

### **Библиографический список**

1. Калиниченко О.И. Основные положения теории гидроударников прямого действия // Труды ДонГТУ: Серия Горно-геологическая. — Донецк, 2001. — Вып.24. — С. 29–35.
2. Неудачин Г.И., Подкидышев А.П., Бажутин А.Н. Вопросы разработки и применения погружных насосов для промывки скважин и откачки воды // Совершенствование техники и технологии разведочного колонкового бурения. — М.: Недра, 1968. — С. 68–122.
3. Тарко Л.М. Волновые процессы в трубопроводах гидромеханизмов. — М.: Машгиз, 1963. — 183 с.

*© Зыбинский П.В., Калиниченко О.И., Каракозов А.А., 2003*

УДК 622.281.4.002.2

Докт. техн. наук ДРУЦКО В.П., инженеры АЛФЕРОВ Б.В., ШАПОВАЛ Ю.С. (НИИ-ОМШС, Харьков)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БЛОЧНОЙ КРЕПИ**

Строительство магистральных горных выработок в угольной, горнорудной промышленности и тоннелей различного назначения, имеющих строго заданный профиль, обусловленный путевыми уклонами или требованиями водоотведения, в условиях изменчивости геомеханической обстановки, характеризующейся наличием слабых, неустойчивых и часто обводненных пород сопряжено со значительными трудностями. При волнистом залегании пород выработки проходят по перемещающимся в забое пластам, что обуславливает резкий рост нагрузок на крепь на отдельных участках трассы выработок, усложняет горнопроходческие работы и в конечном итоге ведет к снижению темпов и удорожанию проходки и поддержания выработок.

В подобных условиях наиболее реальным путем повышения технико-экономических показателей строительства и поддержания горных выработок является применение щитовых проходческих комплексов и сборной железобетонной крепи с высокими технико-технологическими параметрами. Применяемые щиты в Украине, странах СНГ и дальнего зарубежья обычно имеют круглую форму, а в качестве крепи используется многошарнирная кольцевая грузонесущая конструкция.

При разработке неустойчивых, слабосвязных пород в забое могут происходить вывалы, распространяющихся за внешний контур оболочки щита, в результате чего образуются полости, пагубно влияющие на устойчивость сборной многошарнирной крепи при выходе ее из оболочки щита. Многошарнирные системы крепи деформируются с перемещением элементов в сторону пустот, что может приводить к опасным изменениям контура крепи вплоть до ее развала еще до выполнения тампонажа закрепного пространства и развития нагрузок на крепь. Поэтому вопрос устойчивости многошарнирной крепи при недостаточном внешнем отпоре и допустимом перемещении ее элементов требует особого внимания. Кроме того, необходимость улучшения технико-экономических показателей сооружения и поддержания горных выработок потребовала пересмотра подходов к креплению в сторону снижения многодельности и материалоемкости конструкций крепи при сохранении ее достаточной устойчивости в начальный период сдвижения породного массива вокруг выработки и обеспечения несущей способности в течение срока службы.

Для установления оптимальных параметров сборной железобетонной крепи для выработок, проводимых щитовыми комплексами, проведено комплексное исследование ее работоспособности.

Изучение кинематики многошарнирного кольца крепи проведено на специальном стенде, имитирующем движущуюся модель оболочки щита в породном массиве в масштабе 1:5. В натуре крепь имеет внутренний и внешний диаметры соответственно 4,7 м и 5,1 м.

При сборке кольца крепи в оболочке щита обеспечить ее проектную форму невозможно без специальных мероприятий. Без них шарнирная крепь принимает форму, близкую к овалу, вытянутому по горизонтальной и сплюсненному по вертикальной оси. Такое формоизменение крепи является следствием ее многошарнирности, действия массы составляющих элементов и разницей между наружным диаметром крепи и внутренним диаметром оболочки щита за счет строительного зазора. После схода крепи с оболочки щита горизонтальная ее ось увеличивается, а вертикальная — уменьшается. Это обусловлено увеличением диаметра породного контура по сравнению с внутренним диаметром оболочки щита на величину ее двойной толщины. При такой конфигурации очертания крепи усилия в элементах свода значительно возрастают при одновременном ухудшении работы стыков.

