

на опытном участке с канатными анкерами длиной 5 метров были незначительно деформированы в окрестности опорных муфт канатных анкеров и приняли уступную форму вниз в сторону механизированной крепи.

Учитывая изменчивость свойств массива, расстояние до несущего слоя кровли может существенно изменяться. Вследствие этого за основу расчета надежнее за контур устойчивой части массива принимать углы ψ_3 полных сдвижений с учетом величины отжима краевой части угольного пласта. Для условий кровли пласта в районе демонтажной камеры лавы 5а-6-16 эти углы равны 55-59°. К расчету, с некоторым запасом, следует принимать угол $\approx 60-62^\circ$, а длину анкеров $l_a = 5\text{м}$.

Минимальный интервал закрепления полиэфирной смолой канатного анкера за контуром устойчивой части массива $\geq 900\text{мм}$, при закреплении минеральной композицией $\geq 1200\text{мм}$. В этом случае обеспечивается равнопрочность закрепления.

На нижнем сопряжении по

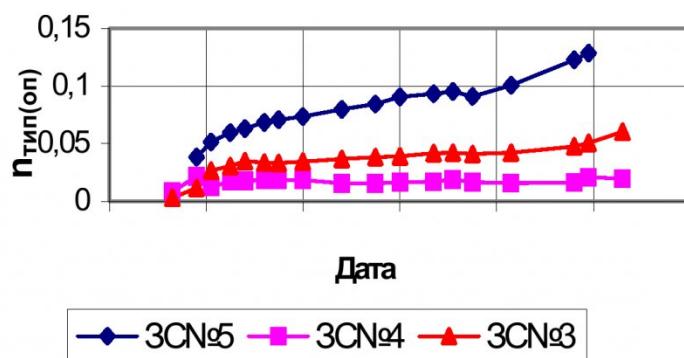


Рис.7. Поинтервальная дезинтеграция кровли на опытных участках

данным визуальных наблюдений после демонтажа секций крепи контур обрушения (в отличие от коротких $l_a = 2,2-3\text{ м}$ сталеполимерных анкеров) обтекал опорные элементы канатных анкеров, а там где они не были установлены, контур обрушения углубился в выработку.

Отдельные опорные элементы канатных анкеров на со пряжениях обтекались непосредственной кровлей с образованием уступов величиной 50-80 мм. При этом нагрузка на анкеры по данным наблюдений не превысила 200 кН.

Таким образом, разработанная технология доупрочнения приконтурного массива демонтажных камер, основанная на закреплении канатных анкеров за контуром неустойчивой части массива определяемой поверхностями наклоненными под углами полными сдвижений, обеспечивает безопасное устойчивое состояние кровли, характеризующееся существенно меньшим расслоением кровли по сравнению со стандартным креплением и нагрузкам, не превышающим несущую способность канатного анкера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Петухов И.М., Линьков А.М., Сидоров В.С. Теория защитных пластов. М., «Недра», 1976, 224 с.

□ Авторы статьи:

Ануфриев
Виктор Евгеньевич
- канд. техн. наук,
старший научный
сотрудник ИУУ СО
РАН

Позолотин
Андрей Сергеевич
- аспирант КузГТУ,
ведущий програм-
мист ИУУ СО РАН

Ренев
Алексей Агафонгелович
- докт. техн. наук, проф.
каф. разработки место-
рождений полезных
ископаемых подземным
способом

Рычковский
В.М.
- канд. техн. наук,
зам. нач. Кузнецко-
го управления Гос-
гортехнадзора РФ

Самолетов
Юрий Юрьевич
- главный техно-
лог ЗАО «Распад-
ская»

УДК 622.286

П.В. Егоров, А.В. Песиков

К ВОПРОСУ ВЫБОРА БАЗОВОЙ СХЕМЫ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ

Существующие аналитические методы расчета конструктивных параметров целиков можно подразделить на группы, в основе которых лежат гипотеза свода, гипотеза плит и балок,

гипотеза трещиноватой среды и методы механики упругой среды.

Гипотеза упругой среды. Однородные прочные породы типа песчаников, обладающие

высокими упругими постоянными, при достаточной их мощности (сравнительно с размерами выработки) практически допустимо рассматривать как упругую среду. Основанием

такой аналогии является квазизотропность таких пород, небольшое распространение дефектов их структуры. В качестве допущений принимается, что толщу пород в вертикальном сечении можно уподобить бесконечной упругой полуплоскости, а выработку - вырезу в ней. Задача о концентрации напряжений у вырезов в упругой среде изучалась с конца XIX века такими учеными как Н.И.Мусхелишвили [1], Шерман Р.И. [2] и многие другие. Впервые для выявления распределений напряжений вокруг выработки применительно к горному делу этот метод был предложен А.Н.Динником [3].

