

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА БОКОВЫХ РОЛИКОВ НА ПРЕДЕЛЬНЫЙ УГОЛ НАКЛОНА КОНВЕЙЕРА С ЛЕНТОЙ ГЛУБОКОЙ ЖЕЛОБЧАТОСТИ**¹Кирия Р.В., ¹Монастырский В.Ф., ¹Мищенко Т.Ф.**¹*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины***ВПЛИВ КУТА НАХИЛУ БОКОВИХ РОЛИКІВ НА ГРАНИЧНИЙ КУТ НАХИЛУ КОНВЕЙЄРА ІЗ СТРІЧКОЮ ГЛИБОКОЇ ЖЕЛОБЧАТОСТІ****¹Кірія Р.В., ¹Монастирський В.Ф., ¹Мищенко Т.Ф.**¹*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України***INFLUENCE OF THE ANGLE OF THE SLOPE OF THE SIDE ROLLERS ON THE LIMIT ANGLE SLOPE CONVEYOR WITH A DEEP GROOVE BELT****¹Kiriia R. V., ¹Monastyrskiy V. F., ¹Mishchenko T. F.**¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine*

Аннотация. Вопросами определения предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости занимались многие исследователи. Однако в настоящее время отсутствуют исследования, определяющие влияние боковых роликов на предельный угол наклона конвейера с глубокожелобчатой лентой. В работе определен предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости и трехроликовыми опорами. Предполагалось, что лента представляет собой жесткий короб, заполненный сыпучим грузом, находящимся в предельном равновесии. При этом на груз действуют силы трения со стороны ленты и направленные по движению ленты, а также составляющие силы тяжести груза, направленные против движения ленты конвейера. Кроме того, при движении ленты с грузом по роликам возникают силы, действующие на ролики, обусловленные распором груза. При этом на боковые ролики действуют активные и пассивные силы давления со стороны сыпучего груза, связанные со сжатием и развалом бортов ленты при ее прохождении через роликоопоры конвейера. При увеличении угла наклона боковых роликов эти силы распора на боковые ролики увеличиваются и, тем самым, увеличивают силы трения груза о ленту конвейера, что приводит к увеличению предельного угла наклона ленточного конвейера. В работе на основании теории предельного состояния сыпучего груза ленточного конвейера с трехроликовыми опорами получены уравнения равновесия сыпучего груза на ленте наклонного конвейера. На основе полученного уравнения равновесия найдены аналитические зависимости предельного угла наклона ленточного конвейера с трехроликовыми опорами от угла наклона боковых роликов, геометрических размеров лотка, свойств сыпучего груза (угла внутреннего трения и угла трения груза о ленту конвейера). Из анализа этих зависимостей следует, что с увеличением угла наклона бортов лотка ленты предельный угол наклона конвейера увеличивается и при значениях, больших минимальных углов наклона бортов лотка, принимает постоянное значение, равное углу внутреннего трения груза. При этом, чем больше ширина лотка ленты, тем меньше минимальный угол наклона бортов лотка. Кроме того, установлено, что для руды при одних и тех же углах наклона бортов ленты предельный угол наклона конвейера больше, чем для угля. При этом для угля минимальный угол наклона бортов лотка, при котором достигается предельный угол наклона конвейера, меньше, чем для руды.

Ключевые слова: конвейер с лентой глубокой желобчатости, трехроликовые опоры, активные и пассивные давления сыпучего груза, предельный угол наклона.

Вопросами определения предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости занимались многие исследователи: Е. Е. Шешко, В. М. Гущин, В. А. Дьяков, В. И. Галкин и В. Г. Дмитриев.

В работах [1, 2] получены зависимости предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости и гирляндными роликоопорами от параметров лотка и свойств сыпучего груза. При этом предполагалось, что удержание груза на ленте конвейера осуществляется за счет сил трения груза о ленту, обусловлен-

ленных силами бокового распора груза, вызванными сжатием и развалом ленты при ее движении по роlikоопорам конвейера. Эти силы трения груза о ленту конвейера уравниваются составляющей силы тяжести груза, направленной вниз вдоль ленты конвейера.

