

32. Мансуров, В.А. Поведение горных пород при различных скоростях нагружения / В.А. Мансуров. - Фрунзе: Илим, 1982. – 87 с.
33. Ключков, В.Ф. Влияние скорости динамического нагружения горного массива на эффективность его разрушения / В.Ф. Ключков // Разработка рудных месторождений, Вып. № 26. – Киев: Техника, 1978. - С. 22 – 25.
34. Ефремов, Э.И. Взрывное разрушение выбросоопасных пород в глубоких шахтах/ Э.И. Ефремов, В.Н.Харитонов, И.А.Семенюк. - М.: Недра,1979. – 253 с.
35. Вовк, О.О. Керування вибуховим імпульсом при селективному руйнуванні порід з розсіяними кристалічними включеннями / О.О. Вовк, А.В.Михалюк, В.В. Рудаков // Вісник АН УРСР. - 1984, № I. - С. 47-58.
36. Использование вибрационных и волновых эффектов при отработке выбросоопасных пластов / В.Н. Потураев, С.П.Минеев; Отв. ред. Булат А.Ф.; АН Украины, Ин – т геотехн. механики. – Киев: Наукова думка, 1992. – 200 с.
37. Нетрадиционные технологические процессы добычи угля / В.Н.Потураев, С.А.Полуянский, В.Н.Зорин и др. / Под ред. В.Н. Потураева. – Киев.: Техніка, 1986. – 117 с.
38. Софийский К.К. Нетрадиционные способы предотвращения выбросов и добычи угля / К.К.Софийский, А.П.Калфакчян, Е.А. Воробьев. – М.: Недра, 1994. – 192 с.
39. Гидродинамическое воздействие на газонасыщенные угольные пласты / А.Ф.Булат, К.К.Софийский, Д.П.Силин [и др.] . – Днепропетровск: «Полиграфист», 2003. – 220 с.

УДК 622.647.2

Р.В. Кирия к.т.н., ст.науч.сотр.,
Н.Г. Ларионов асп.

(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕНТЫ И ГРУЗА С РОЛИКООПОРАМИ КОНВЕЙЕРА С ЛЕНТОЙ ГЛУБОКОЙ ЖЕЛОБЧАТОСТИ

У статті отримані рівняння, що описують взаємодію стрічки й вантажу з роликоопорами конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчасті. Визначена сила опору руху стрічки по роликоопорам, для аналізу факторів, що впливають на силу опору руху стрічки на роликоопорах конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчасті.

MATHEMATICAL MODEL OF THE INTERACTION WITH THE BELT AND LOAD WITH CONVEYOR BELT DEEP TROUGH

In this article, the equations describing the interaction of belts and loads with rollers conveyor belt deep trough. Determined resistance force on the rollers for the analysis of the factors affecting the resistance force on the belt conveyor belt rollers deep trough.

В настоящее время на угольных шахтах получили применение подземные ленточные конвейеры с углом наклона 18-20°. Однако опыт их эксплуатации показал, что из-за неустойчивости груза на ленте эффективность их применения в шахтах низкая.

Одним из путей повышения эффективности наклонных подземных конвейеров в угольных шахтах является использование става конвейера с глубоко желобчатой лентой.

Однако, из-за больших сил распора связанных с деформацией груза сила сопротивления движения ленты по роликоопорам ленточного конвейера с глубокой желобчатой лентой существенно больше по сравнению с конвейером обычной желобчатости.

Основными составляющими силы сопротивления движению ленты по роlikоопорам ленточных конвейеров является сила сопротивления от вращения ролика (потери в подшипниках роликов), сила вдавливания ролика в ленту (потери при качении ролика по ленте конвейера), сила от изгиба ленты и деформации груза.

Анализ работ по исследованию составляющих сил сопротивления ленты по роlikоопорам показал недостаточную изученность процессов взаимодействия груза и ленты с роlikоопорами.

Одни авторы [1,2] считают, что основной составляющей силы сопротивления движения ленты по роlikоопорам является составляющая от вдавливания ролика в ленту (60% от общего сопротивления). При этом доля составляющих силы сопротивления от изгиба ленты и деформации груза составляет $5 \div 18$ % от общей силы сопротивления, соответственно.

