

УДК 622.33:658(001)

ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ НА КАЧЕСТВО (ЗОЛЬНОСТЬ) ДОБЫВАЕМОГО УГЛЯ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Артёмова Е.А., Ворсина Е.В., Москаленко Т.В.

Федеральное Государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской Академии Наук, Якутск, Россия (677018, г. Якутск, пр. Ленина, 43), e-mail: labkiy@mail.ru

В статье рассматривается группа показателей, характеризующих совокупность способов и приемов осуществления взаимосвязанных технологических процессов подземных горных работ при добыче угля, т.е. непосредственно технологию разработки угольных месторождений подземным способом. Из сформированного набора данной группы показателей методом ранговой корреляции выделена длина очистного забоя как наиболее значимый технологический показатель, влияющий на качество (зольность) добываемого угля подземным способом. Длина очистного забоя является одним из основных технико-экономических показателей подземной угледобычи. Оптимальная длина очистного забоя определяется по соответствующей для данных горно-геологических условий (мощность и угол падения пласта) механизации выемки углей и по применяемым организационно-техническим мероприятиям для данной технологии. Результаты исследования являются основой для установления комплексного показателя для определения уровня эффективности мероприятий по управлению качеством угля на шахте.

Ключевые слова: зольность, показатели качества, метод экспертных оценок, ранжирование.

THE CHOICE OF INDICATORS TO ASSESS THE IMPACT OF UNDERGROUND MINING TECHNOLOGY ON THE QUALITY (ASH CONTENT) OF COAL PRODUCED IN THE NORTH

Artemova E.A., Vorsina E.V., Moskalenko T.V.

Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (43 Lenin Av., Yakutsk, Russia 677018), e-mail: labkiy@mail.ru

The article shows a group of indicators characterizing the set of methods and techniques of implementation of interrelated processes of underground mining in coal mining, that is technology directly coal mining by underground methods. The length of the slaughtering, as the most significant technological component, separated from the generated set of this group of indicators affecting the quality (ash) produced by underground coal rank correlation. The length of the stope is one of the major technical and economic indicators of underground coal mining. The optimal length of the working face is determined by the corresponding data mining and geological conditions (power and angle of dip) mechanized excavation of coal and used organizational and technical measures for the technology. Results of the study are the basis for the establishment of a comprehensive indicator for determining the level of effectiveness of the quality management of coal at the mine.

Keywords: ash content, quality indicators, method of expert evaluations, ranking.

Процесс управления качеством угольной продукции – один из самых сложных процессов управления производством, т.к. качество угольной продукции формируется под совокупным воздействием большого числа показателей. Эти показатели отражают как условия естественного залегания, так и принятые технологические и технические решения при проектировании горного предприятия и при эксплуатации.

Качество угля изучается в условиях естественного его залегания, в добытой и отгружаемой товарной продукции, а также при поступлении на углеперерабатывающие и углепотребляющие предприятия. С точки зрения управления качеством угля на добывающих

предприятиях наиболее важную роль играет применяемая техника и технология добычи. Именно они при данных горно-геологических условиях определяют расхождение между качеством угля в пласте и качеством добытого угля.

Формирование группы однородных технологических показателей

В ходе работы нами были сформированы группы однородных показателей, в которых в качестве «критерия однородности» принято условие возможности изменения и корректировки показателей в процессе управления качеством углей. В соответствие с этим выделены четыре группы показателей: горно-геологические, технологические, технические и экономические [1].

В данной статье рассматривается группа технологических показателей, в которую в соответствии с озвученным выше принципом вошли показатели, характеризующие систему разработки, вскрытие шахтного поля, т.е. непосредственно технологию разработки. Изменение этих показателей возможно, но, как правило, только на этапе проектирования или при реконструкции предприятия, что, соответственно, влечет относительно высокие затраты. В рамках данной работы в группу технологических показателей включены, только те параметры, которые относятся к технологии подземной разработки угля в условиях Севера и имеют взаимосвязь с качеством угля как продукта.

