

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО УГЛА НАКЛОНА КОНВЕЙЕРА С ПРИЖИМНОЙ ЛЕНТОЙ

¹Кирия Р.В., ¹Монастырский В.Ф., ¹Смирнов А.Н., ¹Мостовой Б.И.

¹Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО КУТА НАХИЛУ КОНВЕЙЄРА З ПРИТИСКНОЮ СТІЧКОЮ

¹Кірія Р.В., ¹Монастирський В.Ф., ¹Смірнов А.М., ¹Мостовий Б.І.

¹Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

DETERMINATION OF CRITICAL INCLINATION ANGLE FOR THE CONVEYER WITH PRESSURE BELT

¹Kiriia R.V., ¹Monastyrskiy V.F., ¹Smirnov A.M., ¹Mostovyi B.I.

¹Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of NAS of Ukraine

Аннотация. В настоящее время за рубежом получили распространение крутонаклонные ленточные конвейеры с прижимной лентой, транспортирующие сыпучие грузы. Предельный угол наклона этих конвейеров согласно литературным источникам изменяется в пределах от 35° до 90°. Однако в настоящее время не существует достаточного обоснования величины предельного угла наклона таких конвейеров. В представленной работе в зависимости от состояния сыпучего груза, находящегося на ленте конвейера с прижимной лентой, определен предельный угол наклона конвейера в зависимости от погонной нагрузки сыпучего груза на ленту конвейера и его свойств. При этом предполагалось, что касательные напряжения в каждой точке сыпучего груза уравниваются проекциями силы тяжести сыпучего груза на направление движения ленты конвейера и не превышают предельных касательных напряжений в сыпучей среде. Кроме того, для сил трения сыпучего груза о несущую и прижимную ленты конвейера выполняется закон трения Кулона. В работе рассматривались случаи, когда коэффициент внутреннего трения сыпучего груза больше коэффициентов трения сыпучего груза о несущую и прижимную ленты конвейера, и когда коэффициент внутреннего трения сыпучего груза меньше коэффициента трения сыпучего груза о несущую ленту конвейера. В результате решения полученных систем уравнения равновесия для каждого выше указанного случая получены зависимости предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой от погонной нагрузки сыпучего груза и погонного веса прижимной ленты конвейера, а также от коэффициентов трения сыпучего груза о несущую и прижимную ленты конвейера и от коэффициента внутреннего трения сыпучего груза. Анализ полученных зависимостей показал, что предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой с увеличением погонной нагрузки транспортируемого сыпучего груза уменьшается. С увеличением коэффициентов трения сыпучего груза о грузонесущую и прижимную ленты конвейера и коэффициента внутреннего трения сыпучего груза предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой увеличивается. Кроме того, с увеличением отношения погонной нагрузки прижимной ленты к погонной нагрузке сыпучего груза предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой увеличивается и при неограниченном увеличении этого отношения стремится к 90°.

Ключевые слова. Ленточные конвейеры, сыпучий груз, прижимная лента, предельный угол наклона.

В настоящее время за рубежом получили распространение крутонаклонные ленточные конвейеры с прижимной лентой, транспортирующие сыпучие грузы.

Предельный угол наклона этих конвейеров согласно литературным источникам изменяется в пределах от 35° до 90° [1–5]. Однако в настоящее время не существует достаточного обоснования величины предельного угла наклона таких конвейеров. В работах [3, 4] определен предельный угол наклона конвейера с прижимной лентой. При этом предполагалось, что сыпучий груз, находящийся на ленте конвейера, представляет собой твердое тело, по которому может скользить грузонесущая и прижимная ленты.

В результате в этих работах получены зависимости величины предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой от погонной нагрузки транспортируемого груза и погонного веса прижимной ленты, а также от коэффициентов трения сыпучего груза по несущей и прижимной лентах конвейера.

В то же время в этих работах предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой не зависит от угла внутреннего трения транспортируемого груза. Кроме того, из полученных зависимостей следует, что предельный угол наклона изменяется в пределах от 25° до 90° .

