

ОЦЕНКА ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РАЗРАБОТКИ НОВОКОНСТАНТИНОВСКОГО УРАНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Виконано оцінку показників фізико-механічних властивостей руд і вміщуючих порід, розташованих на глибинах до 300 м і більше. Запропоновано шкалу оцінки складності гірничо-геологічних умов розробки Новокостянтинівського родовища урану.

ASSESSMENT OF MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS OF NOVOKONSTANTINOVSK URANIUM DEPOSIT DEVELOPMENT

Physical and mechanical parameters of the ores and enclosing rocks bedded at the depth of 300 meters and deeper were estimated. A scale is proposed for assessing geological conditions of the Novokonstantinovsk uranium deposit development.

Среди новых, наиболее перспективных в Украине, следует отметить Новоконстантиновское урановое месторождение. Геологоразведочными изысканиями установлено, что оно относится к месторождениям урановой формации и залегает в карбонатно-натриевых метосамотитах (альбинитах). По характеру залежей и морфологическим особенностям, а также физико-механическим свойствам руд и пород месторождение, с известной степенью вероятности, можно считать аналогом месторождений, обрабатываемых Ингульской и Смолинской шахтами ВостГОКа. Учитывается, что Новоконстантиновское месторождение планируется к освоению и на данный период времени крайне слабо изучено в геомеханическом плане, правомерно, для первоначальной оценки его горно-геомеханических условий, использовать как немногочисленные данные о свойствах пород, полученные в лабораторных условиях, так и материалы по указанным шахтам.

Решение горнотехнических задач требует получения информации о ряде показателей свойств руд и пород, установленных прямыми методами измерений и косвенными, полученными методами вычисления. В частности, анализируя и обобщая данные о свойствах руд и пород шахт ВостГОКа, были вычислены коэффициенты, необходимые для расчетов параметров систем разработки и решения задач, связанных с поддержанием горных выработок [1].

Ключевая задача в определении параметров системы разработки рудных месторождений – оценка прочности массива скальных пород на базе лабораторных испытаний. При этом важным элементом является учет структурно-фазового состояния пород и масштабного эффекта прочности. Доказано, что прочность массива с увеличением учитываемого объема снижается асимптотически [2]. По разным источникам, в зависимости от коэффициента трещиноватости (количества трещин на метр или квадратный метр), прочность массива составляет 0,22-0,40 от прочности образцов. При коэффициенте линейной трещиноватости $K_m = 1,2-4,0$ коэффициент снижения прочности массива составляет от 0,7-0,8 до 0,3-0,5. По данным ИГД УрО РАН для больших обнажений устойчивых массивов эта величина составляет 0,4-0,5; для массивов средней ус-

тойчивости – 0,4; неустойчивых – 0,1-0,2, весьма неустойчивых – 0,05 [1].

По имеющимся данным был охарактеризован массив путем количественной оценки показателей свойств руд и вмещающих пород. Для этого:

- определен по средним значениям пределов прочности на сжатие и на растяжение коэффициент хрупкости пород из формулы $K_{xp} = R_p/R_c$;

- по отношению предела прочности пород во влагонасыщенном и естественном состоянии вычислен коэффициент снижения прочности при водонасыщении $K_w = R_c^w / R_c$;

- вычислен коэффициент структурного ослабления – $K_{c.o.}$;

- по отношению пределов прочности пород при сдвиге и при сжатии оценены коэффициент сдвига $K_{cd} = R_{cd}/R_c$ и сцепления $K_{cu} = R_{cu}/R_c$;

- с учетом, что подземные горные выработки эксплуатируются много лет, определен коэффициент длительной устойчивости K_{dl} , используемый в расчетах длительной прочности пород R_{dl} . Для этого с использованием эмпирической зависимости $\frac{\chi}{\beta} = \frac{1694}{V_p} - 0,213$ вычислена величина реологического показателя (χ/β) по скорости продольных волн (V_p) [3].