В результате в этих работах установлено, что предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости с гирляндными роlikоопорами может достигать 50° , что противоречит результатам экспериментов [3].

В работе [4] построены зависимости предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости и трехроlikовой опорой от натяжения ленты. При этом установлено, что с увеличением натяжения ленты предельный угол наклона конвейера увеличивается до 40° . Однако, как показали экспериментальные исследования [3], предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости зависит от параметров лотка, в частности, угла наклона бортов лотка, свойств транспортируемого груза и практически не зависит от скорости и натяжения ленты.

В работе [5] определен предельный угол наклона конвейера с трехроlikовой опорой и лентой глубокой желобчатости. При этом предполагалось, что лента представляет собой упругий короб с нулевой изгибной жесткостью, растянутый силой натяжения. В этом случае на груз действует сила трения со стороны ленты конвейера, направленная по движению ленты, и сила сопротивления, обусловленная деформацией груза и направленная против движения ленты, а также составляющая силы тяжести груза, направленная против движения ленты конвейера.

Однако, как показали расчеты, сила сопротивления, обусловленная деформацией груза, направленная против движения ленты, практически не влияет на предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости.

В работе [6] получена зависимость предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости с трехроlikовыми опорами. Однако, как показал анализ, эта зависимость применима для углов наклона боковых роlikов более 60° .

Следовательно, вопрос об определении предельного угла конвейера с лентой глубокой желобчатости недостаточно изучен.

Цель данной статьи – уточнить и исследовать зависимость предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости с трехроlikовыми опорами от геометрических параметров лотка ленты и свойств сыпучего груза.

Предположим, что груз представляет собой идеально сыпучую среду, а лента представляет собой жесткий короб, заполненный сыпучим грузом и наклоненный к горизонту под углом α [5, 6]. На груз, находящийся на ленте конвейера, действуют силы трения со стороны ленты, направленные по движению ленты, и составляющая силы тяжести груза, направленная против движения ленты конвейера.

Положим, что коэффициент трения груза о ленту f_1 меньше коэффициента внутреннего трения сыпучего груза f ($f_1 < f$). Так как в противном случае, т.е. при $f_1 \geq f$, предельный угол наклона трубчатого конвейера $\alpha_n = \arctg f$.

Составим уравнение равновесия сил, действующих на выделенный участок сыпучего груза между нормальными сечениями к оси ленты в местах расположения роlikоопор, т.е. между роlikооперами.

В проекции на ось конвейера уравнение равновесия сил, действующих на груз, примет вид:

$$F_T = F_g, \quad (1)$$

где F_T – сила трения, действующая на груз со стороны ленты конвейера, направленная по движению ленты, Н; F_g – составляющая силы веса выделенного участка груза, направленная против движения ленты конвейера, Н.

Сила трения выделенного участка груза о дно и борта лотка ленты равна сумме произведений средних нормальных сил, действующих на ленту конвейера, и коэффициента трения груза о ленту конвейера и согласно [5, 6] определяется по формуле

$$F_T = f_1 l_p \left(\sigma_1 l_c + \frac{\sigma_{\delta a} \cdot l'_m}{2} + \frac{\sigma_{\delta n} \cdot l'_m}{2} \right), \quad (2)$$

где f_1 – коэффициент трения груза о ленту конвейера; l_p – расстояние между роlikооперами, м; σ_1 – нормальное давление груза на дно ленты конвейера, Н/м²; l_c – ширина дна лотка ленты, м; $\sigma_{\delta a}$, $\sigma_{\delta n}$ – активное и пассивное боковые давления, действующие на нижние точки борта лотка ленты конвейера со стороны сыпучего груза, Н/м²; l'_m – средняя ширина участка борта лотка ленты, заполненного сыпучим с грузом, м.