В работе [5] на основе уравнений статики сыпучей среды для любого угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой получены условия проскальзывания сыпучего груза по поверхностям несущей и прижимной лент, а также получены условия устойчивости сыпучего груза на ленте конвейера. Однако предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой автором этой работы не был определен.

В представленной работе в зависимости от состояния сыпучего груза, находящегося на ленте конвейера с прижимной лентой, определен предельный угол наклона конвейера в зависимости от погонной нагрузки сыпучего груза на ленту конвейера и его свойств.

Выделим двумя нормальными сечениями, перпендикулярными оси конвейера, элементарный слой сыпучего груза, лежащий на ленте конвейера, и элементарный участок прижимной ленты конвейера (рис. 1). На рисунке обозначено через h (м) толщину слоя сыпучего груза между лентами конвейера, через α – предельный угол наклона ленточного конвейера (град).

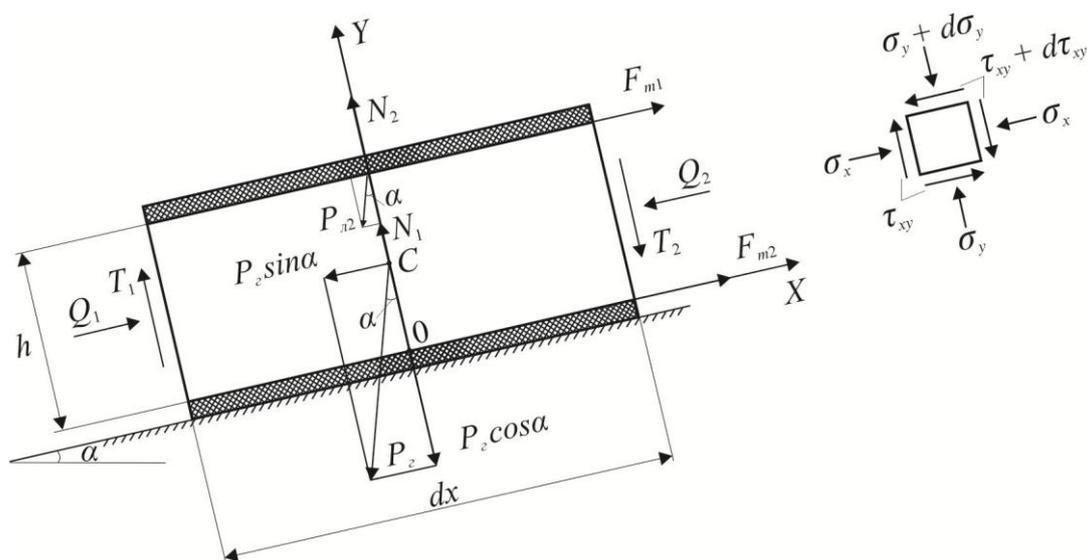


Рисунок 1 – Расчетная схема равновесия сил, действующих на элемент сыпучего груза на ленточном конвейере с прижимной лентой

На выделенный элемент сыпучего груза действует сила его тяжести $P_2(H)$ и сила тяжести элемента прижимной ленты $P_{л2}(H)$, направленные вертикально вниз, нормальные и касательные силы $Q_1(H)$, $T_1(H)$ и $Q_2(H)$, $T_2(H)$,

действующие на левое и правое нормальные сечения выделенного элемента сыпучего груза соответственно, а также силы трения сыпучего груза $F_{m1}(H)$ и $F_{m2}(H)$, возникающие при его взаимодействии с несущей и прижимной лентами соответственно и направленные вдоль движения конвейера, т.е. по оси ОХ (см. рис. 1).

Кроме того, на выделенный элемент сыпучей среды действует сила реакции со стороны несущей ленты $N_1(H)$, направленная вверх перпендикулярно несущей ленте, а также сила давления, приложенная к сыпучему грузу со стороны прижимной ленты $N_2(H)$ и направленная вниз перпендикулярно к ней.

