УДК 622.8:622.363.2.012.2

А.А.БАРЯХ, *д-р техн. наук, профессор, bar@mi-perm.ru*
В.А.АСАНОВ, *д-р техн. наук, профессор, ava@mi-perm.ru*
И.А.САНФИРОВ, *д-р техн. наук, профессор, sanf@mi-perm.ru*
Горный институт Уральского отделения РАН, Пермь

A.A.BARYAH, *Dr. in eng. sc., professor, bar@mi-perm.ru*
V.A.ASANOV, *Dr. in eng. sc., professor, ava@mi-perm.ru*
A.SANFIROV, *Dr. in eng. sc., professor, sanf@mi-perm.ru*
Mining institute, Ural branch the Russian Academy of Sciences, Perm

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ УСТОЙЧИВОСТИ СОЛЯНЫХ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ

Исследование особенностей деформирования и разрушения соляных пород при отработке калийных пластов позволило реализовать методику оценки состояния грузонесущих элементов камерной системы разработки, которая заключается в инструментальном контроле целиков комплексом геофизических и прямых методов с последующим прогнозом их остаточного срока службы методами математического моделирования.

***Ключевые слова*:** соляные породы, междукамерные целики, устойчивость, срок службы.

THE METHOD OF POTASH SALT INTERCHAMBER PILLARS STABILITY CONTROL

The research of potash salt rock deforming and damaging features has made it possible to develop the method of load bearing element state examination by chamber-and-pillar system. This method consists in instrumental control of pillars by geophysical and in situ methods with following prognosis of their residual life by mathematical simulation methods.

***Key words*:** potash salt rocks, interchamber pillars, stability, life.

Обеспечение безопасных условий ведения горных работ при подземной разработке соляных и калийных месторождений связано с проблемой предотвращения прорыва поверхностных вод в подземные горные выработки. Основной причиной аварий в большинстве случаев является несоответствие параметров камерной системы разработки (ширины камер и междукамерных целиков) горно-геологическим условиям конкретных отрабатываемых участков. Как правило, эти несоответствия приводят к разрушению целиков, сдвижению подработанных толщ, образованию сквозных водопроводящих трещин, деформациям и разрушению объектов на поверхности. Предсказать расчетным путем срок службы междукамерных целиков достаточно сложно из-за многочисленности влияющих факторов. В настоящее время состояние целиков оценивается по данным визуальных наблюдений или отмечается постфактум по ускоренным оседаниям земной поверхности.

Анализ результатов обследования состояния выработанных пространств на рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей показывает, что на отдельных участках при отработке сильвинитовых пластов с «жесткими» целиками, рассчитанными на «бесконечный» срок службы, спустя 20-30 лет наблюдаются их значительные разрушения. Глубина отслоения пород в



Рис.1. Схема контроля состояния междукамерных целиков

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 аномалий. Все это ведет к постепенному разрушению междукамерных целиков и интенсификации процесса сдвижения подработанных пород. Скорость оседаний может достигать 500 мм/год, а конечные деформации земной поверхности 3,0-4,5 м.

В последние годы эта проблема особенно остро встала перед рудниками, отрабатывающими запасы под городами Березники и Соликамск, где сдвижение земной поверхности может приводить к деформированию и разрушению промышленных и жилых зданий и сооружений. Для снижения степени опасности возникновения аварийных ситуаций необходима гибкая система геомеханического контроля процессов, происходящих в массиве, позволяющая прогнозировать и оперативно учитывать при планировании горных работ изменение состояния подработанного массива.

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

Исходной информацией для оценки состояния междукамерных целиков и потолочин служит 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 детального исследования состояния элементов камерной системы разработки (потолочин и междукамерных целиков) для разработки рекомендаций по сохранению сплошности водозащитной толщи.

Для параметрического обеспечения геомеханических расчетов на экспериментальных участках отбираются пробы и определяются физико-механические свойства пород. При необходимости выполняются специальные исследования по выявлению особенностей деформирования и разрушения образцов под нагрузкой с учетом структурно-текстурных особенностей строения массива соляных пород.

