В.Л.Трушко, А.Г.Протосеня, Ю.Н.Огородников, О.В.Колосова
Санкт-Петербургский горный институт

УДК 622.831

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВЫРАБОТОК ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ФОРМАХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Натурными наблюдениями за смещениями пород вокруг подготовительных и очистных выработок удароопасных участков шахт СУБРа установлен эффект расслоения кровли выработок и очистных камер под действием сейсмических волн. Смещения прослеживаются на глубину до 4 м и прирастают практически мгновенно, в момент горного удара. Моделирование процесса взаимодействия плоской прямой волны с выработками прямоугольной, сводчатой и шатровой форм поперечного сечения показало, что вероятность достижения предельного состояния вмещающих пород вследствие максимальной разности главных напряжений у выработок прямоугольной и шатровой форм выше. На основе изучения динамики сейсмических напряжений и закономерностей деформирования вмещающих пород разработаны конструкции усиления упрочняющей штанговой крепи кровли камер и сопряжений пластовых выработок глубокими железобетонными анкерами.

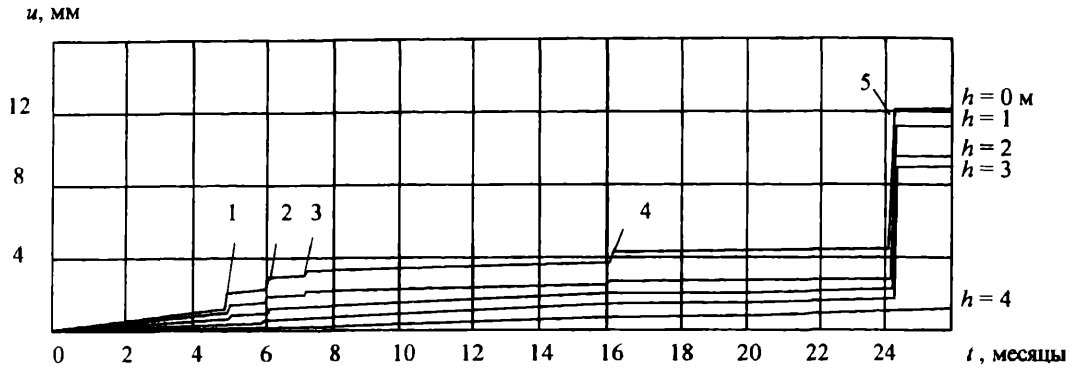
Natural supervision over displacement of breeds around of preparatory and clearing developments (manufactures) sites of mines (shafts) SUBRa establish effect of stratification of a roof of developments (manufactures) and clearing chambers under action of seismic waves. Displacement are traced on depth up to 4 m. and practically instantly, at the moment of mountain impact. By modelling of process of interaction of a flat direct wave with developments (manufactures) rectangular, vaulted and forms of cross section it is shown, that the probability of achievement of a limiting condition of containing breeds owing to the maximal difference of the main pressure (voltage) is higher at developments (manufactures) rectangular and than forms. On the basis of the seismic pressure (voltage) revealed dynamics (changes) and laws of deformation of breeds containing development (manufacture) are developed a design of amplification (strengthening) strengthening a roof of chambers and interfaces developments (manufactures) by deep ferro-concrete anchors.

Наблюдения за состоянием нарезных и очистных выработок шахт СУБРа, испытавших влияние множества горных ударов, выявили зависимость динамических проявлений горного давления от многих факторов: параметров поля статических напряжений в массиве; ориентировки выработки относительно вектора максимальных напряжений; прочности, слоистости и трещиноватости пород; энергии динамических явлений; расстояния до очага горного удара и его положения относительно выработки.

Для сложных, изменчивых горно-геологических условий Североуральских месторождений бокситов невозможно выстроить типовую схему развития деформационных процессов во вмещающем массиве под воздействием динамических явлений. Тем не менее, обработка натурных наблюдений за смещениями пород кровли подготовительных и очистных выработок*, выполненных с помощью комплексных замерных станций, оснащенных глубинными реперами, выявила некоторые закономерности деформирования массива, проявляющиеся в выработках, отличающихся по технологическому назначению, геометрическим параметрам и условиям поддержания.