Предположим, что коэффициент внутреннего трения сыпучей среды f больше коэффициента трения сыпучей среды по несущей ленте f_1 и больше коэффициента трения сыпучей среды о прижимную ленту конвейера f_2 , т.е. $f > f_1$ и $f > f_2$.

В этом случае согласно [5, 6] выделенный элемент сыпучей среды на ленте конвейера находится в твердом состоянии и движется по направлению движения ленты конвейера.

При этом в каждой точке сыпучей среды касательные напряжения, направленные вдоль ленты конвейера τ_{xy} , уравниваются составляющими силы тяжести сыпучей среды в направлении вдоль ленты конвейера и не превышают предельных касательных напряжений в сыпучей среде, т.е. $\tau_{xy} \leq f\sigma_y$, где σ_y – нормальные напряжения в точках сыпучей среды, направленные перпендикулярно ленте конвейера. В этом случае нормальные и касательные напряжения в точках сыпучей среды σ_x (Н/м²), σ_y (Н/м²) и τ_{xy} (Н/м²) не изменяются вдоль ленты конвейера, т.е. не зависят от x , а зависят от y , где x, y – текущие координаты точки в слое сыпучего груза (м); при этом x, y изменяются в пределах: $0 \leq x < \infty, 0 \leq y \leq h_r$.

Согласно [5, 6] нормальные и касательные напряжения в каждой точке сыпучей среды в этом случае определяются по формулам:

$$\sigma_y = p_n + \gamma y \cos \alpha;$$

$$\tau_{xy} = \tau_n + \gamma y \sin \alpha;$$

$$\sigma_x = \sigma_y (1 + 2f^2) - 2\sqrt{(1 + f^2)(\sigma_y^2 f^2 - \tau_{xy}^2)},$$

где p_n – давление прижимной ленты на слой сыпучего груза, Н/м²; τ_n – касательные напряжения, действующие на сыпучий груз со стороны прижимной ленты, Н/м².

Запишем условие равновесия сил, действующих на выделенный элемент сыпучей среды, в проекциях на оси координат ОХ и ОУ:

$$Q_1 - Q_2 - P_2 \sin \alpha + F_{m1} + F_{m2} = 0; \quad (1)$$

$$T_1 - T_2 - P_2 \cos \alpha - N_2 + N_1 = 0. \quad (2)$$

Согласно закону Кулона силы трения выделенного элемента сыпучего груза о несущую и прижимную ленты конвейера определим по формулам:

$$F_{m1} \leq f_1 N_1; \quad (3)$$

$$F_{m2} \leq f_2 N_2. \quad (4)$$

Для определения силы нормального давления N_2 запишем уравнение равновесия выделенного элемента прижимной ленты в проекции на ось ОУ. В результате получим

$$N_2 - P_{л2} \cos \alpha = 0.$$

Из последнего равенства имеем

$$N_2 = P_{л2} \cos \alpha. \quad (5)$$

Подставляя (5) в равенство (2), с учетом того, что $T_1 = T_2$, определим N_1 . В результате получим

$$N_1 = (P_2 + P_{л2}) \cos \alpha. \quad (6)$$

Подставляя (6) и (5) в (3) и (4), а затем F_{m1} и F_{m2} в равенство (1), с учетом того, что $Q_1 = Q_2$, в результате получим

$$-P_2 \sin \alpha + f_1 (P_2 + P_{л2}) \cos \alpha + f_2 P_{л2} \cos \alpha \leq 0.$$

Из последнего равенства имеем

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{f_1 (P_2 + P_{л2}) + f_2 P_{л2}}{P_2}. \quad (7)$$

Из неравенства (7) следует, что предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n , при котором сыпучий груз определяется из равенства

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \frac{f_1 (P_2 + P_{л2}) + f_2 P_{л2}}{P_2}. \quad (8)$$

Выразим P_2 и $P_{л2}$ через погонные нагрузки сыпучего груза на ленте конвейера q_2 (Н/м) и прижимной лентой $q_{л2}$ (Н/м):

$$P_2 = q_2 dx; \quad P_{л2} = q_{л2} dx. \quad (9)$$

Подставляя (9) в (8), после преобразования получим

$$\operatorname{tg} \alpha_n = f_1 + (f_1 + f_2) \frac{q_{л2}}{q_2}. \quad (10)$$