В других работах [3,4] сумма составляющих сил сопротивления движению ленты от изгиба ленты и деформации груза составляет 40-60 %.

Целью работы является определение коэффициента сопротивления движению ленты по роlikоопорам конвейера с лентой глубокой желобчатости обусловленной деформацией груза и ленты.

В работе разработана математическая модель взаимодействия ленты с грузом при движении по роlikоопорам конвейера с лентой глубокой желобчатости.

Согласно принципа относительности механики, задачу движения ленты с грузом по роlikоопорам ленточного конвейера заменим задачей качения роlikоопоры по ленте находящейся под слоем груза. При этом качение центрального и бокового ролика по ленте с грузом сопровождается деформацией ленты и груза под действием бегущей поперечной упругой волны ленты конвейера.

Предположим, что упругая лента обладает изгибной жесткостью и при движении касается только одной верхней точки ролика. Тогда качение центрального и бокового ролика по ленте с грузом можно представить, как качение жесткого цилиндра радиусом R по упругой пластине на вязко-пластичное основание которой действует распределенная нагрузка. При этом вязко-пластичное основание представляет собой систему параллельно сжатых и не взаимодействующих между собой элементов в виде тела Бингама [5] с предельным давлением σ и вязкостью μ (см. рисунок 1).

Рассмотрим сначала сопротивление движению центрального ролика.

Представим ленту как растянутую натяжением S цилиндрическую упругую пластину изгибной жесткости D_1 , на которую действует распределенная нагрузка q (см. рис. 1). Тогда уравнение изогнутой оси ленты от действия груза в системе координат oxy связанных с началом в точке контакта с левым роlikом согласно [6] имеет вид

$$D_1 \frac{d^4 y}{dx^4} - S \frac{d^2 y}{dx^2} = q_1 \quad (1)$$

где y – прогиб ленты; x - продольная координата; D_1 – изгибная жесткость ленты в горизонтальной плоскости; q_1 – распределенная нагрузка; S – натяжение ленты.

