* Методы корреляционного и регрессионного анализа / Э.Фестер, Б.Ренц. М.: Финансы и статистика, 1983. 300 с.