

DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.7

УДК 622.831

© Асанов В.А., Токсаров В.Н., Самоделкина Н.А.,
Бельтюков Н.Л., Ударцев А.А., 2014

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕТРОНУТОГО МАССИВА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЖАМАН-АЙБАТ

**В.А. Асанов, В.Н. Токсаров, Н.А. Самоделкина,
Н.Л. Бельтюков, А.А. Ударцев**

Горный институт Уральского отделения Российской академии наук,
Пермь, Россия

Месторождение медистых песчаников Жаман-Айбат обрабатывается рудником «Жомарт», запасы которого подходят к концу. В статье представлены методика и результаты исследований природного поля напряжений на руднике «Жомарт». Измерения напряжений проводились методом щелевой разгрузки в стенках одиночных подготовительных выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ. Оценка напряженно-деформированного состояния породного массива производилась с помощью математического моделирования, удовлетворяющего результатам проведенных натурных измерений. В рамках параметрического обеспечения расчетов было выполнено определение прочностных и деформационных параметров серого песчаника по результатам лабораторных испытаний на одноосное сжатие образцов керна, отобранных в местах проведения экспериментальных работ.

В результате натурных исследований и численного моделирования установлено, что на исследуемом участке нетронутого массива рудника «Жомарт» максимальные горизонтальные напряжения составляют 27,7 МПа и действуют в направлении, перпендикулярном оси простирания рудных тел. Соответственно, минимальные главные горизонтальные напряжения величиной 16,2 МПа действуют вдоль оси простирания рудных тел. Вертикальные напряжения, создаваемые весом вышележащих пород, составляют 17,5 МПа.

Результаты исследований предназначены для уточнения параметров системы разработки, применяемой на проектируемых к отработке участках месторождения Жаман-Айбат.

Ключевые слова: Жаман-Айбат, медистые песчаники, камерно-столбовая система разработки, напряжения, нетронутый массив, одноосное сжатие, деформационные свойства, натурные исследования, щелевая разгрузка, численное моделирование.

EVALUATION OF STRESSED-DEFORMED STATE OF VIRGIN ROCK AT ZHAMAN-AIBAT DEPOSIT

**V.A. Asanov, V.N. Toksarov, N.A. Samodelkina,
N.L. Bel'tiukov, A.A. Udartsev**

Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Perm, Russian Federation

The Zhaman-Aibat cupriferous sandstone deposit is developed by the Zhomart Mine which reserves are nearly depleted. The paper suggests the method and the results of the research of natural stress field at the Zhomart mine. Stress measurements were carried out by fissure relief in the walls of single development openings located outside the extraction influence area. Evaluation of the rock stressed-deformed state was performed by mathematical simulation in accord with in-situ measurements made. Data input for the calculations performed included strength and deformation characteristics of gray sand following the laboratory uniaxial tension tests of the core samples retained from the exploratory sites.

The field studies and numerical simulation established that the maximum horizontal stresses in the investigated area of the virgin rock at the Zhomart mine reach 27.7 MPa and are directed perpendicularly to the ore-body strike. Accordingly, the minimal main horizontal stresses of 16.2 MPa trend along the ore-body strike. Vertical stresses generated by the rock weight above make up 17.5 MPa.

The research results are meant to adjust parameters of the mining system implemented in some tracts under development at the Zhaman-Aibat deposit.

Keywords: Zhaman-Aibat, cupriferous sandstones, room-and-pillar system, stresses, virgin rock, uniaxial tension, deformation properties, field study, fissure relief, numerical simulation.

Введение

Месторождение медистых песчаников Жаман-Айбат расположено в Жанааркинском районе Карагандинской области Республики Казахстан в 130 км к юго-востоку от г. Жезказган. На данный момент отработка месторождения ведется рудником «Жомарт», запасы которого подходят к концу. Высокий спрос на продукцию цветной металлургии и сложная социально-экономическая обстановка в регионе, характерная для городов и поселков бывшего СССР, полностью ориентированных на обслуживание одного производства, требуют вовлечения в эксплуатацию новых участков месторождения с более сложными горно-геологическими условиями.

Месторождение приурочено к апикальной части Жаман-Айбатской горст-антиклинали субширотного простирания. Оруденение размещено в пределах крупной линзы сероцветных пород карбона (23×1,5 км) и представлено пластообразными телами, залегающими на 10 уровнях (горизонтах). Рудная минерализация (медная, комплексная, свинцово-цинковая) локализуется преимущественно в прослоях серых песчаников и конгломератов, весьма редко – в тонкозернистых песчаниках и алевропесчаниках. На месторождении выделено 35 балансовых рудных тел, из них 4 крупных и 11 средних. Мощность рудных тел варьируется в диапазоне от 0,5 до 17,5 м. Залегание в основном пологое и контролируется напластованием вмещающих горных пород. Основное промышленное оруденение (89,5 % балансовых запасов медных и 100 % комплексных руд) приурочено к межформационным конгломератам раймундовского рудоносного горизонта 4–I, расположенным на границе жезказганской и таскудукской свит. На протяжении 14 км рудные тела горизонта 4–I плавно, без разрывов погружаются с 380 м на востоке до 680 м на западе и до 810 м на севере и северо-западе [1, 2].