Поскольку V_p изменяется в пределах 5300-5790 м/с, то значения χ/β варьируют в небольшом диапазоне (0,08-0,107). Согласно классификации по реологическим свойствам породы с таким реологическим показателем относятся к 1-му классу, т. е. имеют весьма слабую ползучесть. Это дает основание для дальнейших вычислений привлечь положение теории упруго-наследственных сред, с использованием в качестве ядра ползучести дробно-экспоненциальной функции Ю. Н. Работнова [4]. Т. е. длительная прочность пород может быть описана уравнением вида:

$$R_{dl} = R_c \sqrt{1 - \frac{\chi}{\beta} [1 - \exp(-0,7 \cdot \beta t^{0,3})]}.$$

Вычисленные характеристики (при $t \rightarrow \infty$) для условий Ингульской и Смоленской шахт приведены в табл. 1 и 2. А, используя приведенные в табл. 1 и 2 данные, выполнен оценочный (прогнозный) анализ показателей свойств пород и руд НовоCONSTANTиновского месторождения (табл. 3).

Таблица 1 – Расчетные коэффициенты показателей свойств руд и пород Ингульской шахты

Показатели	Альбиниты	Альбиниты по гранитам	Альбиниты по мигматитам	Гнейсы
K_w	0,775	0,577	0,735	0,890
$K_{c.o}$	0,686	0,912	0,468	0,454
K_{xp}	0,0664	0,0780	0,1135	0,1040
K_{cd}	0,4432	0,2964	0,5187	0,2940
K_{cu}	0,198	0,195	0,194	0,213
χ/β	0,107	0,095	0,080	0,104
K_{dl}	0,945	0,951	0,960	0,946
$K_w \cdot K_{c.o}$	0,532	0,526	0,344	0,404
φ^o	36	45	39	44

Таблица 2 – Расчетные коэффициенты показателей свойств руд и пород Смолинской шахты

Показатели	Альбиниты	Граниты	Мигматиты	Сиениты	Гнейсы
K_w	0,775	0,580	0,797	0,869	-
K_{co}	0,687	0,982	0,538	0,442	-
K_{xp}	0,067	0,078	0,115	0,071	0,110
K_{cd}	0,442	0,295	0,516	-	0,309
K_{ci}	0,197	0,195	0,194	-	0,226
X/β	0,094	0,083	0,077	0,076	0,100
K_{dl}	0,952	0,967	0,960	0,961	0,949
$K_w \cdot K_{c.o}$	0,532	0,570	0,429	0,384	0,402
φ^o	36	45	39	45	44

Таблица 3 – Прогнозные коэффициенты показателей свойств руд и пород Новоконстантиновского месторождения (метод расчетных аналогий)

Литотип	R_c , МПа	Расчетные величины по аналогии (ВостГЭК)			
		R_p , МПа	$R_c \cdot K_{co} \cdot K_w$	$R_{dl} = R_c \cdot K_{co} \cdot K_w \cdot K_{dl}$	Коэффициент снижения прочности
Гнейсы	40,9-221,1	4,38-23,66	16,48-89,10	15,61-86,33	2,62
Граниты	105,1-200,6	8,20-15,65	59,9-114,34	56,94-109,42	1,85
Сиениты кварцевые	109,6-198,7	7,78-14,11	42,0-76,30	40,36-73,32	2,72
Альбиниты рудные	103,9-206,1	6,75-13,40	55,27-109,65	52,62-104,49	1,97
Альбиниты по граниту	112,4-180,1	8,77-14,05	59,12-94,73	56,22-90,08	2,00

Принимая за базу прочностные показатели и выведенные коэффициенты для расчета, определены производные от них. В частности, предел прочности на растяжение, прочность пород на сжатие с учетом коэффициентов структурного ослабления и водонасыщения, длительная прочность.

В расчетах среднее значение K_{xp} принято равным: для гнейсов – 0,107; гранитов – 0,078; сиенитов – 0,071; альбинитов рудных – 0,085; альбинитов по граниту – 0,078. Учитывая большую вариацию R_c , получена также вариация значений предела прочности на растяжение R_p . Следует указать, что значения R_c приведены с большим диапазоном разброса: максимальные значения превышают минимальные в 2-5 раз, что не позволяет выполнить надлежащий статистический анализ без наличия совокупных выборок по лабораторным испытаниям пород, поэтому полученные оценочные показатели должны уточняться по мере развития горных работ при освоении Новоконстантиновского месторождения.

Очевидно, что в перспективе отбор и испытания проб пород и руд по шахтному полю должны носить системный и систематический характер и стать неотъемлемой составляющей частью подземного геомеханического мониторинга месторождения.

