

УДК 622.831.1

Статья / Article

© ПНИПУ / PNRPU, 2016

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОД ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА

В.А. Асанов, В.Н. Токсаров, А.В. Евсеев, Н.Л. Бельтюков

Горный институт Уральского отделения Российской академии наук (614007, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 78а)

NATURAL STUDY OF MARGINAL ARRAY ROCK'S STRESS STATE

V.A. Asanov, V.N. Toksarov, A.V. Evseev, N.L. Beltiukov

Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (78a Sibirskaia str., 614007, Perm, Russian Federation)

Получена / Received: 30.11.2015. Принята / Accepted: 31.08.2016. Опубликовано / Published: 30.09.2016

Ключевые слова:

соляные породы, камерная система разработки, физико-механические свойства, устойчивость обнажений, деформации, напряжения, методы контроля, акустоэмиссионные эффекты памяти.

Безопасная отработка месторождений водорастворимых руд во многом определяется устойчивостью элементов камерной системы разработки. Для контроля состояния междукламерных целиков разработан метод экспериментально-теоретической оценки геомеханических процессов, происходящих в массиве, сущность которого заключается в содержательной интерпретации результатов экспериментальных исследований механических характеристик и напряженного состояния грузонесущих конструкций методами математического моделирования.

В статье рассмотрена методика оценки напряженного состояния пород приконтурного массива. Контроль напряжений осуществлялся с использованием эффекта акустической памяти. Измерения выполнялись в скважинах с помощью гидродомкрата Гудмана. Его особенностью является возможность создания нагрузки на околоскважинный массив в одной плоскости, что позволяет оценивать величины напряжений по различным направлениям. В процессе нагружения стенок измерительной скважины происходит скачкообразное возрастание активности акустической эмиссии. Давление, регистрируемое в гидросистеме, принималось на уровне природных напряжений, действующих в приконтурном массиве.

В результате выполнения комплекса лабораторных и натурных исследований определены методические особенности расчета напряжений с использованием эффектов памяти в соляных породах Верхнекамского месторождения калийных солей. Анализ экспериментальных данных показал, что в «свежих» междукламерных целиках максимум опорного давления расположен вблизи контура обнажения и в 1,8–2,0 раза превышает нагрузку от веса вышележащих пород (γH). В центральной части целика уровень вертикальных напряжений составляет 1,25–1,4 γH . С увеличением срока службы целиков величина напряжений в приконтурном массиве снижается до уровня напряжений веса вышележащих пород. Горизонтальные напряжения с удалением от контура целика растут и составляют примерно 60–70 % от вертикальных. Полученные результаты инструментальных измерений являются исходной информацией для оценки степени долговременной устойчивости междукламерных целиков при отработке сильвинитовых пластов.

Key words:

salt rock, chamber system of development, physical and mechanical properties, resistance outcrops, deformation, stress, control methods, acoustic emission memory effects.

Safety working out water-soluble ore fields in many ways depends on the stability of chamber development system's elements. To monitor the interchamber pillars' status a method of experimental and theoretical evaluation of the geomechanical processes taking place in the array was developed, the essence of which lies in the meaningful results interpretation of mechanical characteristics and the stress state experimental studies of load-carrying structures by mathematical modeling methods.

The article describes the method of estimating the marginal rock array's stress state. The tension control was made using an acoustic memory effect. The measurements were performed in the wells with the help of a Goodman hydraulic jack. Its feature is the ability to create a load on the borehole array in the same plane, that allows to evaluate the stress magnitude in various directions. During the loading of the measuring borehole walls there is a discontinuous increase in the activity of acoustic emission. The pressure, which is logged in the hydraulic system, was taken at the level of the natural stresses acting in the marginal array.

As a result of complex laboratory and field studies methodological features of stress analysis were identified using memory effects in salt rocks of the Verkhnekamskoye potash salt deposit. The experimental data analysis showed that in the "fresh" interchamber pillars a bearing pressure maximum is located near the contour of exposure and in 1.8-2.0 times higher than the load of the overlying rocks' weight (γH). In the central part of the pillar the vertical stress level is 1.25-1.4 γH . With the increase in pillars' service life the marginal array's stresses magnitude declines to the stress level of the overlying rocks weight. The horizontal stress increases with moving from the pillar contour and are approximately 60-70% of the vertical. These instrumental measurements results are a source data for assessing the long-term sustainability of interchamber pillars in sylvinitic layers mining.

