7. Западский Л.А., Ягунов А.С., Бирюков В.В. Отработка запасов угля из целиков в Кузбассе // Уголь, 1988. №6. С.26-27.
8. Квон С.С., Мамонтов А.Я. Состояние запасов угля в охранных целиках в Карагадинском бассейне и основные направления их извлечения // Комплексное использование минерального сырья. 1990, №5. С.13-18.
9. Левкович П.Е., Мезников В.И., Дьяченко Г.В., Королев Д.А. Бурошнековая выемка угля. – К.: Техніка, 1982. – 175 с.
10. Меликидзе К.А. Техничко-экономическая эффективность разработки угольных охранных целиков различного назначения на шахтах Ткварчельского месторождения // Рациональное использование недр Грузии. – Тбилиси: Мецниереба. – 1982. С.40-46.
11. Розенбаум М.А. и др. Отработка угольных целиков механизированными комплексами // Колыма. 1991. №4. с. 12-14.
12. Севастьянов Б.Н., Удалов А.Е., Битимбаев М.Ж., Бекбаев С.М. Управление горным давлением при выемке целиков // Управление горным давлением и прогноз безопасных условий освоения угольных месторождений. Сборник научных трудов, ч.1. – Ленинград, 1990.
13. Семчук Я.М., Гаркушин П.К. Отработка околостольных целиков на калийных рудниках Прикарпатья // Шахтное строительство. – М.: Недра, 1990, №12. С. 22-23.
14. Цуканов В.В. Технология отработки целика короткими заходками комбайном КМШ-3,5 и крепью ССК-I // Подземная разработка тонких и средней мощности угольных пластов. – Тула, 1989.

Ковальский Е.Р.

Обоснование параметров технологических схем селективной выемки запасов IV калийного горизонта Старобинского месторождения

*Санкт-Петербургский горный университет
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi:10.18411/spc-12-05-2019-09

idsp: sciencepublic-12-05-2019-09

Четвертый калийный горизонт включает семь выдержанно распространенных по площади слоев сильвинита мощностью от 0,2 м до 0,75 м, разделенных прослоями каменной соли мощностью от 0,6 м до 3,6 м (таблица 1).

Таблица 1

Геологические характеристики слоев 4 калийного пласта

Индекс слоя	Мощность слоя, м	Содержание KCl, %	Содержание NO, %
12	0,72	19,66	6,62
10-12	3,38	3,02	11,4
10	0,74	31,63	6,19
9-10	1,35	1,26	11
9	0,17	47,79	1,38
8-9	1,91	1,16	14,9
8	0,54	32,39	4,48
7-8	0,49	2,79	15,8
7	0,33	24,89	4,07
6-7	0,96	4,83	15,6
6	0,25	47,52	3,31
5-6	0,62	5,17	13,6
5	0,18	36,41	2,58

Среднее содержание сильвинита в пределах мощности 4 Калийного пласта (~ 12 м) составляет менее ~ 20 %, соответственно в условиях 4 Калийного горизонта (4 КГ) необходимо проектировать системы разработки, позволяющие селективно извлекать сильвинит и каменную соль, с обязательной закладкой пустой породы в выработанное пространство.

На рис. 1 и 2 показаны варианты технологических схем выемки запасов 4КГ. В первом варианте (рис. 1) охрана панельных выработок предусматривается целиками, ширина которых принимается по действующим методикам, и проходкой разгрузочных выработок. Верхний сильвинитовый слой (12 с.с.) не отрабатывается. Во втором варианте (рис. 2) панельные выработки проходятся по нижним сильвинитовым слоям и охраняются выработанным пространством 12 с.с. и разгрузочными выработками.

Отработка 12 с.с. столбовой системой разработки с управлением кровлей полным обрушением приводит к необходимости вести последовательную отработку трех слоевых длинных очистных забоев, причем самый длинный очистной забой будет на верхнем сильвинитовом слое, длина лав по среднему и нижнему пласту будет на 20-50 метров меньше, а соответственно потери по основным производительным слоям значительно возрастут. В связи с этим, в первой из рассматриваемых схем 12 с.с. не извлекается, а во второй схеме 12 с.с. отрабатывается камерной системой разработки.