График смещений вмещающих пород вокруг полевого штрека на горизонте -500 м шахты № 14-14^{бис}, закрепленного железобетонными штангами длиной 1,8 м (см. рисунок) типичен. За 2 года штрек подвергался действию пяти горных ударов интенсивностью от 10^2 до $5{,}4 \cdot 10^4$ Дж. Смещения прослеживаются до глубины 4 м от контура, при этом подавляющая часть деформаций

* Геомеханика массивов и динамика выработок глубоких рудников / В.Л.Трушко, А.Г.Протосеня, П.Ф.Матвеев, Х.М.Совмен; Санкт-Петербургский горный институт. СПб, 2000.



Зависимость смещений пород вокруг подготовительной выработки u от времени t и динамических воздействий

1 – горный удар с энергией $E = 4 \cdot 10^3$ Дж, расстояние до очага $L = 100$ м; 2 – $E = 5 \cdot 10^3$ Дж, $L = 100$ м; 3 – $E = 10^2$ Дж, $L = 300$ м; 4 – $E = 1{,}1 \cdot 10^4$ Дж, $L = 200$ м; 5 – $E = 5{,}4 \cdot 10^4$ Дж, $L = 40$ м

вызвана горными ударами. Продолжительность периода поддержания практически не имеет значения. Например, в период от 16 до 24 месяцев, когда горных ударов не происходило, приращения смещений не было. В момент горного удара смещения растут скачкообразно, причем величина приращений явно зависит от расстояния до очага динамического явления и его мощности.

Пятый, самый мощный, горный удар вызвал одинаковые по величине (до 9 мм) смещения реперов на глубинах до 3 м, в то время как породы на расстоянии 4 м от контура не сместились. Очевиден эффект откола приконтурного слоя на глубине h от 3 до 4 м. Подобный характер явлений прослеживается по многим выработкам. Как правило, рост смещений пород наблюдается при горном ударе с энергией всего 10^2-10^3 Дж, при этом смещения со стороны падения волны в 1,5-2 раза больше.

Смещения сопровождаются расслоением массива с образованием концентрических трещин, повторяющих контур выработки.

При горных ударах с энергией 10^4-10^6 Дж мгновенные смещения достигают 6-10 мм и во многих случаях ведут к нарушениям крепи. Штанги «обыгрываются» породой, верхняки деревянной крепи ломаются.

В очистных камерах скачкообразное приращение опускания кровли при горных ударах, эффект расслоения кровли и зависимость смещений кровли от энергии горных ударов и массовых взрывов также имеют место, однако на характере приращения смещений сказываются отличия в горнотехнических условиях: значительная (до 6 м) ширина камер; плоская кровля, представленная слоистой пачкой сланцев и известняков мощностью от 1,0 до 3,5 м (непосредственная кровля) и мощными слоями известняков или известняковых глинистых сланцев (основная кровля); повышенная сейсмическая активность выемочных блоков с частыми горными ударами различной мощности, генерирующими сейсмические волны, падающие на камеры под разными углами. Например, в камере блока № 1 горизонта –500 м шахты 14-$14^{бис}$ за 480 суток зарегистрировано 36 динамических явлений с энергиями от $1{,}74 \cdot 10^2$ до $1{,}04 \cdot 10^4$ Дж.

Кровля смещалась и расслаивалась интенсивно в период отработки камеры (25-30 суток) со средней скоростью 0,7-0,8 мм/сутки. Нижние, упрочненные штангами слои смещаются в 1,5-2 раза быстрее, что служит доказательством расслоения кровли с отслоением непосредственной кровли от основной. Горный удар создает колебания кровли с амплитудой 2-4 мм; при каждом последующем динамическом воздействии растет опасность обрушения пачки слоев, упрочненных штангами.