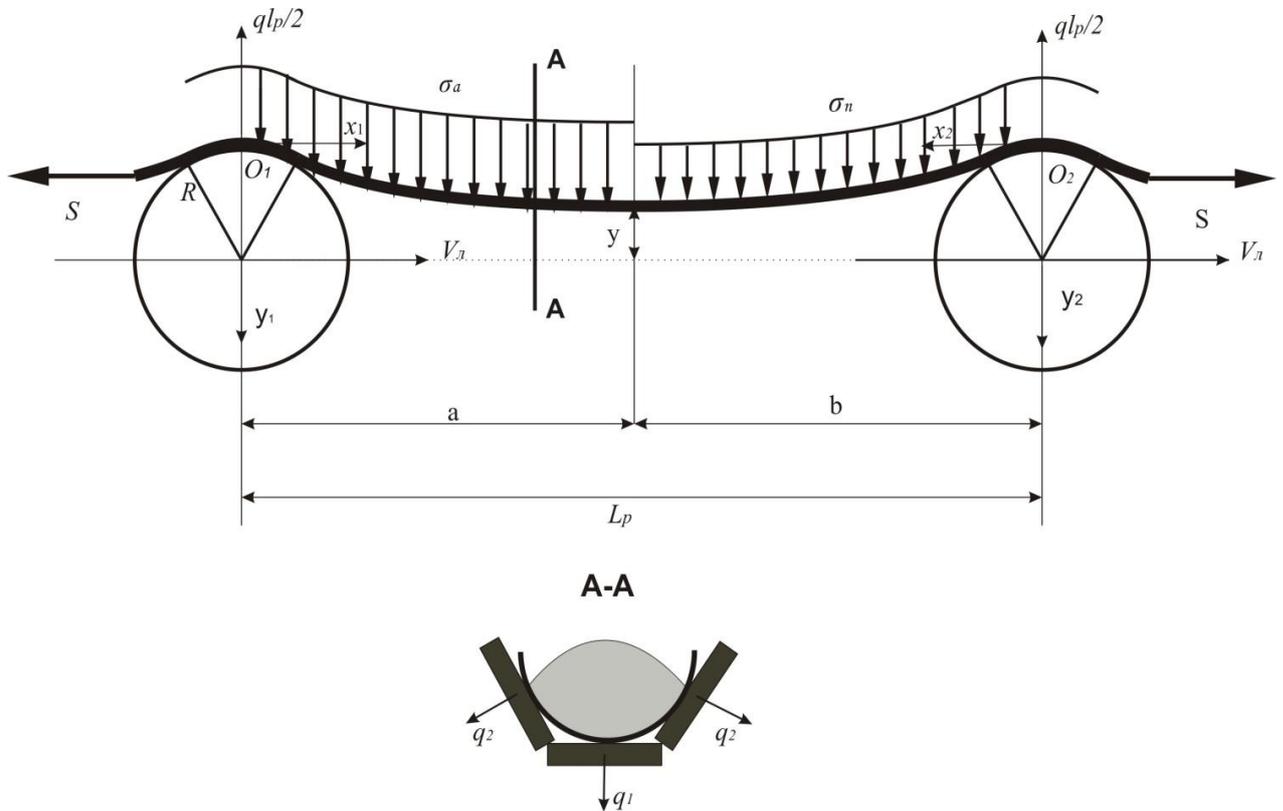


Рис.1 – Схема конвейерной ленты глубокой желобчатости под действием распределенной нагрузки

В этом уравнении составляющая распределенная нагрузка q_1 , действующая на дно лотка ленты, характерного для роlikоопор с лентой глубокой желобчатости, изменяется вдоль конвейера.

При подходе к центральному ролику на участке $0 \leq x \leq a$ на ленту действует груз с активным предельным напряжением равным σ_a т.е. $q = \sigma_a$. А при сходе с центрального ролика на участке $0 \leq x \leq a + b$ где $a + b = l_p$ действует предельное пассивное напряжение $q = \sigma_{п}$ [7].

Следовательно погонную нагрузку $q(x)$ действующую на ленту согласно уравнению Бингама [5] запишем в следующем виде

$$q(x) = \sigma + \mu \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (2)$$

$$\text{где } \sigma = \begin{cases} \sigma_a & \text{при } 0 \leq x \leq a \\ \sigma_{п} & \text{при } 0 \leq x \leq a + b \end{cases} \quad (3)$$

$$\varepsilon = -\frac{\delta - y}{h_0} \quad (4)$$

где h_0 – высота слоя при скорости ленты равной нулю; δ – максимальный про-

гиб ленты; ε – вертикальная деформация груза под действием ленты; μ – коэффициент вязкости груза;

Координата каждой точки ленты определяется по формуле $x = V_{\text{л}}t$ тогда с учетом (4) имеем

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\varepsilon}{dx} \frac{dx}{dt} = V_{\text{л}} \frac{d\varepsilon}{dx} \quad (5)$$

где $V_{\text{л}}$ - скорость ленты конвейера.

Подставляя последнее соотношение (5) в уравнение (2) получим:
при $0 \leq x \leq a$

$$D_1 \frac{d^4 y_1}{dx^4} - S \frac{d^2 y_1}{dx^2} = \frac{\mu V_{\text{л}}}{h_0} \frac{dy_1}{dx} + \sigma_a \quad (6)$$

при $0 \leq x \leq a + b$

$$D_1 \frac{d^4 y_2}{dx^4} - S \frac{d^2 y_2}{dx^2} = \frac{\mu V_{\text{л}}}{h_0} \frac{dy_2}{dx} + \sigma_{\text{п}} \quad (7)$$

где

y_1 – прогиб ленты в зоне $0 \leq x \leq a$; y_2 – прогиб ленты в зоне $0 \leq x \leq b$;

при этом граничные условия для случая $0 \leq x \leq a$ имеют вид

$$\begin{aligned} \text{при } x = 0: \quad y_1 = 0, \quad \frac{dy_1}{dx} = 0; \\ \text{при } x = a: \quad y_1 = y_2, \quad \frac{dy_1}{dx} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