Анализ данных табл. 3 показывает, что учет комплекса коэффициентов, ха-

рактически характеризующих физическое и структурное состояние пород и руд, снижает лабораторную прочность в 1,85-2,62 раза. Этот важный вывод необходимо учитывать при обосновании параметров систем разработки залежей. Кроме того, для испытанных пород характерна незначительная величина коэффициента сцепления. Его значение изменяется в пределах 0,194-0,213, что свидетельствует о склонности пород к расслоению.

При оценке устойчивости пород всякого бока важной характеристикой пород является также их предел прочности на изгиб и сдвиг. Известно, что механизм разрушения пород в потолочине камер и всячем боку идет по смешанному типу. Начало формирования эпицентральных зон разрушения происходит посередине грузонесущего породного элемента и вблизи его опор. По данным статобработки $K_{сд}$ варьирует в пределах 0,294-0,518, что свидетельствует о высокой приспособляемости пород к работе в условиях действия сдвиговых напряжений.

Предел прочности пород при изгибе может быть приближенно вычислен по значениям предела прочности на растяжение с использованием эмпирической зависимости $R_u = (1,1-1,4) R_p$.

Принимая $R_u = 1,25 R_p$, получаем, что его величина у разных типов пород при минимальных значениях R_p составляет 5,5-11,0 МПа, а при максимальных – 16,75-29,58 МПа. Большой разброс значений свидетельствует о необходимости строго дифференцированного подхода в обосновании параметров систем разработки рудных залежей.

В расчетах параметров систем разработки, в частности целиков, весьма важен учет масштабного эффекта, учитывающего влияние формы на прочность (несущую способность) целика.

В аналитических выражениях влияние формы на прочность целиков учитывается коэффициентом формы K_f , представляющим собой функцию $K_f = f\left(\frac{h}{a}\right)$.

Коэффициент формы вводится как поправка к прочности на одноосное сжатие образцов горных пород $R_c = R_k \cdot K_f$. Здесь R_c – несущая способность целика с учетом коэффициента формы; R_k – прочность кубических или цилиндрических образцов горных пород на одноосное сжатие.

В результате испытаний образцов горных пород разными авторами были получены зависимости, которые можно разделить на четыре группы.

1-я группа – прямая зависимость или совокупность прямых (Г.Т. Нестеренко, А.М. Ильштейн, Ю.М. Либерман, Н.П. Ерофеев), описываемых уравнением $K_f = A - B \frac{h}{a}$, где A и B – константы, полученные в результате аппроксимации данных лабораторных испытаний.

2-я группа – гиперболическая зависимость или совокупность гипербол, описываемая несколькими типами уравнений:

$$а) K_f = A \sqrt{\frac{a}{h}} \text{ (А.Ж. Мишанов и др.);}$$

$$\text{б) } K_f = A + B \frac{a}{h} \text{ (И. Баушингер и др.);}$$

$$\text{в) } K_f = \frac{A \frac{h}{a} + B}{C \frac{h}{a} + D} \text{ (Б.М. Усаченко, А.Р. Серая и др.).}$$

3-я группа – логарифмическая зависимость типа $K_f = A + B \ln \frac{a}{h}$ (А.Н. Шащенко и др.).

Все эти зависимости непротиворечивы, потому, что получены экспериментально в лабораторных условиях по результатам испытаний образцов различных горных пород (руда, уголь, мрамор, песчаник, известняк, гипс, каменная соль и т. д.) разных месторождений.

В работах З. Бенявски превалирует 4-я группа, в которой можно выделить два типа уравнений коэффициента формы: $K_f = A + B \frac{a}{h}$ и $K_f = \frac{a^u}{h^b}$, где a и h – ширина и высота целика; A , B , u и b – константы, полученные при испытании целиков.

Аналитические выражения различных авторов для K_f сведены в табл. 4.

При проектировании системы разработки залежей важно оценивать изменение коэффициента извлечения полезного ископаемого при вариации ширины целика в зависимости от коэффициентов формы, рассчитанных по формулам разных авторов. Для определения изменения значения ширины целика необходимо решить уравнение для каждого выражения коэффициента формы целика.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- коэффициент формы – важнейшая характеристика, входящая в аналитический расчёт параметров систем разработки;
- на распределение нормальных напряжений и характер разрушения в однородных целиках существенно влияет отношение вертикального размера целика к горизонтальному;
- для различных пород с изменением отношения вертикального размера образца к горизонтальному изменение прочности проявляется по-разному;
- вариация K_f вызывает вариацию параметров системы разработки в пределах 50-100 %, а также вариацию приведенного коэффициента извлечения в диапазоне 0,4-0,55.

