

диоритов – $0,64 \div 2,80$ ГПа/м; песчаников – $0,51 \div 2,44$ ГПа/м. Проведенный анализ изменения данного показателя от нормального напряжения выявил качественную и количественную сопоставимость полученных зависимостей для различных пород. Также установлена тенденция увеличения предельного коэффициента трения при возрастании начальной жесткости сдвига.

Дальнейшие исследования в рамках данной тематики планируется направить на изучение связи шероховатости поверхности трещины с дилатансионными и сдвиговыми механическими показателями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от «29» декабря 2020 г. (рег. номер 122012000403-1), а также РФФИ и Пермского края по гранту №19-45-590004.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Исследования материалов и вещества» ПФИЦ УрО РАН и ЦКП «Центр изучения свойств геоматериалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Троллоп Д.Х., Бок Х., Бест Б.С., Уоллес К., Фултон М. Введение в механику скальных пород. – М.: Мир, 1983. – 276 с.: ил.
2. Евдокимов П.Д., Сапегин Д.Д. Прочность, сопротивляемость сдвигу и деформируемость оснований сооружений на скальных породах: Лабораторные и полевые эксперим. исследования. –М.; Л.: Энергия, 1964. – 172 с.: ил.
3. ISRM: Suggested Methods for Determining the Shear Strength. – 1974.

УДК 622.83

DOI:10.7242/echo.2022.2.10

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕНИЙ В НЕТРОНУТОМ МАССИВЕ АНГИДРИТ-ДОЛОМИТОВЫХ ПОРОД

В.Н. Токсаров, Н.Л. Бельтюков, А.А. Ударцев, И.А. Морозов, Д.А. Поспелов
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Приведены результаты экспериментальных исследований по измерению напряжений в нетронutom массиве ангидрит-доломитовых пород на руднике Гремячинского ГОК на глубине около 1100 м. Контроль напряжений осуществлялся методом, основанном на использовании акустоэмиссионных эффектов памяти нагружаемого околошпурового пространства [1, 2]. Экспериментами установлено, что максимальное горизонтальное напряжение в нетронutom массиве ориентировано субширотно ($A_{m4} \approx 86^\circ$) и равно 30,8 МПа, минимальное горизонтальное напряжение ориентировано субмеридианально ($A_{m5} \approx 176^\circ$) и равно 14,8 МПа. Величина измеренных вертикальных напряжений в нетронutom массиве составляет порядка 23,0 МПа.

Ключевые слова: скважинный гидродомкрат, эффект Кайзера, ангидрит-доломитовые породы, нетронутый массив, оценка напряжений, коэффициент бокового распора.

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

Эксперименты по определению напряжений в нетронутом массиве ангидрит-доломитовых пород производились в вентиляционном штреке ГЗКВШ № 1, пройденном на глубине 1100 м буровзрывным способом (ширина – 5,0 м, высота – 6,5 м). В стенке выработки в трех направлениях было пробурено 8 горизонтальных скважин глубиной 6,0÷8,0 м и диаметром 93 мм. В экспериментальных скважинах № 5 и 6 определялись вертикальные напряжения, в остальных – горизонтальные. Местоположение замерной станции и схема размещения экспериментальных скважин показаны на рис. 1.

