

МЕХАНИКА ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2020.4.7

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕГУЛЯРНОГО ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ НА РУДНИКАХ ВКМКС

А.В. Евсеев

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Рассмотрен один из вариантов организации регулярного инструментального контроля устойчивости целиков при камерной системе разработки, основанный на измерении их поперечной деформации. Приведена методика измерений и некоторые результаты.

Ключевые слова: междукамерные целики, контроль, мониторинг, горизонтальная конвергенция, степень нагружения, скорость деформирования.

Одним из основных критериев, определивших принципиальные подходы к технологии разработки Верхнекамского месторождения калийных солей, является предотвращение проникновения пресных вод в выработки и затопления рудников. Для снижения деформаций водозащитной толщи и сохранения её сплошности отработка запасов ведется камерной системой разработки с оставлением ленточных целиков. В таких условиях одним из элементов обеспечения безопасности горных работ является мониторинг изменения состояния целиков во времени. Наиболее часто для этих целей на рудниках выполняются регулярные измерения оседаний земной поверхности и визуальное обследование выработанного пространства.

Вместе с тем одним из основных явлений, предопределяющих разрушение горных выработок, является конвергенция их контура. Результаты шахтных наблюдений за величиной конвергенции подземных выработок позволяют определить количественные закономерности смещения породного массива. По изменению скорости перемещения контура выработок можно судить о характере деформирования массива и делать прогноз срока устойчивости выработок [1]. В ходе многочисленных исследований установлена взаимосвязь между продольной и поперечной конвергенцией выработок [2] и определены нормативные скорости деформирования, соответствующие различной степени нагружения [3, 4].

Выявленные закономерности позволили разработать методику контроля междукамерных целиков, основанную на измерении поперечной деформации очистных выработок. В зависимости от задач мониторинга предусмотрено оборудование различных по конструкции наблюдательных станций. Для организации непрерывного контроля [5] измерения выполняются в горизонтальных скважинах с использованием датчиков перемещения и автоматизированной системы сбора, передачи и обработки экспериментальных данных (рис. 1а). Регулярные измерения, проводимые в процессе периодического обследования выработанного пространства, выполняются по контурным реперам с использованием лазерных рулеток (рис. 1б).

Результаты, полученные в ходе лабораторных исследований [4] и методами математического моделирования [3], показали, что увеличение степени нагружения выше допустимой согласно «Указаний...» [6] величины и переход их в стадию прогрессирующей ползучести сопровождаются увеличением скорости поперечного деформирования до 50 мм/м в год. При проведении непрерывных измерений критерием перехода целиков в стадию интенсивного разрушения может служить также ускорение – увеличение

скорости деформирования целиков в 2 раза и более за год. Регулярные измерения позволяют оценить эффективность принятых мер охраны, дать прогнозные оценки срока службы междукамерных целиков и своевременно выполнить закладку выработанного пространства до полного разрушения междукамерных целиков, что является крайне важным для обеспечения безопасности горных работ.

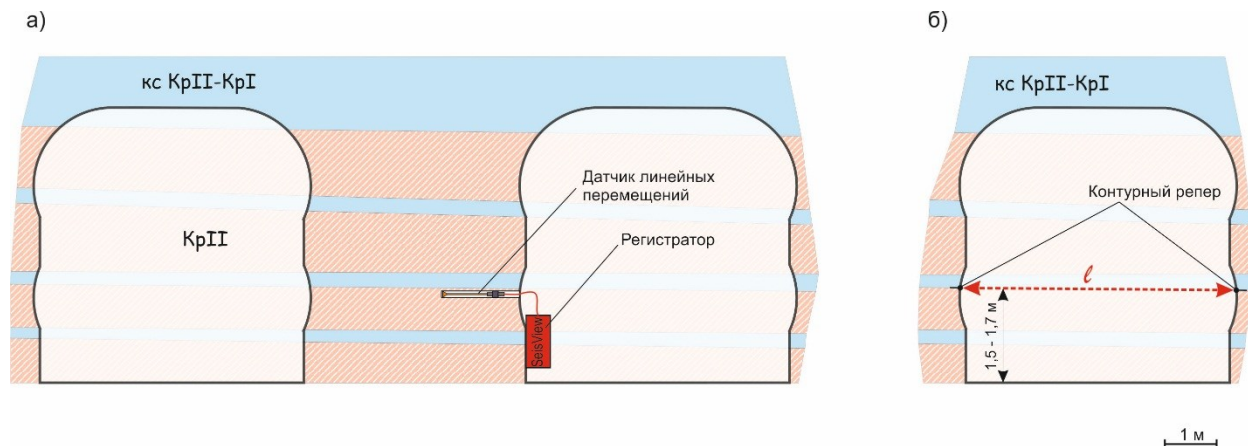


Рис. 1. Конструкции наблюдательных станции для контроля устойчивости междукамерных целиков

Замерные станции должны оборудоваться в средней по длине части камеры, состояние которой соответствует общей ситуации на участке контроля, реперы располагаются на высоте 1,5-1,7 м от почвы на противоположных стенках выработки. Контроль устойчивости междукамерных целиков рекомендовано выполнять в каждой расчётной зоне, количество пунктов контроля в пределах зоны должно определяться на основании визуального осмотра. При ухудшении обстановки сеть пунктов необходимо сгущать.