Горные работы на руднике «Жомарт» ведутся буровзрывным способом с применением панельно-столбовой системы разработки. По проекту [3] отработка месторождения предусматривается в две стадии: I стадия – отработка камерных запасов панельно-столбовой системой под защитой барьерных целиков от центра к флангам рудной залежи; II стадия – погашение пустот и выемка целиков в отступающем порядке. Приняты следующие параметры системы разработки:

- ширина барьерных целиков 40 м;
- расстояние между осями барьерных целиков 125 м;
- сетка расположения междукамерных целиков 19×19 м;
- пролет камеры 9 м.

Коэффициент крепости руд по шкале М.М. Протодяконова, определенный методом дробления проб, имеет значения от 6,1 до 13,3 (среднее 8,9). Породы кровли по устойчивости относятся ко II группе [3].

Вовлечение в разработку новых участков месторождения Жаман-Айбат характеризуется увеличением глубины ведения горных работ и, как следствие, повышением сложности горно-геологических условий. Поэтому с целью уточнения параметров применяемой системы разработки на руднике «Жомарт» были выполнены исследования по оценке напряженно-деформированного состояния пород нетронутого массива.

Натурные измерения напряжений производились методом шелевой разгрузки на границе проектируемых к отработке панелей 64 и 65 в трех подготовительных выработках, пройденных под различными углами друг к другу. План горных выработок и места расположения азгрозочных щелей показаны на рис. 1.

В структурном отношении породный массив на рассматриваемом участке характеризуется значительной нарушенностью. В массиве песчаника прослеживается несколько систем трещин.

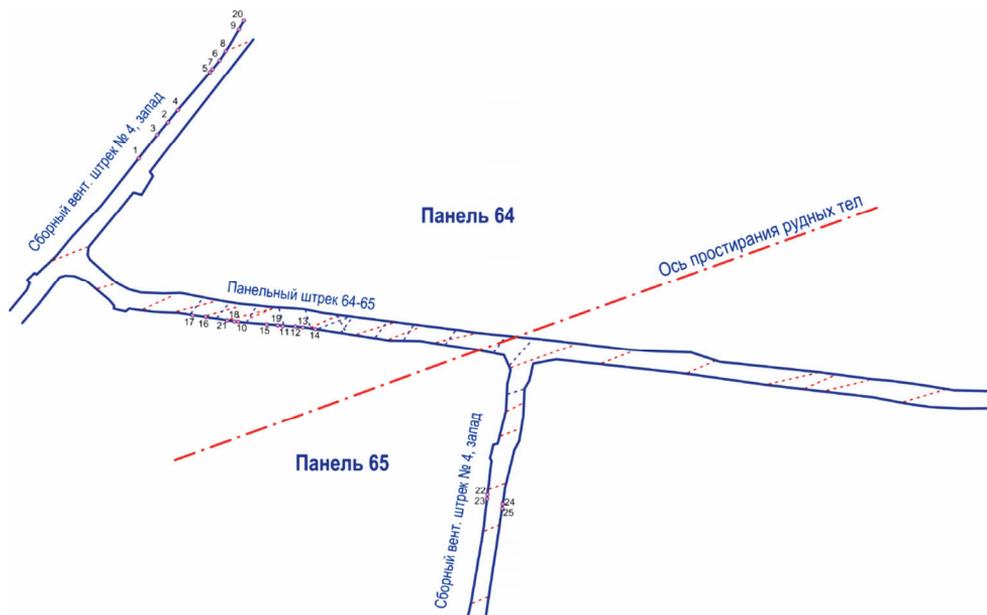


Рис. 1. Выкопировка из плана горных работ: 20 – номер и местоположение разгрузочной щели; --- – межпластовые щели; - - - - - внутрипластовые щели



Рис. 2. Общий вид трещиноватости массива песчаника

Первая система связана с наличием межпластовых открытых трещин субвертикальной ориентации (см. рис. 1; 2). Расстояние между данными трещинами составляет 5–30 м, ширина раскрытия – 1–30 мм. Ориентация межпластовых трещин в плане совпадает

с плоскостью простирания рудных тел (см. рис. 1).

Вторая система связана с наличием внутрипластовых трещин меньшего размера, которые имеют также субвертикальную ориентацию. Ширина раскрытия трещин составляет, как правило, 1–5 мм.

Результаты испытаний механических свойств песчаника

В рамках параметрического обеспечения расчетов напряженно-деформированного состояния массива месторождения Жаман-Айбат было выполнено определение прочностных и деформационных свойств горных пород по результатам испытаний на одноосное сжатие. С этой целью на руднике «Жомарт» в местах проведения экспериментальных исследований (см. рис. 1) производился отбор проб с использованием установки алмазного бурения Hilti DD 130 (рис. 3). На каждом участке выбуривалось по 5–10 образцов керна диаметром 46 мм (рис. 4).



