УДК 622.28.042

А.Г.Протосеня, О.В.Колосова, Ю.Н.Огородников

Санкт-Петербургский горный институт (технический университет)

СЕЙСМОСТОЙКИЕ КОНСТРУКЦИИ КРЕПИ ВЫРАБОТОК ПРИ РАЗРАБОТКЕ УДАРООПАСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На основе закономерностей изменения параметров поля динамических напряжений при взаимодействии сейсмических волн с выработкой сформулированы требования к сейсмостойкой крепи выработок в зонах влияния горных ударов и массовых взрывов. Выполнена оценка работоспособности традиционных видов анкеров при динамических нагрузках. Оптимальной конструкцией крепи выработок удароопасных участков признана комбинированная крепь из сталеполимерных или железобетонных анкеров со сплошным заполнением скважин закрепляющим составом, усиленная кустами длинных (до 3,5 м) железобетонных анкеров в месте выхода волн на контур выработки. Длина анкеров выбирается по условию перекрытия зоны растягивающих напряжений.

In terms of the regularities of stress field parameter changes when seismic waves interact with a working there have been formulated some requirements to seismic-resistant lining in the mining zones exposed to rock bursts and mass blasts. The evaluation of serviceability of conventional types of anchors at dynamic load was made. A combined lining made of steel-and-polymer or ferro-concrete anchors that continu-

ously fill boreholes with fixing agent which is reinforced by clusters of long reinforced concrete anchors (up to 3.5m) in the zone of the waves reach of the contour of the working was proved to be the optimal construction of the lining in the workings to be located in the rock burst hazardous sections. The length of anchors was recommended to be chosen allowing for tensile stress zone overlap.

При разработке месторождений с динамическими проявлениями горного давления от горных ударов и массовых взрывов (СУБР, рудник «Северный», глубокие горизонты рудников Талнаха, Текелийские рудники и др.) в подготовительных выработках и сопряжениях применяют, главным образом, комбинированные упрочняющие конструкции крепи и значительно реже поддерживающую крепь.

Комбинированные конструкции представлены, в основном, крепью из клинощелевых или железобетонных штанг (ЖБШ) с набрызгбетоном (СУБР, рудник «Северный») или с дополнительным усилением металлической сеткой (рудники Талнаха). Конструкции приспосабливают к конкретным условиям, меняя длину штанг, плотность их размещения, диаметр проволоки сетки, толщину слоя набрызгбетона, отставание крепи от забоя. Область применения поддерживающей крепи ограничивается размерами выработок.

Параметры крепи принимают без учета динамических составляющих поля напряжений, так как в действующих нормативных документах* отсутствуют научно обоснованные рекомендации по креплению выработок при динамических формах проявлений горного давления. Эксплуатационная надежность выработок удароопасных участков и в зонах влияния массовых взрывов низкая. Например, по результатам обследования, на некоторых удароопасных блоках шахт СУБРа деформировано до 80 % выработок. При динамических явлениях с энергией до 10^4 Дж наблюдаются нарушения породного контура и крепи в виде заколов, локальных отколов породы с «обыгрыванием» штанг. Динамические явления с энергией более 10^4 Дж провоцируют «обыгрывание» штанг на больших площадях, обрывы сетки, вывалы пород на глубину до 1,5-2,5 м от контура, иногда вместе со штангами. Деревянная крепь при динамическом, импульсном росте нагрузок также ненадежна: верхняки ломаются, стойки выдавливаются в выработку, вывалы пород в кровле достигают 2-3 м от контура. Не обеспечивает устойчивости выработок и арочная податливая крепь: изгиб верхнего сегмента, обрывы хомутов, поломка затяжки ведут к неблагоприятным изменениям схемы нагружения арки с прогрессирующим нарастанием деформаций.

В целом состояние подготовительных выработок, сопряжений и очистных камер при камерно-столбовой системе разработки на шахтах СУБРа доказывает, что традиционные подходы к креплению выработок при динамических явлениях непригодны.

Основной причиной неудовлетворительной работоспособности рассмотренных конструкций крепи при сейсмических воздействиях является несоответствие характера их работы деформационным процессам, развивающимся во вмещающих породах под воздействием сейсмических и взрывных волн.

Требования к сейсмостойкой крепи вытекают из закономерностей изменения параметров напряженно-деформированного состояния пород вокруг выработок, находящихся в зоне влияния динамического явления. В 2001 г., согласно календарному плану НИР «Разработка геодинамически безопасных способов рационального освоения удароопасных рудных месторождений», с помощью математического моделирования* выявлены новые закономерности изменения параметров поля динамических напряжений и массовых скоростей при взаимодействии коротких сейсмических волн с выработкой. Для определения критериев отбора конст-

* Инструкция по креплению полевых горизонтальных и наклонных выработок шахт Северо-Уральского бокситового бассейна / Санкт-Петербургский горный ин-т. СПб, 1996. 56 с.

