УДК 622.281.74.001.2

А. И. Копытов, М. Д. Войтов, Т. Е. Трипус

РАСЧЕТ ТРУБЧАТОГО АНКЕРА ФРИКЦИОННОГО ТИПА НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

Анализ современного отечественного и зарубежного опыта крепления горных выработок с увеличением глубины разработки месторождений железных руд свидетельствует о том, что при выборе конструкций крепи предпочтение следует отдавать крепям, которые надежно взаимодействуют с приконтурным массивом.

Наибольшее распространение получила самозакрепляющаяся анкерная крепь ООО «УралЭнергоРесурс», разработанная на основе конструкции анкера фирмы Атлас Копко. По характеру взаимодействия с породами данная крепь представляет анкер, закрепленный по всей длине шпура.

Основным недостатком данной крепи является то, что ее изготавливают из высоколегированной стали, только Магнитогорским металлургическим комбинатом, в связи с чем большие затраты на доставку.

С целью исключения затрат на доставку и создания возможности изготовления крепи в условиях ремонтно-механических цехов горнодобывающих предприятий разработана полезная модель анкера фрикционного типа для крепления горных выработок в сложных горно-геологических условиях. Техническим результатом использования трубчатого анкера фрикционного типа является повышение несущей способности и надежности анкера.

Трубчатый анкер фрикционного типа (рис. 1) состоит из наружного трубчатого тонкостенного трубчатого стержня *1* с продольной щелью *2* по всей длине, с кольцевым упором *3* для опорной плиты *4*, неизвлекаемый распорный стержень, выполненный в виде сплошного стержня *5* (рис. 2), полой трубы *6* (рис. 3), полой трубы *7* с сомкнутой щелью *8* размещен внутри наружного трубчатого тонкостенного стержня *1* внутри шпура *9*.

Наружный трубчатый тонкостенный стержень, диаметр которого несколько больше диаметра шпура с небольшим усилием вдавливается в шпур без разрушения его стенок до поджатия кольцевым упором опорной плиты к поверхности выработки. Продольная щель трубчатого стержня незначительно смыкается. Действующие при этом распорные усилия достаточны для удержания в шпуре анкера и элементов крепления выработки.

Затем внутрь трубчатого стержня вбивается неизвлекаемый распорный стержень, диаметр которого больше внутреннего диаметра трубчатого стержня.

После установки анкера создается плотный контакт трубчатого стержня со стенками шпура по всей длине анкера, что является гарантией повышения несущей способности и надежности работы анкера.

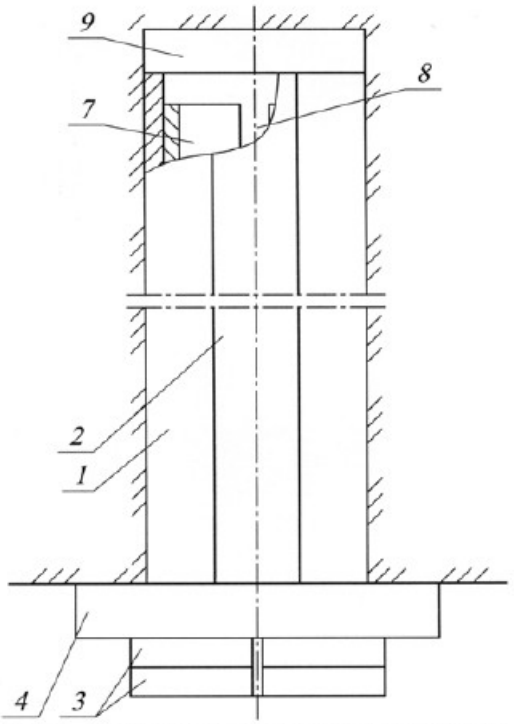


Рис. 1. Конструкция трубчатого анкера фрикционного типа

При нормальной работе анкера, усилия растяжения передаются не только на стенки трубчатого стержня, но и на неизвлекаемый распорный стержень анкера за счет сил трения, которые постоянно повышаются со временем в силу окисления металлических контактных поверхностей.

При использовании в качестве неизвлекаемого распорного стержня наружного трубчатого стержня значительно упрощается конструкция анкера, снижается его металлоемкость и цена.

Несущая способность трубчатого анкера определяется свойствами материала трубы, ее геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами закрепляемой среды [1].

Рассмотрим сечение анкера до помещения в шпур и в ходе помещения (рис.4).