В настоящее время на всех действующих рудниках Верхнекамского месторождения калийных солей ведется регулярный мониторинг устойчивости междукамерных целиков, основанный на измерении горизонтальной конвергенции очистных выработок. За последние 2 года оборудовано в общей сложности более 3200 пунктов контроля. На рудниках Соликамского и Березниковского рудоуправлений ПАО «Уралкалий» заложено по 1500 замерных станций, активно ведутся измерения на руднике ООО «ЕвроХим–Усольский калийный комбинат». Периодичность измерений, как правило, составляет 2-4 раза в год.

Анализ экспериментальных данных показал, что зоны с максимальными скоростями деформирования камер территориально соответствуют участкам с максимальными скоростями оседаний земной поверхности, что подтверждает возможность проведения мониторинга состояния несущих элементов системы разработки подземным способом. Это позволяет проводить контроль несущих элементов системы разработки в тех местах, где невозможны геодезические измерения на поверхности. К достоинствам прямых измерений следует также отнести отсутствие задержки во времени между началом разрушения целиков и выявлением этого процесса (как это происходит с измерениями на поверхности) и возможность оценки устойчивости целиков на каждом пласте в отдельности.

Измерениями установлено, что скорости деформирования междукамерных целиков, равно как и оседание земной поверхности, на различных участках месторождения при одинаковой расчётной степени нагружения значительно отличаются. Так, например, на рудниках Соликамского рудоуправления при степени нагружения 0,4 скорость оседания земной поверхности редко превышает 50 мм/год, при этом скорость поперечного деформирования целиков практически полностью отсутствует (величина смещения не превышает точность измерения). В центральной части месторождения (рудник Четвертого Березниковского рудоуправления) оседание земной поверхности и деформирова-

ние целиков идёт более интенсивно, при этом скорость поперечного деформирования целиков не превышает 30 мм/м в год. В юго-восточной части месторождения уже в течение 1,5-2 лет после окончания горных работ скорость оседания земной поверхности на отдельных участках даже при отработке одного пласта может достигать 90-100 мм/год, а скорость поперечного деформирования целиков превышать 100 мм/м в год. Такое отличие в скорости деформирования целиков и подработанной толщи при расчётной степени нагружения целиков, не превышающей 0,4, свидетельствует о несоответствии расчётной степени нагружения фактической. Выполненные оценки показали, что в юго-восточной части месторождения уже на начальном этапе целики деформируются в податливом режиме с реальной степенью нагружения целиков 0,5-0,6, что не соответствует проектным значениям и может стать причиной аварийных ситуаций. Для предотвращения опасных деформаций подработанной толщи рекомендовано выполнить закладку камер в местах интенсивного разрушения междукамерных целиков.

Одной из наиболее вероятных причин интенсивного деформирования целиков в юго-восточной части месторождения является высокое содержание глины в отработываемых пластах, которая значительно снижает прочность целика. На рис. 2 приведены результаты измерения горизонтальной конвергенции на двух различных участках шахтного поля, отличающихся содержанием нерастворимого остатка (Н.О.). При одинаковой расчётной степени нагружения скорость относительного поперечного деформирования целиков на участках с содержанием глины 5,5 и 8,5% отличается более чем в 2 раза.