Поскольку при камерной системе разработки опорное давление практически отсутствует, то это обстоятельство позволяет надрабатывать панельные выработки очистными камерами, причем параметры данных камер и целиков необходимо выбирать не с позиции обеспечения максимального извлечения 12 с.с., а с позиции обеспечения максимальной защиты панельных выработок (как по уровню действующих напряжений, так и по продолжительности действия защитных мероприятий).

Рис. 1. Вариант системы разработки IV калийного горизонта

1 – панельный конвейерный штрек; 2, 3 – панельные транспортные штреки; 4 – панельный вентиляционный штрек; 5 – разгрузочная выработка; 6 – транспортный штрек верхней лавы; 7 – вентиляционный штрек верхней лавы; 8 – разгрузочная выработка; 9 – закладочные выработки верхней лавы; 10 – транспортный штрек нижней лавы; 11 – вентиляционная выработка нижней лавы; 12 – закладочные выработки нижней лавы; 13 – панельные выработки предыдущей панели

Рис. 2. Вариант системы разработки IV калийного горизонта

1 – панельный конвейерный штрек; 2, 3 – панельные транспортные штреки; 4 – панельный вентиляционный штрек; 5 – буровая выработка (блоковый штрек) 12 слоя; 6 – очистные камеры (бурошнековые скважины); 7 – конвейерный штрек верхней лавы; 8 – вентиляционный штрек верхней лавы; 9 – закладочные выработки верхней лавы; 10 – вентиляционный штрек нижней лавы; 11 – закладочные выработки нижней лавы; 12 – панельные выработки предыдущей панели

При расчетах параметров камерной системы разработки обычно рассчитывается устойчивый пролет очистной камеры, и после этого размер целика, который сможет обеспечить требуемые условия управления кровлей (поддержание на жестких целиках или поддержание на податливых целиках).

Поскольку мощность 12 с.с. в среднем составляет $\sim 0,7$ м, то отработку камер необходимо вести на мощность $\sim 0,7$ м. Используемое на месторождении проходческое оборудование (ПК-8, ПК-10, «Урал» и др.) предназначено для проходки горных выработок (очистных камер) высотой не менее 2,5 м. При использовании проходческо-добычных комбайнов барабанного типа возможно извлечение пластов мощностью 0,7 м и более, но пролет камер будет составлять порядка ~ 3 м. В случае если указанный пролет не будет являться устойчивым, извлечение 12 с.с. возможно бурошнековыми установками [1]. В этом случае камеры будут иметь круглую форму поперечного сечения с диаметром, равным мощности вынимаемого пласта. В случае использования сдвоенных (строенных) исполнительных органов пролет камер может составлять $\sim 1,4$ м или ~ 2 м.

Критерием устойчивого состояния целиков практически во всех методиках обычно принимается условие непревышения рассчитанных нагрузок на целик некоторого “безопасного” значения (обычно предела прочности на сжатие при наличии определённого коэффициента запаса прочности).

Нагрузка на целики рассчитывается по коэффициенту концентрации напряжений, который равен отношению суммы ширин камеры a и целика b к ширине целика $k=(a+b)/b$. При одnogоризонтной выемке рассчитать эти параметры не составляет труда. Однако, при наличии камер различных размеров, расположенных на неодинаковых расстояниях друг от друга (целики различной ширины), незначительных размерах выемочного блока (ширина блока не превышает 10 суммарных размеров камеры и целика) нагрузку в таких условиях возможно рассчитать только с использованием методов механики сплошной среды.

Предел прочности пород на сжатие $[\sigma_{сж}]$ обычно определяют при испытаниях стандартных образцов на прессах и затем вводят поправки на соответствие свойств образца свойствам пород в массиве.

