

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНИКА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЖАМАН-АЙБАТ

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

Аннотация: С целью совершенствования параметров системы разработки на руднике Жомарт проведены лабораторные испытания механических свойств песчаника, а также натурные измерения модуля деформации пород в барьерных и междукамерных целиках с использованием скважинного гидродомкрата. Установлено, что средний модуль деформации песчаника в барьерных целиках составляет порядка 5,9 ГПа, в междукамерных целиках – 6,2 ГПа. Средний модуль деформации, полученный в лабораторных условиях, примерно в 3 раза превышает соответствующий показатель, определенный в натуральных условиях.

Ключевые слова: модуль деформации, скважинный гидродомкрат, деформационные свойства, барьерный целик, междукамерный целик.

1. Введение

Месторождение Жаман-Айбат находится в пределах обширной равнины с мелкохолмистым рельефом в 130 км к юго-востоку от города Жезказган. Месторождение относится к медно-полиметаллическому типу медистых песчаников. Глубина залегания рудных тел колеблется в пределах 380÷910 м, а их мощность изменяется от 0,50 до 18,30 м. Принятая система разработки – панельно-столбовая система с последующим погашением пустот и выемкой целиков.

С целью уточнения параметров применяемой системы разработки на руднике Жомарт выполнен комплекс лабораторных и натуральных испытаний механических свойств медистого песчаника.

В натуральных условиях проводились испытания модуля деформации с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана [1-3]. Деформационные свойства пород определялись согласно стандарту [4] в горизонтально пробуренных скважинах с шагом 0,3 м. Перечень экспериментального оборудования и методика проведения натуральных испытаний приведены в работе [5]. Проведение измерений заключалось в направленном нагружении стенок скважины гидродомкратом. При проведении замеров фиксировались величины деформаций скважины и давление в гидросистеме. По результатам испытаний строились диаграммы деформирования. Также программой испытаний было предусмотрено проведение лабораторных испытаний по определению механических свойств песчаника.

2. Результаты испытаний механических свойств серого песчаника в лабораторных условиях при одноосном нагружении

Места отбора керна показаны на рис. 1а. Всего было испытано 23 образца серого песчаника, отобранных из нетронутого массива. Лабораторные испытания проводились согласно действующим стандартам и методикам [6, 7]. Вид испытываемого образца цилиндрической формы и соответствующая ему диаграмма деформирования приведена на рис. 1б. Результаты экспериментов приведены в табл. 1 (пределы прочности при сжатии приведены с учетом коэффициента формы).

Таблица 1

Результаты лабораторных испытаний механических свойств серого песчаника

| № образца | Размер, мм | $\sigma_{сж.}$, МПа | $\epsilon_{пр.}$, % | D_y , ГПа | E , ГПа |
|-------------------------|------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|
| 1 | 92 × 46 | 135,3 | 0,47 | 27,6 | 28,6 |
| 3 | 46 × 46 | 124,4 | 0,98 | 18,2 | 14,8 |
| Среднее значение | | 129,9 | 0,73 | 22,9 | 21,7 |
| 1 | 35 × 35,5 | 84,6 | 1,72 | 9,9 | 7,4 |
| 2 | 35 × 35,5 | 95,0 | 1,55 | 13,4 | 7,9 |
| 3 | 70 × 35,5 | 55,9 | 0,28 | 16,9 | 25,3 |
| 4 | 70 × 35,5 | 98,7 | 0,34 | 24,5 | 24,9 |
| 5 | 70 × 35,5 | 164,5 | 0,55 | 25,7 | 26,3 |
| 6 | 91 × 46 | 85,1 | 0,39 | 19,9 | – |
| 7 | 94 × 46 | 51,9 | 0,36 | 16,5 | – |
| 8 | 92 × 46 | 132,4 | 0,45 | 26,2 | 28,9 |
| 9 | 91 × 46 | 56,3 | 0,27 | 16,9 | – |
| Среднее значение | | 91,6 | 0,66 | 18,9 | 20,1 |
| 1 | 46 × 46 | 65,0 | 0,82 | 10,5 | – |
| 2 | 46 × 46 | 132,7 | 1,19 | 18,3 | 17,0 |
| 3 | 92 × 46 | 33,3 | 0,21 | – | 20,6 |
| 4 | 92 × 46 | 165,3 | 0,72 | 25,3 | 21,66 |
| 5 | 92 × 46 | 90,7 | 0,52 | 17,4 | – |
| 7 | 92 × 46 | 169,5 | 0,72 | 24,5 | 20,9 |
| Среднее значение | | 109,4 | 0,70 | 19,2 | 20,0 |
| 1 | 46 × 46 | 89,2 | 0,87 | 12,0 | 13,0 |
| 2 | 46 × 46 | 108,3 | 0,87 | 17,9 | 19,8 |
| 3 | 47 × 46 | 74,3 | 0,80 | 13,5 | 13,1 |
| 4 | 92 × 46 | 74,7 | 0,28 | 21,8 | – |
| 5 | 92 × 46 | 28,8 | 0,06 | 15,2 | – |
| Среднее значение | | 75,1 | 0,58 | 16,1 | 15,3 |