Из (10) окончательно определим предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой в случае $f > f_1$ и $f > f_2$:

$$\alpha_n = \operatorname{arctg} \left[f_1 + (f_1 + f_2) \frac{q_{л2}}{q_2} \right]. \quad (11)$$

В случае, если $f_1 = f_2$, имеем

$$\alpha_n = \operatorname{arctg} \left[f_1 \left(1 + \frac{2q_{л2}}{q_2} \right) \right]. \quad (12)$$

Из формулы (11) следует, что при $q_{л2} = 0$ предельный угол наклона конвейера $\alpha_n = \operatorname{arctg} f_1$, т.е. равен углу трения сыпучего груза о несущую ленту конвейера.

Кроме того, из формулы (12) следует, что при увеличении погонного веса прижимной ленты $q_{л2}$ и уменьшении погонной нагрузки сыпучего груза q_2 предельный угол наклона конвейера увеличивается и стремится к 90° , что соответствует отсутствию груза на ленте конвейера.

Следовательно, предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой в случае $f > f_1$ и $f > f_2$ при изменении погонной нагрузки q_2 от 0 до ∞ изменяется в пределах от 90° до $\operatorname{arctg} f_1$, т.е.

$$\operatorname{arctg} f_1 \leq \alpha_n < 90^\circ.$$

Рассмотрим случай, когда коэффициент трения сыпучего груза f меньше коэффициента трения сыпучего груза о несущую ленту конвейера, т.е. $f < f_1$.

В этом случае сыпучий груз, лежащий на ленте конвейера с прижимной лентой, переходит из твердого состояния в твердо-пластичное состояние [7], т.е. теряет устойчивость. При этом можно показать, что скольжение частиц груза друг относительно друга начнется вблизи грузонесущей ленты конвейера [5, 6].

В этом случае условия равновесия сил, действующих на выделенный элемент сыпучего груза, в проекциях на оси ОХ и ОУ примут вид (см. рис. 1):

$$Q_1 - Q_2 - P_2 \sin \alpha + F'_{m1} + F_{m2} = 0. \quad (13)$$

$$T_1 - T_2 - P_2 \cos \alpha - N_2 + N_1 = 0, \quad (14)$$

где F'_{m1} – сила трения, действующая на выделенный элемент сыпучего груза вблизи грузонесущей ленты конвейера, Н.

Согласно закону внутреннего трения Кулона имеем:

$$F'_{m1} = fN_1; \quad (15)$$

$$F_{m2} \leq f_2 N_2. \quad (16)$$

Подставляя (5) и (6) в (15) и (16), а затем F'_{m1} и F_{m2} в (13), получим

$$-P_2 \sin \alpha + f(P_2 + P_{л2}) \cos \alpha + f_2 P_{л2} \cos \alpha \leq 0. \quad (17)$$

Из равенства (17) с учетом (9) после преобразования получим

$$\operatorname{tg} \alpha \leq f + (f + f_2) \frac{q_{л2}}{q_2}. \quad (18)$$

Из неравенства (18) следует, что предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n в случае $f < f_1$ определяется по формуле

$$\alpha_n = \operatorname{arctg} \left[f + (f + f_2) \frac{q_{л2}}{q_2} \right]. \quad (19)$$

В случае, если $f_1 = f_2$, имеем

$$\alpha_n = \operatorname{arctg} \left[f + (f + f_1) \frac{q_{л2}}{q_2} \right]. \quad (20)$$

Из формулы (20) следует, что при $q_{л2} = 0$ предельный угол наклона конвейера $\alpha_n = \operatorname{arctg} f$, т.е. равен углу внутреннего трения сыпучего груза.

Кроме того, из формулы (20) следует, что при увеличении погонного веса прижимной ленты $q_{л2}$ и уменьшении погонной нагрузки сыпучего груза q_2 предельный угол наклона конвейера увеличивается и стремится к 90° , что соответствует отсутствию груза на ленте конвейера.