Средняя ширина борта ленты, заполненной сыпучим грузом, определяется согласно рис. 1 по формуле

$$l'_m = \frac{h_c}{\sin \beta}, \quad (3)$$

где h_c – среднее значение уровня груза в лотке, м; β – угол наклона боковых роlikов, град.

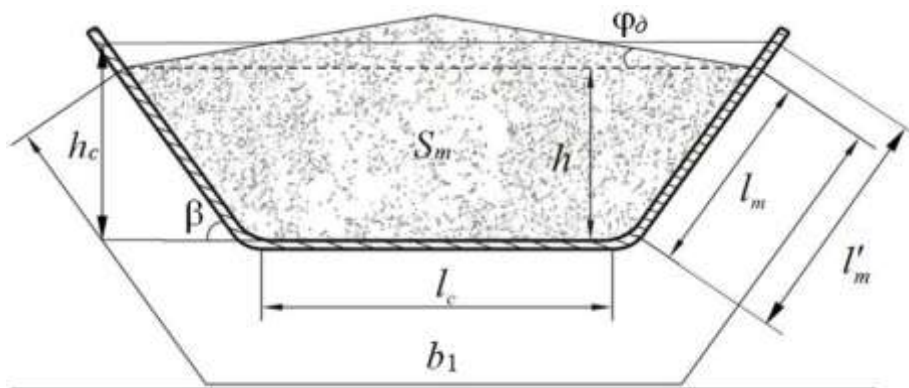


Рисунок 1 – Поперечное сечение лотка ленты с грузом

Согласно работе [7], при углах наклона бортов лотка ленты $\beta < 50^\circ$ и при любых значениях h_c и l_c , а также при углах наклона бортов лотка ленты $\beta \geq 50^\circ$ и при $h_c < l_c$ нормальное давление сыпучего груза на дно лотка ленты σ_1 можно определить по формуле

$$\sigma_1 = \gamma h_c \cos \alpha, \quad (4)$$

где γ – удельный вес груза, Н/м³; α – угол наклона конвейера, град.

Среднее значение уровня груза в лотке h_c определим из равенства площадей трапеции высотой h_c с длиной основания l_c и длиной боковой стороны l'_m и площади нормального сечения сыпучего груза в лотке ленты.

Согласно рис. 1, площадь трапеции определим по формуле

$$S_m = h_c \cdot (l_c + l'_m) / 2, \quad (5)$$

где S_m – площадь нормального сечения сыпучего груза в лотке, м².

После преобразования равенства (5) получим квадратное уравнение относительно h_c в виде:

$$h_c^2 \operatorname{ctg} \beta + l_c h_c - S_m = 0.$$

Решая последнее уравнение относительно h_c , получим

$$h_c = \frac{-l_c + \sqrt{l_c^2 + 4S_m \operatorname{ctg} \beta}}{2 \operatorname{ctg} \beta}. \quad (6)$$

Выражение (6) после преобразования можно представить в виде

$$h_c = \frac{2S_m}{l_c + \sqrt{l_c^2 + 4S_m \operatorname{ctg} \beta}}. \quad (7)$$

Согласно рисунку 1 площадь нормального сечения сыпучего груза в лотке определяется по формуле

$$S_m = h \cdot (l_c + l_m \cos \beta) + \frac{(l_c + 2l_m \cos \beta)^2}{4} \cdot \operatorname{tg} \varphi_\delta, \quad (8)$$

где $h = l_m \sin \beta$, м; $l_m = (b_1 - l_c)/2$, м; $b_1 = 0,9B - 0,5$, м; B – ширина ленты, м; φ_δ – угол естественного наклона насыпного груза при его движении по роликсопорам конвейера, град [8].

Подставляя выражение (8) в (7), получим среднее значение уровня груза в лотке через параметры лотка ленты.