Причиной мгновенных приращений оседания кровли камер могут служить не только горные удары, но и массовые взрывы, проведенные в кровле отрабатываемого блока с целью его разгрузки от напряжений.

Упоминавшаяся выше камера испытала динамическое воздействие от взрыва веера скважин с массой заряда 3388 кг. Взрыв вызвал осадку контура кровли на 65 мм. На глубине 4 м кровля сместилась на 45 мм, т.е. взрыв форсировал процесс расслоения кровли. После взрыва осадка кровли активизировалась и продолжалась около 40 суток со скоростью 0,25-0,3 мм/сутки, после чего наступила относительная стабилизация. Таким образом, разгрузка блока взрывом способна, в свою очередь, вызвать обрушение кровли в очистных камерах.

Для выявления механизма расслаивания вмещающих пород выполнено математическое моделирование процесса взаимодействия сейсмической волны с выработками прямоугольной, сводчатой и шатровой форм поперечного сечения. Рассматривалась плоская задача для плоской прямой волны, фронт которой ориентирован параллельно оси выработки. Установлено, что вероятность достижения предельного состояния вмещающих пород вследствие максимальной разницы главных напряжений выше у выработок прямоугольной и шатровой форм. Для прямоугольной выработки самое неблагоприятное распределение динамических напряжений создается при падении волны сверху, для шатровой под углом к вертикальной оси сечения в 45°

Решение плоской задачи позволяет с некоторым приближением представить особенности процесса взаимодействия с выработкой сейсмических волн, падающих на выработку под острым углом к ее продольной оси, при этом очаг динамического явления может быть сбоку, сверху и даже снизу от выработки. Первая полуволна растяжения, падающая под углом к оси выработки, отражается от поверхности выработки. На поверхностях трещин и контактах слоев происходит частичное преломление и отражение волн с весьма сложной картиной формирования динамично меняющегося поля сейсмических напряжений. Точка выхода волны на контур будет перемещаться вдоль выработки со скоростью, растущей с приближением направления волны к нормали относительно поверхности. Перемещение волны растяжения вдоль выработки создает условия для деформаций сдвига (скола) по поверхностям ослабления (трещинам, плоскостям напластования), ориентированным субпараллельно траекториям максимальных тангенциальных динамических напряжений.

Совместное действие сил растяжения и сдвига по плоскостям ослабления вызывает появление откольных трещин, которые при повторных горных ударах формируют поверхность откола с обрушением пород. Для устойчивости выработок и особенно плоской слоистой кровли очистных камер наибольшую опасность представляют поверхности откола, параллельные их контуру. Соответственно неблагоприятным будет падение волны в направлении, составляющем с продольной осью выработки угол, близкий к 45° В этом случае траектории максимальных тангенциальных напряжений ориентированы по напластованию слоев непосредственной кровли. Деформации растяжения и сдвига по контактам слоев сопровождаются и усиливаются дилатансией (разуплотнением) по причине неровностей на площадках скола. Решающая роль сдвигающих напряжений в деформационных процессах в кровле камер подтверждается характерным (в виде «заводных ручек») изгибом стержней штанг, «обыгранных» обрушившейся породой.

На основе выявленных динамики сейсмических напряжений и закономерностей деформирования вмещающих выработки пород разработаны конструкции усиления упрочняющей штанговой крепи кровли камер и сопряжений пластовых выработок глубокими железобетонными анкерами. Параметры анкеров: длина и плотность расстановки – определены из условия предупреждения расслоения и резонансных колебаний непосредственной кровли. Для камер рекомендованы анкеры глубиной 3,5 м, с расстановкой в пролете камеры одного-трех рядов при расстоянии между анкерами до 1,5 м в зависимости от структуры непосредственной кровли. Для сопряжений очистных камер с рудными штреками предложены кусты из девяти анкеров длиной по 4,5 м, устанавливаемых по сетке 1,5 × 1,5 м. Рекомендации приняты ОАО «Севуралбокситруда» к внедрению.