Оценка эффективности технологии подземной добычи угля во многом зависит от номенклатуры используемых показателей. Показатели эффективности применяемой технологии подземной добычи угля для решения вопросов управления качества углей должны удовлетворять следующим требованиям: характеризовать применяемую технологию подземной добычи угля; обладать возможностью их оценки, как расчетным путем, так и по статистическим данным; обеспечивать возможность их использования для установления значений комплексных показателей, составляющими которых они являются [2, 3]. Показатели, выбранные из совокупности технологических показателей и применяемые для оценки влияния технологии подземных горных работ на качество (зольность) добываемого угля и их условные обозначения, приведены в таблице 1.

Определение наиболее значимых технологических показателей методом экспертных оценок

Цель исследования – установить наиболее значимые показатели в изучаемой группе технологических показателей подземной добычи угля в условиях Севера.

Таблица 1

Показатели, применяемые для оценки влияния технологии подземных горных работ на качество (зольность) добываемого угля

№ п/п	Показатели	Условное обозначение
1	Длина и ширина шахтного поля	P1
2	Скорость подвигания очистного забоя	P2
3	Параметры целиков	P3
4	Скорость проведения подготовительных выработок	P4
5	Длина очистного забоя	P5
6	Дальность транспортирования	P6
7	Нагрузка на очистной забой (горизонт)	P7
8	Освоение проектной мощности шахты	P8
9	Грузопоток	P9

Для выявления наиболее значимых из данных показателей использовался метод ранговой корреляции (экспертная методика ранговой оценки). Метод экспертных оценок основан на проведении анкетирования, называемый также экспертным опросом, в общем виде представляет собой опрос специалистов, компетентных в какой-либо, нужной исследователю области. Опрос таких лиц называется экспертным, а установленные в его ходе суждения респондентов о свойствах изучаемого явления – экспертными оценками.

Выбор метода обусловлен тем, что ранжирование основывается на знаниях и опыте специалистов в данной области народного хозяйства, и не предусматривает сбор статистической информации по всем, выбранным для оценки показателям. Данный метод позволит определить наиболее значимый показатель из группы.

Количество специалистов, участвующих в анкетировании, зависит от возможности обеспечения «равноправия» ученых-специалистов (экспертов) различных направлений, от уровня их компетентности и от специфики проблемы исследования. С ростом числа экспертов точность измерения повышается. В то же время при слишком большом числе экспертов трудно выявить их согласованное мнение и может снизиться достоверность групповой оценки вследствие увеличения роли нестандартных мнений, отличающихся от мнения большинства. А при малом числе экспертов на групповую оценку оказывает излишнее влияние оценки каждого из экспертов. По опыту проведения исследований такого рода число экспертов должно достигать 15-25 человек.

Таким образом, учитывая вышесказанное и специфику изучаемого вопроса сформирована группа экспертов, состоящая из 25 специалистов, в том числе 14 производителей (8 из них на руководящих должностях на предприятиях подземной добычи), 5 преподавателей ВУЗов по специальным (горным) дисциплинам, 6 научных работников горно-технологического профиля. В составе экспертной группы 9 человек с ученой степенью к.т.н. и 2 человека со степенью д.т.н. В географическом плане охвачены Республика Саха (Якутия) (г. Якутск, г. Нерюнгри, г. Мирный, пос. Джебарики-Хая), г. Хабаровск, г. Тула, г. Чита, г. Ростов-на-Дону, а так же г. Донецк (Украина).

Каждому эксперту предлагалась анкета, составленная из технологических показателей (таблица 1), каждый из которых он должен был оценить соответствующим рангом в порядке убывания значимости показателей от 1 до n (где n – количество показателей). При этом наиболее важный показатель получает ранг 1, следующий по значимости ранг 2 и т.д. На усмотрение эксперта разным показателям возможно присвоение одного и того же ранга, если с точки зрения специалиста они оказывают одинаковое влияние на качество (зольность) добываемого угля.

На основании опроса группы специалистов была составлена матрица рангов (таблица 2) единичных показателей. Ввиду того, что некоторые специалисты присвоили одинаковые ранги разным показателям, была построена преобразованная матрица рангов (таблица 3). В преобразованную матрицу рангов включались ранжировки, приведенные к нормальному виду, сумма рангов в одной ранжировке равна

$$n \frac{(n+1)}{2} = 9 \frac{(9+1)}{2} = 45, \quad (1)$$

В таблице 3: t_j – число одинаковых рангов j-той строки ранжировки; $\sum_{j=1}^m q_{ji}$ – сумма рангов каждого показателя;

$$d_i = \sum_{j=1}^m q_{ji} - 0,5m(n+1), \quad (2)$$

– центрованная величина рангов каждого показателя; m – число специалистов.