Значения активных $\sigma_{\bar{a}}$ и пассивных $\sigma_{\bar{b}}$ давлений со стороны сыпучего груза на нижние точки бортов лотка ленты получим из анализа напряженного состояния сыпучего груза на наклонном конвейере [5, 6]:

$$\sigma_{\delta a} = \gamma h_c \cos \alpha (\cos^2 \beta + n_1 \sin^2 \beta); \quad (9)$$

$$\sigma_{\delta n} = \gamma h_c \cos \alpha (\cos^2 \beta + n_2 \sin^2 \beta). \quad (10)$$

Здесь n_1 и n_2 – минимальный и максимальный коэффициенты бокового распора, определяемые по формулам:

$$n_1 = 1 + f^2 - \sqrt{(1 + f^2)(f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha)} - f \left(\sqrt{1 + f^2} - \sqrt{f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha} \right); \quad (11)$$

$$n_2 = 1 + f^2 + \sqrt{(1 + f^2)(f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha)} + f \left(\sqrt{1 + f^2} + \sqrt{f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha} \right). \quad (12)$$

Подставляя (4), (9), (10) в (2), после преобразования получим

$$F_T = \gamma h_c l_p \cos \alpha \left[l_c + l'_m \left(\cos^2 \beta + \frac{n_1 + n_2}{2} \sin^2 \beta \right) \right]. \quad (13)$$

Составляющую силы тяжести выделенного участка груза между роlikоопорами наклонного конвейера определим по формуле

$$F_g = G \sin \alpha = \gamma S_m l_p \sin \alpha, \quad (14)$$

где G – сила тяжести выделенного участка груза между роlikоопорами, Н.

Подставляя (13) и (14) в (1) с учетом (3), (5), (11) и (12), после преобразования получим уравнение относительного предельного угла наклона конвейера α_n :

$$d \cdot \operatorname{tg} \alpha_n = a + b \left(1 + f^2 + f \sqrt{f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha_n} \right), \quad (15)$$

где $a = f_1 h_c \cos^2 \beta + l_c \sin \beta$; $b = f_1 h_c \sin^2 \beta$; $d = h_c \cos \beta + l_c \sin \beta$.

Здесь h_c определяется по формуле (7) с учетом (8).

Обозначая в уравнении (15) $t = \operatorname{tg} \alpha_n$, получим уравнение относительно t :

$$t = \frac{a + b \left(1 + f^2 + f \sqrt{f^2 - t^2} \right)}{d}. \quad (16)$$

Из правой части уравнения (16) следует, что $t \leq f$.

После преобразования уравнение (16) можно представить в виде:

$$d \cdot t - a - b \left(1 + f^2 \right) = b f \sqrt{f^2 - t^2}. \quad (17)$$

Возведя в квадрат левую и правую части равенства (17), после преобразования получим квадратное уравнение относительно t в виде:

$$At^2 + Bt + C = 0, \quad (18)$$

где $A = d^2 + b^2 f^2$; $B = -2d[a + b(1 + f^2)]$; $C = [a + b(1 + f^2)]^2 - b^2 f^4$.

Решая квадратное уравнение (18) и беря больший корень, получим

$$t = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}. \quad (19)$$

Из (19) следует, что решение квадратного уравнения (18) существует в действительной области, если выполняется условие $B^2 - 4AC \geq 0$.

Окончательно предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости α_n определяется из равенства

$$\alpha_n = \arctg t. \quad (20)$$

Анализ полученных аналитических соотношений показал, что с увеличением средней высоты груза на ленте h_c , т.е. с увеличением количества груза на ленте, предельный угол наклона конвейера с глубокожелобчатой лентой α_n увеличивается. Кроме того, при $\beta \rightarrow 0$ средняя высота груза на ленте $h_c \rightarrow 0$ и предельный угол наклона конвейера $\alpha_n \rightarrow \arctg f_1$.

