

УДК 622.831

А.В. Евсеев, В.Н. Токсаров

МЕТОДИКА ПРОГНОЗА УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОД КРОВЛИ ОЧИСТНЫХ КАМЕР НА КАЛИЙНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Приведены результаты определения модуля деформации пород кровли в натуральных условиях с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана. Установлено, что критическое значение модуля, при котором происходит интенсивное расслоение обнаженных пород, составляет 1,1 ГПа.

Ключевые слова: устойчивость кровли, обрушение пород, модуль деформации, гидродомкрат Гудмана.

1. Введение

При обработке сильвинитовых пластов на Верхнекамском месторождении калийных солей (ВКМКС) с течением времени отмечается прогрессирующее расслоение и последующее обрушение пород кровли по поверхностям ослабления. Интенсивное заколообразование и вывалообразование в кровле очистных выработок приводит к нарушению технологического процесса и создаёт опасные условия для горнорабочих. На ВКМКС степень устойчивости обнажений пород кровли может значительно изменяться даже в пределах одного шахтного поля. Так, соляные породы кровли очистных камер на сильвинитовом пласте КрII в пределах шахтного поля рудника БКПРУ-2 ОАО «Уралкалий» относятся к весьма неустойчивым - расчетный срок их устойчивого состояния менее 2,5 лет. В северной части шахтного поля время устойчивого состояния камер составляет 1 год и более, тогда как в юго-восточной части шахтного поля, несмотря на наличие анкерной крепи, небольшие обрушения кровли появляются в очистных камерах уже в те-

чение первой недели после проходки, а по истечении 1,5-2 месяцев отмечаются значительные обрушения кровли [1].

Обследование полостей разрушения кровли показало наличие в них большого количества глинистого материала. Высокие значения содержания нерастворимого остатка (Н.О.) в междупластье АБ-КрII в юго-восточной части шахтного рудника БКПРУ-2 подтверждаются результатами химического анализа пород. На рассматриваемом участке содержание Н.О. в кровле пласта КрII достигает 10-15 %, что в 2-2,5 раза выше аналогичного показателя на северо-восточном участке шахтного поля.

Для оценки степени устойчивости пород кровли выработок существует несколько различных критериев. В [2] предложена классификация пород по устойчивости для условий калийных и соляных рудников, где в качестве критерия оценки состояния пород в окрестности капитальной выработки принят период весьма устойчивого состояния выработки (T_p). Время весьма устойчивого состояния выработки рассчитывается в зависимости

от глубины, уровня действующих нагрузок, прочности вмещающих пород на сжатие, площади поперечного сечения проектируемой выработки и геологического фактора.

Однако результаты обследования показывают, что даже в пределах одной панели при одинаковых горно-технических условиях встречаются участки с разным временем устойчивого состояния очистных выработок. Так в некоторых частях 7, 9 и 11-й восточных панелей рудника БКПРУ-2 устойчивость пород кровли камер сохраняется около полугода, тогда как на других участках этих же панелей процессы заколообразования и обрушения пород реализуются прямо в процессе проходки очистных камер, что в некоторых случаях приводит к остановке добычных работ. Результаты длительных наблюдений за устойчивостью обнажений на рудниках ВКМКС показывают, что среди геологических факторов, оказывающих наибольшее влияние на устойчивость кровли выработки, необходимо выделить наличие глинистых прослоев в приконтурном массиве и мощность первого слоя в кровле очистной выработки [2].

Для обоснования критерия, оценивающего степень устойчивости пород кровли очистных камер на калийных рудниках ВКМКС выполнен ряд экспериментальных исследований по оценке модуля деформации соляных пород в приконтурном массиве. Известно, что модуль деформации весьма чувствителен к различным изменениям в породе. Малейшие петрографические отклонения, изменения плотности и структуры весьма сильно сказываются на модуле деформации [3]. По данным многочисленных натуральных исследований между модулем деформации и рейтингом массивов

RMR, характеризующим устойчивость горных пород, существует устойчивая корреляционная связь [4].