Экспериментами установлено, что предел прочности ($\sigma_{сж.}$) образцов песчаника при сжатии варьируется в диапазоне от 28,8 от 169,5 МПа и составляет в среднем 101,5 МПа. Модули упругости (E) и модули деформации (D_y) образцов песчаника примерно равны между собой (среднее значение – 19,3 ГПа). Среднее значение разрушающей деформации ($\epsilon_{пр.}$) составляет 0,66%.

3. Результаты натуральных испытаний деформационных свойств пород в целиках

Измерения модуля деформации проводились на трех экспериментальных участках, расположенных в пределах панелей 53, 47 и 18. Экспериментальные измерения проводились в 9 горизонтальных скважинах длиной 4÷6 м, пробуренных в барьерных (БРЦ) и междукамерных (МКЦ) целиках. Общий вид боков (стенок) барьерных и междукамерных целиков на экспериментальных участках представлены, соответственно, на рис. 2 и 3. На рис. 4 показано местоположение экспериментального участка № 1.

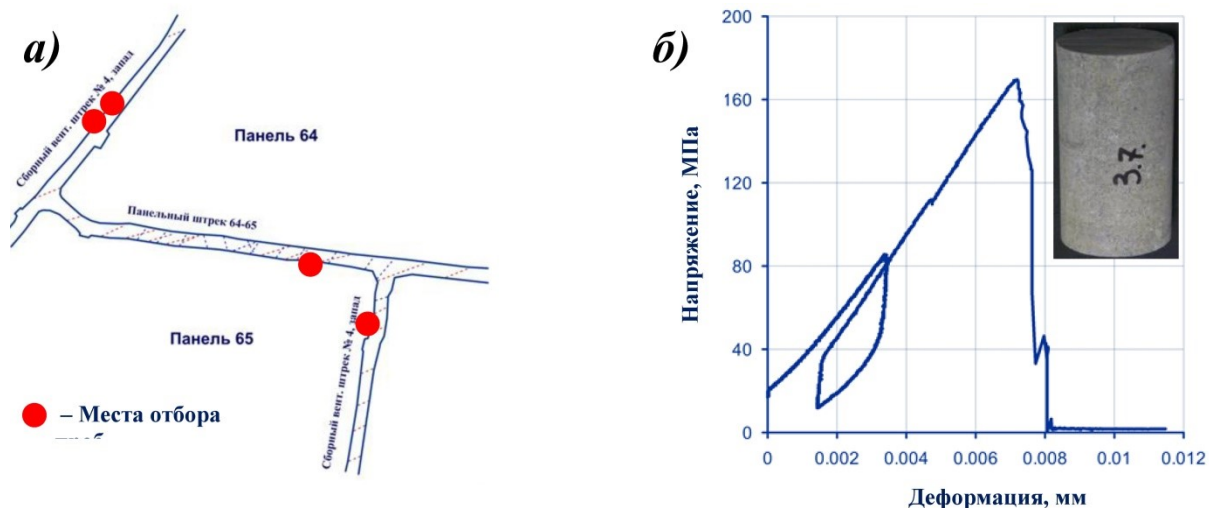


Рис. 1. Испытания механических свойств серого песчаника в лабораторных условиях: (а) место отбора проб; (б) испытуемый образец и соответствующая ему диаграмма деформирования

