

## **КРЕПЬ РЕГУЛИРУЕМОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ВЫСОКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ**

<sup>1</sup> Гайко Г.И., <sup>2</sup> Горбатова Л.А.

<sup>1</sup> НТУУ «Киевский политехнический институт»,

<sup>2</sup> Донбасский государственный технический университет

*Рассмотрена проблема минимизации затрат на крепление и поддержание протяженных горных выработок. Предложена конструкция крепи регулируемого сопротивления с резервированием надежности. Обоснована целесообразность крепления выработок с высокой функциональной ответственностью с резервированием надежности крепи.*

Эффективное проектирование крепи горных выработок является одной из наиболее сложных проблем при строительстве и эксплуатации горных предприятий. Многочисленные ошибки проектирования второго рода приводят к отказам крепи и значительным затратам на перекрепление выработок (около 11% от общей протяженности), ухудшению их транспортных и вентиляционных функций в условиях деформированного состояния крепи, риску повышенного травматизма рабочих. В тоже время имеются многочисленные выработки, где крепь находится в недогруженном состоянии и имеет завышенный запас прочности (проектные ошибки первого рода), что приводит к непроизводительному удорожанию конструкций. Стоимость крепления и поддержания горных выработок составляет в себестоимости угля до 15% [1].

Основным требованием при проектировании типа и параметров крепи является ее соответствие проявлениям горного давления, что должно обеспечить устойчивость выработки на протяжении всего срока эксплуатации. В последние десятилетия наряду с традиционными методами проектирования шахтной крепи стали применять двухстадийное проектирование, требующее обязательного уточнения и корректировки проектных решений во время сооружения выработки [2]. Такой подход, берущий свое идейное начало в трудах проф. Рабцевича и Мюллера («Новоавстрийский способ сооружения тоннелей»), предполагает управление несущей способностью крепи в зависимости от геомеханической ситуации по длине выработки.

В соответствии с известной концепцией, на начальной стадии проектируется базовая крепь с минимально допустимой для данных условий несущей способностью (по результатам типовых инженерно-геологических изысканий), предусматривается система контроля за смещениями пород и выбираются варианты возможных крепей усиления. На второй стадии (сооружение выработки) устанавливаются крепь, датчики смещений пород и производят мониторинг состояния выработки. В случае

превышения смещениями породного контура величины сигнальных значений на каком-либо участке протяженной выработки, его устойчивость обеспечивают вводом в работу дополнительной крепи усиления, чем регулируют сопротивление конструкции проявлениям горного давления. Своевременное введение в действие крепи усиления должно обеспечить дальнейшее надежное поддержание выработки при минимальных издержках, поскольку материалоемкие (комбинированные) конструкции устанавливаются только на опасных участках протяженной выработки при выявлении риска потери их устойчивости, на остальных же участках, в соответствии с фактическим уровнем действующих нагрузок, сохраняется базовая («легкая») крепь [3-4].

Следует отметить, что в отличие от практики строительства тоннелей, использование описанного выше способа регулирования сопротивления крепи в условиях глубоких горизонтов угольных шахт имеет ряд проблемных моментов. В работу используемых комбинированных конструкций не всегда вовлечена несущая способность окружающих выработку пород, а недостаточное сопротивление базовой крепи становится причиной значительного развития зоны неупругих деформаций. Как показывает практика, большинство конструкций усиления эффективнее работают на начальных стадиях проявления геомеханических процессов, а несвоевременное их применение может ускорить развитие зоны обрушения и сформировать повышенную нагрузку на крепь. Таким образом, риск потери устойчивости выработки, ремонтов и перекреплений сохраняется.

Как показал стоимостный анализ функциональной ответственности горных выработок угольных шахт [5], имеется значительное количество магистральных выработок, ремонтные простои которых могут приводить к высоким материальным издержкам, поскольку прерывается основной грузопоток, а другие выработки не могут взять на себя прерванные функции. Для таких протяженных выработок необходима повышенная надежность работы, обеспечить которую необходимо с минимально допустимыми затратами (т.е. при соответствии несущей способности крепи проявлениям горного давления по всей длине выработки). Для этих целей авторами разработана крепь регулируемого сопротивления (КРС) с резервированием надежности.

В разработанной системе комбинированной крепи основным элементом (базовой крепью) являются окружающие выработку горные породы, которые укреплены анкерами и (или) скрепляющим раствором (инъекционное упрочнение, набрызгбетон и др.), а дополнительным (крепью усиления) служат подпорные конструкции, взаимодействующие с породным контуром выработки. При этом подпорные конструкции (как правило – стальные рамные крепи) представляют собой резерв надежности комби-

нированной крепи, т.е. создают избыточную несущую способность, которой можно управлять в соответствии с геомеханической ситуацией в выработке. Предложенная конструкция КРС отличается одновременным введением в работу основных и дополнительных элементов, а регулирование сопротивления (демонтаж подпорных конструкций) происходит после реализации основных смещений горных пород в выработку в случае выявления недогруженного состояния крепи.

