

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ГИДРОПРОВОДНОСТИ ГИПСОВОГО МАССИВА

Розглянуто основні передумови проникнення води у гіпсовий масив і засоби кількісного визначення меж гідропроводності.

## THE DETERMINATION OF WATER PENETRATION LIMIT INSIDE GYPSUM SOLID MONOLITH

It is examined the main causes of water penetration into the gypsum solid monolith and the ways of numerical determination of water permeability.

Продуктивные толщи гипсовых месторождений характерны наличием в них водоносных горизонтов, имеющих иногда активную гидравлическую связь. Выемка гипсовых пластов вызывает нарушение природного гидрогеомеханического состояния массива, что приводит к поступлению воды в подземные камеры. Учитывая, что такие камеры имеют большие сечения и высоту, увлажнение защитных пачек в потолочинах камер сопровождается зачастую вывалообразованием. В связи с этим важной является задача оценки гидропроводности гипсового массива применительно к прогнозированию устойчивости конструкций камерно-столбовой системы разработки.

Был проведен комплекс лабораторных и шахтных экспериментов на Бебьевском месторождении гипса по выяснению степени проникновения влаги в гипсовый массив.

Как правило, пласты гипса имеют сложное строение, обусловленное наличием различных пропластков, карстовых полостей, замещений гипса иным материалом, вертикальным смещением элементов пласта друг относительно друга. Все это повышает гидропроводность гипсовых пластов.

Наличие в гипсовом пласте пор и трещин обуславливает содержание в нем некоторого количества связанной и свободной влаги. Прочно связанная вода состоит из ориентированных молекул, адсорбированных поверхностью минеральных частиц. Она обладает рядом специфических свойств:

- повышенной плотностью;
- низкой температурой замерзания ( $\sim -78^{\circ}\text{C}$ );
- пониженной способностью растворять соли и т.п.

В остальной воде все эти свойства выражаются слабее.

На значительных глубинах поры и трещины горной породы и самого гипсового массива заполнены водой, содержащей некоторое количество растворенных веществ. В приповерхностных слоях горной породы, вследствие миграции и испарения, по сравнению с глубинными слоями, происходит уменьшение влажности. Таким образом, поры и трещины выступают в роли каналов, по которым вода движется в горной породе. На поверхности пор и трещин активно развивается взаимодействие воды и газов с породообразующими минералами и цементирующим веществом горных пород. Таким образом, пористость и трещиноватость вместе с сопутствующим процессом фильтрации, как правило, пагубно сказываются на физико-механических свойствах горных

пород и увеличивает вероятность поступления воды в шахту [1].

Процессы растворения являются незначительными при проникновении влаги в гипсовый массив. Так при 20° в 1 л воды может раствориться 2,6 г двуводного гипса (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O). Наибольшей растворимости гипс достигает при температуре 32-40°. Для полуводного гипса характерны две модификации α-CaSO<sub>4</sub>·½H<sub>2</sub>O и β-CaSO<sub>4</sub>·½H<sub>2</sub>O. Растворимость в воде для α- и β-полуводного гипса 0,63 и 0,74 г/л соответственно. Ангидрит (CaSO<sub>4</sub>) является нерастворимым в воде [2].

Содержание влаги в гипсовом массиве сильно влияет и на его электрическое сопротивление. Характер количественной зависимости электрического сопротивления от влажности определяется пористостью, степенью минерализации раствора и проницаемостью. Уменьшение влажности на несколько десятых процента в ряде случаев приводит к изменению удельного сопротивления пород на один порядок и больше. Резкое увеличение электрического сопротивления горных пород наблюдается при влажности от 0 до 2-4%. При высокой влажности это изменение незначительно.

Анализ экспериментального материала свидетельствует о существенном влиянии увлажнения на свойства гипсоносных пород. Зависимости между влажностью и показателями прочности для испытанных пород имеют линейный характер и удовлетворительно могут быть описаны уравнением

$$\sigma_{сж,р}^w = aW + b, \quad (1)$$

где  $\sigma_{сж,р}^w$  - предел прочности влагонасыщенных пород, МПа;  $0,5 \leq W \leq 6$  – влажность пород, %; a, b – эмпирические коэффициенты, приведенные в табл.1. Обобщение результатов испытаний показало, что при изменении влажности от 0,5 до 4,0 % прочность гипсов на одноосное сжатие снижается более чем в 2 раза, а на растяжение – в 1,5 раза. Незначительное снижение прочности на сжатие выявлено для ангидритов и доломитов, величина которого составляет 10-20 %. Однако следует отметить существенное снижение при этом их предела прочности на растяжение в 2 раза. Этот факт имеет важное значение с точки зрения изменения свойств гипсоангидритового массива с целью расширения области применения механического разрушения.

