

Е. Б. ДРУЖКО (ДонНАСА, Донецк), В. Ф. ОГЛОБЛИН, В. В. САМОЙЛОВ (ДонИЖТ, Донецк)

ПОДАТЛИВЫЕ ОБДЕЛКИ ТОННЕЛЯ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

У статті викладено результати ефективності і конструктивні рішення вузлів і елементів податливості кріплення об'єктів тунельного типу в складних геологічних умовах. Запропоновано конструкцію кріплення з універсальних податливих блоків. Розроблено емпіричний метод, що ґрунтується на результатах статистичної обробки представницької кількості випробувань кріплення із зміною найбільш характерних параметрів.

В статье изложены результаты эффективности и конструктивные решения узлов и элементов податливости крепи объектов тоннельного типа в сложных геологических условиях. Предложена конструкция крепи из универсальных податливых блоков. Разработан эмпирический метод, основанный на результатах статистической обработки представительного числа испытаний крепи с изменением наиболее характерных параметров.

The article is dealt with the issues of efficiency and constructive solutions to nodes and elements of the lining objects of tunnel type in complicated geological conditions. A construction of the lining from the universal yielding blocks of uniform size is offered. Reaching pliable layer and methods of calculating of the veering capacity of a two-layer lining arched and circular shapes are recommended.

Перспектива освоения подземного пространства неразрывно связана со строительством большого количества объектов тоннельного типа. Во многих случаях они сооружаются в сложных горно-геологических условиях, которые характеризуются большими смещениями контура выработки. Доказано, что в таких случаях наиболее рационально применять податливые или ограниченно-податливые крепи (обделки) [1].

Следует отметить, что существующие конструктивные решения узлов и элементов податливости далеки от совершенства. Так, в рамных металлических податливых крепях из спецпрофиля податливость осуществляется за счет взаимного проскальзывания двух элементов крепи, соединенных специальным замковым соединением. Наибольшее распространение получило замковое соединение, состоящее из двух хомутов и соединительных планок, прижимающих профили друг к другу при затягивании гаек. Как показывает опыт, основным недостатком указанного соединения является то, что в процессе работы происходит изгиб соединительных планок, перекося и деформация хомутов в месте резьбы. Одновременно с прогибом планок в соединении заклиниваются замки и обрываются соединительные хомуты.

Эффективность применения металлической арочной крепи в значительной степени зависит от ее контакта с боковыми породами и качества

работ по креплению. Надежный контакт с породами должен достигаться:

- максимальным приближением контура выработки в проходке к контуру крепи за счет более точного оконтуривания сечения (контурное взрывание, проведение выработки комбайном);
- качественной забутовкой закрепного пространства по всему периметру выработки;
- расклинкой арок в двух точках верхняка на расстоянии 1/3 пролета, что обеспечивает заданный режим загрузки конструкции при вертикальной податливости до 300...350 мм.

Практика показывает, что последнее условие имеет особо важное значение для устойчивости крепи. В большинстве случаев, когда вопросу расклинки крепи не уделяется должного внимания, нагрузка от смещающихся пород передается на среднюю часть верхняка, что вызывает его прогиб еще до начала работы в податливом режиме. Такой характер деформации крепи особенно часто наблюдается при ее использовании для крепления выработок площадью сечения более 12 м², поскольку коэффициент надежности работы крепи в податливом режиме приближается к единице, поэтому одним из направлений совершенствования металлических податливых крепей является повышение надежности их работы в податливом режиме. Для этого в отечественной и зарубежной практике предложены крепи, имеющие форму

свода в виде эллипса (в отличие от циркульного свода в обычных крепях) с большей вертикальной осью, что позволяет им надежно работать в податливом режиме в условиях преобладающих смещений со стороны кровли.

Другим наиболее распространенным решением узла податливости является установка между элементами крепи прокладок, сминающихся при определенной нагрузке (блочные бетонные и железобетонные крепи с деревянными или синтетическими прокладками между блоками). Недостатком таких конструкций является «расползание» прокладок в процессе деформирования, что приводит к появлению на стыках блоков растягивающих напряжений и снижению прочности материала крепи более чем вдвое.