для случая $0 \leq x \leq a + b$ соответственно запишутся в виде

$$\begin{aligned} \text{при } x = a: \quad \frac{dy_2}{dx} = 0, \quad \frac{d^2 y_2}{dx^2} = \frac{d^2 y_1}{dx^2}; \\ \text{при } x = a + b: \quad y_2 = 0, \quad \frac{dy_2}{dx} = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Рассмотрим частный случай, когда вязкость имеет настолько малое значение, что при $\mu=0$, уравнения примут следующий вид:

$$\text{при } 0 \leq x \leq a: \quad D_1 \frac{d^4 y_1}{dx^4} - S \frac{d^2 y_1}{dx^2} = \sigma_a; \quad (10)$$

$$\text{при } 0 \leq x \leq a + b: \quad D_1 \frac{d^4 y_2}{dx^4} - S \frac{d^2 y_2}{dx^2} = \sigma_{\text{п}}; \quad (11)$$

Записывая уравнения (10) и (11) в системах координат $O_1y_1x_1$ и $O_2y_2x_2$ с положенным началом системы координат в точке контакта левого и правого ролика соответственно.

Решая совместно эти два уравнения с учетом граничных условий, получим решение в следующем виде:

$$y_1 = C_1 \frac{D_1}{S} sh \sqrt{\frac{S}{D_1}} x_1 + C_2 \frac{D_1}{S} ch \sqrt{\frac{S}{D_1}} x_1 - \frac{\sigma_n - \sigma_a}{S} \frac{x_1^2}{2} + C_3 + C_4 \quad (12)$$

$$y_2 = \frac{D_1}{S} C_1^* sh \sqrt{\frac{S}{D_1}} x_2 + \frac{D_1}{S} C_2^* ch \sqrt{\frac{S}{D_1}} x_2 - \frac{\sigma_n}{S} \frac{x_2^2}{2} + C_3^* x_2 + C_4^* \quad (13)$$

где x_1 и x_2 – продольные координаты точек ленты связанных с точками контакта ленты с левой и правой роlikоопорами соответственно. (см. рис. 1)

Постоянные $C_1, C_2, C_3, C_4, C_1^*, C_2^*, C_3^*, C_4^*$ определим из граничных условий (10) и (11), в результате приходим к ниже приведенной системе уравнений (14).

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{D_1}{S}} C_1 + C_3 = 0 \\ \frac{D_1}{S} C_2 + C_4 = 0 \\ \sqrt{\frac{D_1}{S}} C_1^* + C_3^* = 0 \\ \frac{D_1}{S} C_2^* + C_4^* = 0 \\ \frac{D_1}{S} \left[C_1 sh \sqrt{\frac{S}{D_1}} a + C_2 ch \sqrt{\frac{S}{D_1}} a \right] - \frac{\sigma_a}{S} \frac{a^2}{2} + C_3 a + C_4 = \frac{D_1}{S} \left[C_1^* sh \sqrt{\frac{S}{D_1}} b + C_2^* ch \sqrt{\frac{S}{D_1}} b \right] - \frac{\sigma_n}{S} \frac{b^2}{2} + C_3^* b + C_4^* \\ C_1 sh \sqrt{\frac{S}{D_1}} a + C_2 ch \sqrt{\frac{S}{D_1}} a - \frac{\sigma_a}{S} = C_1^* sh \sqrt{\frac{S}{D_1}} b + C_2^* ch \sqrt{\frac{S}{D_1}} b - \frac{\sigma_n}{S} \\ \frac{D_1}{S} \left[C_1 ch \sqrt{\frac{S}{D_1}} a + C_2 sh \sqrt{\frac{S}{D_1}} a \right] - \frac{\sigma_a}{S} + C_3 = 0 \\ \frac{D_1}{S} \left[C_1^* ch \sqrt{\frac{S}{D_1}} b + C_2^* sh \sqrt{\frac{S}{D_1}} b \right] - \frac{\sigma_n}{S} + C_3^* = 0 \end{array} \right.$$

В результате решения системы уравнений (14), получим

$$C_1 = \frac{(B_1^* - A_1 N)}{A_1 D - A_1^*} D + N; \quad C_1^* = \frac{(B_1^* - A_1 N)}{A_1 D - A_1^*}$$

$$C_2 = \frac{\sigma_a a}{sh(ua)\sqrt{SD_1}} + C_1 \frac{1 - ch(ua)}{sh(ua)}; \quad C_2^* = \frac{\frac{\sigma_\pi b}{S} + uC_1[1 - ch(ub)]}{ush(ub)}$$

$$C_3 = -\sqrt{\frac{D_1}{S}} C_1; \quad C_3^* = -\sqrt{\frac{D_1}{S}} C_1^*$$

$$C_4 = -\sqrt{\frac{D_1}{S}} C_2; \quad C_4^* = -\sqrt{\frac{D_1}{S}} C_2^*$$
(15)