Следовательно, предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой в случае $f < f_1$ при изменении погонной нагрузки q_2 от 0 до ∞ изменяется в пределах от 90° до $\operatorname{arctg} f$, т.е.

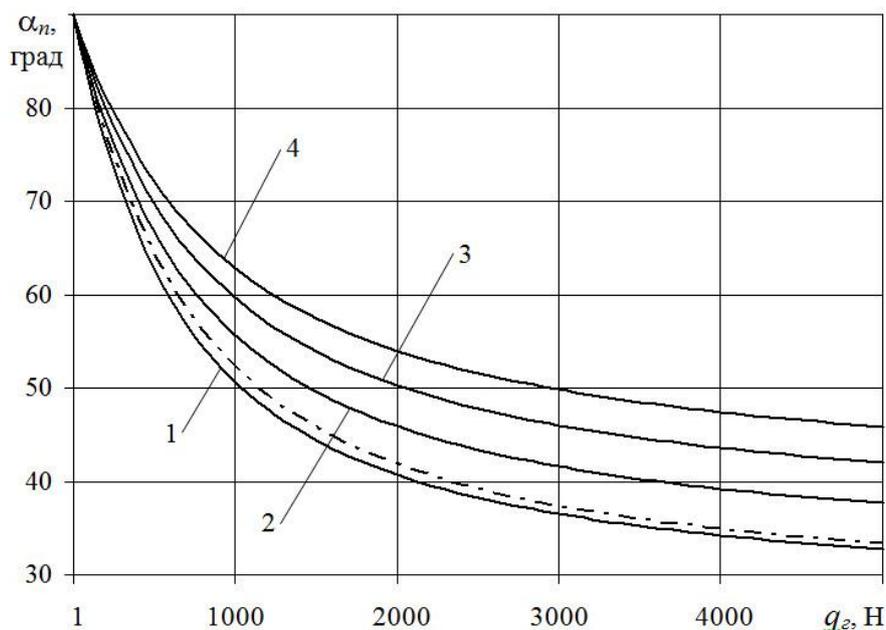
$$\operatorname{arctg} f \leq \alpha_n < 90^\circ.$$

На рис. 2 сплошными линиями показаны графики зависимости предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n от погонной нагрузки q_2 в случае $f > f_1 = f_2$, построенные согласно формуле (12), при различных значениях коэффициента $f_1 = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$.

На том же рис. 2 пунктирной линией показан график зависимости предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n от погонной нагрузки q_2 в случае $f < f_1$ при $f = 0,5$ и $f_1 = 0,6$, построенный

согласно формуле (20). При этом погонный вес прижимной ленты равнялся $q_{л2} = 720$ Н.

Из графиков (см. рис. 2) видно, что в этих двух случаях, т.е. в случае $f > f_1 = f_2$ и $f < f_1$ с увеличением погонной нагрузки q_2 предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n увеличивается и стремится к постоянному значению, а при уменьшении q_2 до 0 все графики стремятся к $\alpha_n = 90^\circ$.



1 – $f_1 = 0,5$; 2 – $f_1 = 0,6$; 3 – $f_1 = 0,7$; 4 – $f_1 = 0,8$

Рисунок 2 – График зависимости предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n от погонного q_2 при различных значениях коэффициента трения груза о ленту f_1