Следовательно, предельный угол наклона конвейера должен быть меньше либо равен углу внутреннего трения груза, т.е. предельный угол наклона конвейера изменяется в пределах

$$\arctg f_1 \leq \alpha_n \leq \arctg f.$$

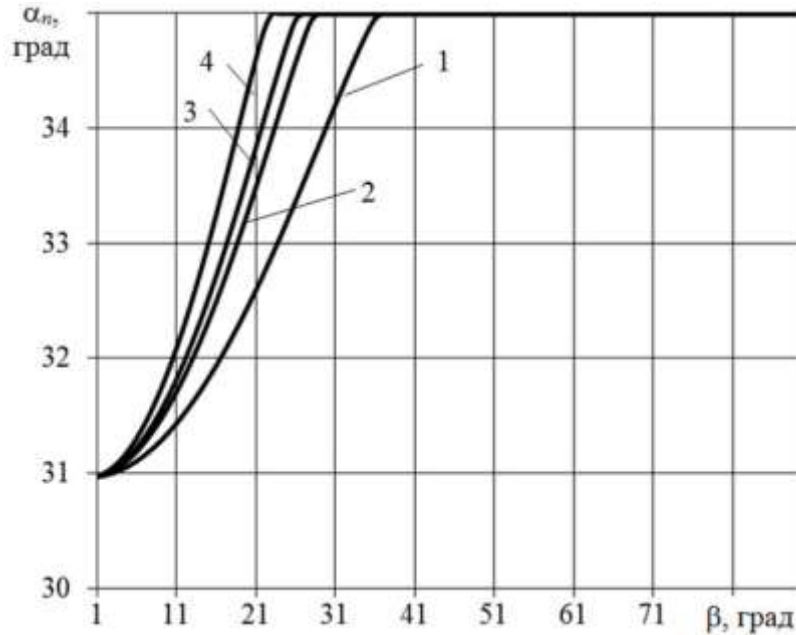
На рис. 2, 3 показаны графики зависимости предельного угла наклона конвейера с трехроlikовой опорой в зависимости от угла наклона боковых роликков. При этом параметры конвейера, роlikкоопор, ленты и груза принимали следующие значения: $B = 1,6$ м; $l_c = 0,580; 0,290; 0,194$ м; $0,0$ м; ($l_c/l_m = 1,43; 0,53; 0,32; 0$); $\varphi_0 = 0^\circ$, а коэффициенты внутреннего трения и трения груза о ленту в случае руды равнялись соответственно $f = 0,7; f_1 = 0,6$ (см. рис. 2), а в случае угля соответственно $f = 0,6; f_1 = 0,5$ (см. рис. 3).

Из рисунков 2, 3 видно, что с увеличением угла наклона бортов лотка ленты предельный угол наклона конвейера увеличивается и при значениях, больших минимальных углов наклона бортов лотка β_m , принимает постоянное значение, равное углу внутреннего трения груза для руды 35° и для угля 31° . При этом, чем меньше ширина лотка ленты, тем больше предельный угол наклона бортов лотка.

Кроме того, из рисунков 2 и 3 видно, что все графики при уменьшении ширины лотка l_c стремятся к предельной кривой, полученной при $l_c = 0$ м.

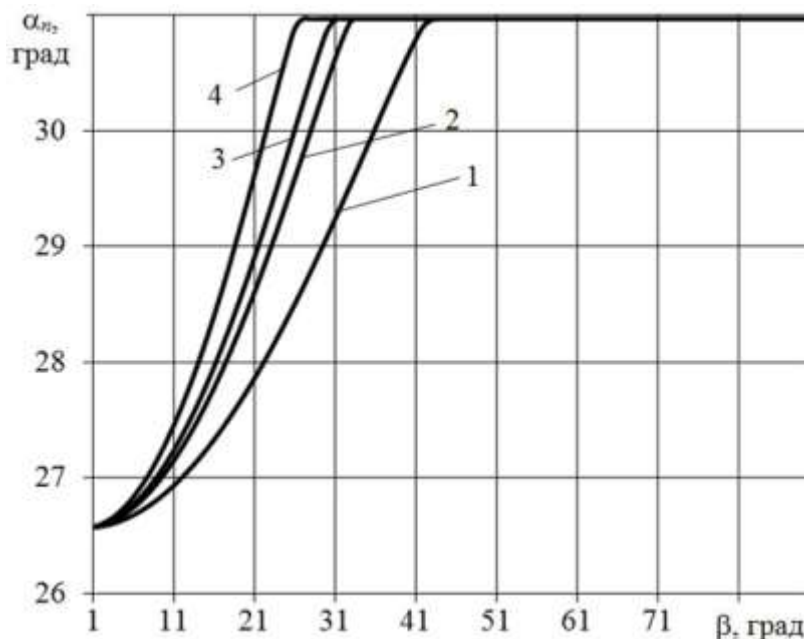
Из графиков на рисунках 2 и 3 следует, что для руды при одних и тех же