Анализируя значения угла внутреннего трения пород и руд (φ), укажем, что он изменяется в пределах $35-45^{\circ}$. Этот показатель можно использовать для оценки фактических нагрузок на грузонесущий элемент конструкции системы разработки (например, висячий бок, $P_{в.б.}$) по отношению к гравитационным нагрузкам ($P_{гн}$).

Таблица 4 – Некоторые выражения для коэффициентов формы различных авторов

Автор	Выражения для коэффициента формы (K_f)	Входящие параметры
Г.Т. Нестеренко	$1,15 - 0,15 \frac{h}{a}$	a – ширина образца h – высота образца
А.Н. Шашенко	$1,02 + 0,1h \frac{a}{h}$	То же
Б.М. Усаченко	$\frac{1,88 - 0,21 \frac{h}{a}}{0,67 \frac{h}{a} + 1}$	«-«-
И. Баушингер	$0,775 + 0,222 \frac{a}{h}$	«-«-
А.Ж. Мишанов	$\sqrt{\frac{a}{h}} \operatorname{tg} \Theta$	«-«- Θ – угол наклона сколовых систем
Н.П. Ерофеев	$1 - \frac{m_1 a}{\pi d}$	$m_1 = \frac{\mu}{\mu - 1}$; μ – коэффициент Пуассона
З.Т. Беньявски	$0,64 + 0,36 \frac{a}{h}$	a – ширина образца h – высота образца
ВНИИСоль	$\frac{0,21 \frac{h}{a} + 0,79}{0,7 \frac{h}{a} + 0,28}$	«-«-
А.Р. Серая	$\frac{0,44 \frac{h}{a} + 0,39}{0,9 \frac{h}{a} - 0,14}$	«-«-

Для прогнозного анализа можно использовать следующее выражение [4]:

$$\frac{P_{\text{в.б.}}}{P_{\gamma n}} = \frac{1 - \operatorname{Sin} \varphi}{1 + \operatorname{Sin} \varphi} e^{-\pi \operatorname{tg} \varphi}.$$

Из этого уравнения следует, что величина нагрузки на литолого-механическую систему (например, пролет камеры) уменьшается с увеличением φ_0 . К примеру, при $\varphi = 40^\circ$, $P_{\text{в.б.}} / P_{\gamma n} = 1/64$, а при $\varphi = 45^\circ$ – $1/135$. Это связано с возрастанием трения по слоям пород при увеличении φ . Поэтому такие породы допускают большое обнажение массива.

Используя результаты по оценке особенностей строения массива горных пород и его структурных неоднородностей, а также данные настоящего анализа предложена шкала прогнозной оценки сложности горно-геологических условий разработки Новоконстантиновского уранового месторождения (табл. 5).

Таблица 5 – Прогнозная шкала оценки сложности горно-геологических условий разработки Новокопстантиновского уранового месторождения (обязательно уточнение)

Литолого-геомеханические и горнотехнологические факторы	Показатель, T	Коэффициент значимости факторов, W			Показатели характеристики условий, Q		
		до 300	301-500	>500	2100	2804	3400
Глубина разработки, м	7	до 300	301-500	>500	2100	2804	3400
Длительная прочность пород, МПа	6	до 50	51-100	>100	300	453	600
Структура породного массива (кол-во слоев)	5	1	2	3	5	10	15
Трещиноватость ($n_{трещ/м^2}$)	4	>30	15-30	<15	120	90	60
Класс неоднородности массива (блочность)	3	4 (0,001-0,1)	3 (0,1-1,0)	2 (1,0-100,0)	12	9	6
Угол падения залежи, град	2	До 35	36-50	>50	70	86	100
Коэффициент расслаиваемости пород (K_p)	1	>0,2	0,15-0,2	<0,15	0,2	0,17	0,15
Показатель сложности, Q					2607	3453	4281
Величина показателя Q , принятая для типизации условий					до 2500	2501-3500	3501-4500

К числу основных литолого-геомеханических и горнотехнических факторов по показателям весомости от 7 до 1 отнесены: глубина разработки, длительная прочность пород, структура породного массива, трещиноватость, класс неоднородности массива (его блочность), угол падения залежи и коэффициент расслаиваемости пород. При этом выделено три диапазона значимости факторов. Показатель сложности условий определяется выражением:

$$Q = TW,$$

где T – показатель весомости фактора; W – коэффициент значимости факторов.