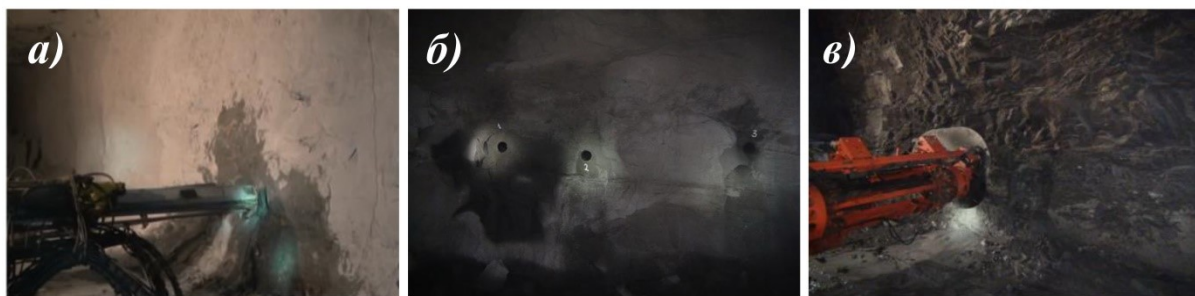


Рис. 2. Общий вид стенок барьерных целиков: (а) панель 53; (б) панель 47; (в) панель 18



Рис. 3. Общий вид стенок междукамерных целиков: (а) панель 53; (б) панель 47; (в) панель 18

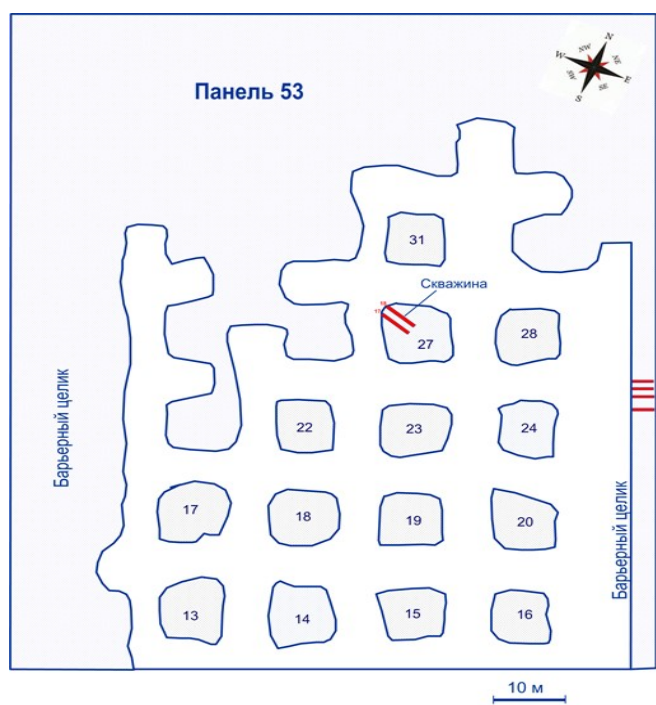


Рис. 4. Места расположения измерительных скважин на экспериментальном участке № 1 (53 панель)

Экспериментальный участок № 1

Измерения проводились в пределах панели 53. Испытательные скважины № 17 и 18 были пробурены в междукамерном целике 27.

Мощность рудного тела в пределах панели 53 колеблется от 1,40 до 2,90 м. Глубина залегания составляет 625÷630 м. Вкрапленное медное оруденение локализовано преимущественно в сероцветных песчаниках с прослоями межформационных конгломератов. В кровле рудного тела в основном залегают сероцветные и тонко- и мелкозернистые песчаники, конгломераты, реже зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты. В почве рудного тела в основном залегают красноцветные алевролиты и аргиллиты, конгломераты, реже серо-цветные песчаники, зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты.

При проектировании отработки запасов панели приняты следующие параметры системы разработки:

- расстояние между осями барьерных целиков – 125 м.
- ширина БРЦ – 40 м.
- сетка расположения междукамерных целиков – 19×19 м.
- размер МКЦ – 10×10 м при мощности отработки до 12 м.