Асанов Владимир Андреевич – доктор технических наук, заведующий лабораторией физических процессов освоения георесурсов (тел.: +007 342 216 37 03, e-mail: AVA@mi-perm.ru). Контактное лицо для переписки.

Токсаров Валерий Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории физических процессов освоения георесурсов (тел.: +007 342 216 37 03, e-mail: toksarov@mi-perm.ru).

Евсеев Антон Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории физических процессов освоения георесурсов (тел.: +007 342 216 37 03, e-mail: evseev@mi-perm.ru).

Бельтюков Николай Леонидович – младший научный сотрудник лаборатории физических процессов освоения георесурсов (тел.: +007 342 216 37 03, e-mail: bnl@mi-perm.ru).

Vladimir A. Asanov (Author ID: 6603468200) – Doctor of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Physical processes of Georesources Development (tel.: +007 342 216 37 03, e-mail: AVA@mi-perm.ru). The contact person for correspondence.

Valerii N. Toksarov (Author ID: 6505879674) – PhD in Technical Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Physical processes of Georesources Development (tel.: +007 342 216 37 03, e-mail: toksarov@mi-perm.ru).

Anton V. Evseev (Author ID: 56339830200) – PhD in Technical Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Physical processes of Georesources Development (tel.: +007 342 216 37 03, e-mail: evseev@mi-perm.ru).

Nikolai L. Beltiukov (Author ID: 55920873300) – Junior Researcher in the Laboratory of Physical processes of Georesources Development (tel.: +007 342 216 37 03, e-mail: bnl@mi-perm.ru).

Введение

Важнейшим условием безопасной и эффективной отработки месторождений полезных ископаемых является адекватное управление процессами деформирования и разрушения вмещающих пород. Это особенно актуально для калийных рудников, ведение горных работ на которых связано с необходимостью сохранения сплошности водозащитной толщи, отделяющей водоносные горизонты от выработанного пространства. Обеспечение устойчивости водоупорного целика и, следовательно, защита рудников от затопления достигается применением камерной системы разработки с поддержанием вышележащей толщи на ленточных междукамерных целиках [1].

Анализ результатов обследования состояния выработанных пространств на рудниках Верхнекамского калийного месторождения (ВКМКС) показывает, что на отдельных участках при отработке сближенных сильвинитовых пластов (КрП и АБ) с «жесткими» целиками, рассчитанными на «бесконечный» срок службы, спустя 20–30 лет наблюдаются их значительные разрушения. Глубина отслоения пород в стенках целиков может достигать 1,5–2,5 м, а в кровле камер имеют место обрушения потолочин и междупластий. Эта ситуация может быть усугублена снижением прочностных свойств в зонах геологических аномалий. Все это ведет к постепенному разрушению междукамерных целиков и интенсификации процесса сдвижения подработанных пород. Скорости оседаний могут достигать 500 мм/год, а конечные деформации земной поверхности – 3,0–4,5 м. Особенно это характерно для южной части месторождения, где в кровле нижнего сильвинитового пласта залегают мощные глинистые прослойки [2, 3].

Характер деформирования и разрушения междукамерных целиков и потолочин зависит от множества факторов: геометрических размеров и формы очистных выработок, особенностей строения и свойств пород, их поведения под нагрузкой и т.д. [4]. Для снижения степени опасности возникновения аварийных ситуаций необходима гибкая система геомеханического контроля безопасности горных работ, которая бы адекватно отражала разнообразие процессов, происходящих в массиве, и позволяла оперативно учитывать локальные изменения горно-геологических и горно-технических условий при принятии управленческих решений. Такая система должна оценивать изменение как механических характеристик пород прикон-

турного массива, так и его напряженного состояния в процессе ведения горных работ.

В настоящее время накоплен большой опыт решения различных задач обеспечения устойчивости элементов подземных конструкций. Для анализа геомеханических процессов, происходящих в подработанном горном массиве, широко используют математические методы механики горных пород [5]. Однако, несмотря на усложнение математических постановок задач, точность их оценок зависит от достоверности параметрического обеспечения расчетов и адекватности геомеханических моделей, описывающих процесс напряженно-деформированного состояния породного массива (междукамерных целиков, кровли очистных камер). Это обуславливает необходимость экспериментального изучения характера деформирования и разрушения краевых частей горного массива и элементов подземных конструкций при различных условиях ведения горных работ.