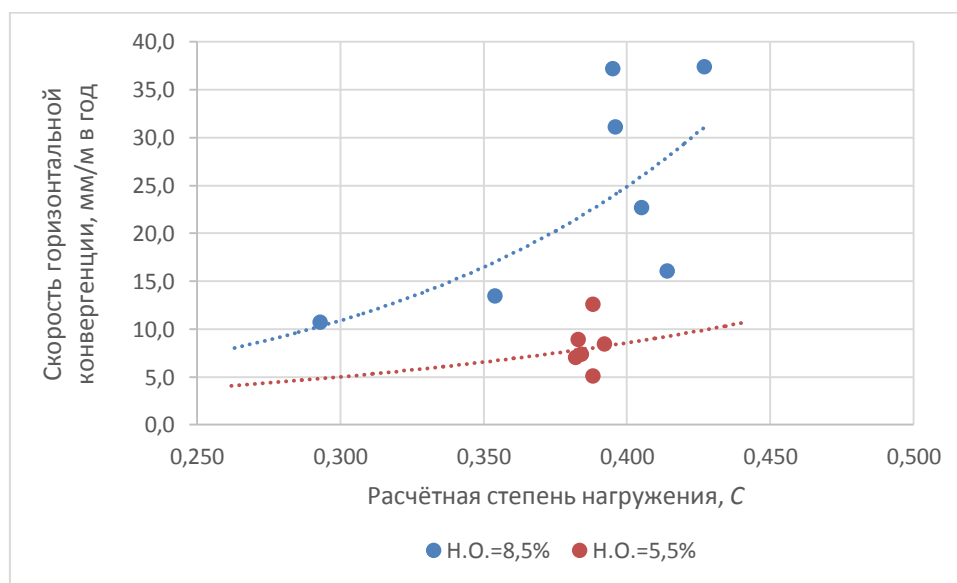


Рис. 2. График зависимости скорости поперечной деформации междукамерных целиков от их расчётной степени нагружения при различном содержании Н.О. в пласте

В действующих «Указаниях...» [6] глинистые прослои при оценке агрегатной прочности учитываются путём введения коэффициента k_c :

$$k_c = \begin{cases} \alpha_c(1 + \beta_c\sqrt{0,05 - \delta_c}) \\ \alpha_c(1 - \beta_c\sqrt{\delta_c - 0,05}) \end{cases} \text{ при } \begin{cases} 0 \leq \delta_c \leq 0,05 \\ 0,05 < \delta_c \leq 0,35 \end{cases}$$

где α_c и β_c – параметры аппроксимации: $\alpha_c = 0,86$, $\beta_c = 0,7281$, δ_c – относительное содержание глинистых прослоек.

Комплексный анализ показал, что существующие методики расчёта параметров системы разработки не в полной мере учитывают влияние глинистого материала на агрегатную прочность целиков и в условиях высокого содержания Н.О не обеспечивают достовер-

ность результатов. Кроме того, в них не учитывается местоположение глинистого материала по высоте, что также оказывает существенное влияние на несущую способность.

Таким образом, регулярными инструментальными измерениями на поверхности и в очистных выработках установлено, что методика расчёта параметров системы разработки требует уточнения для корректного её использования в условиях юго-восточной части месторождения и достоверного определения безопасных параметров ведения горных работ на всех рудниках ВКМКС.

*Исследование выполнено в рамках Программы ФНИ,
проект № 0422-2019-0148-С-01*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ватутин В.Г. Анализ соотношения вертикальной и горизонтальной конвергенции горных выработок соляных месторождений // Контроль, прогнозирование и управление состоянием пород в калийных рудниках: сб науч. тр. ВНИИГ. – Л.: 1985. – С. 87-93.
2. Baryakh A.A., Evseev A.V., Lomakin I.S., Tsayukov A.A. Operational control of rib pillar stability // Eurasian mining. – 2020. – №2 – DOI: 10.17580/em.2020.02.02.
3. Evseev A., Asanov V., Lomakin I., Tsayukov A. Experimental and theoretical studies of undermined strata deformation during room and pillar mining. // Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses: International European Rock Mechanics Symposium. EUROCK 2018 / Taylor & Francis Group. – St.-Peterbourg, 2018. – V. 1. – P. 985-990.
4. Евсеев А.В., Ударцев А.А. Методика определения нормативной скорости поперечного деформирования междукамерных целиков в лабораторных условиях // Горное эхо. – 2019. – № 3 (76). – С. 31-34. DOI: 10.7242/echo.2019.3.8.
5. Evseev A., Baryakh A., Butirin P. Remote Instrumental Monitoring of Interchamber Pillar Stability // ISRM European Rock Mechanics Symposium Eurock. – 2017. – V. 191. – P. 962-966. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.267.
6. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей: утв. ПАО «Уралкалий», ЗАО «Верхнекамская калийная компания», ООО «ЕвроХим-Усольский Калийный комбинат». – введ. в действие 30.03.2017 в ред. 2014 г. – Пермь; Березники, 2014. – 130 с.

УДК 622.02+622.2

DOI:10.7242/echo.2020.4.8

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЛЗУЧЕСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ СТУПЕНЧАТОГО РАСТЯЖЕНИЯ

В.С. Кузьминых

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Проведены испытания образцов соляных пород Верхнекамского месторождения калийных солей в режиме ступенчатого растяжения. Испытания проводились на универсальной электромеханической машине Zwick Z050 при нагрузках 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1,0 и 1,2 МПа с длительностью каждой ступени 24 часа. По результатам испытаний получены кривые деформирования и семейства кривых ползучести при ступенчатом растяжении.

Ключевые слова: соляная порода, кривые ползучести, растяжение, диаграмма деформирования.

Одной из достаточно сложных проблем геомеханики при решении вопросов обеспечения безопасных условий ведения подземных горных работ на месторождениях полезных ископаемых является учет фактора времени на устойчивость и деформируе-