По данным преобразованной матрицы рангов была построена гистограмма ранжирования (рис. 1), из анализа которой следует, что разброс коэффициентов довольно высок, а это свидетельствует о различиях в оценках экспертов.

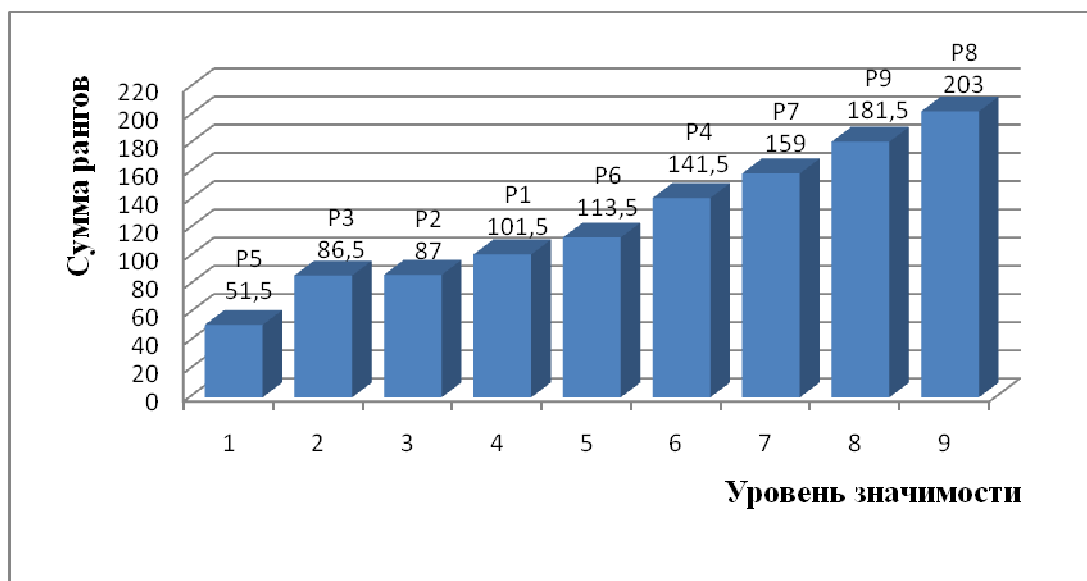


Рис.1. Гистограмма ранжирования частных показателей для оценки влияния технологии подземных горных работ на качество (зольность) добываемого угля

Коэффициент конкордации W , показывающий степень совпадения мнений экспертов (причем $0 < W < 1$, где $W = 0$ – отсутствие согласованности, $W = 1$ – полная согласованность), вычислялся по формуле:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 (n^2 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} = \frac{19717,5}{\frac{1}{12} \cdot 25^2 \cdot (9^2 - 9) - 25 \cdot 20} = 0,5329 \approx 0,5 \quad (3)$$

где $S = \sum_{i=1}^n d_i^2$; $T_j = \frac{1}{12} \sum_{k=1}^z (t_j^3 - t_j)$; z – число групп одинаковых рангов в j -той ранжировке.

Оценка значимости коэффициента конкордации производилась по критерию согласия Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} m \cdot n (n+1) - \frac{1}{(n-1)} \sum_{j=1}^m T_j} = \frac{19717,5}{\frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 9 \cdot (9+1) - \frac{1}{(9-1)} \cdot 20} = 106,5810 \quad (4)$$

Для данных, приведенных в табл. 3, расчетное значение $\chi^2 = 106,58 > \chi^2_{\text{табл}} = 42,98$ (при $\nu = m - 1 = 24$ степенях свободы и уровне значимости (вероятности ошибочного отклонения выдвинутой гипотезы) $\alpha = 0,01$). Следовательно, с вероятностью $P = 0,99$ можно утверждать, что существует определенная согласованность специалистов ($W = 0,5$) относительно степени влияния предложенных показателей на качество (зольность) добываемого шахтой угля.

