

5. Сницер А.Р. Передача давления в угольный пласт при гидроимпульсном нагнетании жидкости в скважину / А.Р. Сницер, Л.М. Васильев, В.В. Зберовский, И.Ф. Чугунков // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.– Днепропетровск, 2012.– № 104.– С.52-61.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бондаренком В.І.
Надійшла до редакції 15.03.2015*

УДК 622.647.2

© Р.В. Кирия, Н.Г. Ларионов

ПРЕДЕЛЬНЫЙ УГОЛ НАКЛОНА КОНВЕЙЕРА С ЛЕНТОЙ ГЛУБОКОЙ ЖЕЛОБЧАТОСТИ

В статье на основании теории сыпучей среды найдена зависимость предельного угла наклона ленточного конвейера с лентой глубокой желобчатости от угла наклона боковых роликов. При этом предполагалось, что лента представляет собой короб, состоящий из бесконечно длинных упругих пластин, растянутых силами натяжения. В результате определен предельный угол наклона конвейера.

У статті на підставі теорії сипучого середовища знайдена залежність граничного кута нахилу стрічкового конвеєра зі стрічкою глибокої жолобчатості від кута нахилу бічних роликів. При цьому передбачалося, що стрічка є короб, який складається з нескінченно довгих пружних пластин, розтягнутих силами натягу. В результаті визначено граничний кут нахилу конвеєра.

The article is found on the basis of the theory of granular material dependence of the maximum angle of inclination of the conveyor belt with belt deep grooved on the angle of inclination of the side rollers. It was assumed that the tape is a box composed of infinitely long elastic plates stretched tension forces. As a result, defined limit angle of inclination of the conveyor.

Введение. Вопросами определения предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости занимались многие исследователи, такие как Е. Е. Шешко, В. М. Гущин, А. И. Барышев и др.

В работах [1, 2] получены зависимости предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости с гирляндными роlikоопорами.

При этом предполагалось, что удержание груза на ленте конвейера осуществляется за счет сил трения груза о ленту, обусловленных силами бокового распора груза, вызванными сжатием и развалом ленты при ее движении по роlikоопорам конвейера. Эти силы трения груза о ленту конвейера уравниваются горизонтальной составляющей силы тяжести груза, направленной вниз вдоль ленты конвейера.

В работе [3] определен предельный угол наклона конвейера с трехроликовой опорой и лентой глубокой желобчатости. При этом предполагалось, что лента представляет собой упругий короб с нулевой изгибной жесткостью и растянутый силой натяжения. В этом случае на груз действует сила трения со стороны ленты конвейера, обусловленная силами нормальной составляющей от

веса груза и бокового распора, связанного с прохождением ленты и груза через роlikоопору конвейера.

Однако в этой работе при определении угла наклона ленточного конвейера с лентой глубокой желобчатости кроме сил трения груза о ленту и составляющих от силы тяжести груза учитывалась сила сопротивления движению ленты по роlikоопорам от деформации груза что по нашему мнению не верно.

Цель работы. В данной статье определен предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости имеющую форму короба.

Результаты. Для определения предельного угла наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости предположим, что лента представляет собой короб, состоящий из бесконечно длинных пластин растянутых силами натяжения S_l (рис. 1).