Модуль деформации пород песчаника определялся в вертикальном направлении. Характерные зависимости изменения величины модуля деформации от глубины скважины представлены на рис. 5.

По результатам испытаний установлено, что по сечению целика наблюдается неравномерное изменение модуля деформации песчаника в пределах от 3,43 до 7,66 ГПа. Средняя величина модуля деформации составляет 5,73 ГПа.

Экспериментальный участок № 2

Натурные испытания деформационных свойств пород проводились в скважинах № 1 и 2, пробуренных в барьерном целике и в скважинах № 4-6, пробуренных в междукамерном целике 120 панели 47.

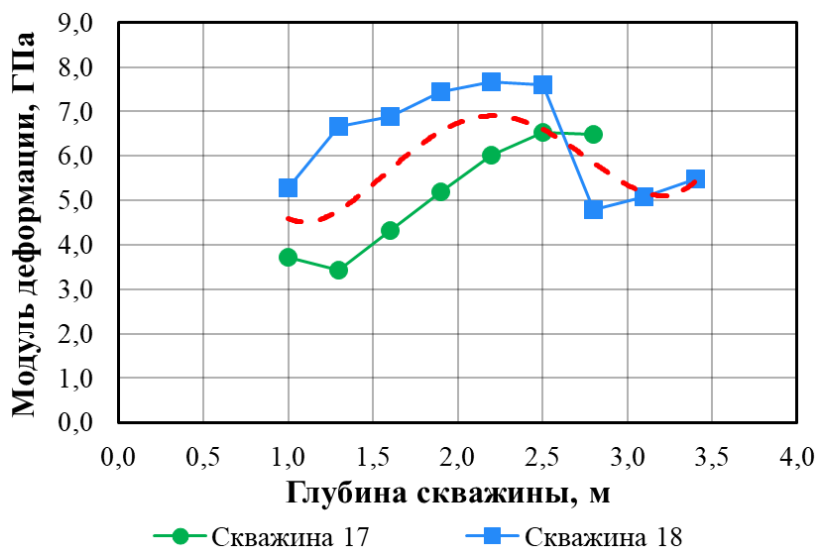


Рис. 5. Изменение величины модуля деформации по сечению междукамерного целика 27 (панель 53)

При проектировании отработки запасов панели 47 приняты следующие параметры системы разработки:

- расстояние между осями барьерных целиков – 128 м.
- ширина барьерных целиков – 40 м, через каждые 38 м пройдены прорезки.
- сетка расположения междукамерных целиков 19×19 м.
- размеры междукамерных целиков – 10×10 м.

Глубина разработки составляет 605÷610 м, мощность рудного тела колеблется от 0,7 до 13,2 м. В кровле рудной залежи залегают сероцветные тонко- и мелкозернистые песчаники, конгломераты. В почве залегают зеленовато-серые песчаники, аргиллиты, красноцветные и сероцветные песчаники, конгломераты.

Графики изменения величины модуля деформации пород от глубины скважины показаны на рис. 6 а и б.

