

При отсутствии зоны смягчения над охранном целиком скважины 129 прогнозируется выраженный контрастный перегиб мульды сдвижения (рис.2, кривая 1). У границы целика с блоком 197 формируется сквозная зона разрушения пород ВЗТ (рис.3, а). Все карналлитовые пласты (В, Г, Д, Е, Ж, З, И, К) и слои межпластовой каменной соли в интервале ВЗТ теряют свою устойчивость за счет развития в них трещин сдвига (рис.3, а). Для верхней части ВЗТ (интервал ПП, ПКС) характерно появление трещин отрыва. Отработка карналлита в данном случае запрещена.

При создании по периметру охранного целика скважины 129 одноступенчатой зоны смягчения шириной 80 м путем закладки камер рабочего пласта КрII с коэффициентом заполнения 0,7 происходит некоторое выполаживание мульды сдвижения над охранном целиком (рис.2, кривая 2) и снижение техногенной нагрузки, выраженное в уменьшении по латерали размеров областей разрушения (рис.3, б) по сравнению с вариантом отсутствия зоны смягчения. В районе северной границы охранного целика межпластовая каменная соль в интервале ВЗТ сохраняет свою устойчивость, тогда как зона нарушенности в пределах его южной границы характеризуется полной потерей устойчивости всех пластов. В связи с тем, что безопасные условия ведения горных работ не обеспечиваются, возможность извлечения карналлитовой руды в данном случае также отсутствует.

Как показали расчеты, закладка камер пласта КрII по периметру охранного целика скважины 129 с разными по ширине ступенями и коэффициентами является эффективной мерой снижения нагрузки на ВЗТ. По сравнению с одноступенчатой двухступенчатая зона смягчения протяженностью 200 м обеспечивает более значимое снижение градиента оседаний земной поверхности над охранном целиком (рис.2, кривая 3). Области разрушения, приуроченные к границам целика, уменьшаются в размерах как по латерали, так и по разрезу ВЗТ (рис.3, в). Устойчивость сохраняет межпластовая каменная соль верхней и средней части ВЗТ. В интервале ПП и ПКС не прогнозируется сквозное разрушение пород. Таким образом, данная мера охраны ВЗТ по сравнению с рассмотренными вариантами приводит к более значимому улучшению ее состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Baryakh A.A., Samodelkina N.A Rheological analysis of geomechanical processes // Journal of Mining Science. – 2005. – V. 41, № 6. – P. 522-530. DOI: 10.1007/s10913-006-0015-x.
2. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. – М.: Углетехиздат. – 1947. – 180 с
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.: ил.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
5. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.: ил.

УДК 622.83

DOI: 10.7242/echo.2019.2.6

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИКОНТУРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОГО КАЛИЙНОГО РУДНИКА

В.Н. ТОКСАРОВ

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Приведены результаты экспериментальных исследований по измерению напряжений в нетронутым соляном массиве рудника Гремячинского ГОК на глубине около 1100 м. Контроль напряжений осуществлялся методом, основанном на использовании акустоэмиссионных эффектов памяти нагружаемого околошпурового пространства. Экспериментами установлено, что средний коэффициент бокового распора в массиве соляных пород рудника равен 0,9.

Ключевые слова: скважинный гидродомкрат, эффект Кайзера, нетронутый массив, контроль напряжений, коэффициент бокового распора.

Введение

Гремячинское месторождение калийных солей находится в 150 км к юго-западу от г. Волгограда. На месторождении планируется разработка одного сильвинитового пласта с изменяемой мощностью 2,5÷21,5 м. Глубина расположения пласта составляет 1100÷1300 м.

Эксперименты по измерению напряжений в массиве соляных пород производились в проходческом транспортном штреке № 1, пройденном на глубине 1100 м комбайном «Урал-20Р» в один ход (ширина – 6,0 м, высота – 3,7 м). В стенке выработки было пробурено 8 горизонтальных скважин глубиной 8,0 м. Схема расположения скважин изображена на рис. 1. Измерения напряжений выполнялись в вертикальном направлении (скв. 9, 15) и в горизонтальной плоскости в направлениях: $A = 90^\circ$ (скв. 10, 11), $A = 120^\circ$ (скв. 8, 14), $A = 150^\circ$ (скв. 12, 13).