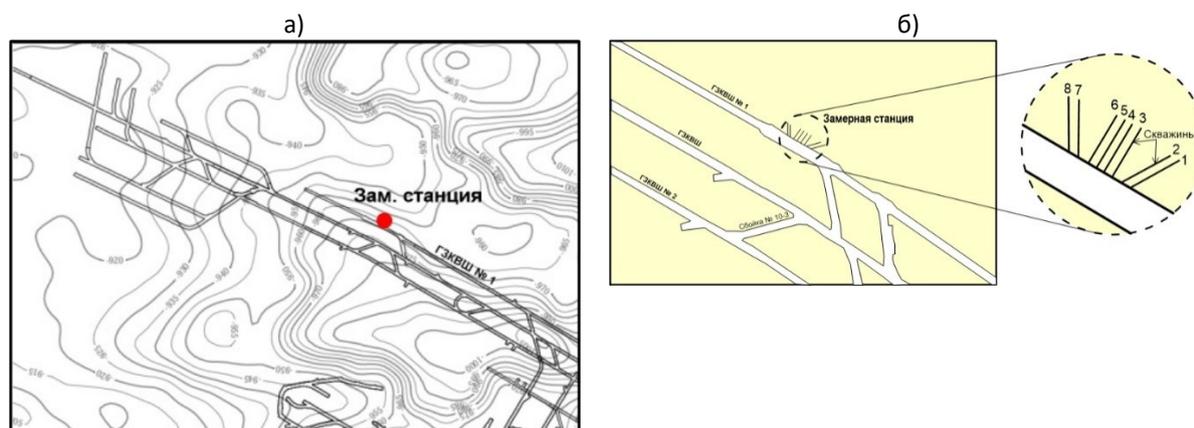


Рис. 1. Местоположение замерной станции (а) и схема размещения экспериментальных скважин (б) на руднике Гремячинского ГОКа

Определение напряжений производилось на основе использования акустоэмиссионного эффекта Кайзера, возникающего в массиве при нагружении стенки скважины гидродомкратом. 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. Подробно методика и комплект измерительной аппаратуры описаны в работах [1, 2].

Результаты определения напряжений в ангидрит-доломитовых породах приведены в табл. 1 и на рис. 2-6. По результатам натурных измерений в вертикальном направлении вблизи контура выработки установлена зона пониженных значений напряжений шириной около 0,8-1,0 м (рис. 2). С отдалением от стенки выработки напряжения увеличиваются, достигая максимальных значений (36-39 МПа) на глубине 1,8 м. Начиная с глубины 3 м значения вертикальных напряжений стабилизируются и в среднем составляют порядка 23 МПа, что чуть ниже расчетных значений от веса вышележащих пород ($\gamma H = 25,3$ МПа).

На графиках распределения горизонтальных напряжений, измеренных в трех направлениях, вблизи контура выработки (на глубине до 1-2 м) также отмечаются пониженные значения напряжений. Минимальная ширина зоны влияния выработки (1,0 м) установлена при измерениях горизонтальных напряжений в направлении $A = 125^\circ$, а максимальная (2,4 м) – в направлении $A = 160^\circ$.

Величины средних горизонтальных напряжений, измеренные в скважинах, пробуренных в трех разных направлениях, существенно различаются между собой (рис. 3, 4). Так, средняя величина горизонтальных напряжений, ориентированных субширотно ($A_{m1} \approx 90^\circ$), за зоной влияния выработки равна 30 МПа (рис. 3а). Средняя величина соот-

ветствующих напряжений, ориентированных по азимуту $A_{m2} \approx 125^\circ$, равна 24 МПа (рис. 3б). Средняя величина горизонтальных напряжений, ориентированных по азимуту $A_{m3} \approx 160^\circ$, равна примерно 16 МПа (рис. 3в).

Таблица 1

Результаты определения напряжений в ангидрит-доломитовых породах

Глубина, м	Скв. 1 (гор.)	Скв. 2 (гор.)	Скв. 3 (гор.)	Скв. 4 (гор.)	Скв. 5 (верт.)	Скв. 6 (верт.)	Скв. 7 (гор.)	Скв. 8 (гор.)
0,3	7,9	10,7	11,2	7,8	7,3	13,5	12,8	9,1
0,6	–	11,4	19,1	19,1	16,8	11,7	14,8	11,4
0,9	19,3	13,1	16,4	–	23,6	26,0	21,3	12,8
1,2	18,6	27,8	23,0	–	31,2	31,4	18,3	17,9
1,5	10,5	–	24,0	31,6	34,5	28,6	16,9	21,8
1,8	15,2	–	24,0	18,6	39,2	36,3	28,2	23,5
2,1	16,5	29,3	25,7	23,2	37,7	25,1	21,0	17,8
2,4	23,5	–	13,2	23,9	18,1	28,6	17,2	22,9
2,7	35,9	–	18,0	–	–	17,8	36,7	29,3
3,0	19,6	–	14,3	–	–	22,2	35,0	–
3,3	25,2	–	–	18,1	–	–	27,1	–
3,6	–	–	18,0	–	–	26,0	22,1	14,8
3,9	–	–	–	–	–	19,5	16,7	18,3
4,2	–	–	–	–	–	28,1	22,3	22,4
4,5	–	–	–	–	–	24,0	17,2	11,6
4,8	–	32,5	22,5	–	–	19,4	12,0	32,9
5,1	17,5	42,1	25,8	–	–	17,5	14,5	14,8
5,4	–	30,6	24,3	–	32,5	16,3	14,2	–
5,7	25,0	28,8	–	–	22,2	26,0	23,6	–
6,0	–	–	–	–	–	–	14,0	–
6,3	29,8	–	–	–	–	–	10,3	18,7
6,6	–	32,3	–	–	–	–	–	–