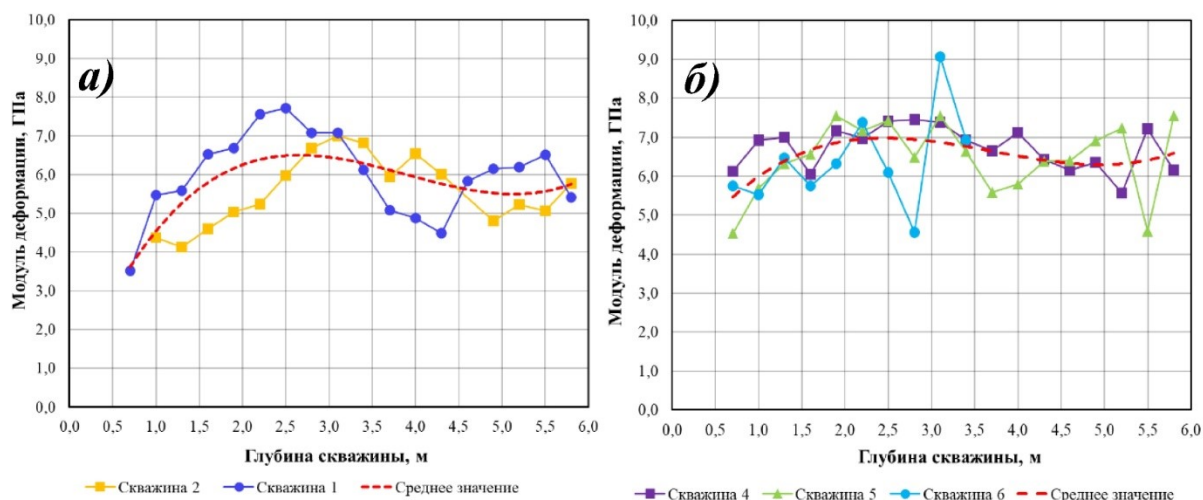


Рис. 6. Изменение величины модуля деформации (панель 47): (а) по сечению барьерного целика; (б) по сечению междукамерного целика 120

Установлено, что в барьерном целике (рис. 6а) наблюдаются пониженные значения модуля деформации – 3,5 ГПа на участке глубин до 1 м [8-11]. С увеличением глубины

отмечается относительно равномерное распределение модуля деформации в диапазоне 5,5÷6,5 ГПа. В междукамерном целике местами отмечается скачкообразный характер изменения модуля деформации с глубиной, что объясняется, по-видимому, блочным строением породного массива [12].

Экспериментальный участок № 3

В пределах панели 18 скважины № 7 и 8 были пробурены в барьерном целике. Глубина разработки -510÷-520 м, мощность рудного тела варьируется в диапазоне от 1,0 до 4,1 м. Параметры системы разработки аналогичны экспериментальному участку № 1. В кровле рудного тела залегают зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты, сероцветные тонко- и мелкозернистые песчаники, иногда с забалансовым оруденением. В почве рудного тела залегают серо-цветные тонко- и мелкозернистые песчаники, зеленовато-серые алевролиты и аргиллиты, красноцветные алевролиты. Графики изменения величины модуля деформации пород от глубины скважины представлены на рис. 7.

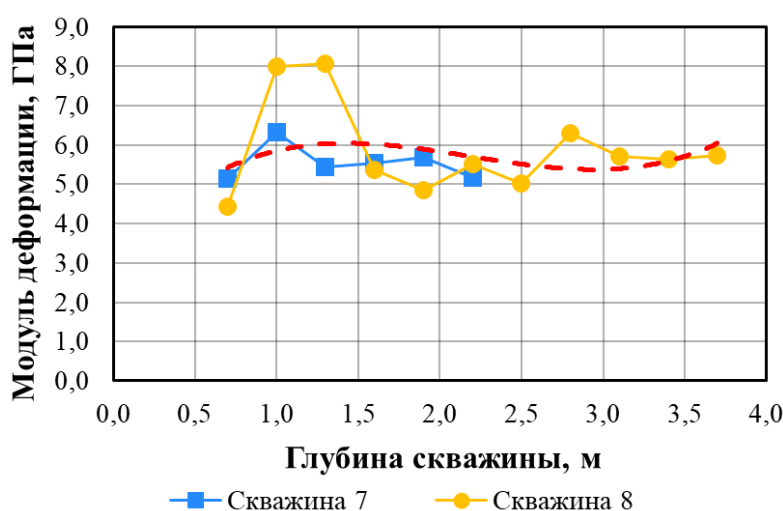


Рис. 7. Изменение величины модуля деформации по сечению барьерного целика (панель 18)

По результатам экспериментов наблюдается относительно равномерный характер распределения модуля деформации по сечению барьерного целика в диапазоне 5,5÷6,0 ГПа.