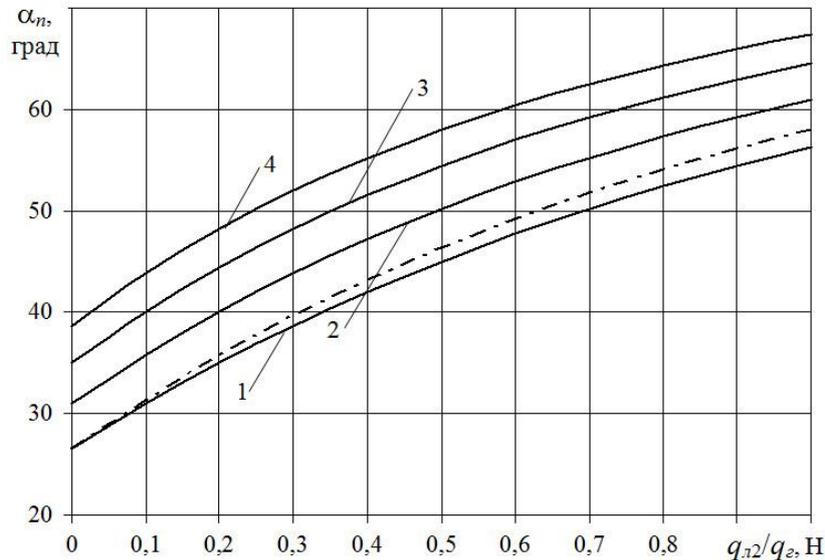
Кроме того, из графиков видно, что с увеличением коэффициентов f и f_1 угол α_n увеличивается.

На рис. 3 сплошными линиями показаны графики зависимости предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n от отношения $q_{л2}/q_2$ в случае $f > f_1 = f_2$, построенные согласно формуле (12), при различных значениях коэффициента $f_1 = 0,5; 0,6; 0,7; 0,8$.

На том же рис. 3 пунктирной линией показан график зависимости предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n от отношения $q_{л2}/q_2$ в случае $f < f_1$ при $f = 0,5$ и $f_1 = 0,6$, построенный согласно формуле (20).

Из графиков (см. рис. 3) видно, что в этих двух случаях, т.е. в случае $f > f_1 = f_2$ и $f < f_1$ с увеличением соотношения $q_{л2}/q_2$ предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n увеличивается и стремится к 90° .

Кроме того, в случае $f > f_1 = 0,6$ предельный угол наклона α_n при изменении отношения $q_{л2}/q_2$ от 0,1 до 0,2 изменяется в пределах $35,8^\circ < \alpha_n < 40^\circ$ (см. кривая 2, рис. 3). В случае $f < f_1 = 0,6$ при изменении отношения $q_{л2}/q_2$ от 0,1 до 0,2 предельный угол наклона α_n изменяется в пределах $31,4^\circ < \alpha_n < 35,8^\circ$ (см. пунктирная линия, рис. 3).



1 – $f_1 = 0,5$; 2 – $f_1 = 0,6$; 3 – $f_1 = 0,7$; 4 – $f_1 = 0,8$

Рисунок 3 – График зависимости предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой α_n от отношения погонного веса прижимной ленты $q_{л2}$ к погонному весу груза q_2 при различных значениях коэффициента трения груза о ленту f_1

Выводы

1. На основании законов механики сыпучей среды получена зависимость предельного угла наклона ленточного конвейера с прижимной лентой от погонной нагрузки сыпучего груза и погонного веса прижимной ленты конвейера, а также коэффициентов трения груза о грузонесущую и прижимную ленты конвейера и от коэффициента внутреннего трения транспортируемого сыпучего груза.

2. Предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой с увеличением погонной нагрузки транспортируемого сыпучего груза уменьшается. И в случае $f > f_1$, $f_2 > f$ при больших значениях погонной нагрузки предельный угол наклона приближается к углу трения сыпучего груза о грузонесущую ленту конвейера, а в случае $f < f_1$ приближается к углу внутреннего трения сыпучего груза.

3. С увеличением коэффициентов трения сыпучего груза о грузонесущую и прижимную ленты конвейера, а также коэффициента внутреннего трения сыпучего груза предельный угол наклона ленточного конвейера с прижимной лентой увеличивается.