Рис. 3. Отбор проб установкой алмазного бурения



Рис. 4. Вид образца серого песчаника

Испытания образцов на одноосное сжатие проводились в соответствии с ГОСТами¹ на универсальном сервогидравлическом прессе «MTS-815», который способен развивать предельное усилие до 1500 кН, обеспечивая жесткий режим нагружения скальных пород. По результатам испытаний строились диаграммы деформирования (рис. 5), по которым определялся комплекс прочностных и деформационных параметров согласно методике [6]. В табл. 1 представлены результаты определения механических свойств серого песчаника: $\sigma_{сж}$ – предел прочности на одноосное сжатие; $\epsilon_{пр}$ – относительная продольная деформация, соответствующая пределу прочности (разрушающая деформация); D_y – модуль деформации; E – модуль упругости, определенный по разгрузочной ветви диаграммы деформирования.

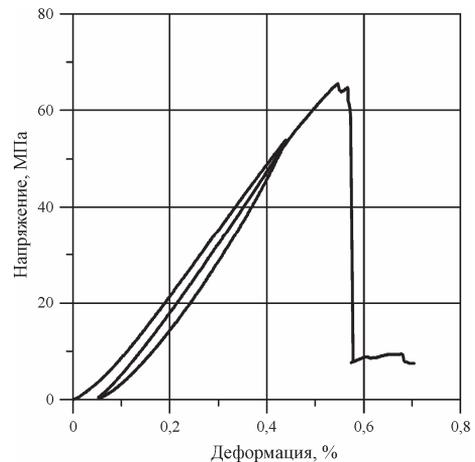


Рис. 5. Характерная диаграмма деформирования песчаника

¹ ГОСТ 21153.2–84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. М., 1985. 10 с.; ГОСТ 28985–91. Породы горные. Методы определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. М., 1991. 19 с.

Т а б л и ц а 1
Средние значения механических свойств серого песчаника по результатам испытаний образцов на одноосное сжатие

Номер участка	$\sigma_{сж}$, МПа	$\epsilon_{пр}$, %	D_y , ГПа	E , ГПа
1	129,8	0,7	22,9	21,7
2	91,6	0,7	18,9	20,1
3	109,4	0,7	19,2	20,0
4	75,1	0,6	16,1	15,3

Экспериментами установлено, что предел прочности образцов песчаника на сжатие варьируется в диапазоне от 28,8 от 169,5 МПа и составляет в среднем 96,2 МПа. Анализ диаграмм деформирования показал, что серый песчаник имеет хрупкий характер разрушения. Доля упругих деформаций составляет 73–86 % от разрушающих. Деформирование при нагрузке и разгрузке образцов идет практически по одной кривой.

Среднее значение модуля упругости составляет 19,3 ГПа, а модуля деформации – 18,7 ГПа.

Методика и результаты определения напряжений в натуральных условиях

Измерение напряжений проводилось методом щелевой разгрузки в стенках одиночных подготовительных выработок, находящихся вне зоны влияния очистных работ (см. рис. 1). Достоинствами этого метода являются: хорошее методическое обоснование; простота практической реализации; большая база измерений, обеспечивающая высокую достоверность результатов [5–7].

При реализации метода щелевой разгрузки использовался следующий порядок работ [8, 9]. На стенке выработки устанавливались два репера и с помощью щелемера фиксировалось расстояние между ними ($b \approx 300$ мм) (рис. 6). Затем бензорезом Stihl GS 461, оснащенный цепью с алмазными напайками, пропиливалась прямоугольная щель между ре-

перами и измерялось их смещение в результате частичной разгрузки стенки выработки (рис. 7) [10, 11].

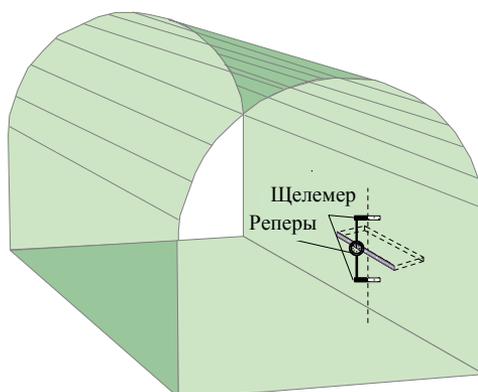


Рис. 6. Схема измерения методом щелевой разгрузки



Рис. 7. Пропиливание цепным бензорезом разгрузочной щели в массиве песчаника

Компонента напряжений, перпендикулярная плоскости щели, определяется в соответствии с выражением [12]:

$$\sigma_{\perp} = \frac{E \cdot \Delta}{k \cdot b},$$

где E – модуль упругости массива; Δ – смещение между реперами при разгрузке; k – безразмерный коэффициент, характеризующий степень разгрузки массива горных пород на данной базе измерений; b – расстояние между реперами (база). Коэффициент разгрузки рассчитывается по формуле [13]

$$k = \frac{3,16}{b} \cdot \frac{2al}{a+l} (1 + 0,414v - 0,398v^2) \times$$

$$\times \exp\left(-0,835 \frac{a+l}{2al} \cdot \frac{b-h}{2}\right),$$

где $2a$ – длина щели; l – глубина щели; h – толщина щели; v – коэффициент Пуассона.