Таблица 1 – Эмпирические коэффициенты

Литологическая разность	$\sigma_{сж}$		$\sigma_p$	
	a	b	a	b
Гипс	-3,10	24,35	-0,64	6,41
Ангидрит	-2,84	62,11	-3,11	13,28
Доломит	-1,20	53,90	-0,98	9,49

Длительность эксплуатации горных выработок обуславливает необходимость установления связи между периодом влагонасыщения t и прочностью. Связь между  $\sigma_{сж}$  и t для диапазона исследуемого времени можно описать выражением

$$\sigma_{сж}^w = \frac{1}{0,0000148t + 0,005}, \quad (2)$$

где  $0 \leq t \leq 300$  – длительность увлажнения, ч.

Теоретическими и экспериментальными работами объяснена и подтверждена физическая сущность зависимости снижения прочности горных пород от продолжительности увлажнения. Считается, что это вызвано в первую очередь разупрочняющим действием воды и структурно-адсорбционными изменениями в зонах поверхностных дефектов образцов. Наряду с этим на прочность образцов влияют эффекты, связанные с условиями нагружения и участием воды по формированию в них разнопрочностных зон [3].

В таком плане представляют определенный интерес проведенные опыты по установлению характера влагонасыщения образцов.

Образцы изготавливались из кернового материала. Диаметр образцов 70 и 90 мм, высота принималась равной 0,9-1,1 от диаметра.

Подготовленные образцы всех проб на 2/3 их высоты были помещены в воду. Влажность определяли отдельно для центральной части, среднего и наружного слоя каждого образца. За величину влажности испытываемой партии принимали среднее арифметическое всех измерений по каждому из образцов.

В результате было установлено, что наиболее интенсивное увеличение влажности гипса (от 0,7 до 5,9 %) происходило в первые 14 суток нахождения в воде, в последующие сутки влажность увеличивалась значительно медленнее и после 28-30 суток практически не менялась.

Процесс водонасыщения ангидрита отличался своей первоначальной фазой – в первые 5-6 суток, наблюдалось увеличение влажности с малыми ее приращениями, максимальный градиент изменения приходил на 6-16 сутки, после чего влажность также практически не менялась.

Наиболее полное насыщение гипса водой происходило по внешней части образца, проникновение влаги в центральную его часть не отмечено.

Обработкой результатов опытов установлено, что зависимость  $W$  от длительности влагонасыщения  $t$  для гипсов с достаточной точностью может быть описана уравнением

$$W = -0,00837t^2 + 0,388t + 0,3, \quad (3)$$

где  $W$  – влажность, %;  $t$  – время, ч.

Исследования по проникновению влаги на образцах гипса проводились с добавлением к воде различных красителей и фиксацией глубины изменения окраски по радиусу образца через определенные промежутки времени.

Установлено, что поверхностный слой увлажнялся в течение 4-6 часов нахождения в воде, в то время как центральная часть образцов до конца опытов оставалась сухой. Максимальная глубина проникновения влаги достигала 0,5 радиуса образца.

При нормальном атмосферном давлении увлажнение происходило примерно на 50-60% от общего объема образца. Помещение образца под воду в вакууме позволяло воде занять объем, равный 85% от объема общей пористости.

В шахтных условиях также были проведены исследования по определению степени проникновения воды в массив. В районе руддвора, где целики простояли в воде на протяжении 35-40 лет, были пробурены шпуров от контура неправильного целика в сторону массива с шагом 0,1 м и глубиной – ниже уровня воды. Схема проведения эксперимента представлена на рис. 1.