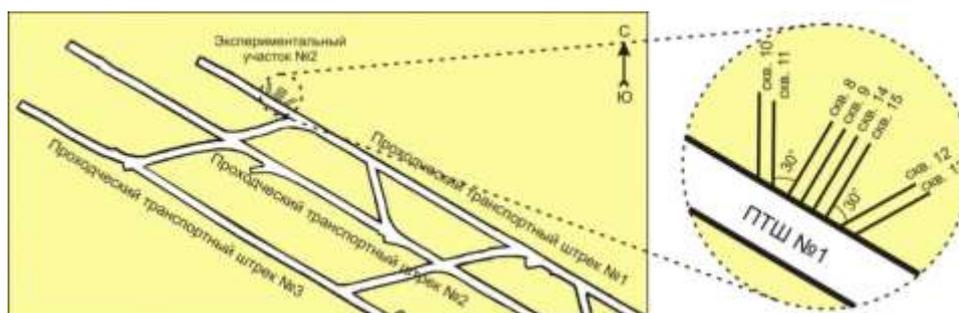


Рис. 1. План расположения экспериментального участка № 2 на шахтном поле рудника ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»

Методика проведения измерений

Суть используемого скважинного метода измерения компонент поля напряжений заключается в разгрузке некоторой области массива пород бурением скважины и повторном нагружении ее стенок гидродомкратом Гудмана. При этом эффект Кайзера используется в качестве индикатора восстановления породами околоскважинного пространства радиальной компоненты поля напряжений в направлении нагружения [1].

Для определения напряженного состояния массива горных пород по изменению параметров акустической эмиссии нагружаемой области необходимо обеспечить прием сигналов АЭ непосредственно из околоскважинного пространства. С этой целью на одной из нагружающих пластин гидродомкрата установлен пьезоэлектрический преобразователь с резонансной частотой 165 кГц. Также в состав комплекса входит портативный прибор регистрации акустической эмиссии, позволяющий осуществлять синхронную запись АЭ-сигнала и давления в гидросистеме (рис. 2).

Гидродомкрат Гудмана (рис. 2) фирмы «Durham Geo Slope Indicator» (США) представляет собой каротажный зонд, предназначенный для измерения деформаций стенок скважины под действием приложенной нагрузки. Особенностью конструкции данного гидродомкрата является возможность приложения нагрузки к породам околоскважиного пространства в одной плоскости посредством двух стальных подвижных полукруглых пластин, что позволяет оценить величины компонент поля напряжений в различных направлениях.

Зонд спроектирован для применения в скважинах диаметром 76 мм. Максимальное гидравлическое давление, развиваемое домкратом, составляет 70 МПа. Благодаря использованию гидроцилиндров специальной формы коэффициент передачи давления на породу составляет 0,93. Два датчика перемещений, принцип работы которых основан на линейно-регулируемом дифференциальном трансформаторе (LVDT), установлены внутри устройства ближе к краям пластин. Максимальный диапазон измерения смещений LVDT-датчиками $\pm 3,81$ мм.

В процессе проведения экспериментов на первом этапе в стенке горной выработки осуществляется бурение скважины диаметром 76 мм (рис. 3). Глубина скважины определяется

задачами исследований и обычно превышает ширину зоны опорного давления. Затем в скважину помещается гидродомкрат на испытательную глубину. Далее с помощью ручного насоса производится равномерное повышение давления в гидроцилиндрах устройства до значений, превышающих ожидаемые величины напряжений в районе исследований. На следующем этапе процедура проводится в обратном порядке, давление уменьшается путем плавного приоткрывания клапана сброса давления на насосе. В каждой измерительной точке обычно проводится 2-3 цикла нагружения. Для исключения взаимного влияния замерные точки в скважине располагаются на расстоянии 300 мм друг от друга.