На всех экспериментальных участках измерения выполнялись в вертикальном и горизонтальном направлениях. В каждом направлении создавалось по 3–5 щелей для обеспечения необходимой достоверности результатов. Частные результаты измерений напряжений на контуре подготовительных выработок представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты определения напряжений методом щелевой разгрузки

Номер замера	Ориентация щели	Модуль упругости, ГПа	Расстояние между реперами до разгрузки, мм	Расстояние между реперами после разгрузки, мм	Деформация разгрузки, мм	Напряжение, МПа
<i>Замерная станция № 1</i>						
1	Вертик.	21,7	5,050	5,16	0,110	3,3
2	Вертик.	20,1	7,773	8,393	0,620	17,2
3	Вертик.	20,5	6,803	7,000	0,197	10,9
4	Вертик.	20,5	1,000	1,560	0,560	30,8
5	Вертик.	20,5	3,540	3,710	0,170	9,4
6	Вертик.	20,5	6,153	6,260	0,107	5,9
7	Гориз.	20,0	3,580	4,023	0,443	23,8
8	Гориз.	20,0	5,383	5,600	0,217	11,7
9	Гориз.	20,0	7,630	7,920	0,290	15,6
20	Гориз.	20,0	8,710	9,240	0,530	28,5
<i>Замерная станция № 2</i>						
10	Вертик.	20,0	2,320	2,637	0,317	17,0
11	Вертик.	20,0	9,810	9,777	-0,033	-1,8
12	Вертик.	20,0	0,877	0,930	0,053	2,9
13	Вертик.	20,0	1,537	1,730	0,193	10,4
14	Гориз.	20,0	8,630	8,630	0	0
15	Вертик.	20,0	1,327	1,603	0,276	14,8
16	Гориз.	20,0	8,360	8,497	0,137	7,4
17	Вертик.	20,0	0,857	0,467	-0,390	-21,0
18	Гориз.	20,0	1,680	1,920	0,240	12,9
19	Гориз.	20,0	1,31	1,447	0,137	7,4
21	Вертик.	20,0	9,133	9,14	0,007	0,4
<i>Замерная станция № 3</i>						
22	Гориз.	15,3	0,010	0,240	0,230	9,4
23	Вертик.	15,3	0,500	0,787	0,287	11,8
24	Гориз.	15,3	1,170	1,550	0,380	15,6
25	Вертик.	15,3	1,510	1,920	0,410	16,9

По данным экспериментальных исследований установлена значительная вариация напряжений на контуре выработок. Так, вертикальные напряжения на трех экспериментальных участках варьируются в диапазоне от $-21,0$ до $28,5$ МПа. Горизонтальные напряжения изменяются в диапазоне от $-1,8$ до $30,8$ МПа. Основным фактором такого разброса данных, по-видимому, является наличие нескольких систем трещин и, соответственно, блочное строение скального массива. Наиболее разгруженной является стенка панельного штрека 64–65, что обусловлено влиянием межпластовых трещин, секущих выработку под острым углом (см. рис. 1, 2). Направление простирания данных трещин фактически совпадает с направлением простирания рудных тел.

При расчете средних напряжений (табл. 3) на замерной станции № 2 были исключены частные значения по разгрузочным щелям № 11, 14, 17 и 21, где были зафиксированы либо отрицательные значения напряжений, либо значения, близкие к нулю. Данные замерные точки приурочены к локальным участкам разгрузки приконтурного массива и, таким образом, не несут информации о напряжениях, действующих в нетронутом массиве.

Т а б л и ц а 3

Средние значения напряжений на контуре подготовительных выработок

Номер экспериментального участка	Вертикальные напряжения, МПа	Горизонтальные напряжения, МПа
I	19,9	12,9
II	9,2	11,3
III	12,5	14,3

Уровень вертикальных напряжений, создаваемый весом толщи вышележащих пород, при $\gamma = 2,7$ т/м³ и глубине выработок 650 м на экспериментальном участке составляет около 17,5 МПа.

Методика и результаты расчета поля естественного напряженного состояния пород

Методика расчета напряжений в нетронутом массиве включает численное моделирование такого естественного напряженного состояния массива, которое обеспечивает расчетное напряжение на контуре выработки, соответствующее результатам натурных измерений на обнажениях. С этой целью методом конечных элементов решалась задача о напряженно-деформированном состоянии, формирующемся в окрестности выработки под действием естественного поля напряжений, заданного весом вышележащих пород [13].

Схема основных направлений, используемых при расчете квазиглавных напряжений, действующих в горизонтальной плоскости, приведена на рис. 8.