Комплекс исследований особенностей строения, физико-механических свойств, напряженно-деформированного состояния и характера разрушения соляных пород при отработке сильвинитовых пластов на рудниках ВКМКС позволил разработать принципы экспериментально-теоретической оценки состояния грузонесущих элементов камерной системы разработки (рис. 1). Сущность данной методики заключается в содержательной интерпретации результатов натурных исследований методами математического моделирования [4].

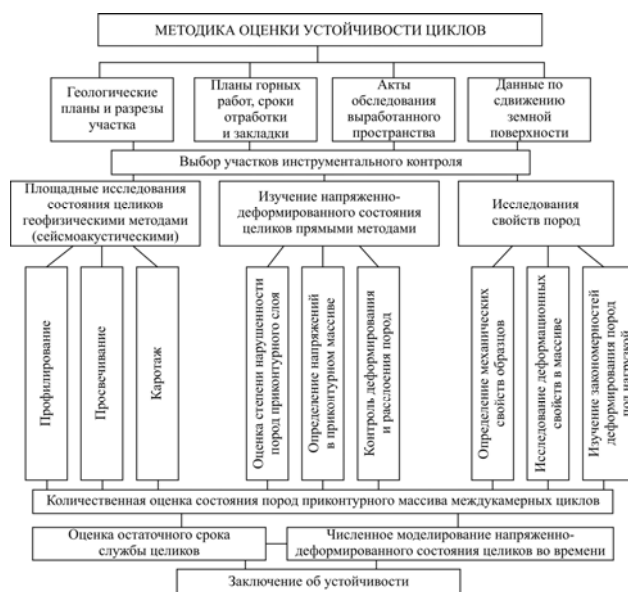


Рис. 1. Схема контроля устойчивости междукамерных целиков

Исходной информацией для оценки состояния междукамерных целиков и потолочин служат геолого-маркшейдерская документация, полученная в процессе эксплуатационной разведки и отработки рабочих пластов, акты обследования очистных и подготовительных выработок, данные по оседаниям земной поверхности.

По результатам анализа выделяются потенциально опасные участки, которые требуют более углубленного анализа их состояния. На этих участках выполняются исследования физико-механических свойств вмещающих пород, оценка напряженного состояния элементов подземных конструкций, изучение характера их деформирования во времени. Данная информация используется в качестве параметрического обеспечения, позволяющего уточнить модель деформирования подрабатываемого соляного массива и критерии его разрушения.

Достоверность экспериментальной оценки напряженно-деформированного состояния элементов подземных конструкций во многом зависит от применяемого метода исследований, выбор которого в первую очередь определяется особенностями строения массива.

Несмотря на то что соляные породы ВКМКС сложены однотипными минералами (галит, сильвин), их механические свойства варьируются в широких пределах, что обусловлено структурно-текстурными особенностями их строения [6, 7]. Соляные породы имеют разнозернистую структуру, где размеры кристаллов могут изменяться от 0,5 до 15,0 мм и более. Продуктивная толща пород характеризуется чередованием слоев каменной соли, сильвинита (карналлита) и тонких прослоев глинисто-ангидритового материала. В этом случае использование традиционных методов изучения массива с применением небольшой базы измерений дает большой разброс частных значений исследуемых параметров, что снижает достоверность результатов. Практика экспериментальных исследований показала, что при изучении напряженного состояния соляного массива необходимо использовать методы, исключаящие необходимость модельных переходов от измеренных деформаций к напряжениям, с базой измерений, значительно превышающей характерный размер неодно-

родности пород [8, 9]. Этим требованиям в наибольшей степени удовлетворяет метод компенсации напряжений с использованием эффекта акустической памяти. Идея метода контроля напряжений в породном массиве основана на способности горной породы запоминать уровень действия предыдущей нагрузки (акустоэмиссионный эффект Кайзера) [10–14]. При этом о величине напряжений судят по скачкообразному изменению активности акустической эмиссии (АЭ) при превышении в процессе повторного нагружения уровня напряжений, действующих ранее [15, 16].