углах наклона бортов ленты предельный угол наклона конвейера больше, чем для угля. При этом для угля минимальный угол наклона бортов лотка, при котором достигается предельный угол наклона конвейера, меньше, чем для руды.



1 – $l_c = 0,580$; 2 – $l_c = 0,290$; 3 – $l_c = 0,194$ м; 4 – $l_c = 0,0$ м

Рисунок 2 – График зависимости предельного угла наклона конвейера α_n в зависимости от угла наклона боковых роликов β при различных значениях длины среднего ролика l_c в случае транспортирования руды



1 – $l_c = 0,580$; 2 – $l_c = 0,290$; 3 – $l_c = 0,194$ м; 4 – $l_c = 0,0$ м

Рисунок 3 – График зависимости предельного угла наклона конвейера α_n в зависимости от угла наклона боковых роликов β при различных значениях длины среднего ролика l_c в случае транспортирования угля

Так, для при $l_c = 0,580; 0,290; 0,194$ м; 0,0 м минимальные углы наклона бортов лотка, больше которых предельный угол наклона конвейера α_n равен максимальному значению, равны для руды соответственно $\beta_m = 36^\circ; 29^\circ; 26^\circ; 23^\circ$ (см. рис. 2); для угля соответственно $\beta_m = 42^\circ; 33^\circ; 31^\circ; 27^\circ$ (см. рис. 3).

Выводы

1. На основании теории предельного состояния сыпучей среды получена аналитическая зависимость предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости от угла наклона бортов ленты, параметров лотка и свойств сыпучего груза. При этом результаты теоретических исследований совпадают с опытными данными [3].

2. Анализ этой зависимости показал, что с увеличением угла наклона бортов лотка ленты предельный угол наклона конвейера увеличивается и при значениях, больших минимальных углов наклона бортов лотка, принимает постоянное значение, равное углу внутреннего трения груза. При этом, чем больше ширина лотка ленты, тем меньше минимальный угол наклона бортов лотка.

3. Кроме того, установлено, что для руды при одних и тех же углах наклона бортов ленты предельный угол наклона конвейера больше, чем для угля. При этом для угля минимальный угол наклона бортов лотка, при котором достигается предельный угол наклона конвейера, меньше, чем для руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шешко Е. Е. Крутонаклонный конвейер с лентой, имеющей форму глубокого желоба / Е. Е. Шешко, В. М. Гуцин // Развитие и совершенствование шахтного и карьерного транспорта. – М.: Недра, 1973. – С. 120–125.
2. Дьяков В. А. Ленточные конвейеры в горной промышленности / В. А. Дьяков, Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев [и др.] / Под ред. А. О. Сливаковского. – М.: Недра, 1982. – 349 с.
3. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В. И. Галкин, В. Г. Дмитриев, В. П. Дьяченко [и др.]. – М.: Из-во МГГУ, 2005. – 543 с.
4. Монастырский В. Ф. Выбор предельного угла наклона ленточного конвейера / В. Ф. Монастырский, Т. В. Шахунова // Машиностроение и техносфера XXI века. Сб. трудов IX международной научно-практической конференции в г. Севастополе 9-15 сентября 2002 г. – Донецк: ДонНТУ. – 2002. – Т 2. – С. 153–158.
5. Кирия Р.В. Определение предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости / Р.В. Кирия, Н.Г. Ларионов // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 120. – С. 276–286.
6. Кирия Р. В. Предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости / Р. В. Кирия, Н. Г. Ларионов // Збірник наукових праць Національного гірничого університету / Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ, 2015. – № 48. – С. 119-125.
7. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1984. – 251 с.
8. Шахмейстер Л. Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л. Г. Шахмейстер, В. Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1987. – 336 с.

