УДК 207.6

А.Г.ПРОТОСЕНЯ

Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ОБОСНОВАНИЕ ПРИРОДООХРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ УДАРООПАСНЫХ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Выполнен комплекс экспериментальных и теоретических исследований по обоснованию основных положений природоохранной технологии освоения удароопасных месторождений на больших глубинах. Выявлены закономерности распределения динамических напряжений вокруг выработок при действии сейсмических волн от горных ударов, которые являются базой для создания сейсмостойких крепей. Предложены конструкции крепи.

Experiments and theoretical researches on basic nature conservation technology in the developing of deep high-risk deposits were carried out. Regularities of dynamic tensions distribution around the workings due to the influence of seismic waves produced by rock bumps have been found. New types of supports have been proposed.

Тема проекта актуальна для предприятий, разрабатывающих месторождения с динамическими проявлениями горного давления. Традиционно изменение параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) массива при прохождении сейсмических волн рассматривалось упрощенно, в квазистатической постановке. Квазистатическая модель взаимодействия волны с выработками не объясняет многих характерных проявлений горного давления в выработках при толчках, микроударах и горных ударах в массиве. Поэтому исследование процессов взаимодействия сейсмических волн с выработками с учетом отраженных и дифрагированных волн является актуальной задачей геомеханики, имеющей практическое значение.

Цель НИР – на основе выявленных закономерностей изменения параметров НДС массива при горных ударах разработать способы крепления выработок удароопасных рудных месторождений.

Использовалась комплексная методика, включающая лабораторные испытания пород в условиях объемного напряженного состояния, математическое моделирование процессов взаимодействия сейсмических волн с выработками, методы оценки устойчивости породных обнажений при динамических явлениях в массиве, анализ зависимости параметров сейсмических волн от энергии и расстояния до очага динамического явления по сейсмограммам сейсмостанции «Североуральск».

Основные научные и практические результаты НИР сводятся к следующему:

1. Удароопасность пород с увеличением боковых напряжений снижается. На больших глубинах при наличии вокруг выработок зон предельного состояния и неупругих деформаций потенциально опасные по динамическим явлениям зоны удаляются от обнажения в глубину массива. Отпор крепи или упрочнение пород штанговой крепью в зоне разуплотнения снижают вероятность проявлений динамического характера.

2. Выявлены новые закономерности изменения НДС массива вокруг камер с плоской слоистой кровлей при самом неблагоприятном направлении хода сейсмической волны:

- максимальная массовая скорость (скорость колебаний точки массива при прохождении сейсмической волны) на контуре обнажения при однородной кровле превышает массовую скорость в прямой волне в 1,8 раза, а при слоистой кровле в 2,1 раза;

• массовая скорость приконтурного слоя кровли практически одинакова по всей ширине камеры, ее величина резко падает только в углах, у боковых целиков;

• с удалением от обнажения массовая скорость в кровле постепенно снижается и на расстоянии 1,5 пролетов камеры выравнивается с массовой скоростью в прямой волне;

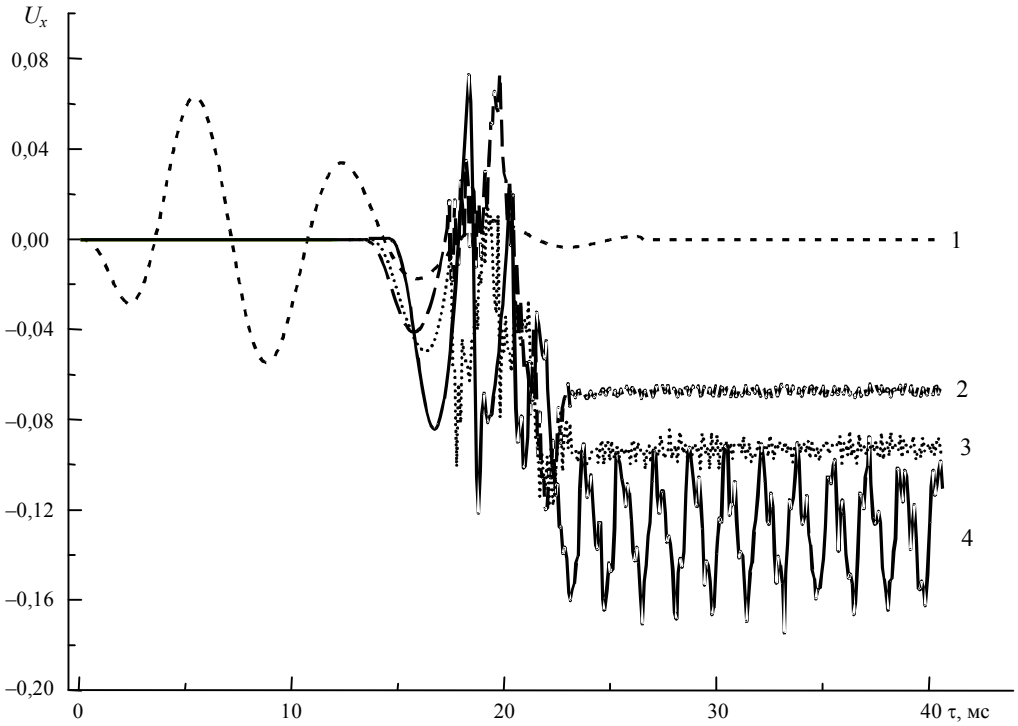
• с разрушением контактов между прослойками в слоистой толще (разрыв сплошности) каждый слой колеблется с различными скоростями; при разрыве сплошности непосредственной кровли массовая скорость в основной кровле увеличивается (на расстоянии 6 м от выработки в 1,5 раза); рост скоростей прослеживается до глубины, равной двум пролетам выработки;