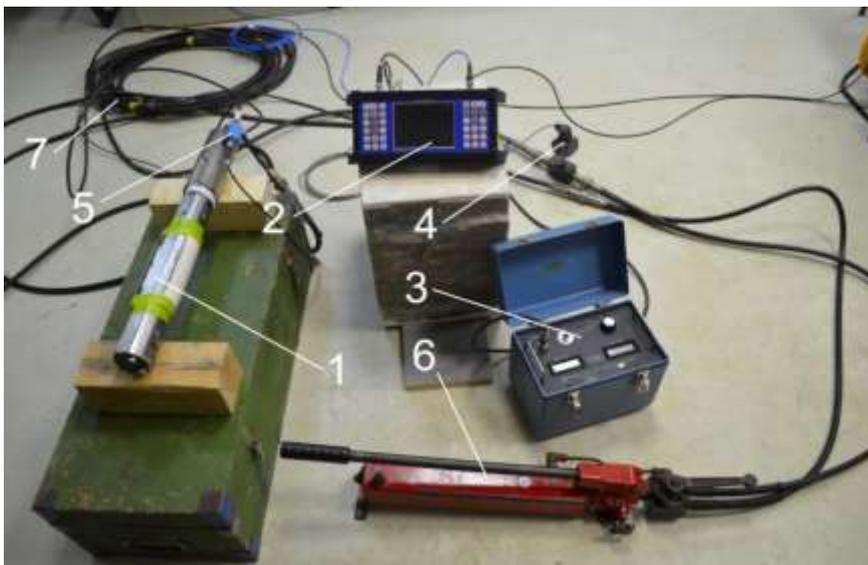


Рис. 2. Скважинный комплекс для измерения напряжений в массиве горных пород: 1 – гидродомкрат Гудмана; 2 – прибор регистрации АЭ; 3 – индикатор деформации; 4 – электронный манометр; 5 – предусилитель сигналов АЭ; 6 – гидравлический насос; 7 – высоконапорные рукава

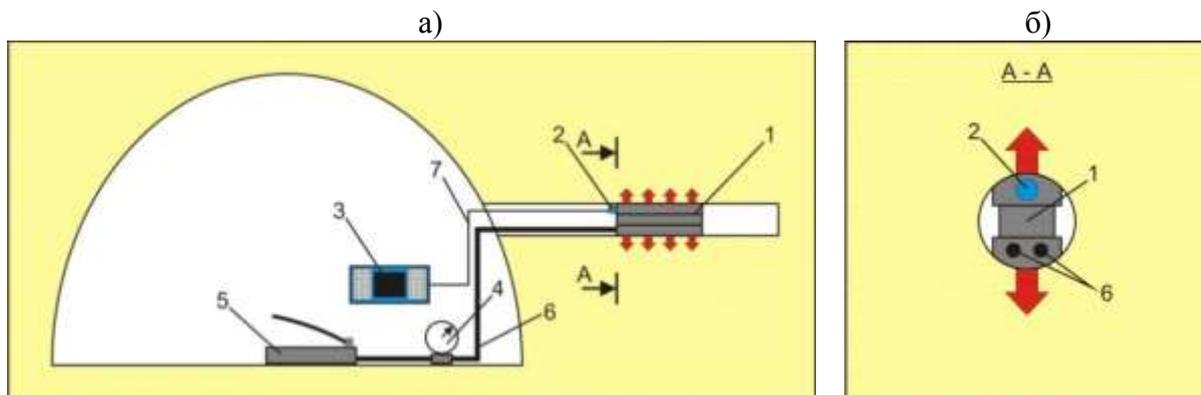


Рис. 3. Схема измерения компонент поля напряжений гидродомкратом в горизонтальной скважине: 1 – гидродомкрат; 2 – преобразователь АЭ (резон. част. 165 кГц); 3 – прибор регистрации АЭ; 4 – манометр; 5 – ручной насос; 6 – высоконапорные рукава; 7 – кабель

Оценка величины компоненты поля напряжений, действующей в направлении нагружения гидродомкратом, осуществляется по результатам анализа графиков изменения параметров акустической эмиссии от времени или давления [1]. За величину компоненты принимают значение давления ($P_{ЭК}$), при котором происходит резкое возрастание АЭ-параметров (рис. 4): активности АЭ – количества импульсов в единицу времени; или суммарного количества импульсов, накопленных с момента начала регистрации.