Методика выполнения исследований

Для отработки методики измерений был проведен комплекс лабораторных и шахтных исследований закономерностей изменения интенсивности акустической эмиссии при нагружении соляных пород.

Лабораторные исследования показали, что соляные породы обладают высоким эффектом памяти, который может сохраняться в течение достаточно длительного времени. Основными источниками акустической эмиссии в соляных породах являются микротрещины растяжения, которые зарождаются на границах зерен и при деформировании образца и произрастают в направлении действия максимального главного напряжения [17]. При превышении уровня нагрузки над напряжениями, действующими ранее, происходит активизация процесса трещинообразования, слияние микротрещин с образованием крупных магистральных трещин, что отражается в резком повышении уровня активности АЭ [16].

Оценка напряженного состояния пород приконтурного массива в натуральных условиях выполнялась с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана фирмы Durham Geo Slope Indicator (США), который представляет собой каротажный зонд для измерения деформаций стенок скважин как функции приложенной нагрузки. В отличие от прессиометров, передающих нагрузку на породу через резиновую оболочку, в процессе измерений домкрат прикладывает однонаправленное давление к стенкам скважины посредством двух стальных подвижных пластин. Зонд спроектирован для применения в скважинах диаметром 76 мм.

В комплект аппаратуры входят переносной прибор для измерения деформаций, гидравлический насос с трубопроводами высокого давления, запорной арматурой и датчиком давления. Для контроля параметров АЭ в процессе нагружения скважины на корпус домкрата крепился пьезокерамический датчик с диапазоном фиксируемых частот акустических событий 0,2–0,5 МГц. Измерение параметров АЭ производилось прибором АЭ-USB-1. Воздействие на контур скважины обеспечивается полукруглыми стальными пластинами длиной 200 мм, создающими давление в одной плоскости, что позволяет производить измерения параметров массива по различным направлениям (рис. 2).

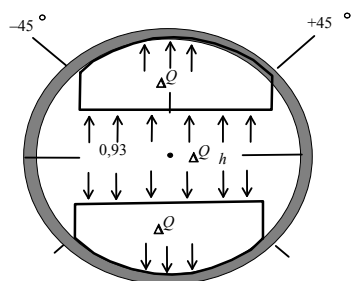


Рис. 2. Схема нагружения околоскважинного пространства гидродомкратом Гудмана:

ΔQ_h – давление в гидросистеме;

ΔQ – нагрузка, передаваемая на стенки скважины

Для обоснования достоверности получаемой информации в шахтных условиях проведены работы по нагружению гидродомкратом стенок скважины, пробуренной в стенке одиночной выработки. При проведении экспериментальных исследований осуществлялся следующий порядок работ. На первом этапе производилась локальная разгрузка приконтурного массива путем бурения скважины, в которую затем помещался гидродомкрат на глубину не менее 1,0 м. С помощью ручного насоса производилось циклическое нагружение околоскважинного массива. Измерения выполнялись по схеме «нагрузка – разгрузка» с увеличением давления в каждом последующем цикле. Максимальное давление в гидросистеме в первом цикле нагружения составляло 15 МПа, во втором – 20 МПа, в третьем – 25 МПа. В процессе эксперимента осуществлялась регистрация давления на стенки скважины и количества импульсов выделения АЭ. Уровень предыдущей

нагрузки определялся по резкому (в 2–3 раза) увеличению интенсивности импульсов АЭ либо по перегибу кривой на графике параметров АЭ в процессе направленного циклического нагружения стенок скважины (рис. 3).

На начальном участке кривой активности АЭ выделяется участок достаточно интенсивных импульсов АЭ, что обусловлено наличием высокого уровня шума, связанного с перемятием неровностей стенки скважины гидродомкратом на начальной стадии деформирования. Затем выделяется зона, где активность АЭ незначительна (сохраняется на уровне фона), что соответствует упругому деформированию массива вокруг скважины. В первом цикле

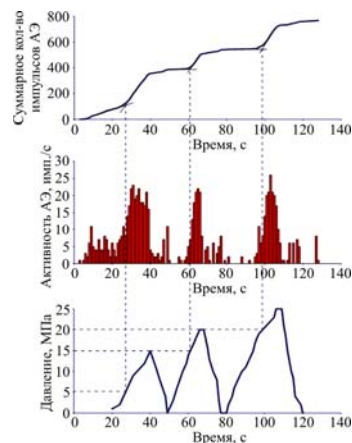


Рис. 3. Характерные графики изменения нагрузок и акустической эмиссии в процессе циклического нагружения стенок скважины

