УДК 622.142.5(622.023)

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

КОСВЕННЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УГЛЯ В ЦЕЛЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

Предлагается косвенный способ определения действительной и кажущейся плотностей угля путем их вычисления на основе корреляционных зависимостей между соответствующими плотностями и зольностью.

The indirect way of definition by true and apparent of density is offered by their calculus on the correlation analysis based of relations between the conforming density and ash content.

Буровзрывная подготовка горной массы – важный и трудоемкий технологический процесс, предопределяющий эффективность экскавации, обогащения и промышленного использования угля. Рациональный выбор параметров буровзрывных работ (БВР) обусловливает снижение стоимости добычи и повышение качества угля. Поэтому исследования в области совершенствования технологии БВР актуальны, особенно для разработки угольных пластов всех месторождений России открытым способом.

Действующим ГОСТом для оценки качества разрабатываемых открытым способом пластов сложного строения рекомендуется определять среднюю плотность и зольность каждой угольной пачки и породного прослоя с последующим нахождением среднепластовых характеристик по формуле средневзвешенного. Отбор проб и их обработка являются довольно длительными и трудоемкими процессами. Поэтому уже давно различными учеными проводились исследования для установления функциональных зависимостей между зольностью и плотностью (действительной или кажущейся). В частности, в работах 70-80-х и начала 90-х годов принято считать, что действительная плотность угля увеличивается с увеличением зольности по линейному закону и для большинства углей это изменение в основном соответствует формуле Л.Фермора:

$$\rho_\gamma = \rho_0 + A^c / 100,$$

где ρ_γ – действительная плотность угля с минеральными примесями; ρ_0 – действительная плотность органического вещества угля; A^c – зольность сухого угля.

Для оперативного решения вопросов буровзрывной подготовки горной массы целесообразнее использовать косвенный способ оценки прочности (крепости) и плотности (действительной или кажущейся) углей и пород, а именно: их корреляционные связи с составом горной

массы, прежде всего с количеством основных компонентов угля и пород.

Автор настоящей статьи предлагает заменить прямые опытные определения средней плотности (действительной или кажущейся) угольных пачек и прослоев их расчетом. Этот способ основан на использовании корреляционных зависимостей между зольностью и плотностью. Как показали исследования, физико-механические свойства углей и углистых пород зависят от соотношения основных составляющих: обугленного органического материала и минеральных примесей. Количественно это соотношение с достаточной точностью характеризуется зольностью, определяемой при технологическом опробовании.

Для установления закономерности изменения физико-механических свойств и зольности были проведены специальные исследования. В угольных пачках и породных прослоях отбирали пробы, по которым определяли зольность, плотность и прочность. Плотность определяли стандартным способом, прочность (крепость) – по методу проф. М.М.Протодьяконова толчением и с помощью прибора-пробника БУ-39 (ВНИМИ) по ГОСТ 24941-81. Установлено, что малозольные блестящие и полублестящие угли обладают невысокой прочностью, более зольные полуматовые и матовые литотипы имеют повышенную, а углистые породы – наибольшую прочность. Закономерное увеличение прочности по мере уменьшения содержания обугленного органического материала распространяется и на слабоуглистые и практически безугольные типы пород. Зависимость коэффициента крепости от соотношения органического и минерального материала в петрографической ассоциации уголь — порода носит непрерывный и криволинейный характер в широком диапазоне изменения зольности A^c (10-95 %).

Ввиду высокого уровня современных компьютерных технологий процессы корреляционного и регрессионного анализа значительно облегчаются. Нет необходимости в выведении единой математической зависимости между прочностными и плотностными свойствами. Неоднородность массива исключает создание единой математической модели для всех угольных месторождений страны. Точность прогноза показателей во многом определяется максимальным приближением аппроксимирующей кривой к условиям данного района. Автором статьи был обработан значительный материал натурных проб по Коркинскому, Экибастузскому, Ангренскому и Кузнецкому месторождениям. Вывод, сделанный автором, подтверждает предыдущие положения о наличии устойчивой положительной корреляции между зольностью и плотностью угля. Однако более полно описывает данную связь полином второй степени.