REFERENCES

1. Sheshko E. E. and Gushchin V. M. (1973), «Steeply inclined conveyor belt, which has form of deep troughs», *Razvitie i sovershenstvovanie shachtnogo i kariernogo transporta* [Development and improvement of the mine and transport career], Nedra, Moscow, Russia, pp. 120-125.
2. Diakov L. A., Shakhmeister L. G. and Dmitriev V. G. (1982), *Lentochnye konveera v gornoy promishlenosti* [Belt conveyers in mining industry], in Spivakovskiy A. O. (ed.), Nedra, Moscow, Russia.
3. Galkin V. I., Dmitriev V. G. and Diachenko V. P. (2005), *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gornykh predpriyatiy* [Modern theory of belt conveyers of mining enterprises], Iz-vo MGGU, Moscow, Russia.
4. Monastyrskiy V. F. and Shakhunova T. V. (2002), “The choice of the maximum angle of inclination of belt conveyors”, *Sbornik трудов mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka* [Proceedings of International Scientific Conference “Engineering and Technosphere of the XXI century”], part 2, pp. 153-158.
5. Kiriya R. V. and Larionov M. G. (2015), “Determination critical inclination of conveyor with deeply-sagging belt”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 120, pp. 276–286.

6. Kiriya R. V. and Larionov M. G. (2015), "The limiting angle of inclination of the conveyor with a deep groove belt", *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnogo girnychogo universytetu*, no. 48, pp. 119-125.
7. Zenkov R. L. (1984), *Mekhanika nasypanykh gruzov* [Soil mechanics], Mashinosroenie, Moscow, Russia.
9. Shakhmeister L. G. and Dmitriev V. G. (1987), *Teoriya i raschet lentochnykh konveyerov* [Theory and calculation of belt conveyers], Mashinostroenie, Moscow, Russia.

Об авторах

Кирия Руслан Виссарионович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела Геомеханических основ технологии открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, kiriya.igtm@gmail.com.

Монастырский Виталий Федорович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела Геомеханических основ технологии открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, vfmon@mail.ru.

Мищенко Тамара Федоровна, магистр, главный технолог отдела Геомеханических основ технологии открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, mishenkotamaraf@gmail.com.

About the authors

Kiriya Ruslan Visarionovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, kiriya.igtm@gmail.com.

Monastyrskiy Vitalii Fedorovich, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, vfmon@mail.ru.

Mishchenko Tamara Fedorivna, Master of Science, Senior Specialist in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, mishenkotamaraf@gmail.com.