нагружения участок резкого возрастания активности АЭ связан с достижением нагрузки, равной величине напряжений, действовавших в массиве до бурения измерительной скважины. При последующих нагружениях интенсивность АЭ незначительна до уровня, близкого к нагрузке предыдущего цикла. Затем происходит скачкообразное увеличение количества импульсов АЭ, что достаточно хорошо совпадает с достижением нагрузки на стенки скважины уровня предыдущего цикла. Исследованиями установлено, что суммарное количество импульсов АЭ не всегда является надежным критерием локализации величины напряжений, действующих в массиве. Часто не удается идентифицировать точку перегиба по кривой суммарного количества импульсов АЭ. Наиболее информативным параметром является интенсивность (скорость

выделения) АЭ, измеряемая количеством импульсов АЭ в единицу времени, позволяющим более точно регистрировать увеличение числа импульсов АЭ.

В результате проведенных экспериментов определены методические особенности исследования напряжений с использованием эффектов памяти горных пород:

- исследования должны производиться сразу же после бурения скважины и зачистки ее контура, по истечении 2–3 суток эффект памяти существенно ослабевает;

- контроль уровня действующих напряжений целесообразно производить по измерению интенсивности АЭ;

- точка перегиба на кривой интенсивности АЭ соответствует напряжению, действующему в плоскости нагружения, до проведения эксперимента;

- определение величин напряжений, действующих в разных плоскостях, необходимо осуществлять в скважинах, разнесенных друг относительно друга не менее чем на 0,5 м.

Результаты экспериментальных исследований

Исследования напряжений проводились в междукамерных целиках на пласте КрII и в породах междупластья КрII–АБ в пределах 11-й восточной панели Второго Березниковского рудника Верхнекамского месторождения калийных солей. Отработка пласта ведется камерной системой с оставлением жестких ленточных целиков шириной 6,1 м, ширина камер – 5,3 м. Глубина ведения горных работ – 320,0 м. Экспериментальные скважины бурились в целиках, расположенных в центре панели. В процессе эксперимента измерялись: давление в гидросистеме, деформация стенок скважины в направлении нагружения, параметры интенсивности АЭ.

Особенностью гидродомкрата Гудмана является возможность создания нагрузки на околоскважинный массив в одной плоскости, что позволяет оценивать величины напряжений по различным направлениям. На рис. 4 показано распределение вертикальных и горизонтальных напряжений по сечению междукамерного целика на пласте КрII со сроком службы более 30 лет.



Рис. 4. Распределения напряжений в междукамерном целике с удалением от контура

Анализ экспериментальных исследований показывает, что от контура целика до глубины 2 м наблюдается рост вертикальных напряжений от 3 до 8 МПа, что соответствует нагрузке от веса вышележащих пород. Горизонтальные напряжения с удалением от контура целика также растут и составляют примерно 60–70 % от вертикальных.

Для сопоставления выполнены аналогичные измерения напряжений по сечению «свежего» междукамерного целика. Исследования показали, что максимум опорного давления расположен на глубине 1,3 м и равняется 18 МПа. В центральной части целика уровень вертикальных напряжений составляет около 10–11 МПа, что на 25–40 % выше веса вышележащих пород.

Заключение

Таким образом, проведенный комплекс исследований позволил разработать методику и произвести оценку напряжений в соляных междукамерных целиках. Анализ экспериментальных данных показал, что в «свежих» междукамерных целиках максимум опорного давления расположен вблизи контура и в 1,8–2,0 раза превышает нагрузку от веса вышележащих пород (γH). В центральной части целика уровень вертикальных напряжений составляет 1,25–1,4 γH . С увеличением срока службы целиков величина напряжений в приконтурном массиве снижается до уровня напряжений веса вышележащих пород. Горизонтальные напряжения с удалением от контура целика растут и составляют примерно 60–70 % от вертикальных. Результаты натурных исследований используются для оценки устойчивости конструктивных элементов камерной системы разработки сильвинитовых пластов ВКМКС.