2. Горно-геологическая характеристика экспериментальных участков

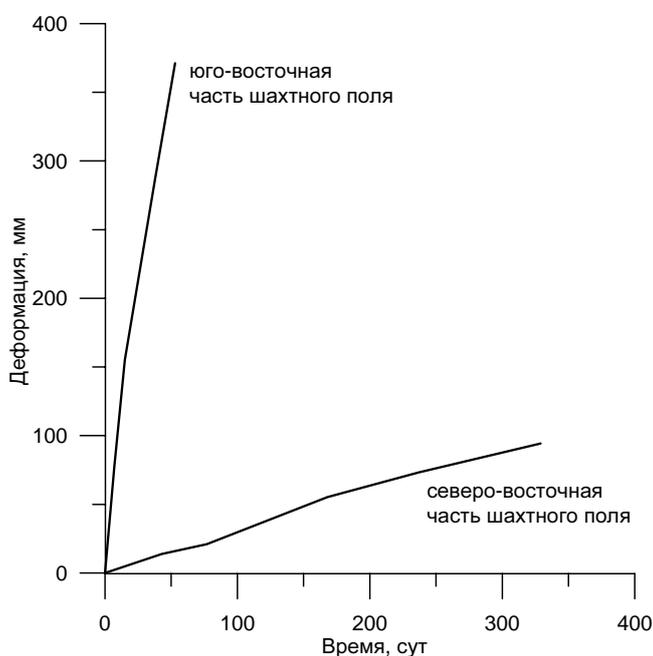
Натурные испытания пород кровли очистных камер пласта КрII проводились на двух экспериментальных участках, расположенных в юго-восточной и северо-восточной частях шахтного поля рудника БКПРУ-2, характеризующихся различной степенью устойчивости обнажений.

Первый экспериментальный участок располагался в пределах 20-й восточной панели (20 ВП), второй - в пределах 9-й и 11-й восточных панелей (9 ВП, 11 ВП). На данных участках отрабатываются два близких пологих сильвинитовых пласта АБ и КрII. Средняя мощность верхнего пласта АБ составляет 2,4 м, пласта КрII – 4,7 м. Мощность междупластья АБ-КрII варьируется в диапазоне от 1,5 до 4 м. Отработка ведется камерной системой с использованием комбайновой выемки и оставлением жестких междукамерных целиков. Параметры отработки пластов на рассматриваемых участках приведены в табл. 1. В кровле пласта КрII залегают три весьма неустойчивых породных пропластка с высоким содержанием глинистого материала, называемые «коржами», общей мощностью 0,5-0,7 м. Для обеспечения устойчивого состояния кровли камер, отработка пласта КрII производится с подрубкой двух «коржей». В случае отсутствия возможности отработки пласта КрII на полную мощность, применяется вариант с оставлением защитной сильвинитовой пачки в кровле камер мощностью 0,5 м. Крепление кровли очистных выработок осуществляется металлическими анкерами с клиновым распором длиной 1,5 м.

Таблица 1

Параметры горных работ на рассматриваемых участках шахтного поля рудника БКПРУ-2

Панель	Пласт	Ширина камеры, м	Ширина целика, м	Высота целика, м
<i>Экспериментальный участок № 1</i>				
20 ВП	АБ	3,2	7,3	3,7
	КрII	6,1	4,5	
<i>Экспериментальный участок № 2</i>				
9 ВП	АБ	3,2	10,4	5,1
	КрII	5,5	8,1	
11 ВП	АБ	3,2	11,8	3,2
	КрII	5,5	9,5	

**Рис. 1. График деформирования кровли очистных камер на пласте КрII**

На основе натуральных наблюдений за деформированием кровли очистных выработок установлено, что на экспериментальном участке № 2 вне зависимости от применяемого метода проходки очистной выработки в течение 1,5-2-х месяцев происходит интенсивное расслоение пород кровли с последующим их обрушением [1]. Различие заключается лишь в том, что

при проходке очистных камер с оставлением защитной пачки кровля сохраняет свою устойчивость несколько дольше (на 1-2 недели), чем при подрезке двух «коржей», хотя в целом деформационные процессы в обоих случаях реализуются практически в одинаковых режимах.

При этом характер деформирования пород технологического междуластья в очистных камерах на втором экспериментальном участке (9, 11 ВП) существенно отличается от деформирования пород на первом участке (20 ВП). Так, например, в течение 54 суток наблюдений суммарная деформация кровли пласта КрII в камере 70 (11 ВП) составили порядка

370 мм (рис. 1). Для сравнения суммарная деформация кровли в камере 167 (20 ВП) за 240 суток наблюдений достигла всего 72 мм.