В натуральных условиях, когда на многошарнирную крепь кроме усилий от собственной массы элементов действует давление со стороны пород и когда вокруг крепи есть полости, три шарнира двух смежных элементов могут выйти на прямую линию. Система станет мгновенно изменяемой и потеряет свою устойчивость еще до разрушения элементов крепи. Предельная ширина закрепного пространства, при которой возникают опасные перемещения шарниров

$$L = 2R \left[ \sqrt{1 + 4 \sin^2 \alpha \left( \frac{\cos \alpha - 1}{\cos \alpha} + \operatorname{tg}^2 \alpha \right)} - 1 \right],$$

где  $R$  — среднее значение внешнего и внутреннего радиусов крепи;  $\alpha = \frac{180^\circ}{n}$ , где  $n$  — количество элементов (шарниров) в кольце крепи.

Возможность выхода трех шарниров на одну прямую возрастает с увеличением числа шарниров и размеров пустот за крепью. Основным и обязательным условием устойчивости многошарнирной системы является наличие среды отпора, исключаящее недопустимые повороты элементов крепи в шарнирах и их свободное перемещение.

Перемещение шарниров снижается с уменьшением количества элементов в кольце крепи, то есть с их укрупнением, но при этом возрастает влияние неравномерности нагружения крепи и следствием этого — изменение ее несущей способности. Выполненные по программе «Крепь-2» ТулПи расчеты разрушающей нагрузки для колец крепи одинакового диаметра, состоящих из различного числа элементов при изменяющемся соотношении горизонтальной  $q_g$  и вертикальной  $q_v$  интенсивности нагрузок показали, что с уменьшением числа элементов разрушающая нагрузка снижается и тем сильнее, чем больше неравномерность нагружения по периметру (табл. 1).

Так, при  $q_g/q_v=0,9$  разрушающая нагрузка с увеличением в крепи числа элементов с 5 до 8 возрастает на 10,2 %, а при  $q_g/q_v=0,3$  — на 76,9%. В то же время уменьшение числа сборочных единиц в кольце с 8 до 5 позволяет сократить трудозатраты на монтаж кольца и чеканку швов на 9–14%, а общие трудозатраты в горнопроходческом цикле на 4–7%, что в конечном итоге повышает производительность труда, темпы проходки при экономии средств и материальных ресурсов.

Табл. 1. Расчетные значения разрушающей нагрузки

Соотношение интенсивностей горизонтальной и вертикальной нагрузок	Разрушающая нагрузка, кН/м <sup>2</sup>		
	Количество элементов в крепи		
	5	6	8
$q_c=0,9q_s$	1280	1309	1511
$q_c=0,7q_s$	911	986	1325
$q_c=0,5q_s$	730	805	1119
$q_c=0,3q_s$	550	691	973

Анализ горнопроходческих условий проведения горных выработок щитовым способом показал, что при наиболее часто встречающемся соотношении  $q_c/q_s=0,5$  выгоднее по технико-технологическим показателям являются конструкции сборной железобетонной крепи из 5 и 6 элементов шириной один метр. Применяемые на практике элементы сборной крепи имеют обычно толщину 200 мм, что предопределено конструктивными особенностями применяемых щитовых проходческих комплексов, областью использования которых являются массивы не связных и мало связных неустойчивых пород, в которых проявления горного давления имеют сопоставимый характер.

Влияние класса бетона по прочности на сжатие и насыщенности арматурой на несущую способность крепи рассмотрено на примере пятиэлементной крепи (табл. 2).