Список литературы

1. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей (технологический регламент): согласованы письмом Госгортехнадзора России № 13-13/1218 от 30.04.2008 г. – СПб., 2008. – 95 с.
2. Особенности поведения кровли выработок на южном фланге Верхнекамского месторождения калийных солей / В.А. Асанов, В.Н. Токсаров, А.В. Евсеев, Н.Л. Бельтюков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 1. – С. 84–88.
3. Асанов В.А., Токсаров В.Н., Евсеев А.В. Исследование проявлений горного давления при выемке сильвинитовых пластов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2009. – № 10. – С. 69–71.
4. Асанов В.А. Контроль состояния междукammerных целиков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – № 11. – С. 40–44.
5. Применение математического моделирования в системе геомеханического обеспечения горных работ на Верхнекамском месторождении калийных солей / А.А. Барях, В.А. Асанов, Н.А. Самodelкина, И.Л. Паньков, Е.А. Телегина // Горный журнал. – 2008. – № 10. – С. 30–33.
6. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – Пермь, 2001. – 429 с.
7. 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.
8. Курленя М.В. Теория и практика измерений напряжений в осадочных горных породах (обзор) // Измерение напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1972. – 350 с.
9. Борейко Ф.И., Черников А.К. О некоторых особенностях применения метода разгрузки на соляных месторождениях // Измерение напряжений в массиве горных пород. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 1972. – 360 с.
10. Watters R.J., Soltani A.M. Directional acoustic emission activity in response to borehole deformation in rock masses // Proc. 26th U.S. Symp. on Rock Mech. – Rotterdam, 1985. – Vol. 2. – P. 723–730.
11. Lord A.E., Koerner R.M. Field determination of prestress (existing stress) in soil and rock masses using acoustic emission // Journal of Acoustic Emission. – 1985. – Vol. 4, № 2/3. – P. 321–341.
12. Deutsch W.L., Koerner R.M., Lord A.E. Determination of prestress of in situ soils using acoustic emission // Journ. Geotech. Engng ASCE. – 1989. – Vol. 115, № 2. – P. 228–245.
13. Chodyn L., Ziberek W.H. Effect of the discrete stress memory in the acoustic emission // Acta Geophysica Polonica. – 1992. – Vol. 40, № 2. – P. 139–158.
14. McElroy J.J., Kerner R.M., Lord A.E. An acoustic jack to assess in situ rock behavior // Int. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. – 1985. – Vol. 22, № 1. – P. 21–29.
15. Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л. Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах. – М.: Изд-во МГГУ, 2004. – 450 с.
16. Опыт изучения акустоэмиссионных эффектов памяти в соляных породах с использованием скважинного гидродомкрата Гудмана / В.А. Асанов, В.Н. Токсаров, А.В. Евсеев, Н.Л. Бельтюков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2010. – № 10. – С. 144–148.
17. Manthei G. Characterization of acoustic emission sources in a rock salt specimen under triaxial compression // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2005. – Vol. 95, № 5. – P. 1674–1700. DOI: 10.1785/0120040076.

References

1. Ukazaniia po zashchite rudnikov ot zatopeniia i okhrane podrabatyvaemykh ob"ektov v usloviiakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniia kaliinykh solei (tekhnologicheskii reglament): soglasovany pis'mom Gosgortekhnadzora Rossii № 13-13/1218 ot 30.04.2008 g. [Advice on protection of mines from flooding and undermining objects protection in conditions of Verkhnekamskoye potash salt deposit (technological regulations) agreed by Gosgortekhnadzor of Russia, a letter number 13-13/1218 from 30.04.2008]. Sankt-Petersburg, 2008.
2. Asanov V.A., Toksarov V.N., Evseev A.V., Bel'tiukov N.L. Osobennosti povedeniia krovli vyrabotok na iuzhnom flange Verkhnekamskogo mesto-rozhdeniia kaliinykh solei [Features of excavations conducting on the southern flank of the roof of the Verkhnekamskoye potash salt deposit]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 2012, no.1, pp.84-88.
3. Asanov V.A., Toksarov V.N., Evseev A.V. Issledovanie proiavlennii gornogo davleniia pri vyemke sil'vinitovykh plastov [Investigation of underground pressure manifestation during sylvinite excavation]. *Geologiya, geofizika i razrabotka nefitanykh i gazovykh mestorozhdenii*, 2009, no.10, pp.69-71.
4. Asanov V.A. Kontrol' sostoianiia mezhdukamermykh tselikov Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' [Condition monitoring of interchamber pillars]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2004, no.11, pp.40-44.