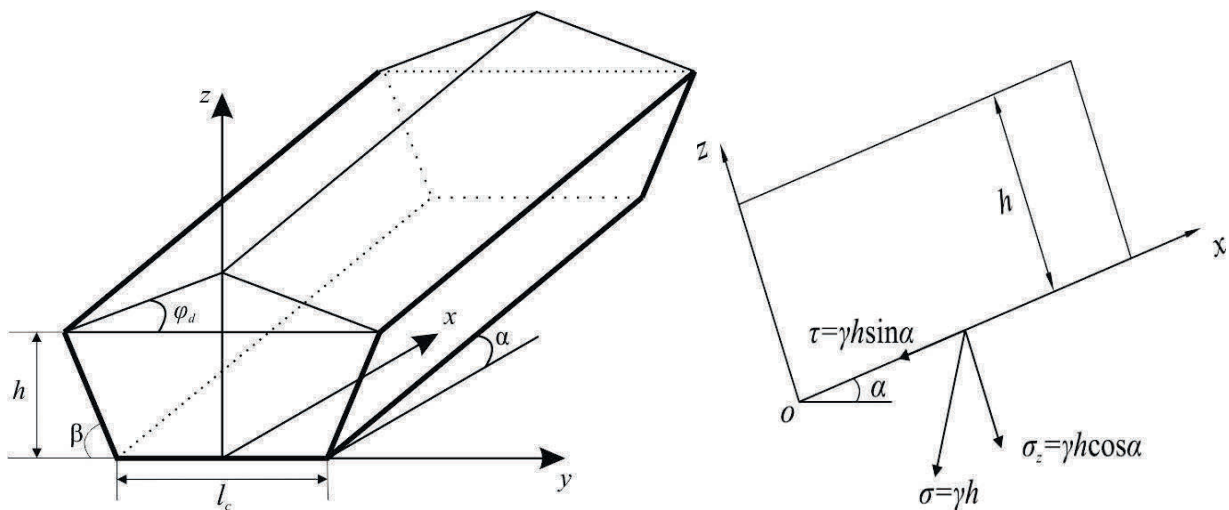


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние груза наклонного конвейера с лентой глубокой желобчатости

Составим уравнение равновесия сил, действующих на участок сыпучего груза между нормальными сечениями к оси ленты в точках нахождения роlikоопор, т.е. между роlikоопорами (см. рис. 1).

В проекции на ось конвейера уравнение равновесия примет вид:

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

где F_T – сила трения груза о ленту конвейера, действующая на выделенный участок груза, Н; F_g – касательная составляющая силы веса выделенного участка груза, направленная вниз по оси ленты конвейера, Н.

Тогда сила трения выделенного участка груза о дно и борта короба ленты равна сумме произведений средних нормальных сил, действующих на ленту конвейера, и коэффициента трения груза о ленту конвейера:

$$F_T = f_1 N_{\partial} + 2 f_1 N_{\bar{o}}, \quad (2)$$

где N_{∂} , $N_{\bar{o}}$ – средние нормальные силы, действующие на ленту конвейера со стороны выделенного участка груза на дно и борта ленты конвейера соответственно, Н; f_1 – коэффициент трения груза о ленту конвейера.

Предположим, что на дно лотка ленты со стороны груза действует постоянное давление, а на борта ленты действуют активное и пассивное боковые давления $\sigma_{\bar{b}a}$ и $\sigma_{\bar{b}n}$, которые изменяются по высоте бортов лотка ленты по линейному закону. При этом до середины пролета между роlikоопорами на борта лотка ленты действует активное боковое давление, а с середины пролета до его конца на борта ленты действует пассивное боковое давление [1].

В силу вышесказанных предположений силы N_{∂} , $N_{\bar{b}}$ определяются из выражений:

$$N_{\partial} = \sigma_1 l_c l_p; \quad (3)$$

$$N_{\bar{b}} = \frac{\sigma_{\bar{b}a} l_m l_p}{4} + \frac{\sigma_{\bar{b}n} l_m l_p}{4}, \quad (4)$$

где σ_1 – нормальное давление груза на дно ленты конвейера, Н/м²; $\sigma_{\bar{b}a}$, $\sigma_{\bar{b}n}$ – активное и пассивное боковые давления, действующие на борта лотка ленты конвейера, Н/м²; l_c – ширина дна лотка ленты, м; l_m – ширина участка борта лотка ленты, занимаемого грузом, м; l_p – расстояние между роlikоопорами, м.

Предполагая, что ширина дна лотка ленты l_c больше высоты заполнения грузом h , т.е. $l_c > h$, σ_1 можно определить по формуле

$$\sigma_1 = \gamma h' \cos \alpha, \quad (5)$$

где γ – удельный вес груза, Н/м²; α – угол наклона конвейера, град; h' – среднее значение уровня груза в лотке, м.

Величина h' , согласно рисунку 2, определяется из выражения

$$h' = h + \Delta h / 2,$$

где $\Delta h = \left(l_m \cos \beta + \frac{l_c}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi_{\partial}$; β – угол наклона боковых роlikов, град; φ_{∂} – угол естественного наклона насыпного груза при его движении по роlikоопорам конвейера, град.