4. Кроме того, с увеличением отношения погонной нагрузки прижимной ленты к погонной нагрузке сыпучего груза предельный угол наклона

ленточного конвейера с прижимной лентой увеличивается и при неограниченном увеличении этого отношения стремится к 90° . При этом предельный угол наклона при изменении этого отношения в пределах от 0,1 до 0,2 в случае $f > f_1 = f_2 = 0,6$ изменяется в пределах от $35,8^\circ$ до 40° , а в случае $f < f_1 = 0,6$ изменяется в пределах от $31,4^\circ$ до $35,8^\circ$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин В. И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П. [и др.]. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. М.: Из-во МГГУ, 2005. 543 с.
2. Дьяков В. А. , Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г. [и др.]. Ленточные конвейеры в горной промышленности / Под ред. А. О. Спиваковского. М.: Недра, 1982. 349 с.
3. Спиваковский А. О., Самойлюк Н.Д., Солод Г.И., Шахмейстер Л.Г. Подземные конвейерные установки М.: Гос. науч.-тех. изд-во лит-ры по горному делу, 1960. 479 с.
4. Шахмейстер Л. Г., Солод Г.И. Подземные конвейерные установки / Под ред. А. О. Спиваковского. М.: Недра, 1976. 432 с.
5. Пертен Ю.А. Крутонаклонные конвейеры. Л.: Машиностроение (Ленингр. отделение), 1977. 216 с.
6. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.
7. Кирия Р. В. Кинетический подход к выводу уравнений движения сыпучих сред // Вісник Дніпропетровського Державного Університету: Механіка: – Днепропетровск: ДГУ. 1999. Вып. 2. С. 143–150.

REFERENCES

1. Galkin, V.I., Dmitriev, V.G. and Dyachenko, V.P. (2005), *Sovremennaya teoriya lentochnykh konveyerov gomnykh predpriyatiy* [Modern theory of belt conveyers for mining enterprises], Iz-vo MGGU, Moscow, RU.
2. Dyakov, V.F., Shakhmeyster, L.G. and Dmitriev, V.G. (1982), *Lentochnye konveyery v gornoy promyshlennosti* [Band conveyers in mining industry], in Spivakovskiy, A.O. (ed.), Nedra, Moscow, SU.
3. Spivakovskiy, A.O., Samoylyuk, N.D., Solod, L.G. and Shakhmeyster, L.G. (1960), *Podzemnye konveyernye ustanovki* [Underground conveyor plants], Gos. nauch.-tekh. izd-vo lit-ry po gornomu delu, Moscow, SU.
4. Shakhmeyster, L.G. and Solod, G.I. (1976) *Podzemnye konveyernye ustanovki* [Underground conveyor arrangement], in Spivakovskiy, A.O. (ed.), Nedra, Moscow, SU.
5. Perten, YU. A.(1977), *Krutonaklonnye konveyery* [Steeply inclined conveyors], Mashinostroenie (Leningr. otделение), Leningrad, SU.
6. Zenkov, R.L. (1984), *Mekhanika nasypanykh gruzov* [Soil mechanics], Mashinosrtoenie, Moscow, SU.
7. Kiria, R.V. (1999), "Kinetic approach to the derivation of equations of motion of granular media", *Visnyk Dnipropetrovskogo universytetu. Mekhanika*, no.2, pp. 143–150.

Об авторах

Кирия Руслан Виссарионович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник отдела Геомеханических основ технологий 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, vfonas@gmail.com.

Смирнов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, 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, sm.contur24@gmail.com.

Мостовой Борис Иванович, магистр, ведущий инженер отдела Геомеханических основ технологии открытой разработки месторождений, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, sly3@i.ua.

About the authors

Kiriia Ruslan Visarionovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Principal Researcher in the Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, kiriya.igtm@gmail.com.

Monastyrskiy Vitalii Fedorovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Senior Researcher in the Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, vfonas@gmail.com.

Smirnov Andrii Mykolaiovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, sm.contur24@gmail.com.

Mostovyi Borys Ivanovych, Master of Science, Principal Specialist in Department of Geomechanics of Mineral Opencast Mining Technology, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, sly3@i.ua.