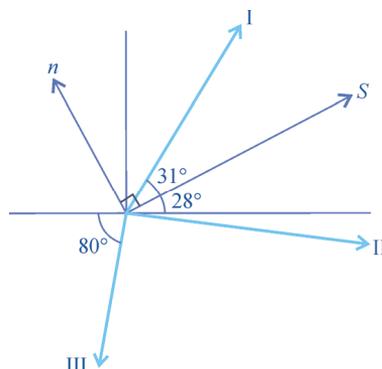


Рис. 8. Схема к расчету значений и направлений действия главных горизонтальных напряжений на замерных станциях: I, II, III – направления действия горизонтальных напряжений на соответствующих экспериментальных участках, совпадающие с направлением подготовительных выработок; S – направление простирания рудных тел; n – направление, перпендикулярное к оси простирания рудных тел

Для определения направлений действия главных горизонтальных напряжений решалась плоская задача, в которой учитывались значения горизонтальных напряжений, действующих вдоль оси трех подготовительных выработок, и вертикальной компоненты напряжений.

Направление I.

Напряжения на контуре: $\sigma_{гор} = 12,9$ МПа, $\sigma_{верт} = 19,9$ МПа.

Модуль упругости $E = 20,5$ ГПа, $\nu = 0,25$.

Горизонтальная деформация на контуре в направлении I по закону Гука определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \epsilon_I &= \frac{1}{E}(\sigma_{гор} - \nu\sigma_{верт}) = \\ &= \frac{1}{20,5 \cdot 10^3}(12,9 - 0,25 \cdot 19,9) = \\ &= 0,387 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Угол между направлением I и направлением S составляет $\alpha_I = -31^\circ$.

Направление II.

Напряжения на контуре: $\sigma_{гор} = 11,3$ МПа, $\sigma_{верт} = 9,23$ МПа.

Модуль упругости $E = 20,0$ ГПа, $\nu = 0,25$.

Горизонтальная деформация на контуре в направлении II

$$\begin{aligned} \epsilon_{II} &= \frac{1}{E}(\sigma_{гор} - \nu\sigma_{верт}) = \\ &= \frac{1}{20,0 \cdot 10^3}(11,3 - 0,25 \cdot 9,23) = \\ &= 0,45 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Угол между направлением II и направлением S составляет $\alpha_{II} = 28^\circ$.

Направление III.

Напряжения на контуре: $\sigma_{гор} = 14,35$ МПа, $\sigma_{верт} = 12,5$ МПа.

Модуль упругости $E = 15,3$ ГПа, $\nu = 0,25$.

Горизонтальная деформация на контуре в направлении III

$$\begin{aligned} \epsilon_{III} &= \frac{1}{E}(\sigma_{гор} - \nu\sigma_{верт}) = \\ &= \frac{1}{15,3 \cdot 10^3}(14,35 - 0,25 \cdot 12,5) = \\ &= 0,734 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

Угол между направлением III и направлением S составляет $\alpha_{III} = 120^\circ$.

Поле деформаций в плоскости S-n определяется компонентами деформаций ϵ_{ss} , ϵ_{nn} , ϵ_{sn} , тогда деформации на контуре в направлениях I, II, III запишутся следующим образом:

$$\begin{aligned} \epsilon_I &= \epsilon_{ss} \cos^2 \alpha_I + \epsilon_{nn} \sin^2 \alpha_I - \\ &\quad - 2\epsilon_{sn} \sin \alpha_I \cos \alpha_I, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{II} &= \epsilon_{ss} \cos^2 \alpha_{II} + \epsilon_{nn} \sin^2 \alpha_{II} - \\ &\quad - 2\epsilon_{sn} \sin \alpha_{II} \cos \alpha_{II}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{III} &= \epsilon_{ss} \cos^2 \alpha_{III} + \epsilon_{nn} \sin^2 \alpha_{III} - \\ &\quad - 2\epsilon_{sn} \sin \alpha_{III} \cos \alpha_{III}. \end{aligned}$$

После подстановки в последнее выражение расчетных значений ϵ_I , ϵ_{II} , ϵ_{III} и α_I , α_{II} , α_{III} система уравнений относительно ϵ_{ss} , ϵ_{nn} , ϵ_{sn} примет следующий вид:

$$\begin{aligned} 0,387 \cdot 10^{-3} &= 0,7347\epsilon_{ss} + \\ &\quad + 0,2652\epsilon_{nn} + 0,8829\epsilon_{sn}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,450 \cdot 10^{-3} &= 0,7796\epsilon_{ss} + \\ &\quad + 0,2204\epsilon_{nn} - 0,8290\epsilon_{sn}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,734 \cdot 10^{-3} &= 0,2500\epsilon_{ss} + 0,7500\epsilon_{nn} + \\ &\quad + 0,8660\epsilon_{sn}, \end{aligned}$$

решением системы будут

$$\begin{aligned} \epsilon_{ss} &= 0,2466 \cdot 10^{-3}; \epsilon_{nn} = 0,9606 \cdot 10^{-3}; \\ \epsilon_{sn} &= -5,5507 \cdot 10^{-5}. \end{aligned}$$