Влияние высоты целика h на его устойчивость учитывается через коэффициент формы k_ϕ . Расчёт этого коэффициента ведется по различным зависимостям для

различных условий (например $k_\phi = b/h$ по Е. Церну; $k_\phi = \sqrt{\frac{b}{h}}$ по Л.Д. Шевякову; $k_\phi = 0,775 + 0,22b/h$ по И. Баушингеру; $k_\phi = 0,6 + 0,4b/h$ при $b/h < 1$ и $k_\phi = b/h$ при $b/h > 1$ по методике ВНИМИ и т.д. [2, 3, 4 и др.]).

Для учета трещиноватости целиков вводится коэффициент ослабления $k_{осл}$, который для солей составляет не более 10 %.

Коэффициент запаса k_3 зависит от срока службы и назначения целиков и составляет от $1,3 \div 1,5$ до $3,5 \div 5$. Данным коэффициентом фактически “корректируются” два вышеприведенных коэффициента – т.е. все процессы происходящие в элементах массива (разрушение свода камер, процессы трещинообразования, нелинейные свойства пород и т.д.) не рассматриваются, а принимается лишь конечный результат, т.е. не изменение свойств и размера элементов, а только лишь факт сохранения некоторой геометрии (подходы в терминах «разрушен»/«сохраняет форму»).

С учётом всех вышеприведенных коэффициентов допустимая нагрузка на целик

$$R = \frac{[\sigma_{сж}] k_{осл} k_\phi}{k_3}$$

составляет:

Ширина камеры определяется из условия “непревышения” предельного пролёта

$$a \leq l_0 = h \sqrt{\frac{\sigma_p}{(\gamma H + q)n}},$$

где σ_p – прочность пород несущего слоя на растяжение, МПа; l_0 – предельный пролёт, м; h – мощность несущего слоя пород кровли, м; γ – объёмный вес пород кровли, кг/м³; q и n – интенсивность дополнительной пригрузки.

Как видно из приведенных зависимостей, ширина камеры определяется фактически двумя параметрами: мощностью несущего слоя и его дополнительной пригрузкой. Для целиков основными факторами, определяющими их размеры, являются прочность материала целика, исходное поле напряжений и коэффициент концентрации напряжений.

Определение этих параметров на практике весьма затруднительно. В связи с этим для условий конкретного месторождения получают эмпирические зависимости о времени устойчивого состояния камер в зависимости от действующего уровня напряжений в целиках и пролета самих камер.

В рассматриваемом случае расчета размеров целиков при отработке 12 с.с. коэффициенты запаса должны быть минимальными и обеспечивать устойчивость целика в некотором временном интервале. Его продолжительность может изменяться от нескольких суток (с начала отработки камеры до момента ухода из камеры очистного оборудования) до момента подхода очистных забоев по нижерасположенным слоям.

Поскольку исходное поле напряжений на уровне 4 КГ зависит от параметров ведения горных работ на 3 КГ, то на базе численного моделирования была установлена зависимость изменения вертикальных напряжений (коэффициента концентрации) на глубине залегания 4 КГ.

Согласно полученным данным, при отработке 3 КГ столбовой системой разработки максимальный коэффициент концентрации вертикальных напряжений на 4 КГ (под краевой частью массива на 3 КГ) может быть выражен зависимостью

$$k_{3КГ} = 1 + 0,1 \cdot t_1^{-0.77}$$

где t_1 – время прошедшее с момента отработки лавы на 3 КГ, месяцы.

Обобщение результатов моделирования позволило предложить зависимость для расчета вертикальных напряжений по 12 с.с., которые являются частью основных исходных данных, необходимых для расчета параметров камерной системы разработки

$$\sigma_y = \gamma H \cdot k_{одл} \cdot k_{3КГ}$$

где H – глубина горных работ, м; γ – средневзвешенный объёмный вес вышележащих пород, кг/м³; $k_{одл}$ – коэффициент опорного давления лавы по 9-10 слоям, $k_{одл} = 3,5$.