Расчет уровня значимости показателей производится по методу пропорциональных отношений. Число наиболее значимых показателей (h) равно числу слагаемых числителя пропорционального отношения:

$$\frac{\sum_{i=1}^h V_i}{\sum_{k=h+1}^n V_k} \geq 1, \quad (5)$$

где $V_i = K_n - K_i$; $V_k = K_n - K_k$ – веса i -го и k -го показателя; K_n, K_i, K_k – суммы рангов n -го, k -го и i -го показателей.

Уровень значимости показателей определяется по формулам:

$$K = \begin{cases} K_h & \text{при } \Delta\{K\}_1 > \Delta\{K\}_2 \\ K_i + \frac{K_n - K_i}{n} & \text{при } \Delta\{K\}_1 < \Delta\{K\}_2 \end{cases}, (6)$$

где $\Delta\{K\}_1 = \frac{K_h - K_i}{h}$ – среднее значение размаха распределения сумм рангов;

$\Delta\{K\}_2 = \frac{K_n - K_{n+1}}{n - h}$ – среднее значение размаха распределения несущественных показателей.

При $h = 1$ и $n = 9$

$$\Delta\{K\}_1 = \frac{51,5}{1} = 51,5; \quad \Delta\{K\}_2 = \frac{203 - 86,5}{1} = 116,5$$

$$K_h = 51,5; \quad K_n = 203$$

Отсюда следует, что $K_{\text{зн}} = 51,5 + \frac{203 - 1}{9} = 74,05$ и к наиболее значимым показателям относятся те, уровни которых $K \leq 74,05$.

Таблица 2

Матрица рангов

Специалисты	Показатели								
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
1	3	1	4	7	2	5	6	7	8
2	5	2	1	4	3	7	6	8	8
3	5	4	1	6	3	2	7	9	8
4	1	2	5	4	3	2	5	6	6
5	6	2	3	7	1	5	4	8	7
6	4	2	5	1	3	6	5	6	7
7	7	2	4	5	1	3	4	6	5
8	6	4	8	2	1	3	7	9	5
9	2	3	1	6	1	4	5	8	7
10	5	1	3	6	2	7	4	9	8
11	1	2	8	7	3	4	5	6	9
12	3	6	3	8	3	3	6	7	8
13	2	3	1	5	4	9	6	7	8
14	2	2	1	2	1	2	3	5	4
15	6	5	1	8	2	3	7	9	4
16	2	6	1	7	3	4	8	9	5
17	4	6	2	7	1	3	8	9	5
18	3	6	1	7	2	4	5	8	9
19	4	2	3	9	1	5	8	6	7
20	5	1	3	6	2	8	7	9	4
21	6	7	7	6	1	2	8	8	5
22	4	5	6	1	3	2	8	7	7
23	3	2	8	4	1	7	5	6	9
24	4	5	1	3	2	3	6	7	6
25	4	2	3	7	1	5	6	8	9

Таблица 3

Преобразованная матрица рангов

Специалисты	Показатели									t _j	T _j
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9		
1	3	1	4	7,5	2	5	6	7,5	9	2	0,5
2	5	2	1	4	3	7	6	8,5	8,5	2	0,5
3	5	4	1	6	3	2	7	9	8	-	-
4	1	2,5	6,5	5	4	2,5	6,5	8,5	8,5	2+2+2	1,5
5	6	2	3	7,5	1	5	4	9	7,5	2	0,5
6	4	2	5,5	1	3	7,5	5,5	7,5	9	2+2	1
7	9	2	4,5	6,5	1	3	4,5	8	6,5	2+2	1
8	6	4	8	2	1	3	7	9	5	-	-
9	3	4	1,5	7	1,5	5	6	9	8	2	0,5
10	5	1	3	6	2	7	4	9	8	-	-
11	1	2	8	7	3	4	5	6	9	-	-
12	2,5	5,5	2,5	8,5	2,5	2,5	5,5	7	8,5	4+2+2	6
13	2	3	1	5	4	9	6	7	8	-	-
14	4,5	4,5	1,5	4,5	1,5	4,5	7	9	8	4+2	5,5
15	6	5	1	8	2	3	7	9	4	-	-
16	2	6	1	7	3	4	8	9	5	-	-
17	4	6	2	7	1	3	8	9	5	-	-
18	3	6	1	7	2	4	5	8	9	-	-
19	4	2	3	9	1	5	8	6	7	-	-
20	5	1	3	6	2	8	7	9	4	-	-
21	4,5	6,5	6,5	4,5	1	2	8,5	8,5	3	2+2+2	1,5
22	4	5	6	1	3	2	9	7,5	7,5	2	0,5
23	3	2	8	4	1	7	5	6	9	-	-
24	5	6	1	3,5	2	3,5	7,5	9	7,5	2+2	1
25	4	2	3	7	1	5	6	8	9	-	-
$\sum q_{ij}$	101,5	87	86,5	141,5	51,5	113,5	159	203	181,5	-	-
q_i	-23,5	-38	-38,5	16,5	73,5	-11,5	34	78	56,5	-	-
q_i^2	552,25	1444	1482,25	272,25	5402,25	132,25	1156	6084	3192,25	-	-

