

УДК 622.284.4

Саратова А.Ю., студ., Ганшина Е.И., студ., Литвинский Г.Г., д.т.н., проф., ДонГТУ,  
г. Алчевск, Украина

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ЗАТЯЖКИ ШАХТНОЙ КРЕПИ

При креплении капитальных горных выработок рамными конструкциями крепи наибольшее распространение в настоящее время получили железобетонные затяжки. Они способны обеспечить длительную эксплуатацию выработки в условиях высокого горного давления. Однако у них есть ряд существенных недостатков, среди которых основным является их большая масса (22 кг) и стоимость (20 грн. / шт. или 2,4 долл./шт. ), причём потребность таких затяжек на 1 пог. м выработки достигает 50 шт. и более. Затяжки при креплении укладывают вручную, их большая масса приводит к высоким трудовым затратам. При повышенном горном давлении затяжки разрушаются (рис. 1).

Как показали исследования, проведённые в ДонГТУ [1], характерными видами деформаций железобетонных затяжек являются: первичные трещины в бетоне, смятие углов и кромок, излом в пролётной части без и с разрывом арматуры, соскальзывание конца затяжки с фланца спецпрофиля, смятие затяжек при податливости крепи из-за уменьшения её периметра. Из всех видов деформаций лишь первичные трещины могут считаться допустимыми.



Рисунок 1 – Деформации железобетонных затяжек

Средневзвешенная надёжность железобетонных затяжек по массиву обследованных выработок составляет в кровле 0.68; в боках - 0.80, а на участках с активным проявлением горного давления (в зоне влияния очистных работ) не превышает 0.5. Хрупкий характер разрушения железобетонных затяжек и возможность их соскальзывания со спецпрофиля крепи из-за слабого защемления концов вызывает опасность внезапных вывалов породы в выработку и травматизма горнорабочих. Поэтому разработка и оптимизация конструкции затяжки представляет собой актуальную научную задачу.

Анализ работы железобетонных затяжек показывает, что они, как правило, испытывают

внецентренное сжатие и изгиб, что сопровождается образованием трещин и сколов бетона, разрывом арматуры.

Целью исследования являлось определение резервов повышения несущей способности железобетонных затяжек при одновременном снижении их массы.

Основная идея исследований состояла в том, чтобы на основе изучения особенностей и закономерностей работы затяжки, установленной на рамную податливую крепь разработать и обосновать необходимую ее несущую способность, требуемую схему армирования, за

счет чего повысить технико-экономические показатели затяжки путем уменьшения ее массы и стоимости.

Задачами исследовательской работы по изучению железобетонной затяжки были:

- анализ состояния вопроса;
- проведение патентных исследований для выявления основных тенденций развития конструкций железобетонных затяжек;
- выбор и обоснование расчётной схемы затяжки;
- определение требуемой несущей способности затяжек в соответствии с несущей способностью рамной податливой крепи;
- исследование зависимости несущей способности затяжки от площади армирования и высоты защитного слоя;
- разработка оптимальной по армированию и толщине железобетонной затяжки с высокой несущей способностью;
- оценка технико-экономического эффективности применения в промышленности рекомендуемой железобетонной затяжки.

Для решения поставленной задачи использовались: аналитический метод исследований, теория расчёта железобетонных конструкций, опыт проектирования и эксплуатации железобетона [2,3]. Расчёты производились с помощью системы компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированной на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением MathCad.

Железобетонная затяжка рассматривалась в рамках известной расчётной схемы как однопролётная балка под действием внешней самой неблагоприятной нагрузки со стороны пород – сосредоточенной силы в середине пролёта. При поперечном изгибе затяжки взаимодействие сжатой зоны бетона и арматуры в растянутой зоне показано на рис. 2. Для определения зависимости несущей способности затяжки от особенностей её конструкции (армирования и толщины сжатой зоны бетона) была разработана компьютерная модель в рамках математического пакета MathCad, с помощью которой были построены графики искомой зависимости несущей способности затяжки от основных влияющих факторов (рис. 3):

$$F = f(A, B_c, h_z, h), \quad (1)$$

где  $A$  – площадь армирования растянутой зоны ж/б затяжки,  $\text{м}^2$ ;

$B_c$  – прочность бетона на сжатие, МПа;

$h_z$  – высота защитного слоя, м;

$h$  – высота затяжки, м.