Общим недостатком рассмотренных выше податливых крепей является то, что они меняют свои геометрические параметры «в свету» и не могут обеспечить постоянную форму и размеры сечения тоннеля в течение его срока службы.

Исходя из вышеизложенного, предлагается конструкция крепи из универсальных податливых блоков, показанная на рис. 1. В ее основе лежит универсальный двухслойный элемент заводского изготовления (рис. 1, в), состоящий из железобетонного блока 1 и податливого слоя из пеноматериала 2. В качестве материала для податливого слоя можно использовать карбамидный пенопласт МБП-6, который наносится на железобетонные тубинги в заводских условиях путем набрызга или наклеивания готовых листов пенопласта.

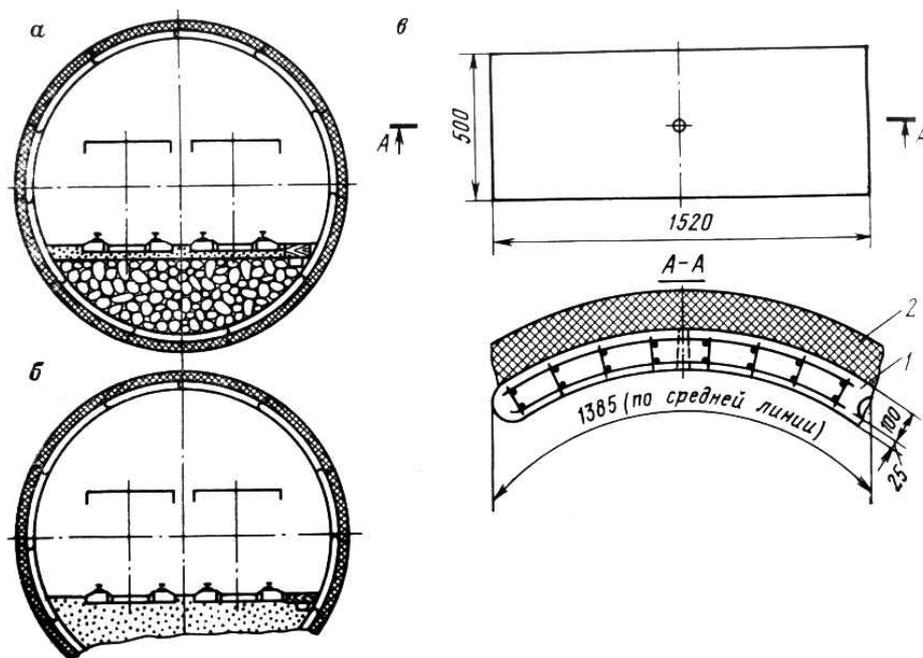


Рис. 1. – Конструкция крепи из универсальных податливых блоков:
 а) – общий вид замкнутой крепи; б) – общий вид крепи без обратного свода;
 в) – конструкция универсального податливого свода

Размеры унифицированы таким образом, что при изменении числа блоков от 5 до 13 можно получить шесть типоразмеров сечений выработки с обратным или без обратного свода (табл. 1).

Принцип унификации заключается в том, что кольцевая форма заменяется правильным криволинейным многоугольником, длина сторона которого подбирается таким образом, чтобы при изменении числа блоков на один элемент вписанная в многоугольник окружность представляла собой очередное сечение тоннеля. Строгое кольцевое очертание крепи соответ-

ствует сечению $9,3 \text{ м}^2$, выполненному из 10 блоков (см. табл. 1).

Блок представляет собой армированную цилиндрическую плиту с радиусом внутренней поверхности 2150 мм и толщиной 150 мм. Толщина податливого слоя, наносимого на блок, составляет 100...150 мм в зависимости от горно-геологических условий, в которых работает конструкция. Ширина универсального блока выбрана из условия грузоподъемности существующих крепеукладчиков – 500 мм. При таких параметрах масса блока составляет 250 кг.