Табл. 2. Влияние класса бетона на несущую способность крепи

Класс бетона по прочности на сжатие	Площадь рабочей арматуры, см <sup>2</sup>	Предельная нагрузка на крепь, кН/м <sup>2</sup>
В 22,5 (М300)	12,06 (6 Ø 16)	700
В 25 (М350)	12,06	766
В 30 (М400)	12,06	824
В 35 (М450)	12,06	881
В 40 (М500)	12,06	938
В 30 (М400)	15,27 (6 Ø 18)	906
В 30 (М400)	18,85 (6 Ø 20)	996

При постоянной толщине крепи ее несущая способность может быть повышена за счет повышения прочности бетона и увеличения расхода арматуры. Сравнение предельных нагрузок, полученных при разной площади рабочей арматуры, но постоянного класса бетона по прочности показывает, что при увеличении площади арматуры на 26,6% и на 51,5% сопротивление крепи возрастает соответственно на 9,9% и на 20,9%. Это объясняется тем, что с увеличением диаметра рабочей арматуры уменьшается рабочая высота  $h_0$  сечения крепи, поэтому расход арматуры возрастает быстрее, нежели повышается несущая способность крепи. Увеличение диаметра рабочей продольной арматуры более 20 мм влечет за собой резкое повышение расхода поперечной и распределительной арматуры по условию соединения контактной точечной сваркой. Например, к стержню диаметром 16 мм еще можно приварить точечной сваркой стержень диаметром 4 мм, а стержень диаметром 20 мм и более уже следует сваривать с арматурой диаметром не менее 8 мм дуговой сваркой. Кроме того, с ростом диаметра рабочей арматуры затрудняется ее изгиб по требуемому радиусу.

Эксплуатация сборной железобетонной крепи из крупноразмерных элементов показала, что в условиях воздействия прогнозируемых бытовых напряжений породного массива она обеспечивает устойчивость горных выработок практически без затрат на поддержание. В зонах же геологических нарушений и влияния работ по выемке полезного ископаемого нагрузка на крепь по своей величине и соотношению  $q_2/q_0$  могут существенно отличаться от расчетных предпосылок, в результате чего прочности крепи оказывается недостаточной. Из данных таблицы 1 видно, что с увеличением числа элементов и, следовательно, уменьшением их размеров возрастает несущая способность крепи. Однако задачу повышения несущей способности крепи следует решать так же с учетом технологичности — сохранением минимального количества монтажных единиц при креплении и заводской технологии изготовления в существующих формах без изменения геометрических размеров блока.

Объектом реконструкции в этом направлении явилась применяемая пятиэлементная крепь КБМ-5. В рядовых клиновых блоках пространственный арматурный каркас был разделен на две части, соединенные между собой узлом регулируемой податливости. Были разработаны и испытаны несколько вариантов узла в натуральную величину на стенде. Принятый к применению узел податливости имеет равнозначную с блоком прочность, воспринимает монтажные нагрузки и обеспечивает паспортную несущую способность крепи КБМ-5 до перехода ее в податливый режим работы. Крепь работает как обычная крупноблочная крепь до исчерпания несущей способности, после чего происходит разделение блоков и появление новых шарниров с податливостью, а затем, после реализации податливости кольцо с дополнительными шарнирами работает с возросшим сопротивлением.

Блоки с узлом податливости имеют те же геометрические размеры, их формирование производится в тех же формах по аналогии с обычными блоками. После тепловлажностной обработки комбинированные блоки применяются в соответствии с указаниями по монтажу крепи КБМ-5 без каких-либо дополнительных требований. Использование такой крепи расширяет область применения щитовых проходческих комплексов.