Значения главных деформаций определяются из соотношения

$$\epsilon_{1,2} = \frac{1}{2} \left[(\epsilon_{ss} + \epsilon_{nn}) \pm \sqrt{(\epsilon_{ss} - \epsilon_{nn})^2 + 4\epsilon_{sn}^2} \right],$$

а значение угла ϕ между направлением ϵ_1 и осью S определится из следующей формулы:

$$\phi = \arctg \left(\frac{\epsilon_{sn}}{\epsilon_1 - \epsilon_{nn}} \right),$$

$$\epsilon_1 = 0,9648 \cdot 10^{-3},$$

$$\epsilon_2 = 0,2423 \cdot 10^{-3}, \phi \approx -86^\circ.$$

Значение вертикальной компоненты главных деформаций ($\epsilon_3 = \epsilon_{yy}$) найдем из закона Гука, определяющего вертикальное напряжение через главные деформации:

$$\begin{aligned}\sigma_{yy} = \sigma_3 &= D_{31}\epsilon_1 + D_{32}\epsilon_2 + D_{33}\epsilon_3 = \\ &= \gamma H = 17,5 \text{ МПа},\end{aligned}$$

где компоненты матрицы упругости определяются согласно закону Гука следующими соотношениями:

$$\begin{aligned}D_{11} = D_{22} = D_{33} &= \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}; \\ D_{12} = D_{21} = D_{31} = D_{23} = D_{32} = D_{13} &= \\ &= \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}.\end{aligned}$$

Принимая $E = 20,0$ ГПа, $\nu = 0,25$, получаем

$$D_{11} = D_{22} = D_{33} = 24 \text{ ГПа},$$

$$D_{12} = D_{21} = D_{31} = D_{23} = D_{32} = D_{13} = 8 \text{ ГПа}.$$

Тогда

$$\begin{aligned}\sigma_{yy} = \sigma_3 &= 8 \cdot 10^3 \epsilon_1 + 8 \cdot 10^3 \epsilon_2 + 24 \cdot 10^3 \epsilon_3 = \\ &= \gamma H = 17,5 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{yy} = \sigma_3 &= 8 \cdot 0,9648 + 8 \cdot 0,2423 + \\ &+ 24 \cdot 10^3 \epsilon_3 = \gamma H = 17,5 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

$$\text{Откуда } \epsilon_3 = 0,3268 \cdot 10^{-3}.$$

Главные горизонтальные напряжения

$$\sigma_1 = D_{11}\epsilon_1 + D_{12}\epsilon_2 + D_{13}\epsilon_3 = 27,7 \text{ МПа},$$

$$\sigma_2 = D_{21}\epsilon_1 + D_{22}\epsilon_2 + D_{23}\epsilon_3 = 16,2 \text{ МПа}.$$

Коэффициенты бокового распора в направлении действия главных горизонтальных напряжений

$$\lambda_1 = \frac{\sigma_1}{\gamma H} = 27,7 / 17,5 = 1,58,$$

$$\lambda_2 = \frac{\sigma_2}{\gamma H} = 16,2 / 17,5 = 0,92.$$

Направления действия главных горизонтальных напряжений показаны на рис. 9.

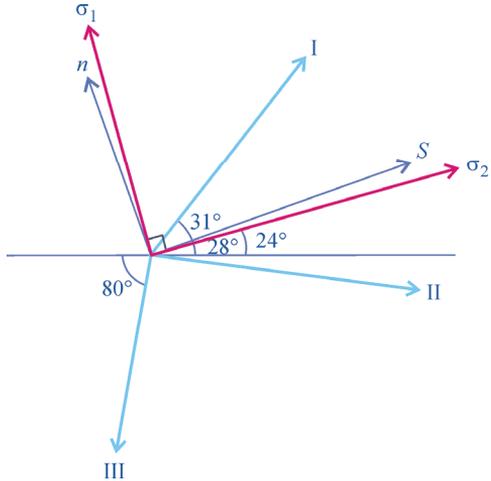


Рис. 9. Направления действия главных горизонтальных напряжений

Таким образом, по результатам натурных экспериментов и численного моделирования напряженно-деформированного состояния нетронутого массива рудника «Жомарт» установлено, что максимальные горизонтальные напряжения σ_1 составляют 27,7 МПа и действуют в направлении, перпендикулярном оси простирания рудных тел. Соответственно, минимальные главные горизонтальные напряжения σ_2 величиной 16,2 МПа действуют вдоль оси простирания рудных тел.

Необходимо отметить, что точнее можно назвать данные напряжения квазиглавными напряжениями, так как при проведении измерений не были определены все девять компонент тензора напряжений.