Типоразмеры блочной податливой крепи

Площадь сечения в свету, м ²	Площадь сечения в проходке, м ²	Ширина на уровне подвижного состава, мм	Высота в свету, мм	Число блоков, шт.	Число путей, шт.
Замкнутая крепь					
6,1	9,1	2340	2380	7	1
7,5	11,9	2940	2610	8	1
9,3	16,5	3960	3070	10	2
11,9	22,0	4470	3300	11	2
13,5	25,5	4910	3560	12	2
15,0	30,2	5560	3960	13	2
Арочная крепь					
6,1	8,0	2340	2380	5	1
7,5	10,5	2940	2610	6	1
9,3	12,5	3960	3070	7	2
11,9	16,4	4470	3300	8	2
13,5	19,1	4910	3560	9	2
15,0	21,1	5560	3960	10	2

Примечание. Толщина тубинга без податливого слоя равна 150 мм для замкнутой и арочной крепей

В качестве материалов податливого слоя можно использовать вспененные пластмассы и различные виды пеногазобетона, однако, пенопласты, обладающие удачными деформационно-прочностными характеристиками, предпочтительнее жестких и прочных газобетонов.

Изыскания материала податливого слоя позволили рекомендовать для этих целей карбамидный пенопласт МБП-Б. Этот пенопласт представляет собой вспененный легкий однородный материал мелкоячеистой структуры. Он изготавливается при помощи специальной установки УППМ путем вспенивания и механического перемешивания предварительно подготовленных растворов. Для производства карбамидного пенопласта используют мочевиноформальдегидную смолу (МФФМ или МК-1), вспенивающе-отверждающий продукт АВО-1 или заменяющую его смесь из ортофосфорной кислоты и сульфанола. Кроме исходных компонентов в состав пенопласта входят модифицирующие добавки – диэтиленгликоль или этиленгликоль и резорцин.

Карбамидный пенопласт обладает следующими характеристиками:

- прочность на сжатие – 0,1...0,3 МПа;
- адгезия – 0,05...0,2 МПа;
- коэффициент сжатия – < 0,9;
- время схватывания – 5...60 с;

– время набора номинальной прочности – 24...72 ч.

Строгий расчет крепи с учетом отпора пород, осложненный непостоянством нагрузки, весьма трудоемок. Для практических расчетов такой сложной конструкции, как двухслойная крепь, разработан эмпирический метод, основанный на результатах статистической обработки представительного числа испытаний крепи с изменением наиболее характерных параметров. С учетом последнего положения проведена проверка работоспособности и разработана методика проектирования двухслойной крепи.

Результаты стендовых испытаний позволили оценить влияние различных факторов (размеров и формы крепи, прочности ее материала, отношения вертикальных и горизонтальных смещений, толщины пенопласта) на работоспособность крепи. Кроме того, с позиции множественного корреляционного анализа были получены зависимости для расчета несущей способности крепи с учетом упомянутых факторов. При этом следует иметь в виду, что несущая способность крепи определялась по появлению первых трещин в конструкции, поэтому зависимости, полученные после обработки этих результатов, пригодны для расчета двухслойной крепи по первому предельному

состоянию. Так, для расчета арочной крепи рекомендована зависимость

$$q = 1,7\delta/a_0 + 0,0083R_\delta + 0,3v - 0,24, \quad (1)$$

а для расчета крепи кольцевой формы

$$q = 2,78\delta/a_0 + 0,0049R_\delta + 0,3v - 0,28, \quad (2)$$

где q – несущая способность крепи; δ – толщина бетонной части крепи; a_0 – радиус (половина ширины) крепи; R_δ – прочность материала крепи на сжатие; v – отношение горизонтальных и вертикальных смещений контура выработки.

Окончательный выбор крепи для тоннеля должен производиться на основании анализа геомеханической обстановки и технико-экономического сравнения нескольких вариантов крепления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инъекционное упрочнение горных пород [Текст] / Ю. З. Заславский и др. – М.: Недра, 1984. – 176 с.

Поступила в редколлегию 22.03.2010.

Принята к печати 29.03.2010.