Здесь h – это уровень груза на бортах лотка ленты, который определяется по формуле (см. рис. 2):

$$h = l_m \sin \beta, \quad l_m = \frac{b - l_c}{2}, \quad b = 0.9B - 0.05 \quad (6)$$

Подставляя (3) и (4) в выражение (2), после преобразования получим

$$F_T = f_1 l_p \left(\sigma_1 l_c + \frac{\sigma_{\bar{b}a} \cdot l_m}{2} + \frac{\sigma_{\bar{b}n} \cdot l_m}{2} \right). \quad (7)$$

Определим среднюю распределенную нагрузку q_c на дно лотка ленты конвейера, а также активные и пассивные распределенные нагрузки на борта ленты $q_{\bar{b}.a.}$ и $q_{\bar{b}.n.}$ соответственно по формулам:

$$q_c = \sigma_1 l_c; \quad q_{\bar{b}a} = \frac{l_m \sigma_{\bar{b}a}}{2}; \quad q_{\bar{b}.n.} = \frac{l_m \sigma_{\bar{b}n}}{2}. \quad (8)$$

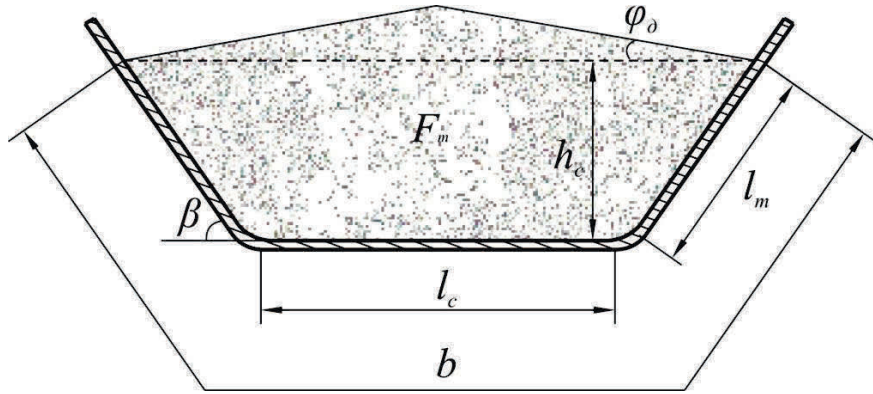


Рис. 2. Поперечное сечение лотка ленты с грузом

Подставляя (8) в (7), после преобразования получим силу тяги F_T в виде:

$$F_T = f l_p (q_c + q_{\delta a} + q_{\delta n}). \quad (9)$$

Значения активных и пассивных напряжений $\sigma_{\delta a}$, $\sigma_{\delta n}$ в нижних точках бортов лотка ленты получим из анализа напряженного состояния сыпучего груза на наклонном конвейере.

Согласно работе [4], нормальные σ_z и касательные τ_{xy} напряжения в сыпучем грузе в нижней точке бортов лотка ленты в плоскости, параллельной дну лотка, определяются по формулам (см. рис. 1):

$$\sigma_z = \gamma h' \cos \alpha; \quad \tau_{xy} = \gamma h \sin \alpha. \quad (10)$$

Из круга Мора [4] наибольшее и наименьшее нормальное напряжение в сыпучем грузе σ_x , перпендикулярное площадке, наклоненной под углом α к горизонту, определяется из выражения:

$$\sigma_x = \sigma_z (1 + 2f^2) \pm 2\sqrt{(1 + f^2)(\sigma_z^2 f^2 + \tau_{xy}^2)}. \quad (11)$$

Где f – коэффициент внутреннего трения сыпучего груза.

Подставляя (10) в (11), после преобразования получим наименьшее σ_{xa} и наибольшее σ_{xn} напряжения, нормальные к выше указанной площадке:

$$\sigma_{xa} = \gamma h' \cos \alpha \cdot (1 + 2f^2) \left[1 + 2f^2 - 2\sqrt{(1 + f^2)(f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha)} \right];$$

$$\sigma_{xn} = \gamma h' \cos \alpha \cdot (1 + 2f^2) \left[1 + 2f^2 + 2\sqrt{(1 + f^2)(f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha)} \right]. \quad (12)$$

При этом активные и пассивные боковые напряжения в точках на дне лотка ленты в сечении груза, нормальном к оси конвейера, согласно [4], определяются по формулам:

$$\sigma_{ya} = \frac{\sigma_{xa} + \sigma_z}{2} - r_1; \quad \sigma_{yn} = \frac{\sigma_{xn} + \sigma_z}{2} + r_2, \quad (13)$$

где $r_{1,2} = f \left(\sigma_z \sqrt{1 + f^2} \mp \sqrt{\sigma_z^2 f^2 - \tau_{xy}^2} \right)$.