В юго-восточной части шахтного поля на вышележащем пласте АБ (9 ВП) величина пучения почвы камер в 4-5 раза превышает расслоение кровли, в тоже время на 20 ВП деформация кровли камеры, наоборот,

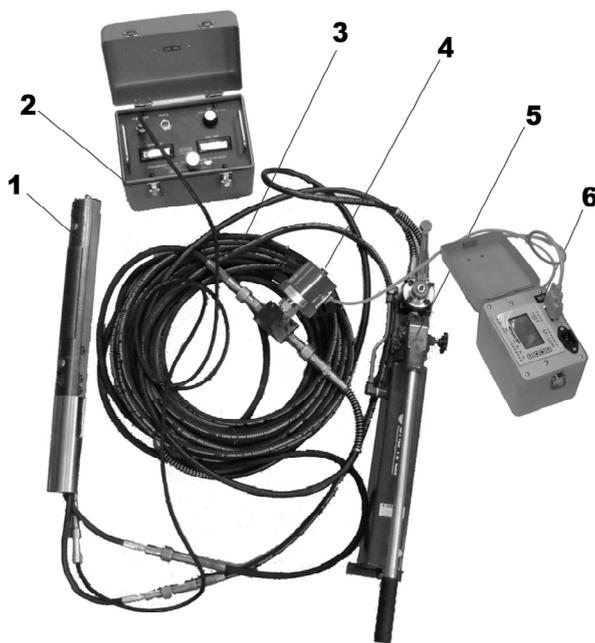


Рис. 2. Комплект оборудования для изучения деформационных свойств породного массива:
 1 – гидродомкрат; 2 – деформометр; 3 – шланги; 4 – датчик давления; 5 – ручной насос; 6 – регистратор давления

превалирует над пучением почвы. Вертикальная конвергенция очистных выработок в пределах пласта АБ на двух экспериментальных участках примерно одинакова и составляет 30-40 мм. Горизонтальная же конвергенция очистных камер на пласте АБ в пределах 11 ВП в 5-6 раз выше аналогичного показателя на 20 ВП. Данные отличия в характере деформирования пород, по-видимому, связаны с большим содержанием глины в технологическом междупластье АБ-КрII в пределах юго-восточной части шахтного поля.

3. Методика оценки деформационных свойств приконтурных пород в натуральных условиях

Комплекс экспериментальных исследований включал определение параметров деформирования пород

кровли очистных камер на основе использования скважинного гидродомкрата Гудмана.

Комплект оборудования, используемый при испытании деформационных свойств соляных пород, показан на рис. 2. Гидродомкрат Гудмана представляет собой каротажный зонд, используемый для измерения деформации стенок скважины при приложении нагрузки. В отличие от прессиометров, передающих нагрузку на породу через резиновую оболочку, в процессе измерений гидродомкрат прикладывает однонаправленное

давление на стенки скважины посредством двух стальных подвижных пластин. Максимальное гидравлическое давление, развиваемое домкратом составляет 64 МПа. Площадь поршней обеспечивает коэффициент передачи давления на породу, равный 0,93. Деформация диаметра скважины в направлении приложения давления измеряется с помощью двух индуктивных датчиков перемещений, расположенных на концах нажимных пластин. Диапазон измерения деформаций - 11 мм, точность измерений - 0,01 мм.

Порядок работ проведения исследований следующий. Скважинный зонд помещается в скважину на необходимую глубину. С помощью ручного насоса рабочая жидкость подаётся в гидроцилиндры, осуществляя нагружение околоскважинного пространства до уровня 10-15 МПа, затем производится разгрузка.

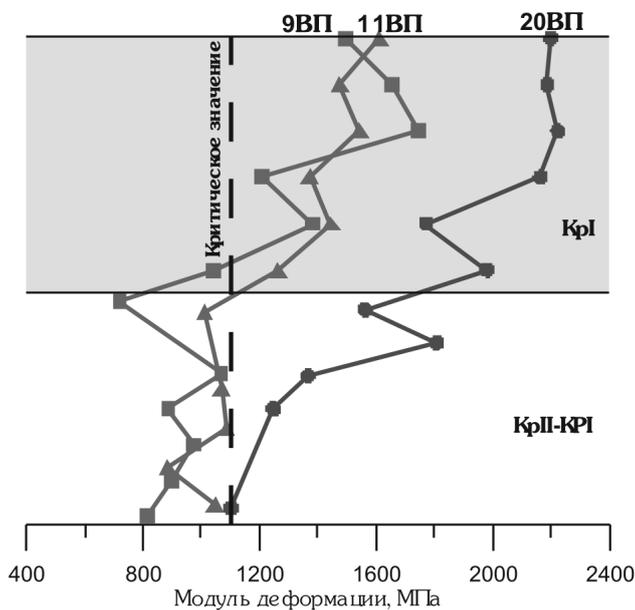


Рис. 3. Распределение средних значений модуля деформации соляных пород по сечению междупластья AB-КрII

В процессе эксперимента одновременно ведется автоматическая запись нагрузок и деформаций стенок скважины. В каждой измерительной точке проводится 2-3 цикла испытаний в режиме «нагрузка-разгрузка» после чего зонд перемещается по скважине в новое положение.