Отклонения современного вида зависимости от линейного типа основано на том, что в выборку включены данные с высоким содержанием золы. Если раньше исследования проводились с учетом промышленного содержания золы (до 50 %), то сегодня интересен прогноз на перспективу: при повышенной зольности. Учет физико-механических свойств углей каждого из указанных месторождений происходит путем введения в данный вид связи индивидуальных коэффициентов, а также свободных членов. Выборки достаточно представительны. Их объемы составляют от 253 до 429 проб. Поэтому полученные

автором уравнения регрессии рекомендуется применять для оперативного прогнозирования действительной плотности при известной зольности на стадии промышленной разработки угольных месторождений открытым способом (см. таблицу).

Данные регрессионного анализа зависимости действительной плотности от зольности для изученных месторождений

Месторождение	Квадрат коэффициента аппроксимации R^2	Ошибка функций, т/м^3	Вид регрессии
Ангрен	0,882	0,114	$0{,}00001x^2 + 0{,}001x + 1{,}50$
Коркино	0,920	0,017	$-26{,}65x^2 + 170{,}17x - 179{,}23$
Кузнецкое	0,963	0,012	$0{,}0023x^2 + 0{,}006x + 1{,}52$
Экибастуз	0,997	0,015	$0{,}0001x^2 + 0{,}005x + 1{,}302$

Анализ зависимости действительной плотности от зольности довольно представителен: проанализированы четыре крупные месторождения России: Ангренское, Коркинское, Экибастузское и Кузнецкое. Причем анализ по Кузбассу производился дифференцированно по шахтам, карьерам – в зависимости от марок углей. Это объясняется многообразием марок углей, которыми представлено Кузнецкое месторождение. Выявлена высокая, устойчивая положительная связь. Значения коэффициента аппроксимации варьируют в пределах от 0,85 до 1,0. Наиболее типичный вид регрессии – полином второй степени (иногда линейная или экспоненциальная). Но в этих случаях их точность практически равнозначна с полиномом.

При анализе зависимости кажущейся плотности от зольности также подтверждается устойчивая положительная зависимость, качественно характеризуемая полиномом второй степени и довольно высокими коэффициентами аппроксимации. Для кажущейся плотности они изменяются в пределах от 0,62 до 1,0.

Кроме перечисленных выше проводились исследования следующих зависимостей.

Зависимость кажущейся плотности от влажности: проанализировано 146 проб Ангренского месторождения. Наблюдается положительная зависимость, которая качественно характеризуется полиномом второй степени при сильной связи ($R^2 = 0{,}8$). Физическое объяснение этому очевидно: влага в основном накапливается в органическом материале и в порах, таким образом, чем больше кажущаяся плотность, тем больше влажность и наоборот. Ошибка функции 0,06 т/м^3.

Зависимость действительной плотности от влажности: проанализировано 127 проб Ангренского месторождения. Качественная характеристика – полином второй степени при слабой связи (коэффициент аппроксимации 0,3). Ошибка функции 0,205 т/м^3.

Зависимость крепости от зольности: Экибастуз, 935 проб. Выборка очень представительна. Наблюдается устойчивая положительная зависимость крепости от зольности, которая описывается полиномом второй степени. Это логично, так как зола – более крепкий материал, чем органика. Коэффициент аппроксимации 0,8 при ошибке функции 0,74.

Зависимость влажности от зольности: Кузбасс, Назаровский карьер. Проанализирована выборка из 243 значений. Связь практически отсутствует. Влажность не зависит от зольности. Это и понятно, поскольку влажность определяется пористостью структуры и кажущейся плотностью угля.

Исследование вопросов корреляционно-регрессионных связей прочностных и плотностных свойств углей продолжает оставаться актуальной задачей. Обработка значительного объема материала поможет вплотную подойти к решению такой важной проблемы, как геометризация геолого-технологических показателей пород с целью последующего составления математических моделей месторождений и районирования для повышения эффективности горных работ на угольных карьерах. Автор продолжает исследования в данном направлении.