5. Bariakh A.A., Asanov V.A., Samodelkina N.A., Pan'kov I.L., Telegina E.A. Primenenie matematicheskogo modelirovaniia v sisteme geomekhanicheskogo obespecheniia gornyx rabot na Verkhnekamskom mestorozhdenii kaliinykh solei [The use of mathematical modeling in the system of geomechanical maintenance of mining of Verkhnekamskoye potash salt deposit]. *Gornyi zhurnal*, 2008, no.10, pp.30-33.
6. Kudriashov A.I. Verkhnekamskoe mestorozhdenie solei [Verkhnekamskoye potash salt deposit]. Perm', 2001, 429 p.
7. Bariakh A.A., Asanov V.A., Pan'kov I.L. Fiziko-mekhanicheskie svoistva solianyykh porod Verkhnekamskogo kaliinogo mestorozhdeniia [Physical and mechanical properties of salt rocks of Verkhnekamskoye salt potash deposit]: uchebnoe posobie. Perm': Izdatel'stvo Permskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2008, 199 p.
8. Kurlenia M.V. Teoriia i praktika izmerenii napriazhenii v osadochnyykh gornyykh porodakh (obzor) [Theory and practice of stress measurements in sedimentary rocks (review)]. *Izmerenie napriazhenii v massive gornyykh porod*. Novosibirsk: IGD SO AN SSSR, 1972, 350 p.
9. Boreiko F.I., Chernikov A.K. O nekotorykh osobennostiakh primeneniia metoda razgruzki na solianyykh mestorozhdeniiax [Some features of the application of the method of unloading at the salt fields]. *Izmerenie napriazhenii v massive gornyykh porod*. Novosibirsk: IGD SO RAN, 1972, 360 p.
10. Watters R.J., Soltani A.M. Directional acoustic emission activity in response to borehole deformation in rock masses. *Proc. 26th U.S. Symp. on Rock Mech.* Rotterdam, 1985, vol.2, pp.723-730.
11. Lord A.E., Koerner R.M. Field determination of prestress (existing stress) in soil and rock masses using acoustic emission. *Journal of Acoustic Emission*, 1985, vol.4, no.2/3, pp.321-341.
12. Deutsch W.L., Koerner R.M., Lord A.E. Determination of prestress of in situ soils using acoustic emission. *Journ. Geotech. Engng ASCE*, 1989, vol.115, no.2, pp.228-245.
13. Chodyn L., Ziberek W.H. Effect of the discrete stress memory in the acoustic emission. *Acta Geophysica Polonica*, 1992, vol. 40, no.2, pp.139-158.
14. Mc Elroy J.J., Kerner R.M., Lord A.E. An acoustic jack to assess in situ rock behavior. *Int. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 1985, vol.22, no.1, pp.21-29.
15. Lavrov A.V., Shkuratnik V.L., Filimonov Iu.L. Akustoemissionnyi effekt pamiati v gornyykh porodakh [Acoustic emission memory effect in rocks]. Moscow: Izdatel'stvo MGGU, 2004, 450 p.
16. Asanov V.A., Toksarov V.N., Evseev A.V., Bel'tiukov N.L. Opyt izucheniia akustoemissionnykh effektov pamiati v solianyykh porodakh s ispol'zovaniem skvazhinogo gidrodomkrata Gudmana [The experience of studying the effects of acoustic emission storage in salt formations with the downhole Goodman hydraulic jack]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*, 2010, no.10, pp.144-148.
17. Manthei G. Characterization of acoustic emission sources in a rock salt specimen under triaxial compression. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2005, vol. 95, no.5, pp.1674-1700. DOI: 10.1785/0120040076.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Натурные исследования напряженного состояния пород приконтурного массива / В.А. Асанов, В.Н. Токсаров, А.В. Евсеев, Н.Л. Бельтюков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2016. – Т.15, №20. – С.270–276. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.20.7

Please cite this article in English as:

Asanov V.A., Toksarov V.N., Evseev A.V., Bel'tiukov N.L. Natural Study of marginal array rock's stress state. *Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining*, 2016, vol.15, no. 20, pp.270–276. DOI: 10.15593/2224-9923/2016.20.7