Подставляя (12) в (13), с учетом (10), после преобразования получим:

$$\sigma_{ya} = \gamma h' \cos \alpha \cdot n_1; \quad \sigma_{yn} = \gamma h' \cos \alpha \cdot n_2. \quad (14)$$

Здесь n_1 и n_2 – активный и пассивный коэффициенты бокового распора, определяемые по формулам:

$$\begin{aligned} n_1 &= 1 + f^2 - \sqrt{(1 + f^2)(f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha)} - f(\sqrt{1 + f^2} - \sqrt{f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha}); \\ n_2 &= 1 + f^2 + \sqrt{(1 + f^2)(f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha)} + f(\sqrt{1 + f^2} + \sqrt{f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha}). \end{aligned} \quad (15)$$

Подставляя в формулах (15) $\alpha = 0$, получим

$$n_1 = 1 + 2f^2 - 2f\sqrt{1 + f^2} = m; \quad n_2 = 1 + 2f^2 + 2f\sqrt{1 + f^2} = \frac{1}{m}, \quad (16)$$

где m – коэффициент подвижности сыпучего груза.

Активные и пассивные боковые давления сыпучего груза в нижних точках бортов лотка ленты определим по формулам:

$$\sigma_{\delta a} = \sigma_z \cos^2 \beta + \sigma_{ya} \sin^2 \beta; \quad (17)$$

$$\sigma_{\delta n} = \sigma_z \cos^2 \beta + \sigma_{yn} \sin^2 \beta. \quad (18)$$

Подставляя в (17) и (18) выражения (10) и (14), после преобразования получим:

$$\sigma_{\delta a} = \gamma h' \cos \alpha (\cos^2 \beta + n_1 \sin^2 \beta); \quad (19)$$

$$\sigma_{\delta n} = \gamma h' \cos \alpha (\cos^2 \beta + n_2 \sin^2 \beta). \quad (20)$$

Средние активная и пассивная погонные нагрузки на борта лотка ленты конвейера, согласно (8) и (19), (20), определяются по формулам:

$$q_{\delta a} = \frac{l_m \sigma_{\delta a}}{2} = \frac{\gamma h' l_m}{2} \cos \alpha (\cos^2 \beta + n_1 \sin^2 \beta); \quad (21)$$

$$q_{\delta n} = \frac{l_m \sigma_{\delta n}}{2} = \frac{\gamma h' l_m}{2} \cos \alpha (\cos^2 \beta + n_2 \sin^2 \beta). \quad (22)$$

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

$$F_g = G \sin \alpha = \gamma F_m l_p \sin \beta, \quad (23)$$

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

Подставляя (9) и (23) в (1) с учетом (8), (5), (21) и (22), после преобразования получим уравнение относительного предельного угла наклона конвейера α_n :

$$a + b(1 + f^2 + f\sqrt{f^2 - \operatorname{tg}^2 \alpha_n}) = d \cdot \operatorname{tg} \alpha_n, \quad (24)$$

где
$$a = f_1 \left[l_c \sin \beta + \frac{1}{l_m} \left(\frac{l_c + 2l_m \cos \beta}{2} \right)^2 \operatorname{tg} \varphi_\delta + l_m \cos^2 \beta \sin \beta \right]; \quad b = f_1 l_m \sin^3 \beta;$$

$$d = \frac{F_m}{l_m}.$$

Подставляя в уравнение (24) $z = \operatorname{tg}\alpha_n$, получим трансцендентное уравнение относительно z :

$$z = \frac{a + b(1 + f^2 + f\sqrt{f^2 - z^2})}{d}. \quad (25)$$

Уравнение (25) решалось методом последовательных приближений. При этом за первое приближение принимаем значение $z = 0$ ($\alpha_n = 0$).