Гипотеза плит. Гипотеза плит является дальнейшим развитием гипотезы балок, которая известна около ста лет. Наиболее энергично из числа отечественных ученых эту гипотезу развивал В.Д.Слесарев. Предположение о том, что кровля, сложенная слоистыми породами, работает подобно плите, высказывали В.Д.Слесарев [4], Г. Герман [5] и др. Проф. В.Д. Слесарев впервые четко сформулировал представление о кровле как о плите и дал приближенный метод замены плиты эквивалентной ей балкой. Доказал, что кровля, сложенная твердыми слоистыми породами как не трещиноватыми, так и трещиноватыми, работает подобно пачкам плит. Это так же подтверждается многочисленными шахтными исследованиями.

Гипотеза трещиноватой среды. Механизм разрушения трещиноватых пород в кровле представляется следующим образом. Проведение выработки приводит к перемещениям несплошных плит, слагающих кровлю. Плиты рассматриваются как балки, у которых раскрываются трещины вблизи опор и середины. Перемещение частей разрушенной балки происходит в виде их поворота относительно опор. Так образуются трехшарнирные арки, которые группами или последовательно разрушаются до тех пор, пока проходит не уменьшиться настолько, что последняя из них не будет обладать некоторым запасом несущей способности.

Гипотеза свода. Представление о том, что в кровле выработка в ряде случаев может образоваться свод, известно очень давно. Одна из первых гипотез была предложена профессором В. Риттером [6] в 1879 г.

Сущность гипотезы состоит в следующем. Над выработкой, проведенной в толще любых пород (за исключением плавунов), на любой глубине, образуется свод давления, который воспринимает на себя вес вышележащих пород, разгружая крепь выработки. Максимальная нагрузка на крепь определяется весом пород внутри свода, называемого ядром свода или сводом давления. Действие всего веса толщи пород до поверхности передается пятам разгружающего свода на массивы горных пород по бокам выработки. Гипотеза свода базируется на реальном, издавна известном явлении, воспроизведенном в экспериментах, исследования которого осуществлялись многими авторами на протяжении свыше ста лет. Гипотеза свода с позиций геомеханики подтверждается следующими соображениями [7]. Нетронутый массив находится в состоянии равновесия, которое нарушается с появлением очистного пространства. Оно должно восстанавливаться соответствующим перераспределением напряжений в массиве горных пород и нагрузок между целиками. Пере распределение напряжений сопровождается сдвигом горных пород по линиям скольжения согласно паспорту прочности горных пород. Огибающая предельных кругов Мора породы в общем виде представляет собой полусвод [8], который в натурных условиях замыкается аналогичным полусводом с другой стороны выработанного пространства. Результатом яв-

ляется образование над очистным пространством свода естественного равновесия. При этом происходит образование зоны разгрузки, которая имеет по результатам многих исследований форму свода. Основная задача заключается в определении формы кривой, ограничивающей свод давления. Путем вариационного исчисления В. Риттером была получена искомая функция, представляющая собой вид параболы:

$$y = \frac{\gamma}{4\sigma_p} x(l-x), \quad (1)$$

где γ - удельный вес породы, kH/m^3 ;

σ_p - предел прочности пород на разрыв, MPa ;

l - ширина блока, м;

x - текущее расстояние от границы блока, м.

Максимальная высота свода при $x=l/2$ составляет:

$$h_{max} = \frac{l^2 \gamma}{16\sigma_p}. \quad (2)$$

Выразив σ_p из (2) и вставив в (1), получаем зависимость (3) высоты свода давления, имеющую вид параболы:

$$y = -\frac{4h_{max}}{l^2} x^2 + \frac{4h_{max}}{l} x \quad (3)$$

В вольной интерпретации

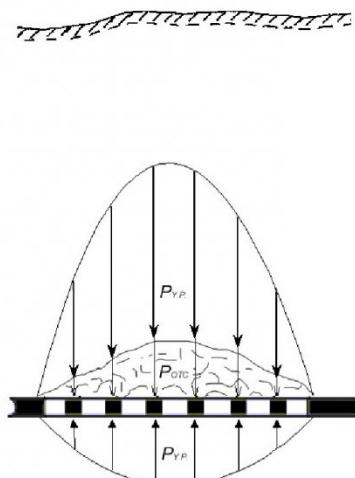


Рис. 1. Условие формирования нагрузок на междукамерные целики в пределах выемочного блока

гипотезы свода В. Риттера наружение целиков при камерной системе разработки будет иметь несколько иной характер. В пределах выемочного блока нагрузка на междукамерные целики распределяется неравномерно. Как показывают шахтные эксперименты и теоретические исследования, целики, расположенные в центре выемочного блока нагружены больше, чем расположенные по краям. Это явление объясняется тем, что давление на целики создается не только весом отслоившихся пород, но и силой давления упруго расширяющихся пород внутри так называемого свода давления. Упругое расширение происходит в пределах зоны разгрузки выработанного пространства. Большинство исследований подтверждают, что зона разгрузки имеет вид эллипса, вытянутого в направлении дневной поверхности (рис. 1).

Согласно схеме нагрузка на целики определяется удельным весом отслоившихся пород в приконтурных слоях кровли P_{OTCL} и реакции упруго расширяющихся пород в ядре свода P_{UPR} , как показано на рис. 1.