Для упрощения записи вводим дополнительные обозначения

$$A_1 = \frac{sh(ua) - ua}{u^2} - \frac{u^2[1 - ch(ua)]^2}{sh(ua)}; \quad A_1^* = \frac{sh(ub) - ub}{u^2} - \frac{u^2[1 - ch(ub)]^2}{sh(ub)}$$

$$B_1 = \frac{\sigma_a a}{D_1 u^3} \frac{[ch(ua) - 1]}{sh(ua)} - \frac{\sigma_a a^2}{2S}; \quad B_1^* = \frac{\sigma_\pi b}{D_1 u^3} \frac{[ch(ub) - 1]}{sh(ub)} - \frac{\sigma_\pi b^2}{2S}$$

$$D = \frac{sh(ua) [ch(ub) - 1]}{sh(ub) [ch(ua) - 1]}$$

$$N = \frac{\sigma_a - \sigma_\pi}{S} \frac{sh(ua)}{[ch(ua) - 1]} - \frac{\sigma_a ach(ua)}{\sqrt{SD_1} [ch(ua) - 1]} + \frac{\sigma_\pi b}{\sqrt{SD_1} th(ub)} \frac{sh(ua)}{[ch(ua) - 1]}$$

Моменты в точке контакта ленты с левой и правой роlikоопорой определяется по формулам:

$$\text{при } x_1 = 0 \quad \text{для случая } 0 \leq x \leq a: \quad M_1(0) = \frac{dy_1^2}{dx_1^2};$$
(16)

$$\text{при } x_2 = 0 \quad \text{для случая } 0 \leq x \leq a + b: \quad M_2(0) = \frac{dy_2^2}{dx_2^2};$$

После дифференцирования (16) с учетом (12,13,15) получим окончательные значения моментов $M_1(0)$, $M_2(0)$

$$M_1(0) = C_1 \frac{[1 - ch(ua)]}{sh(ua)} + \frac{\sigma_a a}{\sqrt{SD_1} sh(ua)} - \frac{\sigma_a}{S};$$

$$M_2(0) = C_1^* \frac{[1 - ch(ub)]}{sh(ub)} + \frac{\sigma_\pi b}{\sqrt{SD_1} sh(ub)} - \frac{\sigma_\pi}{S};$$
(17)

где $u = \sqrt{\frac{S}{D_1}}$.

Момент сопротивления движению ленты по роlikоопоре определяем по

формуле:

$$M_c = M_1(0) - M_2(0) \quad (18)$$

Подставляя (17) в (18) после преобразования получим

$$M_c = C_1 \frac{[1-ch(ua)]}{sh(ua)} - C_1^* \frac{[1-ch(ub)]}{sh(ub)} + \frac{\sigma_a a}{\sqrt{SD_1 sh(ua)}} - \frac{\sigma_{\Pi} b}{\sqrt{SD_1 sh(ub)}} - \frac{\sigma_a - \sigma_{\Pi}}{S} \quad (19)$$

Для определения a и b запишем уравнения равновесия для вертикальных сил действующих на ленту между роlikоопорами т.е. на участке $0 \leq x \leq a + b$ в результате получим:

$$\sigma_a a + \sigma_{\Pi} b = ql_p \quad (20)$$

где q – погонная нагрузка на ленту конвейера при $V_{л} = 0$; $l_p = a + b$ – расстояние между роlikоопорами

Учитывая, что $b = l_p - a$ после преобразования уравнение (20) примет вид:

$$(\sigma_a - \sigma_{\Pi})a = (q - \sigma_{\Pi})l_p$$

Из этого равенства определим a

$$a = \frac{(q - \sigma_{\Pi}^*)}{(\sigma_a^* - \sigma_{\Pi}^*)} l_p \quad (21)$$

где σ_a^* и σ_{Π}^* – активное и пассивное давление действующее на боковые части ленты при $V_{л} = 0$.