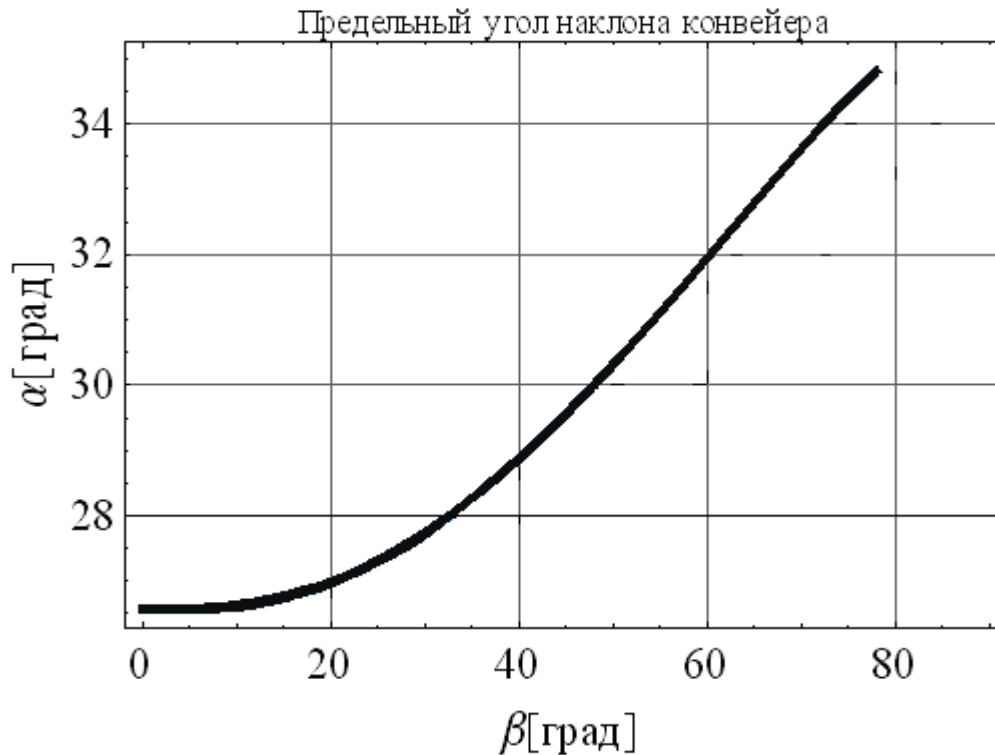


Рис. 3. График зависимости предельного угла наклона конвейера с трехроликовыми опорами в зависимости от угла наклона боковых роликов

Предельный угол наклона конвейера α_n с лентой глубокой желобчатости в нашем случае определим из следующего выражения:

$$\alpha_n = \operatorname{arctg} z^*, \quad (26)$$

где z^* – решение уравнения (25).

На рисунке 3 показаны графики зависимости предельного угла наклона конвейера с трехроликовой опорой в зависимости от угла наклона боковых роликов. При этом параметры конвейера, роликоопор, ленты и груза принимали следующие значения: $q = 1100$ Н; $B = 1$ м; $l_c = 0,456$ м; $r = 0,06$ м; $f = 0,7$; $\varphi_0 = 20^\circ$.

Из графиков видно, что с увеличением угла наклона боковых роликов предельный угол наклона конвейера увеличивается.

Кроме того, из графиков следует, что при углах наклона боковых роликов $\beta = 35\text{--}40^\circ$ предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости для угла находится в пределах $28\text{--}30^\circ$.

Выводы.

Следовательно, получена аналитическая зависимость предельного угла наклона конвейера с трехроликовыми опорами и лентой глубокой желобчатости от параметров конвейера, параметров желоба ленты и свойств транспортируемого насыпного груза.

При этом установлено, что с увеличением угла наклона боковых роликов предельный угол наклона конвейера увеличивается, и при углах наклона боковых роликов, равных 35–40° предельный угол наклона конвейера с лентой глубокой желобчатости для угля находится в пределах 28–30°.

Кроме того, предельный угол наклона конвейера зависит от угла наклона боковых роликов, ширины ленты, длины роликов и коэффициента внутреннего трения груза и не зависит от натяжения, скорости ленты, изгибной жесткости, а так же удельного веса груза.

Список литературы

1. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В. И. Галкин, В. Г. Дмитриев, В. П. Дьяченко [и др.]. – М.: Из-во МГГУ, 2005. – 543 с.
2. Кирия Р. В. Определение сил сопротивления движению ленты по роликоопорам ленточного конвейера, обусловленных деформацией груза / Р. В. Кирия, Н. Г. Ларионов // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2014. – №42. – С. 89–97.
3. 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.
4. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1964. – 251 с.
5. Кирия Р. В. Определение оптимальных параметров лотка конвейера с лентой глубокой желобчатости / Р. В. Кирия, Н. Г. Ларионов // Геотехническая механика: Межвед. сб. на учн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2014. – Вып. 114. – С. 27–36.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширінім Л.Н.
Надійшла до редакції 16.04.2015*