* *Бестужева А.Н.* Методические принципы математического моделирования физических процессов в сложных системах / А.Н.Бестужева, В.В.Карпенко, Г.А.Колтон // Новые технологии в образовательном процессе / Высшее военно-морское училище им. М.В.Фрунзе. СПб, 1998. № 5. С.95-100.

рукций сейсмостойкой крепи важнейшее значение имеют следующие результаты моделирования:

• нормальный к контуру компонент массовой скорости, с максимумом до $2v_0$ (здесь v_0 – массовая скорость на пике прямой волны) в точке выхода волны на свободную поверхность, уменьшается с глубиной и на расстоянии $0{,}8R_0$ (здесь R_0 – приведенный радиус выработки), снижается почти до v_0;

• в области со стороны хода волны формируется зона разгрузки с максимальными значениями растягивающих нормальных напряжений до $(0{,}6\div0{,}9)\sigma_0$ на расстоянии $(0{,}6\div1{,}2)R_0$ от контура выработки (здесь σ_0 – напряжение на фронте прямой волны);

• максимальные сжимающие тангенциальные напряжения не превышают $(1{,}9\div2{,}0)\sigma_0$ и локализуются до глубины $(0{,}8\div1{,}0)R_0$ в секторах, ориентированных под углом 90° к направлению хода волны.

Изменения НДС массива при этом имеют многократно повторяющийся характер. Количество горных ударов, например, на СУБРе исчисляется за период службы подготовительной выработки десятками, как и число высокочастотных колебаний за один удар средней силы. Соответственно, сейсмостойкая упрочняющая крепь должна отвечать следующим требованиям:

• сцепление штанг с породами должно, по возможности, при сейсмических воздействиях сохраняться по всей длине штанг;

• длина штанг элементов сцепления комбинированной крепи должна быть достаточной для перекрытия зоны растягивающих динамических напряжений;

• крепь должна упрочнять породный контур выработки, особенно в секторах с максимальными сжимающими напряжениями и на выходе волны, где массовая скорость также достигает максимума.

Первому требованию соответствуют следующие конструкции штанг:

1. Комбинированная железобетонная штанга (КЖБШ), представляющая собой серийную клинощелевую металлическую штангу с измененным клином, закрепленную в скважине клинощелевым замком и цементно-песчаным раствором, которым предварительно заполняют скважину.

2. Трубчатая гидрораспорная штанга типа «Свеллекс», состоящая из трубы, смятой до С-образного поперечного сечения с заглушками на концах, закрепляемой в скважине давлением нагнетаемой в трубу жидкости. Штанга имеет контакт с породой по всей длине, обладает высокой стойкостью к сейсмическим воздействиям, технологичностью возведения и вступает в работу сразу после установки.

3. Сталеполимерная сплошная штанга (СПШ), состоящая из арматурного стержня, закрепленного в скважине полимербетоном, гайки и опорной плитки. Штанга быстро вступает в работу, обладает высокой несущей способностью и стойкостью к сейсмическим воздействиям.

4. Железобетонная штанга с контурным замком, имеющая стержень из арматуры периодического профиля 18-20 и опорную плитку, закрепляемую на стержне двухконусной втулкой. Замок работает в податливом режиме с нарастающим сопротивлением, что оптимально для динамического характера напряжения штанги.

5. Железобетонная штанга с петлевым концом, применяемая для комбинированной крепи из штанг, металлической сетки и набрызгбетона. Опорная плитка с овальным вырезом прижимает к породе сетку при помощи стального клина, забиваемого в петлю штанги. Конструкция эффективна на участках с низким уровнем (до 10^4 Дж) сейсмической активности.

Оптимальной сейсмостойкой конструкцией упрочняющей крепи является комбинированная крепь из «коротких» (1,6-1,8 м) штанг (СПШ, КЖБШ) с узлами на контурных концах, приспособленных для навески сетки и с элементами усиления из штанг длиной от 3 до 4,5 м. В качестве элементов усиления на шахтах СУБРа испытаны ЖБШ длиной 3,5 м, установленные в один или два ряда вдоль выработки через 1,5 м («гребенка») На сопряжениях такие штанги длиной до 4,5 м устанав-

ливаются пакетами по девять штанг в квадрате 3 × 3 м (по сетке 1,5 × 1,5 м).

Для перекрытия зоны разуплотнения со стороны хода волны разработан новый элемент усиления – кусты глубоких (по 3,0-3,5 м) анкеров (ГА). Шпуры под четыре штанги куста бурятся в квадрате 0,6 × 0,6 м под углом к оси щита, обеспечивающим расхождение концов анкеров в глубине на 1,2-1,4 м. На железобетонных штангах крепится клиновыми замками опорная плита из сварной решетки. Кусты ставятся через 2,2-3,5 м по длине выработки. Кровля в промежутках между кустами крепится короткими штангами, а в нарушенных зонах дополнительно затягивается. При сейсмических воздействиях кусты, благодаря геометрии конструкции, достаточной длине штанг, прочной решетке (обвязке на контуре) удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к сейсмостойкой крепи: эффективно гасят колебания породного контура, предупреждают расслоение кровли в глубине, упрочняют приконтурный слой породы.