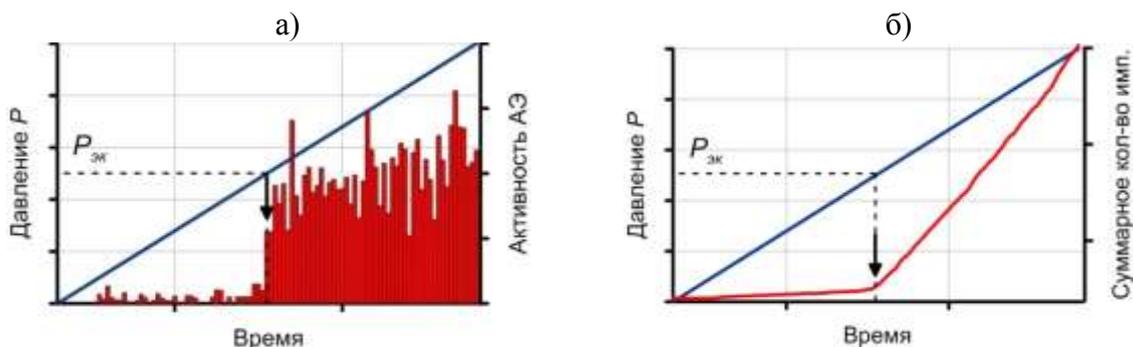


Рис. 4. Идеализированные зависимости АЭ-параметров и давления гидродомкрата от времени в первом цикле нагружения стенок скважины:
 а – количество импульсов в единицу времени; б – суммарное количество импульсов
 (стрелками показан момент проявления эффекта Кайзера)

На рис. 5 представлены характерные зависимости давления гидродомкрата на стенки скважины и активности акустической эмиссии от времени, полученные при измерении напряжений за зоной влияния выработки в соляном массиве Гремячинского месторождения. За значение компоненты поля напряжений, действующей в направлении нагружения, принимается величина давления, при которой начинается устойчивое увеличение активности АЭ.

Результаты измерения напряжений

По результатам измерений в вертикальном направлении вблизи контура выработки установлена зона пониженных значений напряжений шириной около 0,6 м (рис. 6). С удалением от стенки выработки показания увеличиваются, достигая максимальных значений 27-30 МПа на глубине 0,9-1,8 м. Начиная с глубины 2,1 м значения вертикальных напряжений стабилизируются, и в среднем составляют 23,4 МПа.

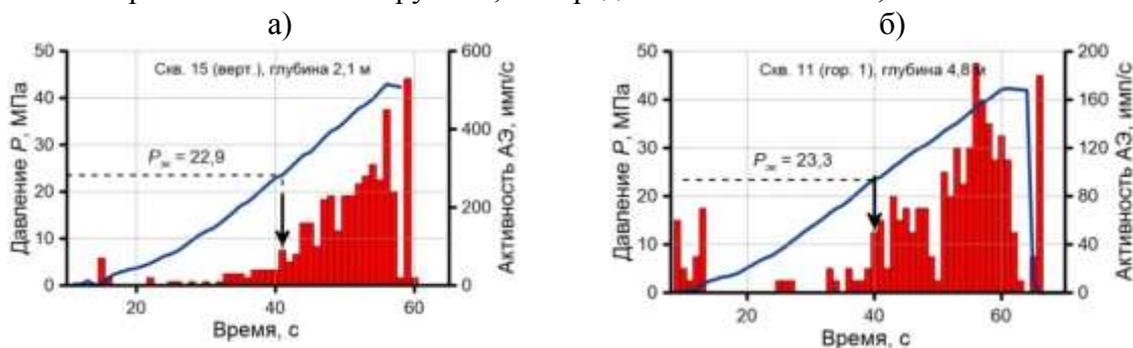


Рис. 5. Характерные графики изменения давления гидродомкрата и активности АЭ от времени при нагружении стенок скважины в массиве соляных пород Гремячинского месторождения в направлениях:
 а – вертикальном; б – горизонтальном ($A = 90^\circ$)

Характер распределения горизонтальных напряжений качественно повторяет полученные для вертикальной компоненты закономерности (рис. 6-8).

Вблизи выработки также отмечаются пониженные значения напряжений, величина которых затем стабилизируется на расстоянии 1,2-2,4 м от стенки. По результатам измерений наблюдается небольшая концентрация горизонтальных напряжений на контуре выработки (рис. 7), либо она отсутствует (рис. 8 и 9). Минимальная ширина зоны влияния выработки (1,2 м) установлена при измерениях горизонтальных напряжений в направлении $A = 120^\circ$, а максимальная (2,4 м) – в направлении $A = 150^\circ$. Средние значения горизонтальных компонент поля напряжений нетронутого соляного массива составляют в направлениях: $A = 90^\circ$ – 20,9 МПа, $A = 120^\circ$ – 21,2 МПа, $A = 150^\circ$ – 24,3 МПа.