В зависимости от диапазона глубин разработки месторождения установлено три значения показателя сложности условий: 2607, 3453 и 4281. С учетом статистического характера исходных параметров, произведена корректировка и предложены следующие диапазоны показателей сложности горно-геологических условий разработки Новокопстантиновского месторождения урана: до 2500; 2500-3500 и 3500-4500. Значения показателя до 2500 характеризуют наиболее сложные условия, 2500-3000 – среднесложные, 3500-4500 – несложные условия разработки.

Разработанная шкала оценки сложности условий ведения горных работ на Новокопстантиновском месторождении составит базу для выбора инженерно-технологических решений по его разработке. Безусловно, в процессе освоения месторождения и изучения горно-геологических и геомеханических условий необходимо будет уточнить как основные влияющие факторы, так и величины показателей их весомости и значимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуплецов Ю. П. Зависимость прочности массива скальных пород от геомеханических свойств и размеров обнажений / Ю. П. Шуплецов // Горный журнал. – 1998. – № 11-12. – С. 21-23.
2. Скипочка С. И. Результаты экспериментальных исследований масштабного эффекта прочности углей /

С. И. Скипочка, Н. Т. Бобро // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск: Полиграфист. – 2007, № 73. – С. 118-123.

3. Методика оценки параметров реологических свойств горных пород / Б. М. Усаченко, В. П. Червониченко, В. И. Соколовский и [и др.]. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 2003. – 13 с.

4. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю. Н. Работнов. – М.: Наука, 1966. – 752 с.

5. Айзаксон Э. Давление горных пород в шахтах / Э. Айзаксон. – М.: Гостехиздат, 1961. – 176 с.

УДК [622.451:681.518].001.24

Кандидаты техн. наук Т.В. Бунько,
И.Е. Кокоулин
(ИГТМ НАН Украины)
д-р техн. наук Б.В. Бокий
(ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

СТРУКТУРА И АКТУАЛИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИИ УЧАСТКА ВЕНТИЛЯЦИИ И ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Охарактеризовано структуру інформації, яка формується і використовується дільницею вентиляції і техніки безпеки вугільної шахти і запропоновано використовувати фрагменти розробленої ІГТМ НАН України інформаційно-аналітичної технології проектування та перспективного планування вентиляційних систем вугільних шахт для підтримки та актуалізації ряду документів дільниці. Дана скорочена характеристика розроблених нормативно-методичних документів, які регламентуватимуть виконання вказаних робіт.

THE STRUCTURE AND ACTUALIZATION INFORMATION OF VENTILATION AND ACCIDENT PREVENTION DISTRICT IN THE COAL MINE

Structure of information formed and used by ventilation and accident prevention district of the coal mine is described, and it is suggested to use fragments of information-analysis technology developed by IGTM NAS of Ukraine of projecting and perspective planning of ventilation systems in the coal mines for maintaining and updating some documents of the district. Brief description of elaborated normative - methodical documents, which will regulate implementation of the above works is given.

Информация, получаемая участком вентиляции и техники безопасности (ВТБ) угольной шахты в результате проведения полных воздушно-депрессионных съемок (ВДС) или частичных замеров аэро-, газо- и термодинамических параметров элементов шахтной вентиляционной системы (ШВС) и используемая в дальнейшем для совершенствования проветривания, повышения безопасности и улучшения условий труда подземных горнорабочих, является достаточно сложной и многоплановой. Такими же сложными являются и схемы информационных потоков ее перемещения от мест получения и обработки до пользователя, а также взаимодействие информации, получаемой из различных источников и требующей совместного использования. Следует также учитывать, что в настоящее время проведение вентиляционных расчетов на шахтах преследует в основном цель решения конкретной вентиляционной задачи; полученные результаты не всегда используются при формировании и использовании других документов участка ВТБ. Возникает задача структурирования информационных потоков и выявление возможностей комплексного ис-