Таким образом, наиболее значимым показателем группы технологических факторов, влияющих на качество (зольность) добываемого угля подземным способом, является длина очистного забоя (P5).

Длина очистного забоя является одним из основных технико-экономических показателей подземной угледобычи. Оптимальная длина очистного забоя определяется по соответствующей для данных горно-геологических условий (мощность и угол падения пласта) механизации выемки углей и по применяемым организационно-техническим мероприятиям для данной технологии [4].

Анализ статистических данных работы очистных забоев за период последних тридцати лет и их геометрических размеров в пространстве показывает, что с совершенствованием оборудования, устанавливаемого в очистном забое, механизированной крепи, забойного конвейера, очистного комбайна длина очистного забоя постоянно увеличивается. Если в 1970-е гг. длина очистного забоя составляла 70-120 м, то в настоящее время длина комплексно-механизированного забоя (КМЗ) составляет от 180 до 350 м.

Многочисленные исследования и статистический анализ показателей работы горнодобывающих предприятий показал [4], что длина очистного забоя при подземной разработке угольных месторождений является одним из факторов, наиболее значительно влияющих на конечные экономические показатели угледобычи, а ее увеличение ведет не только к снижению объемов проведения подготовительных работ, но и к снижению потерь полезного ископаемого в недрах и к снижению зольности добываемого топлива.

Заключение

В результате исследования установлено, что в группе технологических показателей работы подземных угледобывающих предприятий наибольшее влияние на качество (зольность) добываемого угля оказывает длина очистного забоя. Этот показатель, как наиболее значимый в технологической группе наряду с наиболее значимыми показателями из других групп (геологической, технической) будет применен для оценки эффективности технологии подземной добычи при решении вопросов управления качеством угля по единичным показателям, согласно методике [5, 6]. Совокупность наиболее значимых единичных показателей будет использована в составе комплексного показателя для определения уровня эффективности мероприятий по управлению качеством угля на шахте. Уровень управления качеством добываемого угля по полученному из наиболее значимых единичных комплексному показателю позволит оперативно проанализировать варианты изменений технических и технологических решений при работе шахты и выбрать из них оптимальный.

Список литературы

1. Москаленко Т.В., Ворсина Е.В., Артёмова Е.А. Формирование групп однородных показателей для решения вопросов управления качеством углей // Экологическая стратегия развития горнодобывающей отрасли – формирование нового мировоззрения в освоении природных ресурсов. – Апатиты: - 2014. – Т.1. – 124-127.
2. Квагинидзе В.С., Ворсина Е.В. Выбор показателей для оценки эффективности технологии добычи угля на малых разрезах Севера // Горный информационно – аналитический бюллетень. М.: – 2005. – № 4. – С. 133-139.
3. Квагинидзе В.С. Управление качеством эксплуатации карьерного горно-транспортного оборудования в условиях Севера. – Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2001. – 188 с.
4. Терентьев Б.Д., Груздев В.А., Никишичев Д.Б. Принципы обоснования длины очистного забоя угольных шахт// Горный информационно – аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2002. – №7. – С. 190-192.
5. Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.И. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб.для ВУЗов- 2-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 800 с.
6. Солод Г.И., Радкевич Я.М. Управление качеством горных машин – М.: МГИ, 1978. – 94 с.

Рецензенты:

Гриб Н.Н., д.т.н., профессор, заместитель директора по науке, заведующий кафедрой горного дела, Технический Институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», г. Нерюнгри;

Субботин Ю.В., д.т.н., профессор кафедры ОГР ЗабГУ, г. Чита.