Инструментальный контроль состояния краевых частей соляных целиков осуществляется «прямыми методами». Оценка степени нарушенности пород приконтурного массива производится оптическим методом по контрольным шпурам, пробуренным перпендикулярно плоскости обнажения. Контроль деформирования целиков и расслоения кровли камер осуществляется с помощью контурных и глубинных реперов. Измерения напряжений выполняются методами компенсации с использованием акустоэмиссионных эффектов памяти; на контуре обнажения измерения проводятся методом щелевой разгрузки. Однако данные исследования имеют существенный недостаток, заключающийся в высокой трудоемкости работ и точечном характере полученных результатов.

Для интегральной оценки состояния междукамерных целиков на потенциально опасных участках целесообразно использовать геофизические методы, позволяющие проводить площадной контроль состояния массива. Опыт использования шахтной геофизики позволил рекомендовать для контроля соляных междукамерных целиков сейсмоакустические методы, имеющие хорошее теоретическое, аппаратурное, программное обеспечение и успешно применяемые на калийных рудниках.

Шахтные наблюдения проводятся способом профилирования по стенкам целиков в модификации метода общей глубинной точки. Измерения выполняются 48-канальной цифровой акустической станцией, обеспечивающей регистрацию сигналов в диапазоне частот до 20 КГц и позволяющей изучать приконтурный массив с детальностью менее 1 м. Качественный анализ результатов исследования закономерностей распространения упругих волн в целике показал, что на сейсмограммах хорошо выделяются отражающие границы, соответствующие границам ослабленных зон и зонам опорного давления.

Для количественной оценки состояния приконтурного массива выполняется корреляционный анализ взаимосвязей между распределением напряжений по ширине целиков, полученным при измерениях «прямыми методами», и характеристиками скоростного анализа, выполненного на одних и тех же участках наблюдений. Результаты обработки показали, что вид корреляционной функции и численные значения коэффициентов, входящих в уравнения связи, зависят от горно-геологических и горно-технических условий и должны определяться для каждого изучаемого участка отдельно. С использованием полученных корреляционных уравнений строятся площадные планы распределения напряжений по ширине целиков.

Анализ результатов экспериментальных исследований показал, что с ростом срока службы возрастает степень неоднородности распределения напряжений по площади целиков. Даже в пределах одного целика его краевые части разрушаются с различной интенсивностью и на разную глубину. Это обусловлено значительной вариацией механических свойств пород по площади в связи с неоднородностью строения и состава рабочих пластов, что подтверждает необходимость оперативного контроля состояния целиков на потенциально опасных участках.

На основе совместной обработки результатов геофизических и инструментальных измерений строится обобщенная эпюра распределения напряжений по ширине целиков и оценивается размер зоны разрушен-