Определение силовых характеристик крепи посредством стендовых испытаний ее в натуральную величину трудоемки, дорогостоящи и требуют специального стационарного оборудования. Оперативное определение несущей способности крепи может быть выполнено на основании испытания ее отдельных элементов в заводских условиях по несложной схеме, предусматривающей фиксацию одного шарнира блока и свободное перемещение другого. Блоки собранные в кольцо, и отдельно испытываемый блок работают по разному. В первом случае каждый блок обжат продольными силами, препятствующими его выполаживанию под нагрузкой. При испытании отдельного элемента деформации начинаются при значительно меньших нагрузках. Проведенные в НИИОМШС стендовые испытания шестиэлементной блочной кольцевой крепи  $D_{св.}=4,7$  м и ее отдельных элементов позволили установить количественную связь между нагрузками, вызывающими в обоих случаях одинаковые деформации блоков. Критерием деформации принято появление первых трещин. Результаты ряда испытаний показали, что появление первых трещин в отдельном блоке происходит под нагрузкой, примерно, в 10 раз меньшей, чем в блоках нагруженной крепи. Учитывая, что при испытаниях кольца крепи первые трещины появляются при нагрузке, составляющей 35–40% от разрушающей, можно оценить несущую способность крепи в целом.

В практике применения сборной крепи циркульного очертания крепление осуществляется как с перевязкой, так и без перевязки швов между рамами. Тюбинги

КТАГ института НИИОМШС и ГТК института КузНИИшахтострой устанавливают с перевязкой на полблока и без перевязки швов. Блочная бетонная крепь НИОГРА и железобетонная сборная кольцевая НИИОМШС'а устанавливаются без перевязки. При возведении блочной обделки с лотковым блоком в перегонных тоннелях метрополитенов перевязку швов не делают. Вместе с тем вопрос о влиянии на устойчивость крепи укладки элементов в перевязку или без нее требует уточнения.

Проведенные в НИИОМШС экспериментальные и аналитические исследования роли перевязки швов дали следующие результаты.

При перевязке швов рамы с заданным расположением шарниров могут уходить от повышенных нагрузок или, наоборот, оказаться в зоне их действия. Чтобы на протяжении выработки нагрузка оказывала на каждую раму одинаковое воздействие, при перевязке швов необходимо приложение повышенных и пониженных нагрузок на рамы с соответствующим расположением шарниров. На практике такого не бывает. Неравномерность контура породного обнажения, наличие пустот за крепью, забутовка с различными компрессионными характеристиками могут приводить к разрушению рам с определенной ориентацией шарниров. Тогда вся нагрузка ляжет на оставшиеся рамы с другим, более выгодным расположением шарниров и может их разрушить. Перевязка швов в этом случае не даст преимуществ. Создание связей между рамами с помощью жестких конструктивов для достижения совместной работы может вызвать разрушения в элементах за счет перераспределения усилий с более податливой рамы (кольца) на менее податливую.

Технологический монтаж блоков с перевязкой швов несколько усложняет процесс крепления, так как требует строгой последовательности транспортирования и подачи элементов в забой, что в условиях стесненного пространства вызывает неудобства.

При использовании многошарнирных конструкций крепи целесообразно выбрать крепь с одним, конкретным расположением шарниров, наиболее отвечающим геомеханической обстановке проведения и эксплуатации выработки и создать в закрепленном пространстве необходимую среду отпора за счет забутовки или тампонажа твердеющими смесями.

Проведенный комплекс работ позволил выработать требования и подходы к созданию крепи с высокими технико-технологическими параметрами.

*© Друцко В.П., Алферов Б.В., Шаповал Ю.С., 2003.*

УДК 622.243.14

Кандидаты техн. наук ФИЛИМОНЕНКО Н.Т., КАРАКОЗОВ А.А. (ДонНТУ), КУЩ О.А., инж. КОЗЫРЕВ О.М. (ПО «УКРУГЛЕГЕОЛОГИЯ»)

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ СИГНАЛИЗАТОРА ВНЕЗАПНОГО ПАДЕНИЯ УРОВНЯ В СКВАЖИНЕ**

Геологические разрезы скважин, сооружаемых производственным геологическим объединением «Укруглегеология», весьма насыщены проницаемыми зонами. При пересечении зоны влияния горных выработок часто наблюдается внезапное падение уровня жидкости. По исследованиям, проведенным для центральной и восточной части Донецкого бассейна, размеры зон трещиноватости над горной выработкой равны соответственно 12 и 41–44 мощностям пласта [1]. При этом далеко не всегда ожидаемая глубина начала зоны влияния горной выработки соответствует действи-