Анотація. В даний час за кордоном набули поширення крутопохилі стрічкові конвеєри з притискною стрічкою, що транспортують сипучі вантажі. Граничний кут нахилу цих конвеєрів згідно з літературними джерелами змінюється в межах від 35° до 90° . Однак в даний час не існує достатнього обґрунтування величини граничного кута нахилу таких конвеєрів. У представленій роботі в залежності від стану сипучого вантажу, що знаходиться на стрічці конвеєра з притискною стрічкою, визначено граничний кут нахилу конвеєра в залежності від погонного навантаження сипучого вантажу на стрічку конвеєра та його властивостей. При цьому передбачалося, що дотичні напруження в кожній точці сипучого вантажу врівноважуються проекціями сили тяжіння сипучого вантажу на напрямок руху стрічки конвеєра і не перевищують граничних дотичних напружень в сипучому середовищі. Крім того, для сил тертя сипучого вантажу о несучу та притискну стрічки конвеєра виконується закон тертя Кулона. В роботі розглядалися випадки, коли коефіцієнт внутрішнього тертя сипучого вантажу більше за коефіцієнти тертя сипучого вантажу о несучу і притискну стрічки конвеєра, і коли коефіцієнт внутрішнього тертя сипучого вантажу менше від коефіцієнта тертя сипучого вантажу о несучу стрічку конвеєра. В результаті рішення отриманих систем рівняння рівноваги для кожного вище зазначеного випадку отримано залежності граничного кута нахилу стрічкового конвеєра з притискною стрічкою від погонного навантаження сипучого вантажу і погонної ваги притискної стрічки конвеєра, а також від коефіцієнтів тертя сипучого вантажу о несучу і притискну стрічки конвеєра і від коефіцієнта внутрішнього тертя сипучого вантажу. Аналіз отриманих залежностей показав, що граничний кут нахилу стрічкового конвеєра з притискною стрічкою зі збільшенням погонного навантаження сипучого вантажу, що транспортується, зменшується. Зі збільшенням коефіцієнтів тертя сипучого вантажу о несучу і притискну стрічки конвеєра і коефіцієнта внутрішнього тертя сипучого вантажу граничний кут нахилу стрічкового конвеєра з притискною стрічкою збільшується. Крім того, зі збільшенням відношення погонного навантаження притискної стрічки до погонного навантаження сипучого вантажу граничний кут нахилу стрічкового конвеєра з притискною стрічкою збільшується і при необмеженому збільшенні цього відношення наближається до 90° .

Ключові слова. Стрічкові конвеєри, сипучий вантаж, притискна стрічка, граничний кут нахилу.

Annotation. Today, steeply inclined belt conveyors with pressure belt are widely used in the world for transporting bulks. According to the literature, critical angle of these conveyors inclination varies from 35° to 90° . However, there is no sufficiently justified value of critical conveyor inclination angle. In this work, critical inclination angle of conveyor with pressure belt was determined for different states of the bulk on the conveyor depending on linear load of the bulk on the conveyor belt and the bulk properties. It was assumed that tangential stresses at each point of the bulk were balanced by the bulk gravity force projected towards the direction of conveyor belt movement and did not exceed critical tangential stresses in the bulk medium. In addition, the Coulomb's law of friction was applied for the forces of the bulk friction against the conveyor carrying and pressure belts. In this article, the authors consider cases when coefficient of the bulk internal friction is greater than coefficients of the bulk friction against conveyor carrying and pressure belts, and when coefficient of the bulk internal friction is less than coefficient of the bulk friction against the conveyor carrying belt. As a result of solving the obtained systems of the equilibrium equations for each of the above cases, the dependences of critical inclination angle of conveyor with pressure belt on the linear load of the bulk and linear weight of the pressure belt, as well as on coefficients of the bulk friction against the carrying and pressure conveyor belts and coefficient of the bulk internal friction load were determined. Analysis of the obtained dependencies showed that critical inclination angle of conveyor with pressure belt decreases with increase of linear load of the transported bulk. With an increase of coefficients of bulk friction against the conveyor carrying and pressure belts and coefficient of the bulk internal friction, critical inclination angle of conveyor with pressure belt increases. Besides, with increase of ratio between the pressure belt linear load and the bulk linear load, critical inclination angle of conveyor with pressure belt increases and tends to 90° when increase of this ratio is unlimited.

Keywords. belt conveyors, bulk, pressure belt, critical angle of inclination.

Стаття надійшла до редакції 16.09. 2020

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук К.В. Бабій