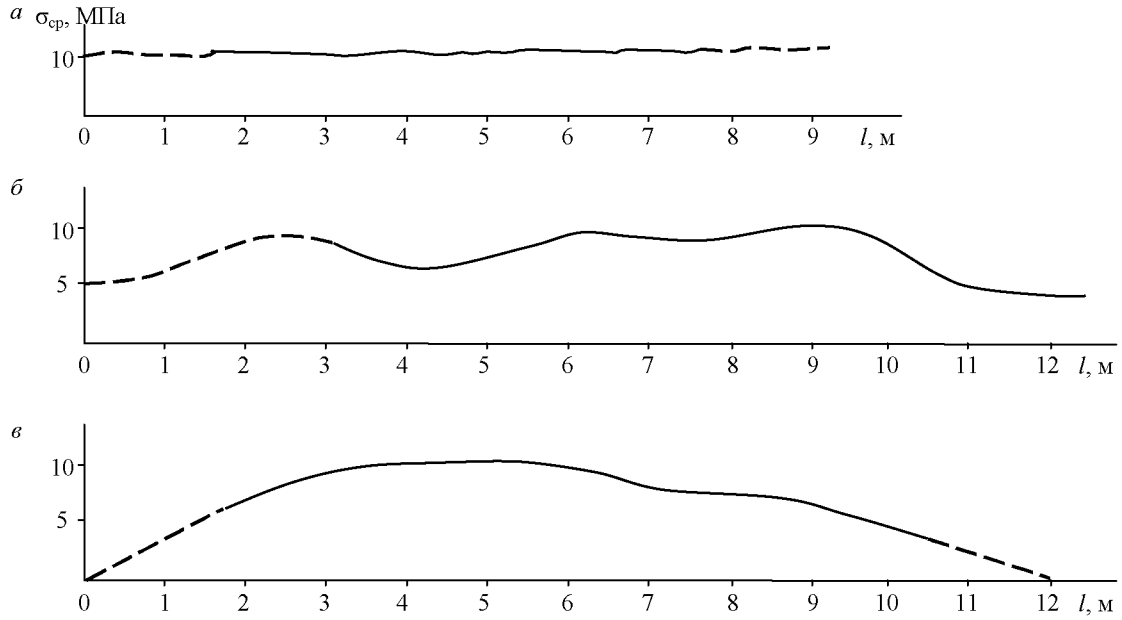


Рис.2. Обобщенные эпюры распределения средних напряжений $\sigma_{ср}$ по ширине междукамерных целиков различного возраста, годы: *а* – 0,6; *б* – 6,0; *в* – 30

ных приконтурных пород, характеризующих состояние массива на участке, прилегающем к месту измерений (рис.2). Эти данные являются исходной информацией для оценки срока устойчивого состояния междукамерных целиков методами математического моделирования.

На стадии теоретического обобщения экспериментальной информации для конкретной горно-технической ситуации проводится численное моделирование напряженно-деформированного состояния соляного массива, подработанного камерной системой разработки. В качестве модели, описывающей процессы деформирования и разрушения целиков во времени, принята структурная реологическая модель максвелловского типа. В модели учитываются изменение несущей способности целиков в зависимости от формы и величины бокового давления, а также зависимость вязкости пород от скорости деформирования, определенные по результатам лабораторных экспериментов.

Моделирование напряженно-деформированного состояния междукамерных целиков на контролируемом участке отработанного соляного массива выполняется методом геометрического погружения. В процессе

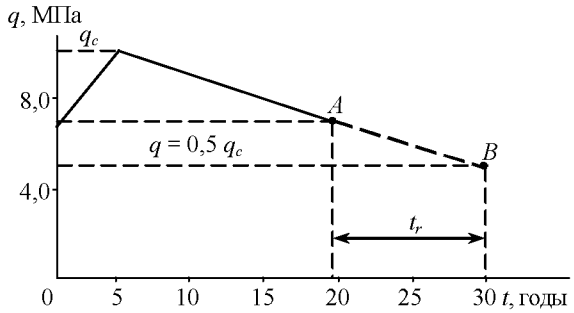


Рис.3. Диаграмма изменения несущей способности q целиков во времени
A и B – точки, соответствующие экспериментально определенным напряжениям и потере несущей способности целиков соответственно; t_r – остаточный срок службы целиков

моделирования определяются параметры модели, при которых расчетная эпюра распределения напряжений по ширине целиков и величина сдвижения земной поверхности будут соответствовать результатам экспериментальных исследований напряжений и оседаний земной поверхности.

По данным расчетов несущей способности междукамерных целиков для разных временных интервалов строится обобщенная кривая деформирования целиков во времени (рис.3), где точка A, лежащая на расчетной кривой, соответствует результатам натурных измерений.

Наблюдения за характером разрушения соляных образцов показывают, что при падении нагрузки на запредельном участке в 2 раза отмечается начало интенсивного (лавинообразного) их разрушения. Эту величину можно принять за предел устойчивости грузонесущих элементов камерной системы разработки. Тогда остаточный срок службы соляных междукамерных целиков определится временем снижения их несущей способности до величины равной половине предельной q_c от точки A до точки B.

В процессе ведения горных работ может производиться периодический контроль состояния целиков для уточнения (корректировки) срока их службы в зависимости от результатов повторных измерений.

Данная методика апробирована при оценке состояния междукамерных целиков вблизи зоны обрушения на руднике СКРУ-2 ОАО «Сильвинит».

Таким образом, предложенная методика контроля состояния междукамерных целиков позволяет оперативно и своевременно предоставлять информацию о состоянии соляных междукамерных целиков на потенциально опасных участках шахтных полей для разработки рекомендаций по проектированию мер охраны водозащитной толщи и объектов на земной поверхности.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 09-05-00837-а «Исследование масштабного эффекта в квазипластичных горных породах при простом и сложном нагружении» и грант 09-05-00902-а «Контроль напряженного состояния грузонесущих элементов системы разработки соляных пород акустоэмиссионными методами»).