Из (20) следует, что $\sigma_a = \sigma_{\Pi}$, $a \rightarrow \infty$, по этому $q = \sigma_a = \sigma_{\Pi}$. Следовательно, если $q = \sigma_{\Pi}$, то $a=0$, если $\sigma_{\Pi} = 0$, то $a = \frac{q}{\sigma_a} l_p$.

Сопротивление движению ленты от боковых роликков так же вычисляется по формуле (18), но в отличии от центрального ролика изгибная жесткость пластины по которой катиться ролик равна D_1 а параметры a и b определим по формулам (20) и (21).

В результате с использованием теории наследственной механики твердых тел, получены уравнения взаимодействия конвейерной ленты глубокой желобчатости с грузом, при ее движении по ставу конвейера. На основании решения этих уравнений определено сопротивление движению ленты по роlikоопорам конвейера с лентой глубокой желобчатости.

Анализ полученных соотношений показал, что сила сопротивления движению ленты по роlikоопорам конвейерной ленты обусловлены изгибом ленты и деформацией груза, зависит от погонной нагрузки, расстояния между

роlikоопорами, радиуса ролика, упругих свойств ленты и физико-механических свойств груза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаухофф, Х. Действительно ли регулирование скорости ленточных конвейеров способствует экономии энергии? // *Gluckauf*. – 2006.–с. 142.
2. Трошило, В.С. Соотношения между составляющими сопротивления движению ленты на роlikоопоре / В.С. Трошило, А.Н. Бондаренко // Сборник науч. тр. Национального горного университета. – Днепропетровск. – 2002. - №32. – С. 123-128.
3. Шешко, Е.Е. Ленточные конвейеры для шахтных карьеров. / В.М. Гуцин, Е.Е. Шешко // Развитие и совершенствование шахтного и карьерного транспорта, ред. А.О. Спиваковский, М.:Недра. 1973. стр. 120-125.
4. Смирнов, В.К. Сопротивление движению ленты от шевеления материала при проходе роликoв / В.К. Смирнов, И.А. Шпакунов // Горнорудные машины и автоматика: сб. науч.тр. – М.: Недра, 1966. – Вып. 2. – С. 228-235.
5. Вялов, С.С. Реологические основы механики грунтов / С.С. Вялов – М.: Высш. Школа, 1978. – 447с.
6. Тимошенко, С.П. Пластины и оболочки / С.П. Тимошенко, С. Войковский, Р. Кригер. – М.: Физ-мат. Литература, 1963. – 635 с.
7. Дьяков, В.А. Ленточные конвейеры в горной промышленности // В.А. Дьяков, В.Г. Шахмейстер, В.Н. Дмитриев, ред. А.О. Спиваковский М.: Недра, 1982. –348с.

УДК 622.281.74

А.П.Круковский, к. т. н, ст.науч.сотр.,

С.А. Лещинский, инж. 1 кат.

(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ОКОНТУРИВАНИЯ ТРЕЩИНАМИ ПОРОДНОГО БЛОКА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ АНКЕРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ

Выполнен анализ развития трещин вокруг вертикального анкера. Получена оценочная картина протекания процессов оконтуривания.

ANALYSIS OF CONTOURING OF ROCK BLOCK BY CRACKS WITH A VERTICAL ANCHOR USING ENERGY FAILURE CRITERIA

The analysis of the development of cracks around the vertical anchor. Good reference picture of contouring processes.

В настоящее время на угольных шахтах достаточно широко применяется технология анкерного крепления подготовительных и капитальных горных выработок. Так, на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и ПАО «Краснодонуголь» объемы проводимых выработок с анкерной и анкерно-рамной крепью достигли 50-80%, а общая протяженность за последние четыре года превысила 300 км. Применение анкеров является эффективным способом повышения устойчивости горных выработок, снижения расходов на материалы и поддержание выработок в процессе эксплуатации, повышения безопасности ведения горных работ [1].

Как показала практика, выбор схемы установки анкеров имеет большое значение для повышения несущей способности сформированной в приконтурной области горной выработки анкерно-породной конструкции [2]. Было замечено, что в определенных горно-геологических условиях при установке