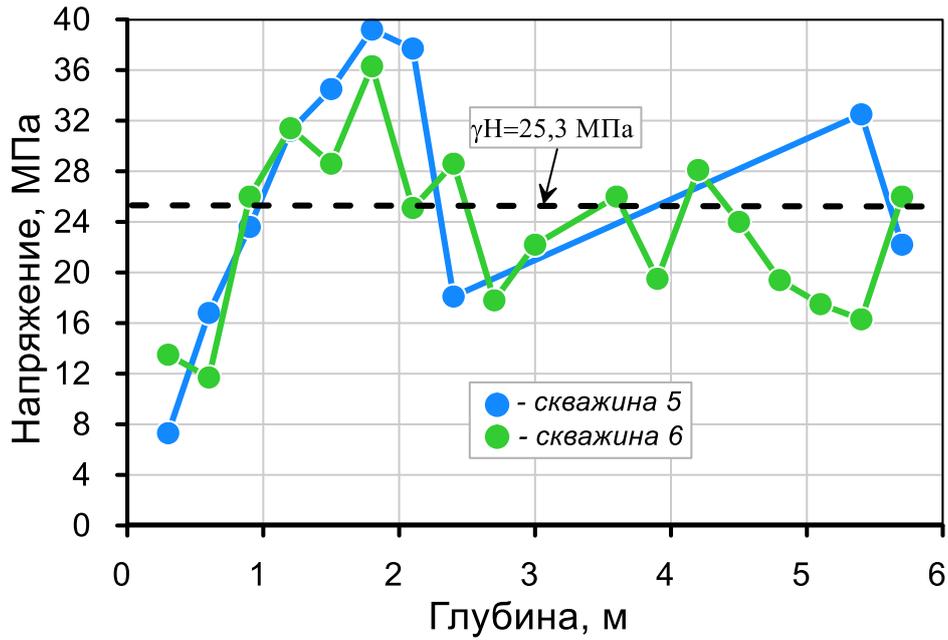


Рис. 2. Графики распределения вертикальных напряжений

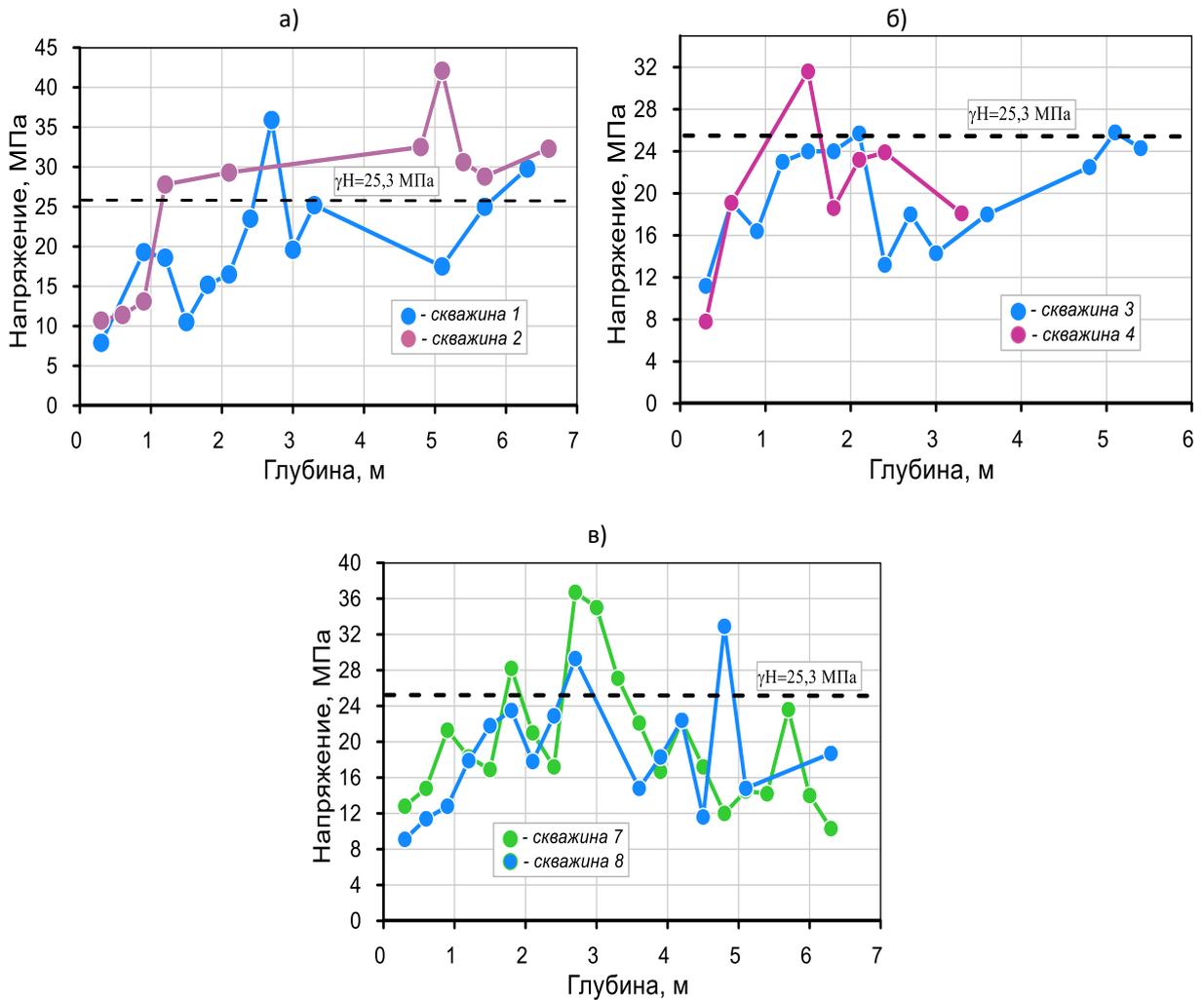


Рис. 3. Результаты измерения горизонтальных напряжений, ориентированных в направлении:

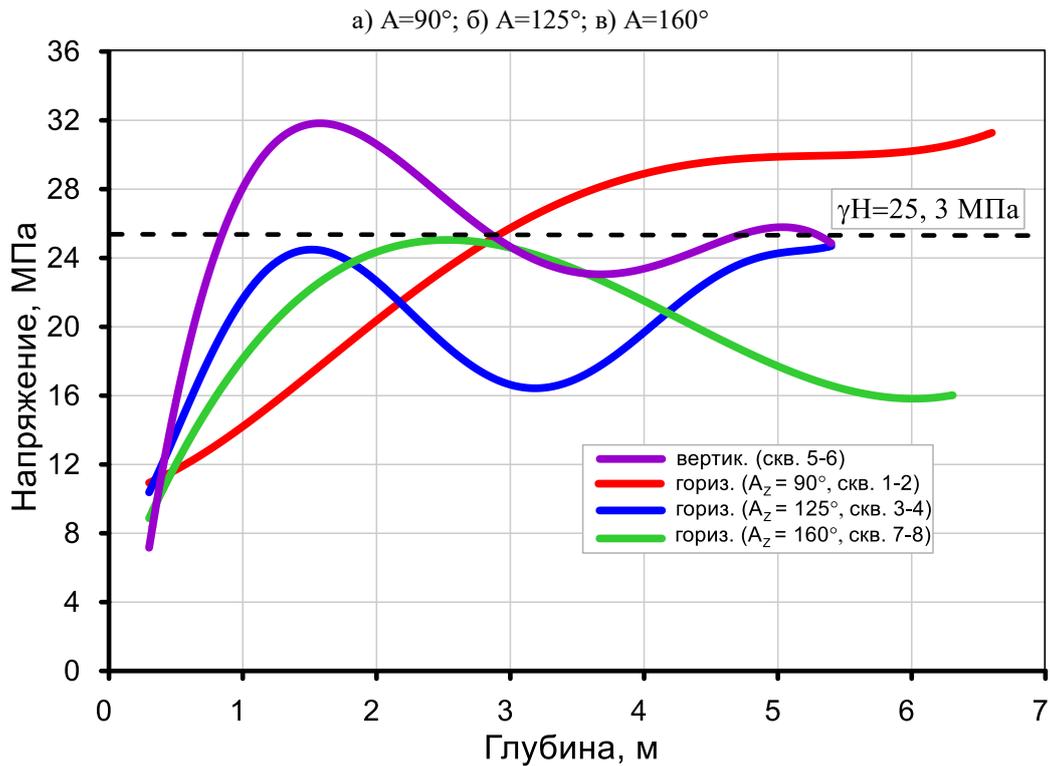


Рис. 4. Распределение средних значений вертикальных и горизонтальных напряжений в нетронутом массиве ангидрит-доломитовых пород рудника Гремячинского ГОКа

Расчет величины квазиглавных горизонтальных напряжений (σ_{max} , σ_{min}) показал, что максимальное горизонтальное напряжение в нетронутом массиве ангидрит-доломитовых пород ориентировано по азимуту $A_{m4} \approx 86^\circ$ и равно 30,8 МПа, минимальное горизонтальное напряжение ориентировано по азимуту $A_{m5} \approx 176^\circ$ и равно примерно 14,8 МПа (рис. 5).

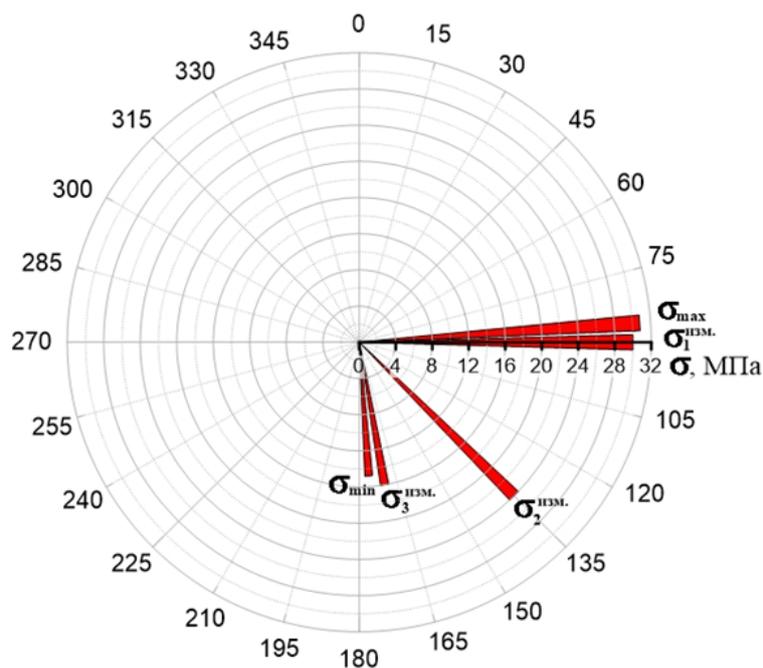


Рис. 5. Ориентация и величина измеренных и квазиглавных горизонтальных напряжений

Таким образом установлено, что величина максимальной компоненты квазиглавных горизонтальных напряжений на экспериментальном участке, ориентированных субширотно, примерно на 20% превышает расчетную величину вертикальных напряжений ($\gamma H=25,3$ МПа) и на 34% (коэфф. бокового распора $\lambda_1 = 1,34$) – величину измеренных вертикальных напряжений (23 МПа). Величина минимальной компоненты горизонтальных напряжений, ориентированных субмеридианально, примерно на 42% меньше расчетной величины вертикальных напряжений и на 36% меньше величины измеренных вертикальных напряжений ($\lambda_2 = 0,64$). Для сравнения по результатам ранее проведенных исследований в нетронутом массиве соляных пород рудника установлен средний коэффициент бокового распора равный примерно 0,9, что свидетельствует о напряженном состоянии соляных пород, близком к гидростатическому [1].

Результаты экспериментальных исследований будут использованы для параметрического обеспечения математического моделирования породного массива с целью разработки методики расчета параметров камерной системы разработки сильвинитового пласта.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 20-45-596011 р_НОЦ_Пермский край
и Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения
по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г.*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Токсаров В.Н. Результаты оценки напряженного состояния приконтурных пород в условиях глубокого калийного рудника // Горное эхо. – 2019. – № 2 (75). – С. 25-29. – DOI: 10.7242/echo.2019.2.6.
2. 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.