Средние значения модуля деформации пород, слагающих барьерные и междукамерные целики, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Средние значения модуля деформации пород на экспериментальных участках

| Местоположение участка | Глубина разработки, м | Средняя величина модуля деформации, ГПа | |
|------------------------|-----------------------|---|---------------------|
| | | Барьерный целик | Междукамерный целик |
| Панель 53 | 625 ÷ 630 | — | 5,7 |
| Панель 47 | 605 ÷ 610 | 5,9 | 6,6 |
| Панель 18 | 510 ÷ 520 | 5,8 | — |

Выявлено, что средние значения модуля деформации в барьерных (5,9 ГПа) и междукамерных целиках (6,2 ГПа) приблизительно в 3 раза меньше среднего модуля деформации образцов, отобранных из нетронутого породного массива (19,3 ГПа). Как

уже ранее сказано в работах [5, 13], данное различие объясняется как наличием масштабного эффекта, так и методическими особенностями экспериментальных исследований.

4. Выводы

По результатам экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

- установлено, что средний модуль деформации песчаника в барьерных целиках составляет порядка 5,9 ГПа, в междукамерных целиках – 6,2 ГПа;
- модуль деформации песчаника, определенный в лабораторных экспериментах примерно в 3 раза больше величины модуля деформации пород, полученного в натуральных условиях;
- результаты лабораторных и натуральных исследований могут быть использованы при математическом моделировании напряженно-деформированного состояния системы барьерных и междукамерных целиков, проводимого с целью совершенствования параметров системы разработки.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР: 124020500031-4)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Токсаров В.Н., Поспелов Д.А., Бельтюков Н.Л., Ударцев А.А. Определение модуля деформации пород Сарбайского железорудного карьера с использованием скважинного гидродомкрата // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 5. – С. 32-42. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_5_0_32.
2. Heuze F.E. Suggested method for estimating the in-Situ modulus of deformation of rock using the NX-Borehole Jack // Geotechnical Testing Journal. – 1984. – Vol. 7, № 4, Dec. – P. 205-210.
3. Meyer T.O., McVey J.R. NX borehole jack modulus determinations in homogeneous, isotropic, elastic materials // US Bur Mines Rep Invest. – 1974. – № 7855. – 50 p.
4. ASTM D4971-08 Standard Test Method for Determining In Situ Modulus of Deformation of Rock Using Diametrically Loaded 76-mm (3-in.) Borehole Jack. – 2008. – 7 p.
5. Поспелов Д.А., Токсаров В.Н., Бельтюков Н.Л. Методика оценки модуля деформации пород в приконтурном массиве с использованием скважинного гидродомкрата // Горное эхо. – 2022. – № 1 (86). – С. 51-57. – DOI: 10.7242/echo.2022.1.7.
6. ГОСТ 21153.2-84. Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии. – Введ. 1986-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
7. ГОСТ 28985-91. Породы горные. Методы определения деформационных характеристик при одноосном сжатии. – Введ. 24.04.91. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 19 с.
8. Park S., Kim J.-S., Kwon S. Investigation of the development of an excavation damaged zone and its influence on the mechanical behaviors of a blasted tunnel // Geosystem Engineering. – 2018. – V. 21. № 3. – P. 165-181. – DOI: 10.1080/12269328.2018.1461139.
9. Palmström A., Singh R. The deformation modulus of rock masses – Comparisons between in situ tests and indirect estimates // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2001. – V. 16, № 2. – P. 115-131.
10. Ghamgosar M., Fahimifar A., Rasouli V. Estimation of rock mass deformation modulus from laboratory experiments in Karun dam // Rock Mechanics in Civil and Environmental engineering. – London, 2010. – P. 805-808.
11. Dixit M., Dev H., Singh R., Dhawan A.K. Insitu deformability characteristics of rock mass by Goodman Jack // 10th ISRM Congress. 2003–Technology roadmap for rock mechanics / South African Institute of Mining and Metallurgy. – 2003. – P. 249-254.
12. Айтматов И.Т. Концепция о естественном напряженно-деформированном состоянии породных массивов в мобильных горно-складчатых областях // Напряженное состояние и удароопасность массивов горных пород на рудных месторождениях Средней Азии: [сб. статей]. — Фрунзе, 1983. – С. 3-31.
13. Heuze F.E., Amadei B. The NX-borehole jack: A Lesson in trials and errors // International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts. – 1985. – V. 22, № 2. – С. 105–112.