Правильность вышеизложенных рассуждений подтверждается характером распределения напряжений в углепородном массиве, полученных методом конечных элементов. Как видно из рис. 2, изолинии напряжений имеют сводчатую форму, по численному значению которых и определяется нагрузка на целики. В связи с этим можно сделать вывод, что при камерных системах разработки без обрушения кровли расчетная схема для определе-

ния нагрузки на междукамерные целики в качестве основы будем иметь гипотезу свода, а не плит, балок или трещиноватой среды.

На основе изложенного материала есть возможность обосновать рациональный метод расчета междукамерных целиков при принятой расчетной схеме согласно гипотезе свода. При этом резонно следует предположить, что, поскольку междукамерные целики имеют незначительные размеры (ширина), они будут находиться в односторонне напряженном деформированном состоянии. Из этого следует, что основным критерием прочности и сохранения несущей способности междукамерных целиков является чисто механическое соответствие несущей способности целиков приходящейся на них нагрузки [9]. То есть расчет междукамерных целиков следует вести по методу Турсера - Шевякова, по принципу допускаемых напряжений [10].

Однако на основе экспериментальных и теоретических исследований выявлено, что на целики в пределах блока, при определенном соотношении глубины разработки и размеров отработанного участка, в формировании нагрузок на целики участвует не весь столб пород до поверхности, требуется внести корректировку. Расчет целиков следует производить исходя из того, что нагрузка, приходящаяся на них, составляет не полный вес пород до земной поверхности, как предполагал Л.Д. Шевяков, а лишь его часть, которая локализуется в некотором объеме на расстояние от пласта менее глубины

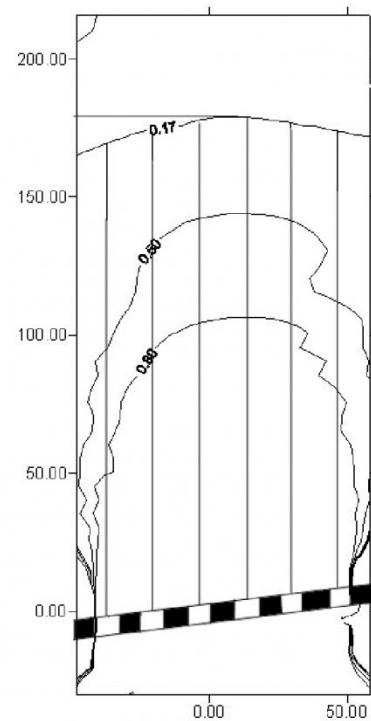


Рис. 2. Общая схема изолиний напряжений в углепородном массиве при отработке участка пласта камерной системой разработки

разработки. На основе приведенных данных можно с уверенностью утверждать, что указанный объем в вертикальном сечении имеет форму свода. Это утверждение доказывается как натурными наблюдениями характера вывало- и куполообразования монолитных пород непосредственной кровли, так и теоретическими исследованиями и результатами компьютерного моделирования.

Выполненные исследования проведены благодаря финансовой поддержке в форме гранта Министерства образования Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухчелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости.- М.: Госгортехиздат, 1960.- 378 с.
2. Шерман Д.И. К вопросу о напряженном состоянии междукамерных целиков. Упругая весомая среда, ослабленная отверстиями эллиптической формы // Изв. АН СССР, ОТН.- 1952.-№ 6-7.- с. 14-21.
3. Динник А.Н. Распределение напряжений вокруг горных выработок/ Динник А.Н., Моргалевский А.Б., Савин Г.Н. // Труды совещания по управлению горным давлением.- М.-Л.: АН СССР, 1938.- с. 176-185.

4. Слесарев В.Д. Определение оптимальных размеров целиков различного назначения.- М.: Углехиздат Западугля, 1948.- 196 с.
5. Герман А.П. Обзор теоретических подходов в изучении горного давления.- М.: Углехиздат Западугля, 1948.- с. 201-214.
6. Ritter W. Die Static der Tunnel- Gewolbe.-Berlin, 1879.-s.347
7. Айталиев Ш. М. Управление сводообразованием при камерно - столбовой системе разработки / Айталиев Ш. М., Такишов А. А. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 2000.-№2.-с. 5-14.
8. Попов В.Н. Модель нагрузки на группу междукамерных целиков // Комплексное использование минерального сырья.-1992.- №12.- с. 10-15.
9. Песиков А.В. Анализ методов расчета междукамерных целиков // Совершенствование технологических процессов при разработке месторождений полезных ископаемых/ Калинин С.И., Агудалин Б.П., Песиков А.В./ Под ред. Егорова П.В.: Кузбассуглехнология.- Кемерово, 2001.-с.56-66.
10. Шевяков Л.Д. О расчете прочных размеров и деформаций опорных целиков// Известия АН СССР, 1941.-№7-9.-с. 27-34.

Авторы статьи:

Егоров
Петр Васильевич
– докт. техн. наук, проф., зав.
каф. разработки месторождений по-
лезных ископаемых

Песиков
Андрей Васильевич
– аспирант каф. разра-
ботки месторождений полезных
ископаемых