Проектирование КРС с резервом надежности предполагает определение наиболее неблагоприятных для проектных условий нагрузок на крепь и установку по всей длине выработки комбинированной конструкции (состоящей из основной и дополнительной крепи), суммарная несущая способность которой соответствует максимально возможным (для данных условий) нагрузкам. На второй стадии производится мониторинг состояния выработки и, после реализации смещений породного контура, в случае выявления недогруженного состояния комбинированной крепи на отдельных участках выполняют облегчение ее конструкции путем поэтапного демонтажа элементов дополнительной крепи. При этом демонтаж резервной крепи может производиться в несколько этапов, при сохранении мониторинга за смещениями пород и состоянием крепи.

Для отнесения комбинированной крепи к недогруженному состоянию следует использовать разработанные критерии для рамной и анкерной крепи, которые всесторонне оценивают работу их элементов (действующие усилия, прогибы элементов, смещения в узлах податливости рамы и стержне анкера, деформации профиля, отказы затяжек и др.) и свидетельствуют об избыточном запасе прочности нагруженной конструкции не менее 50% [1, 6].

Для расчета величины и числа резервных элементов крепи следует воспользоваться вероятностными моделями горной выработки, причем показателем надежности крепи по всей протяженности  $l$  горной выработки составит:

$$R_x = \int_0^l \frac{W_i(x_i + \Delta x_i)}{W_0} dl,$$

где  $W_i(x_i + \Delta x_i)$  – несущая способность  $i$ -го участка крепи при условии нахождения на нем  $x_i$  основных и  $\Delta x_i$  резервных элементов;

$W_0$  – максимальное нагружение, действующее на наиболее опасном участке выработки [7].

В качестве примера рассмотрим комбинацию анкерной и рамной крепи (рис. 1, 2).

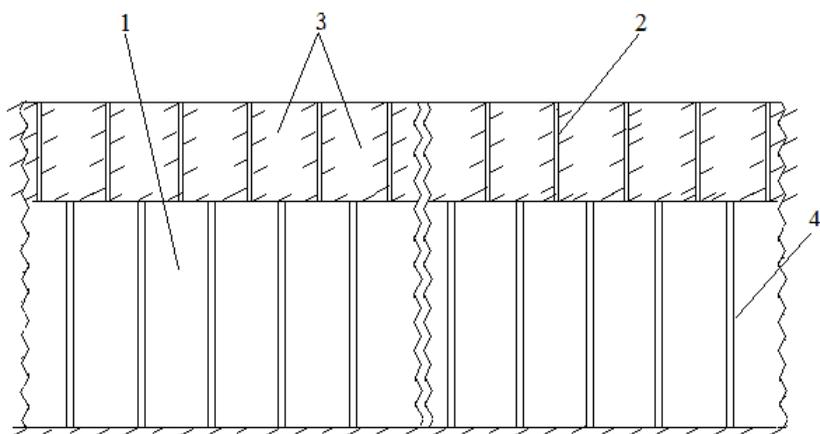


Рис. 2. Схематический вид крепи после ее установки

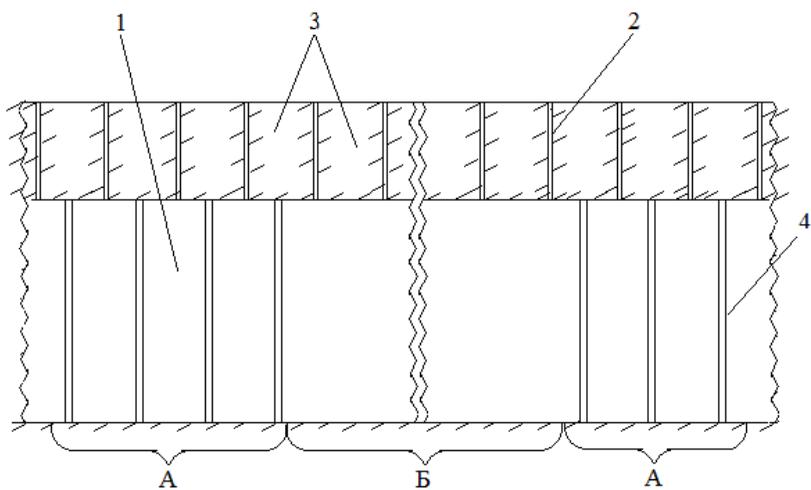


Рис. 3. Схематический вид крепи после реализации основных смещений и демонтажа ее дополнительных элементов на участках с недогруженным состоянием крепи

По всей длине выработки 1 в породный массив 3 устанавливают стальные анкеры 2, которые закрепляют цементными смесями. Рамы 4 устанавливают на определенном расстоянии друг от друга и вводят во взаимодействие с породным контуром (рис. 1). Во время реализации основных смещений горных пород состояние рамной и анкерной крепи обследуют по разработанным методикам [6].