• вертикальные напряжения (нормальные относительно плоскости обнажения) в центре модели возрастают от минимальных на контуре до 0,8 напряжений в прямой волне на расстоянии, равном двум пролетам выработки; горизонтальные динамические напряжения максимальны в центре модели на расстоянии 2 м от контура выработки;

• амплитуды отраженных и преломленных волн по величине и продолжительности колебаний в каждом слое отличаются, что может служить причиной расслоения толщи по ослабленным контактам между слоями и разрушения слабых прослойков;

• выработка оказывает заметное экранирующее влияние на породы в почве: на расстоянии от выработки до 1,5 ее пролетов амплитуды сейсмических напряжений не превышают четверти амплитуды прямой волны за пределами зоны влияния выработки.

Эффекты взаимодействия сейсмических волн с выработкой указывают на существенные отличия параметров НДС модели от квазистатического решения: зона максимума динамических напряжений находится не у контура выработки, а удалена от обнажения; вокруг выработки в кровле, в боках и в почве образуется зона с пониженными относительно амплитуды прямой волны на-



Скорость колебаний U_x слоистой кровли камеры шириной 5,5 м при падении прямой волны

1 – в прямой волне; 2 – в слое на глубине 3 м от контура; 3 – на глубине 0,8 м от контура; 4 – нижнего слоя на контуре

пряжениями, непосредственно на контуре вертикальные динамические напряжения в боковых относительно хода волны областях не превышают 0,7 амплитуды напряжений прямой волны.

Особенности деформирования слоистой кровли при падении волны на выработку сверху указывают, что слоистость является фактором, существенно снижающим устойчивость кровли, особенно при ее расслоении. Когда амплитуды колебаний отдельных слоев рассогласованы, колебания приконтурного слоя с удвоенной массовой скоростью являются причиной обрушения непосредственной кровли с «обыгрыванием» штанг, установленных перпендикулярно поверхности обнажения, т.е. по направлению скорости колебаний. После расслоения каждый слой колеблется с разными амплитудами, причем колебания долго не затухают (см. рисунок). Таковы колебания кровли после ее расслоения энергией прямой волны (кривая 1). Самая большая амплитуда в приконтурном слое (кривая 4), в середине непосредственной кровли меньше. Очевидно, что эффективное «сшивание» штангами слоев в одну пачку положительно изменит динамические параметры НДС непосредственной кровли.

3. Составлена методика прогноза устойчивости породных обнажений при динамических явлениях, учитывающая зависимость динамических напряжений в массиве и коэффициента усталости пород от энергии динамического явления и расстояния до его очага.

4. Методом конечных элементов установлены закономерности пространственного распределения напряжений вокруг выработки, закрепленной штанговой крепью. Выявлено влияние длины штанг, расстояний между ними на концентрацию нормальных и касательных напряжений во вмещающем массиве.

5. Данные по параметрам поля динамических напряжений и массовых скоростей при падении сейсмической волны на выработку с плоской слоистой кровлей послужили обоснованием конструкции сейсмостойкой крепи для очистных камер при разработке бокситовой залежи в условиях Североуральского месторождения. Штанговая крепь усилена веерными кустами из четырех глубоких (3 м) штанг, установленных по сетке $0{,}9 \times 0{,}9$ м с отклонением от вертикали. Благодаря отклонению штанг от направления максимальной скорости колебаний повышается эффект упрочнения слоистой кровли. Для предупреждения «обыгрывания» концы штанг куста связаны арматурной сеткой.

Целесообразно продолжить исследования взаимодействия сейсмических волн с выработками и очистными камерами, в частности, по взаимодействию сейсмической волны с выработкой прямоугольной формы при косом натекании волны, по распределению касательных напряжений в слоистой кровле камеры при произвольном угле падения фронта волны на поверхность обнажения.