Анотація. Питаннями визначення граничного кута нахилу конвеєра із стрічкою глибокої жолобчастості займалися багато дослідників. Проте в даний час відсутні дослідження, що визначають вплив бічних роликів на граничний кут нахилу конвеєра з глибокожолобчастою стрічкою. В роботі визначений граничний кут нахилу конвеєра із стрічкою глибокої жолобчастості і трьохроликівими опорами. Припускалося, що стрічка є жорстким коробом, заповненим сипким вантажем, що знаходиться в граничній рівновазі. При цьому на вантаж діють сили тертя з боку стрічки і спрямовані за рухом стрічки, а також складові сили тяжіння вантажу, спрямовані супроти руху стрічки конвеєра. Крім того, при русі стрічки з вантажем по роликах виникають сили, що діють на ролики, обумовлені розпором вантажу. При цьому на бічні ролики діють активні та пасивні сили тиску з боку сипкого вантажу, пов'язані із стисненням і розвалом бортів стрічки при її проходженні через роликоопори конвеєра. При збільшенні кута нахилу бічних роликів ці сили розпору на бічні ролики збільшуються і, тим самим, збільшують сили тертя вантажу об стрічку конвеєра, що призводить до збільшення граничного кута нахилу стрічкового конвеєра. В роботі на підставі теорії граничного стану сипкого вантажу стрічкового конвеєра з трьохроликівими опорами отримано рівняння рівноваги сипкого вантажу на стрічці похилого конвеєра. На основі отриманого рівняння рівноваги знайдено аналітичну залежність граничного кута нахилу стрічкового конвеєра з трьохроликівими опорами від кута нахилу бічних роликів, геометричних розмірів лотка, властивостей сипкого вантажу (кута внутрішнього тертя і кута тертя вантажу об стрічку конвеєра). Із аналізу цих залежностей виходить, що із збільшенням кута нахилу бортів лотка стрічки граничний кут нахилу конвеєра збільшується і при значеннях, більших за мінімальні кути нахилу бортів лотка, приймає постійне значення, що дорівнює куту внутрішнього тертя вантажу. При цьому, чим більше ширина лотка стрічки, тим менше мінімальний кут нахилу бортів лотка. Крім того, встановлено, що для руди при однакових кутах нахилу бортів стрічки граничний кут нахилу конвеєра більше, ніж для вугілля. При цьому для вугілля мінімальний кут нахилу бортів лотка, при якому досягається граничний кут нахилу конвеєра, менше ніж для руди.

Ключові слова: конвеєр із стрічкою глибокої жолобчастості, трьохроликіві опори, активний і пасивний тиск сипкого вантажу, граничний кут нахилу.

Annotation. Many researchers were involved in determining the maximum angle of inclination of a conveyor with a deep groove belt. However, there are currently no studies determining the effect of side rollers on the maximum angle of inclination of a conveyor with a deep groove belt. The limiting angle of the conveyor with a deep groove belt and three-roller bearings is determined in the work. It was assumed that the belt is a rigid box filled with bulk material in extreme equilibrium. In this case, the friction forces act on the load from the belt and are directed along the movement of the belt, as well as components of the gravity of the load directed against the movement of the conveyor belt. In addition, when

the belt moves with the load on the rollers, forces appear on the rollers due to the spread of the load. At the same time, active and passive pressure forces from the side of bulk load are associated with the compression and collapse of the sides of the belt when it passes through the roller bearings of the conveyor. With an increase in the angle of inclination of the side rollers, these thrust forces on the side rollers increase and, thereby, increase the friction forces of the load on the conveyor belt, which leads to an increase in the limiting angle of inclination of the belt conveyor. Based on the theory of the limit state of bulk load of a conveyor belt with three-roller bearings, equations of equilibrium of bulk load on an inclined conveyor belt are obtained. Based on the obtained equilibrium equation, analytical dependences of the maximum angle of inclination of the conveyor belt with three-roller bearings on the angle of inclination of the side rollers, the geometric dimensions of the tray, the properties of bulk load (the angle of internal friction and the angle of friction of the load on the conveyor belt) are found. From the analysis of these dependencies it follows that with an increase in the angle of inclination of the sides of the tray of the belt, the maximum angle of inclination of the conveyor increases and, with values greater than the minimum angles of inclination of the sides of the tray, takes a constant value equal to the angle of internal friction of the load. Moreover, the larger the width of the belt tray, the smaller the minimum angle of inclination of the sides of the tray. In addition, it was found that for ore at the same angles of inclination of the sides of the belt, the maximum angle of inclination of the conveyor is greater than for coal. Moreover, for coal, the minimum angle of inclination of the sides of the tray, at which the maximum angle of inclination of the conveyor is achieved, is less than for ore.

Key words: conveyor with a deep groove belt, three-roller bearings, active and passive pressures of bulk load, limiting angle of inclination.

Стаття надійшла до редакції 18.12. 2018

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук Четвериком М.С.