На участках, где крепь работает в нормативном режиме, т.е. несущая способность установленной комбинированной крепи соответствует действующим нагрузкам (участки А на рис. 2), дополнительные элементы крепления (рамы) оставляют в выработке. На участках, где несущая способность комбинированной крепи существенно превышает действующие нагрузки (недогруженное состояние крепи), поэтапно демонтируют отдельные рамы, приводя запас прочности конструкции в соответствие с величиной и распределением нагрузки. Если несущая способность основной крепи оказывается достаточной для надежного поддержания выработки, на участке демонтируют все рамы (участок Б на рис. 2).

Отметим ряд преимуществ разработанной КРС с резервированием надежности. Поскольку основным элементом крепи являются горные породы вокруг выработки, укрепленные анкерами или скрепляющим раствором, обеспечивается уменьшение зоны разрушения пород вокруг выработки, что приводит к уменьшению проявлений горного давления и расходов на материалоемкость крепи.

Так как подпорные конструкции обеспечивают избыточную несущую способность крепи, создается резерв надежности, который обеспечивает безремонтное поддержание выработки в случае ошибки проектного прогноза проявлений горного давления по длине выработки.

Благодаря одновременному использованию основных элементов крепи и дополнительных подпорных конструкций (рам крепи), взаимодействующих с породным контуром выработки, увеличивается сопротивление крепи на ранних стадиях формирования геомеханических процессов, что приводит к снижению деформаций и разрушений горных пород.

Поскольку подпорные элементы могут быть демонтированы на участках выработки с недогруженным состоянием крепи, обеспечивается возможность приведения в соответствие несущей способности комбинированной крепи проявлениям горного давления по всей длине выработки без риска потери ее устойчивости, что минимизирует общую стоимость крепления и поддержания выработки.

Предлагаемая крепь регулируемого сопротивления может обеспечить надежное состояние магистральных выработок с высоким классом функциональной ответственности при одновременном снижении затрат на поддержание выработки, что дает значительный экономический эффект за

счет исключения дорогостоящих простоев выработок, а также затрат на их ремонт и укрепление. Это особенно актуально в современных горно-технических условиях разработки месторождений на больших глубинах.

#### Литература

1. Литвинский Г.Г., Гайко Г.И., Кулдыркаев Н.И. Стальные рамные крепи горных выработок. – К.: Техніка, 1999. – 216 с.
2. Корчак А.В. Методология проектирования строительства подземных сооружений. – М.: Недра комьюникейшнс ЛТД, 2001. – 416с.
3. Быков А.В. Крепь регулируемого сопротивления. - Шахтное строительство, 1982, – №12. – с.11-12
4. Картозия Б.А., Пшеничный В.А., Корчак А.В. Крепь регулируемого сопротивления/ Исследование взаимодействия массива с крепью выработок. – Л.: ЛГИ, 1988. – С. 36-41.
5. Гайко Г.И., Окалелов В.Н. Учет функциональной ответственности выработок при проектировании шахтной крепи// Уголь Украины, 2001, №6. – С. 39-40.
6. Гайко Г.И. Конструкції кріплення підземних споруд. – Алчевськ: ДонДТУ, 2006. – 133 с.
7. Гайко Г.И., Горбатова Л.А. Оценка надежности горной выработки при управлении несущей способностью крепи// Розробка родовищ. Щорічний науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ: ТОВ «ЛізуновПрес», 2013. – С. 131-136.

УДК 622.363.2.001.57

### **К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ СОВМЕСТНЫХ РАБОТ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ И НЕМЕХАНИЗИРОВАННЫХ ПРОХОДЧЕСКИХ ЩИТОВ**

<sup>1</sup> Арутюнян А.В., <sup>1</sup> Гречкин С.А., <sup>2</sup> Гец А.К., <sup>2</sup> Шпургалов Ю.А.

<sup>1</sup> УП «Минскметрострой», г. Минск,

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет, г. Минск

*В данной работе сделан качественный анализ соотношения развития фронта строительных работ при сооружении третьей линии Минского метрополитена при использовании двух видов тоннелепроходческого оборудования. Сформулированы основные проблемы организации совместных работ тоннелепроходческих механизированных комплексов и немеханизированных проходческих щитов.*

**Введение.** Первый участок третьей линии Минского метрополитена от ст. Корженевского до ст. Юбилейная с электродепо предполагает строительную длину 8456,5 м и предусматривает строительство семи станций метрополитена, перегонных тоннелей между станциями, пересадочных узлов между первой и третьей, второй и третьей линиями метрополитена, соединительной ветки между второй и третьей линиями метрополитена, электродепо третьей линии метрополитена, соединительной ветки с электродепо, инженерного корпуса, здания эксплуатационного персонала.