В результате натурных испытаний пород строятся графики «давление – деформация». На диаграммах деформирования стенок скважины выделяются три характерных стадии (рис. 3). На первой стадии происходит расширение гидродомкрата до соприкосновения нажимных пластин со стенкой скважины (отрезок *AB*). Вторая стадия связана (*BC*) со сжатием штыба и выравниванию неровностей стенок скважины. Третья стадия (*CD*) соответствует полному контакту нажимных пластин домкрата со стенками скважины.

Модуль деформации рассчитывается по касательной, проведенной к нагрузочной части кривой деформирования на участке полного контакта нажимных пластин со стенками скважины по формуле [5]

$$D = 0,86 \times \frac{\Delta Q}{(\Delta \varepsilon_d / d)} \times T^*,$$

где Q - эффективное давление на стенки скважины; d - диаметр скважины; ε_d - деформация стенок скважины; T^* - коэффициент, зависящий от коэффициента Пуассона.

$$Q = k_p Q_n,$$

где k_p - коэффициент передачи давления; Q_n - давление на стенки скважины.

Исследование деформационных свойств соляных пород проведено в девяти вертикальных скважинах глубиной до 3 м, пробуренных в кровле очистных камер на пласте КрII на 20 ВП и 9,11 ВП.

4. Обсуждение результатов экспериментальных исследований

Экспериментами установлено, что средние значения модуля деформации пород в нижней части междупластья AB-КрII в пределах 9 и 11 ВП составляют порядка 0,8÷1 ГПа (рис. 4). С увеличением глубины скважин отмечается рост модуля деформации до 1,5÷1,6 ГПа. В пределах 20 ВП модуль деформации соляных пород междупластья AB-КрII в среднем на 30÷50 % выше аналогичных значений, полученных на 9 и 11 ВП.

Учитывая особенности деформирования пород на обоих экспериментальных участках, можно сделать вы-

вод о том, что по величине модуля деформации вмещающих пород можно судить о характере проявления горного давления в кровле очистных камер во времени. Чем выше значение модуля деформации соляных пород, тем больше время их устойчивого состояния. Как показали результаты сопоставительных исследований критическая величина модуля деформации соляных пород междупластья АБ-КрII в пределах

шахтного поля рудника БКПРУ-2 равна $1\div 1,1$ ГПа. При величине модуля деформации ≤ 1 ГПа резко интенсифицируются процессы расслоения кровли очистных камер с последующей потерей ее устойчивости. По мере накопления экспериментальных данных может быть построена зависимость времени устойчивого состояния очистных камер от модуля деформации приконтурных пород.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-05-96011 «Контроль деформационных процессов в грузонесущих элементах камерной системы разработки»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асанов В.А., Токсаров В.Н., Евсеев А.В. Особенности деформирования и разрушения потолочин при выемке сближенных калийных пластов / Геодинамика и напряженное состояние недр Земли. Труды Всероссийской конференции. – Новосибирск: Изд. ИГД СО РАН, 2010.
2. Боликов В.Е., Константинова С.А. Прогноз и обеспечение устойчивости капитальных горных выработок.- Екатеринбург: УрО РАН, 2003.
3. Бурштейн Л. С. Статические и динамические испытания горных пород.- Л.: Недра, 1970.
4. Jose M. Galera, M. Blvarez, Z.T. Bieniawski. Evaluation of the deformation modulus of rock masses: Comparison of pressuremeter and dilatometer tests with Rmr prediction / ISP5-PRESSIO International Symposium, 2005.
5. Heuze F. E. Suggested Method for Estimating the In-Situ Modulus of Deformation of Rock Using the NX-Borehole Jack / *Geotechnical Testing Journal* GTJODJ, Vol. 7, No. 4, Dec. 1984. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Евсеев А.В. – аспирант, мл. научный сотрудник, evseev@mi-perm.ru
Токсаров В.Н. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, tokсарov@mi-perm.ru
Горный институт, Уральское отделение РАН.