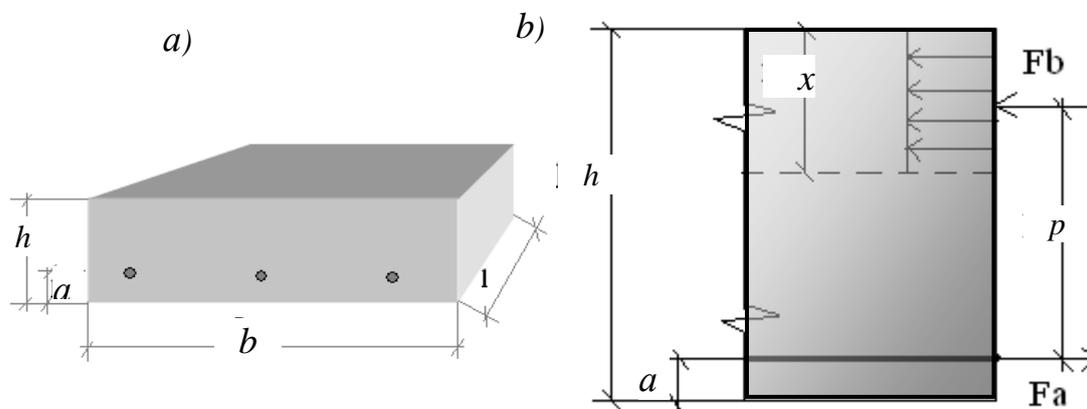


Рисунок 2 – Общий вид (а) и расчётная схема (б) железобетонной затяжки

В результате на основании разработанного алгоритма получили важные зависимости несущей способности затяжки  $F$  (Н) от площади арматуры  $A$  ( $\text{м}^2$ ).

На рис. 3 изображены сверху вниз: 1,2,3 - графики несущей способности стандартных затяжек по мере уменьшения толщины защитного слоя 15,10, 5 см, нижняя кривая 4 - оптимизированная затяжка, у которой толщина  $h$  уменьшена на 20%, – с 50 до 40 мм.

Следовательно, при уменьшении толщины защитного слоя затяжки заметно увеличивается и её несущая способность  $F$ , Н. Однако уменьшать защитный слой  $a$  до нуля нельзя по технологическим условиям и особенностям взаимодействия арматуры с бетоном. Так как требуемая по нормам несущая способность затяжки должна быть равна 3,5-3,8 кН, достаточно использовать оптимизированную железобетонную затяжку с площадью арматуры  $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  и толщиной защитного слоя 50 мм. Большая толщина защитного слоя нецелесообразна по условиям работы железобетона в выработке, где нет циклов замораживания и оттаивания.

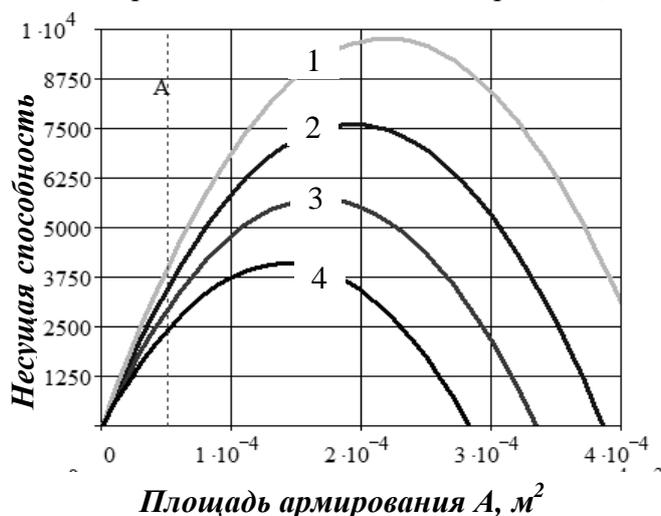


Рисунок 3 – Расчётные графики зависимости несущей способности затяжки  $F$ , Н от площади её армирования  $A$ ,  $\text{м}^2$  при разной толщине защитного слоя  $a$ , м.

### Выводы:

1) нашедшие широкое распространение в угольной промышленности ж/б затяжки излишне массивны и дороги, что ведёт к перерасходу материальных и трудовых затрат при креплении горных выработок;

2) проведенными исследованиями установлено, что можно значительно уменьшить материалоёмкость железобетонной затяжки путём оптимизации её конструкции;

3) в настоящее время при существующей технологии изготовления и промышленного использования железобетонной затяжки допустимо уменьшить её толщину на 20%, изменив её арматурный каркас и его пространственное расположение;

4) переход на оптимальную конструкцию ж/б затяжек позволит снизить их массу с 22 кг до 17,6 кг, уменьшить расход бетона до  $0,2 \text{ м}^3$  на 100 шт. затяжек, снизить транспортные расходы и трудозатраты на установку затяжек при креплении на 20-25%, стоимость затяжки при этом снизится с 20 до 16 тыс. грн. (с 2,4 тыс. долл. до 1,9 тыс. долл.) за 1000 затяжек или на 150-200 тыс. грн. (18,4 – 24,5 тыс. долл.) на 1 км горной выработки.

Поэтому можно считать новую затяжку для крепления капитальных выработок весьма перспективной и заслуживающей широкого внедрения вместо обычных затяжек.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвинский Г.Г. и др. Межрамные ограждения шахтной крепи / Г.Г. Литвинский, Г.И. Гайко, И.В. Малеев, В.Б. Волошин – Алчевск: ДГМИ, 2000. – 110 с.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003) / - М.: Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИПРОМЗДАНИЙ), 2005. – 304 с.
3. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. – М.: Стройиздат, 1991. – 448 с.