В традиционных методиках расчета несущей способности целиков предполагается, что целик должен противостоять максимально возможным нагрузкам, которые на него «передаются» вмещающим его массивом горных пород. Однако, в настоящем случае необходимым условием эффективной защиты панельных выработок является условие перехода целика в предельное состояние еще до «подхода» опорного давления длинных очистных забоев нижележащих слоев. При переходе целиков в предельное состояние их несущая способность будет снижаться и часть нагрузки будет перераспределяться на краевую часть массива. Таким образом, вертикальные напряжения в зоне расположения панельных выработок также будут снижаться. В связи с этим при расчете размеров междуканальных целиков в качестве исходного поля напряжений целесообразно принимать зависимость

$$\sigma_y = \gamma H \cdot k_{3КГ}$$

Использование данной зависимости позволяет рассчитать необходимые параметры камерной системы разработки, обеспечивающие переход целиков в предельное состояние, определяемое неравенством

$$\sigma_y \cdot k_K \geq [\sigma_{сж}] \cdot k_\phi,$$

где k_K – коэффициент концентрации при камерной системе разработки, $k_K = (b+a)/b$; k_ϕ – коэффициент формы, $k_\phi = b/h$ ($k_\phi = 3-7$); a – пролет камер, м (от 0,7 до 8 м); b – ширина междукammerного целика, м (от 0,5 до 6 м); h – высота целика, м ($h = 0,7-4$ м).

Приведенные диапазоны величин учитывают возможные для Старобинского месторождения значения рассматриваемых параметров. Коэффициент формы имеет высокие значения (от 3), поскольку при использовании бурошнековых установок ширина целика 0,5 м является минимальным расстоянием между скважинами, а круглая форма целика является максимально устойчивой. При использовании для проходки камер комбайнов типа ПК или «Урал» коэффициент формы может составлять $k_\phi = 1-2$, однако, такие варианты технологии исключены из рассмотрения (хотя принципиально могут иметь место), поскольку в этом случае охрана панельных выработок будет осуществляться выемкой «пустой породы» в камерах (содержание KCl в горной массе будет составлять ~ 5 %).

Для расчета вертикальных напряжений в зоне расположения панельных выработок получена зависимость

$$\sigma_y = 9,8\gamma H \cdot k_{3КГ} \cdot k_{ОДЛ} \cdot k_{ЗАЩ}$$

где $k_{ЗАЩ}$ – коэффициент защитного действия камерной системы разработки по 12 с.с.:

$$k_{ЗАЩ} = e^{(0,00055L+0,04)t_2} + 1,01^{t_2} - 2,05$$

где L – текущая координата (расстояние от краевой части массива до защищаемой выработки), м; t_2 – время прошедшее с момента начала разрушения камер, месяц.

Для разработанных зависимостей коэффициент корреляции составляет $\tau = 0,77$ при коэффициенте надежности 3,1.

Данные зависимости учитывают концентрацию напряжений от горных работ на 3 КГ, концентрацию напряжений от длинных очистных забоев нижерасположенных лав и защитное действие камерной системы разработки.

1. Буденный М.М., Чижилов Н.В., Солдатов А.И., Малакей А.Н., Репетенко М.В. Бурошnekовая добыча угля на шахтах Украины // Горные машины и автоматика. 2003, №10. С.2-4.
2. Методические указания по расчету и применению жестких естественных целиков различного назначения на калийных месторождениях / Сост. Нестеров М.П., Верткова С.К. - Л.: изд-во ВНИИГ, 1972.
3. Методические указания по расчету податливых междукammerных целиков на калийных месторождениях / Сост. Нестеров М.П. - Л.: изд-во ВНИИГ, 1982. – 104 с.
4. Шерман Д.И. К вопросу о напряженном состоянии междукammerных целиков // изв. АН СССР, 1952, №6-7, с.840-857, с.992-1010.

Красильников Е.А., Волкова К.Ю.

Актуальность использования устройств для мониторинга и контроля параметров окружающей среды, опасных веществ в бытовых, промышленных помещениях

*ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»
(Россия, Москва)*

doi:10.18411/spc-12-05-2019-10

idsp: sciencepublic-12-05-2019-10

В настоящее время остро встал вопрос обеспечения безопасности человека и с экологической точки зрения, и в процессе его повседневной деятельности. Одним из аспектов этого является контроль за содержанием опасных и загрязняющих веществ.