Периметр кольца до сжатия

$$П_R = 2\pi R.$$

Периметр кольца после сжатия

$$П_r = 2\pi r.$$

Величина зазора, выраженная через разность периметров

$$\Delta = П_R - П_r.$$

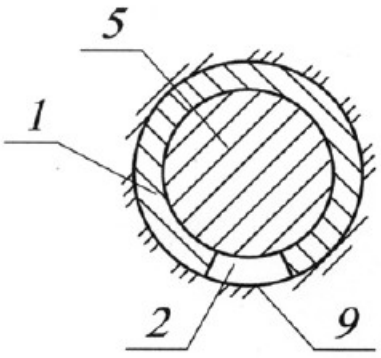


Рис. 2. Сечение анкера с распорным стержнем сплошного сечения

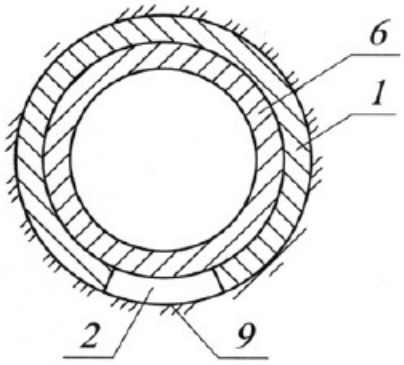


Рис. 3. Сечение анкера с распорным стержнем в виде полой трубы

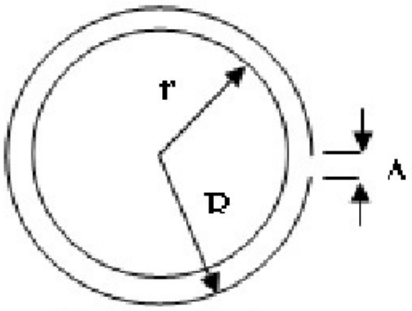


Рис. 4 .Общий вид сечения

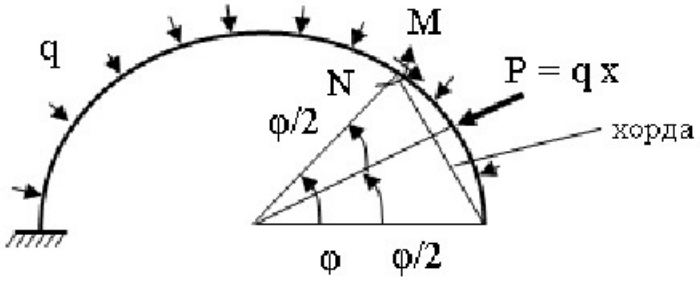


Рис.5 . Схема взаимодействия полукольца с массивом горных пород

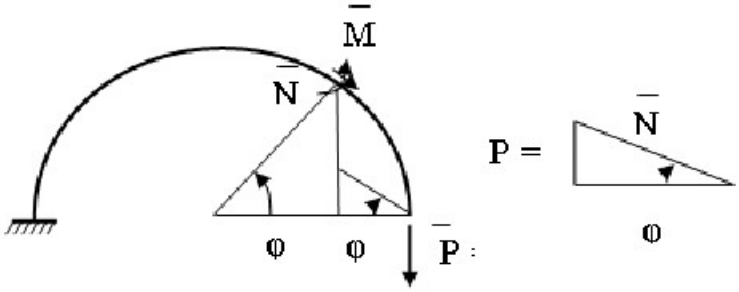


Рис. 6. Схема для определения внешних и внутренних усилий

Рассмотрим состояние равновесия полукольца под воздействием внешних сжимающих нагрузок (рис.5).

Длина элементарного участка, выражаемая через радиус и элементарный угол,

$$S = Rd\varphi .$$

Рассечем полукольцо в произвольном месте (рис.6). Выразим плечо внешних нагрузок через параметры полукольца

$$\sin\varphi = \frac{x/2}{R};\ \frac{x}{2} = R\sin\frac{\varphi}{2};\ x = 2R\sin\frac{\varphi}{2}.$$

Определим внешнюю сосредоточенную силу, действующую на отсеченный участок

$$P = qx = 2qR\sin\frac{\varphi}{2}$$

Определим внутренние усилия – изгибающий момент и продольную силу, возникающие в сечении под действием внешних сил:

$$M = P\frac{x}{2} = PR\sin\frac{\varphi}{2} = 2qR^2\sin^2\frac{\varphi}{2};$$

$$N = -2qR\sin\frac{\varphi}{2}.$$

Приложим единичную силу к полукольцу и выразим внутренние усилия через ее действия:

$$\overline{M} = \overline{P}(R - R\sin\varphi) = R(1-\cos\varphi);$$

$$\overline{M} = \overline{P}(R - R\sin\varphi) = R(1-\cos\varphi);$$

$$\overline{N} = -\overline{P}\sin\varphi = -\sin\varphi.$$

Определим перемещение крайней точки полукольца в направлении действий единичной силы:

$$\Delta = \frac{1}{EI_x}\int_0^{\pi} M\,\overline{M}\,ds + \frac{1}{EF}\int_0^{\pi} N\,\overline{N}\,ds =$$

$$= \frac{1}{EI_x}\int_0^{\pi} 2qR^2\sin^2\frac{\varphi}{2}\cdot R(1-\cos\varphi)\,Rd\varphi +$$

$$+ \frac{1}{EF}\int_0^{\pi} 2qR\sin^2\frac{\varphi}{2}\sin\varphi\,Rd\varphi = .$$

$$= \frac{4qR^3}{EI_x}\int_0^{\pi} sin^4\frac{\varphi}{2}d\varphi + \frac{2qR^2}{EF}\int_0^{\pi} sin\varphi\cdot sin^2\frac{\varphi}{2}\,d\varphi.$$

Вычислив вышеприведенные интегралы, получим:

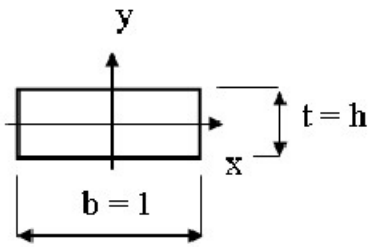
$$\int_0^{\pi} sin^4\frac{\varphi}{2}d\varphi = \frac{3}{8}\pi, \int_0^{\pi} sin\varphi\cdot sin^2\frac{\varphi}{2}\,d\varphi = \frac{4}{3}.$$

Окончательно получим смещение крайних точек сечения

$$\Delta = \frac{1}{EI_x}4qR^3\frac{3\pi}{8} + \frac{1}{EF}2qR^2\frac{4}{3} =$$

$$\approx \frac{qR^2}{E}\left(\frac{4{,}71R}{I_x} + \frac{2{,}6}{F}\right).$$

Выразим параметры сечения кольца



$$I_x = \frac{bh^3}{12}; \qquad F = bh.$$

Давление, действующее на кольцо со стороны породы при сжатии кольца,

$$q = \frac{2\Delta E}{\left(\frac{4{,}71R^3}{I_x} + \frac{2{,}6R^2}{F}\right)}.$$

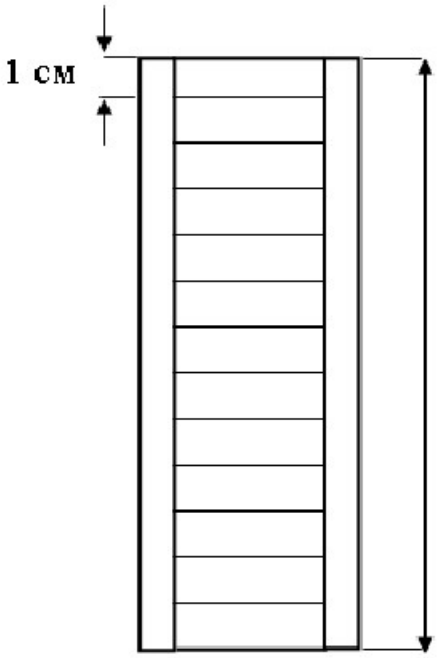


Рис. 7. Сечение анкера, находящегося в породе

Рассматривая анкер в породе (рис.7), находим площадь единичной поверхности

$$\Phi = \Pi_R l = 2\pi R l.$$

и усилие, необходимое для извлечения анкера из шпура

$$F = q\Phi lk,$$

где k – коэффициент трения.

При помещении второго анкера вовнутрь первого, давление анкера на породу рассчитывается по аналогичной схеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Еременко, А. А.* Проведение и крепление горных выработок в удароопасных зонах железорудных месторождений / А. А. Еременко, А. И. Федоренко, А. И. Копытов. – Новосибирск : Наука, 2008. – 236 с.

2 *Бугров, Я. С.* Высшая математика. Том 2 / Я. С. Бугров, С. М. Никольский – М : Дрофа, 2004. – 513 с.

Авторы статьи:

Копытов
Александр Иванович ,
докт. техн. наук, проф. каф. строительства подземных сооружений и шахт КузГТУ,
тел. 8-903-907-70-75

Войтов
Михаил Данилович ,
канд. техн. наук, проф. каф. строительства подземных сооружений и шахт КузГТУ,
тел. 8-951-618-09-25

Трипус
Татьяна Евгеньевна ,
студ. гр. СГ-071 КузГТУ,
тел. 8-960-930-06-60