Заключение

Обобщая результаты исследований по оценке естественного поля напряжений на месторождении Жаман-Айбат, можно сделать следующие выводы:

1. По данным лабораторных испытаний установлено, что предел прочности образцов серого песчаника на сжатие варьируется в диапазоне от 28,8 до 169,5 МПа и составляет в среднем 96,2 МПа. Модули упругости и модули деформации фактически равны между собой. Среднее значение модуля упругости составляет 19,3 ГПа, модуля деформации – 18,7 ГПа.

2. Экспериментальные измерения напряжений, выполненные методом щелевой разгрузки, показали, что вертикальные напряжения варьируются в диапазоне от –21,0 до 28,5 МПа, а горизонтальные изменяются в диапазоне от –1,8 до 30,8 МПа. Основным фактором такого

разброса данных, по-видимому, является наличие нескольких систем трещин и, соответственно, блочное строение скального массива.

3. По результатам численного моделирования установлено, что на исследуемом участке нетронутого массива рудника «Жомарт» максимальные горизонтальные напряжения составляют 27,7 МПа и действуют в направлении, перпендикулярном оси простирания рудных тел. Соответственно, минимальные главные горизонтальные напряжения величиной 16,2 МПа действуют вдоль оси простирания рудных тел. Вертикальные напряжения, создаваемые весом вышележащих пород, составляют 17,5 МПа.

Список литературы

1. Отчет о результатах разведки месторождения Жаман-Айбат с подсчетом запасов по состоянию на 15.03.1999 / Фонды ОАО «Жезказгангеология». – Жезказган, 1999. – № 1.
2. Горно-геологические условия и горно-технические особенности разработки месторождения Жаман-Айбат: отчет о НИР / Фонды ОАО «Жезказгангеология». – Караганды, 1990.
3. Вскрытие, подготовка и отработка запасов I очереди месторождения Жаман-Айбат: проект / Фонды Жезказган. проект. ин-та. – Жезказган, 2008.
4. Барях А.А., Асанов В.А., Паньков И.Л. Физико-механические свойства соляных пород Верхнекамского калийного месторождения: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 199 с.
5. Mayer A., Bernede J. Mesures des contraintes dans le terrain en place en roches tenders ou sensibles a l'humidite // Proc. 1st Cong. Int. Soc. Rock Mech. (ISRM). – Lisbon: Lab. Nac. de Eng. Civil, 1966. – Vol. 2. – P. 41–44.
6. Mayer A., Habib P., Marchand R. Underground rock pressure testing // Proc. Int. Conf. Rock Pressure and Support in the Workings. – Liege, 1951. – P. 217–221.
7. Merrill R.H. In-situ determination of stress by relief techniques // Proc. Int. Conf. on State of Stress in the Earth's Crust. Santa Monica. – New York: Elsevier, 1964. – P. 343–369.
8. Panek L.A., Stock J.A. Development of a rock stress monitoring station based on the flat slot method of measurement // US Bureau of Mines Report of Investigation RI 6537. – 1964. – 320 p.
9. Tincelin E. Research on rock pressure in the Iron Mines of Lorraine // Proc. Int. Conf. Rock Pressure and Support in the Workings. – Liege, 1951. – P. 158–175.
10. Исследование напряженного состояния соляного массива методом щелевой разгрузки / В.А. Асанов, А.А. Барях, Н.А. Еремينا, И.Н. Дудырев, В.Н. Токсаров // Управление НДС массива горных пород при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых: тез. докл. всесоюз. конф. – Екатеринбург: Новосибирск, 1996. – С. 4–5.
11. Влох Н.П., Зубков А.В., Фекистов Ю.Г. Совершенствование метода щелевой разгрузки // Диагностика напряженного состояния породных массивов. – Новосибирск: Изд-во Сиб. отд-ния АН СССР, 1980. – С. 30–35.
12. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. – М.: Недра, 1994. – 207 с.
13. Барях А.А., Еремينا Н.А., Асанов В.А. Интерпретация результатов щелевой разгрузки // Проблемы безопасности при эксплуатации месторождений полезных ископаемых в зонах градопромышленных агломераций / Горн. ин-т Урал. отд-ния РАН. – Екатеринбург, 1997. – С. 17–22.