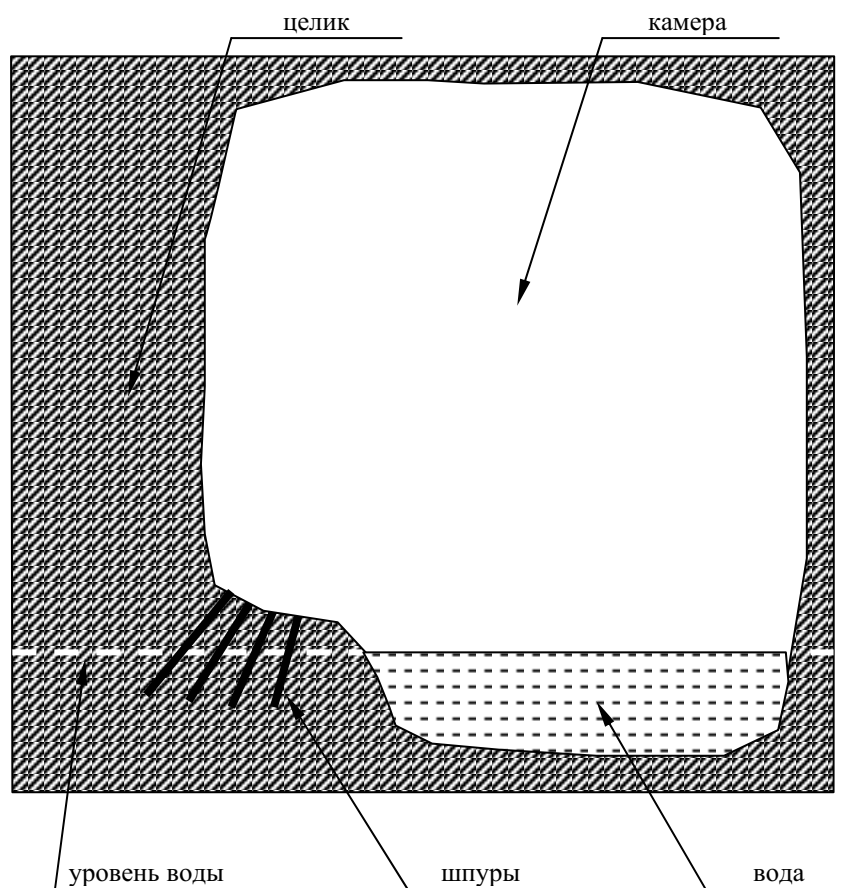


Рис. 1 – Схема проведения исследований по определению проникновения воды в гипсовый массив

Было установлено, что максимальная глубина проникновения влаги в массив не превысила 0,5 м. После этого влажность установилась, приняв значение, как и в необводненных целиках.

Кроме того, в течение нескольких лет велись наблюдения за действием воды истекающей в стенке транспортной галереи (в районе 7-го панельного штрека). В результате исследований установлено, что динамическое воздействие воды, поступающей в ручьях или других подвижных системах, способствует вымыванию защитной гипсовой пачки в подошве выработок. За 10 лет в указанном месте дно ручья углубилось на 30-40 см, т.е. защитная пачка гипса, предохраняющая отработанное пространство от прорыва воды из VII водоносного пласта уменьшилась за это время на 25-30%.

Из всего выше сказанного сделаны следующие выводы:

1) для безопасности работ рассчитанные параметры опорных прямоугольных целиков в обводненных шахтах должны быть увеличены на 1 м на каждую сторону;

2) мощность защитной пачки гипса в кровле и в подошве камер с трехкратным запасом (3 x 0,5 м) обеспечивает безопасную и неограниченно долгую эксплуатацию шахты, предотвращая прорывы воды;

3) необходимо исключить динамическое воздействие воды на массив.

4) методы определения кажущегося электросопротивления горных пород могут быть использованы для диагностики горных выработок гипсовых шахт на наличие близко расположенных водоносных слоев.

Совокупность решенных задач и сделанных выводов отличается общностью, поэтому выводы могут быть применены не только на гипсовых шахтах, но и в условиях калийных и рудных шахт, в камерах специального подземного строительства.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения. – М.: Недра, 1969. – 392 с.
2. Вихтер Я.И. Производство гипса. – М.: Профтехиздат, 1962. – 246 с.
3. Усаченко Б.М. Геомеханика подземной добычи гипса. – Киев: Наук. думка, 1985. – 216 с.

УДК 622.363

В.Н. Саламаский

### **КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДЗЕМНОЙ ВЫЕМКИ КАМЕРНОГО ЗАПАСА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПСА**

Запропоновані рішення щодо комбінованої технології розробки гіпсових родовищ.

### **THE COMBINED TECHNOLOGY OF THE UNDERGROUND EXCAVATION OF THE GYPSUM RESOURCE WITH A HEADING-AND-STALL METHOD**

The solutions to the combined technology of workings of gypsum deposits were offered.

В настоящее время при разработке пластов гипсоносных пород на горнодобывающих предприятиях применяются буровзрывной, машинный и комбинированный способы выемки.

Геомеханическое обоснование области применения указанных способов вытекает из оценки условий разработки и свойств пород, горнотехнологические из результатов изучения работоспособности средств выемки.

Преобладающее распространение получил буровзрывной способ выемки, где используются высокобризантные взрывчатые вещества и сплошные конструкции колонок шпуровых и скважинных зарядов. Такая технология ведения взрывных работ не обеспечивает прямолинейность охранных целиков и приводит к интенсивному заколообразованию в массиве со значительными разрушениями углов целиков. Для более качественного оконтуривания цели-