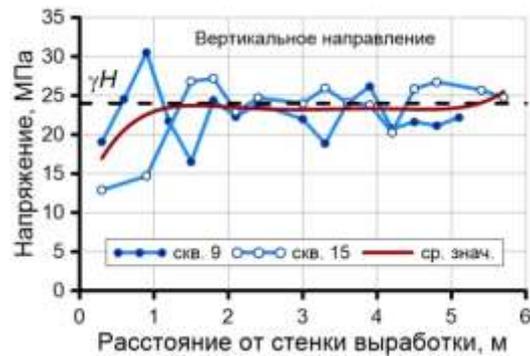


Рис. 6. Результаты измерения вертикальных напряжений на замерной станции № 2

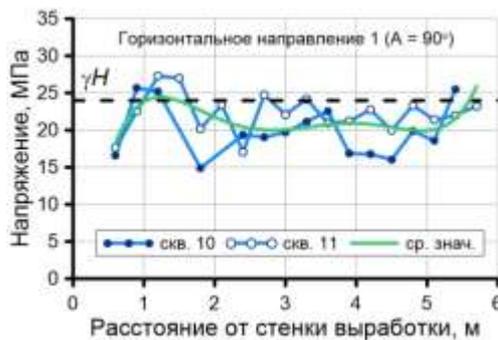


Рис. 7. Результаты измерения горизонтальных напряжений, ориентированных в направлении A=90°

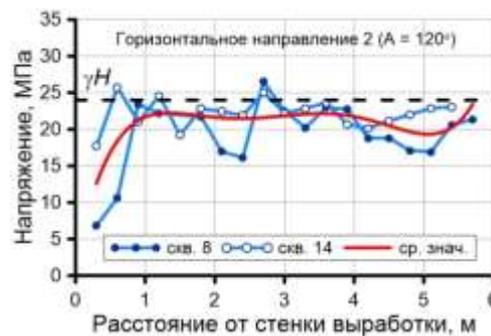


Рис. 8. Результаты измерения горизонтальных напряжений, ориентированных в направлении A=120°

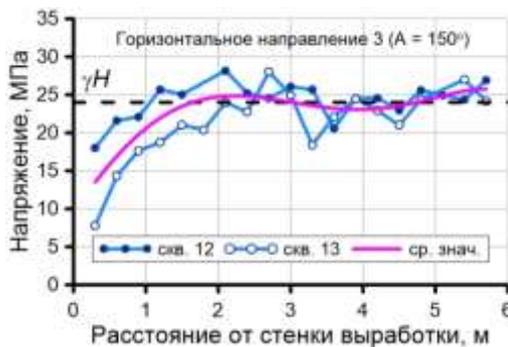


Рис. 9. Результаты измерения горизонтальных напряжений, ориентированных в направлении A=150°

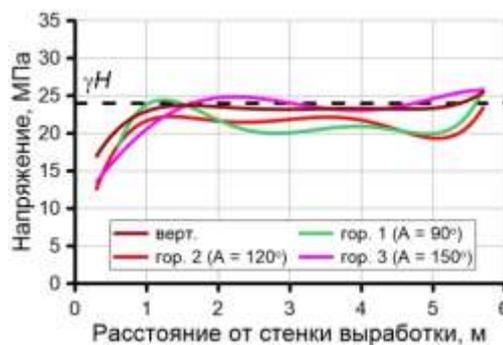


Рис. 10. Распределение средних значений напряжений в нетронутом массиве соляных пород рудника ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий»

Анализ закономерностей изменения средних значений напряжений показал, что вертикальная компонента за зоной влияния выработки примерно соответствует величине γH , которая составляет 24 МПа (рис. 10).

Горизонтальные напряжения чуть ниже или равны данной величине в зависимости от направления. Средний коэффициент бокового распора равен 0,9, что свидетельствует о напряженном состоянии соляных пород в нетронутом массиве Гремячинского месторождения, близком к гидростатическому.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Асанов В.А., Евсеев А.В., Паньков И.Л., Токсаров В.Н. Исследование процессов деформирования горных пород и элементов камерной системы разработки // Горн. журн. – 2018. – № 6. – С. 13-16.