References

1. Otchet o rezul'tatakh razvedki mestorozhdeniia Zhaman-Aibat s podschetom zapasov po sostoianiiu na 15.03.1999 [Report on exploration of Zhaman-Aibat field with reserves calculation as of 15.03.1999]. Zhezkazgan: OAO "Zhezkazgangeologiya", 1999, no. 1.
2. Gorno-geologicheskie uslovia i gorno-tekhnicheskie osobennosti razrabotki mestorozhdeniia Zhaman-Aibat: otchet o NIR [Mining and geological conditions and mining and technical specificity of Zhaman-Aibat field development: research report]. Karagandy: OAO "Zhezkazgangeologiya", 1990.
3. Vskrytie, podgotovka i otrabotka zapasov I ocheredi mestorozhdeniia Zhaman-Aibat: projekt [Exposing, preparation and development of the primary reserves at Zhaman-Aibat field: draft]. Zhezkazgan: Zhezkazganskii projektnyi institut, 2008.
4. Bariakh A.A., Asanov V.A., Pan'kov I.L. Fiziko-mekhanicheskie svoystva solianikh porod Verkhnekamskogo kaliynogo mestorozhdeniia [Physical-mechanical properties of saliferous rocks of the Verkhnekamskoe potassium field]. Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2008. 199 c.
5. Mayer A., Bernede J. Mesures des contraintes dans le terrain en place en roches tenders ou sensibles a l'humidite. Proc. 1st Cong. Int. Soc. Rock Mech. (ISRM). Lisbon: Lab. Nac. de Eng. Civil, 1966, vol. 2, pp. 41–44.
6. Mayer A., Habib P., Marchand R. Underground rock pressure testing. Proc. Int. Conf. Rock Pressure and Support in the Workings. Liege, 1951, pp. 217–221.
7. Merrill R.H. In-situ determination of stress by relief techniques. Proc. Int. Conf. on State of Stress in the Earth's Crust. Santa Monica. New York: Elsevier, 1964, pp. 343–369.
8. Panek L.A., Stock J.A. Development of a rock stress monitoring station based on the flat slot method of measurement. US Bureau of Mines Report of Investigation RI 6537. 1964. 320 p.
9. Tincelin E. Research on rock pressure in the Iron Mines of Lorraine. Proc. Int. Conf. Rock Pressure and Support in the Workings. Liege, 1951, pp. 158–175.

10. Asanov V.A., Bariakh A.A., Eremina N.A., Dudyrev I.N., Toksarov V.N. Issledovanie napriazhennogo sostoianiia solianogo massiva metodom shchelevoi razgruzki [Research into a stressed state of salt massif by fissure relief method]. *Tezisy dokladov vsesoiuznoi konferentsii "Upravlenie NDS massiva gornyykh porod pri otkrytoi i podzemnoi razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh"*. Ekaterinburg, Novosibirsk, 1996, pp. 4–5.
11. Vlokh N.P., Zubkov A.V., Feklistov Iu.G. Sovershenstvovanie metoda shchelevoi razgruzki [Improving the method of fissure relief]. *Diagnostika napriazhennogo sostoianiia porodnykh massivov*. Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie Akademii nauk SSSR, 1980, pp. 30–35.
12. Vlokh N.P. Upravlenie gornym davleniem na podzemnykh rudnikakh [Rock pressure management in underground mines]. Moscow: Nedra, 1994. 207 p.
13. Bariakh A.A., Eremina N.A., Asanov V.A. Interpretatsiia rezultatov shchelevoi razgruzki [Interpretation of fissure relief results]. *Problemy bezopasnosti pri ekspluatatsii mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh v zonakh gradopromyshlennykh aglomeratsii*. Ekaterinburg: Gornyi institut Ural'skogo otdeleniia Rossiiskoi akademii nauk, 1997, pp. 17–22.

Об авторах

Асанов Владимир Андреевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией физических процессов освоения георесурсов Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: ava@mi-perm.ru).

Токсаров Валерий Николаевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории физических процессов освоения георесурсов Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: toksarov@mi-perm.ru).

Самоделькина Надежда Анатольевна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории механики горных пород Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а).

Бельтюков Николай Леонидович (Пермь, Россия) – инженер лаборатории физических процессов освоения георесурсов Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а; e-mail: bnl@mi-perm.ru).

Ударцев Артем Александрович (Пермь, Россия) – аспирант, инженер лаборатории физических процессов освоения георесурсов Горного института Уральского отделения Российской академии наук (614007, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а).

About the authors

Vladimir A. Asanov (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory of Physical processes of Georesources Development, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614000, Perm, Sibirskaya st., 78a; ava@mi-perm.ru).

Valerii N. Toksarov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Physical processes of Georesources Development, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614000, Perm, Sibirskaya st., 78a; e-mail: toksarov@mi-perm.ru).

Nadezhda A. Samodelkina (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Rock Mechanics, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614000, Perm, Sibirskaya st., 78a).

Nikolai L. Bel'tiukov (Perm, Russian Federation) – Engineer, Laboratory of Physical processes of Georesources Development, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614000, Perm, Sibirskaya st., 78a; e-mail: bnl@mi-perm.ru).

Artem A. Udartsev (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Engineer, Laboratory of Physical processes of Georesources Development, Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (614000, Perm, Sibirskaya st., 78a).

Получено 01.08.2014

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Оценка напряженно-деформированного состояния нетронутого массива на месторождении Жаман-Айбат / В.А. Асанов, В.Н. Токсаров, Н.А. Самоделькина, Н.Л. Бельтюков, А.А. Ударцев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2014. – № 12. – С. 56–66. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.7.

Please cite this article in English as:

Asanov V.A., Toksarov V.N., Samodelkina N.A., Bel'tiukov N.L., Udartsev A.A. Evaluation of stressed-deformed state of virgin rock at zhaman-aiobat deposit. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2014, no. 12, pp. 56–66. DOI: 10.15593/2224-9923/2014.12.7.