

УДК 621.807.212.7

Гаврюков А. В., Гололобов Б. Д., Иванов Н. Н.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПИТАТЕЛЯ ТРУБЧАТОГО КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА

В настоящее время во всем мире эксплуатируются более 1 000 трубчатых конвейеров, которые имеют общую протяженность более 300 км.

Так, например, в работе [1] указывается, что трубчатый ленточный конвейер германской фирмы «Koch» установлен в швейцарских Альпах для транспортирования от карьера «Famsa» вниз под углом 29° гравия, песка и щебня, необходимого для строительства железнодорожного полотна в долине. Производительность конвейера приблизительно 500 т/ч, длина 208 м.

Индийская фирма «India's Jindal Steel and Power Ltd» добывает железную руду в г. Барбиле, штат Джаркханд (Индия) в руднике, расположенном на высоте 700 м над уровнем моря. Этой фирмой был заключен контракт с германской фирмой «Koch» на изготовление двух трубчатых конвейеров длиной 1 500 м каждый, предназначенных для транспортирования дробленой руды вниз (перепад высот 180 м), к пункту перегрузки на железнодорожный транспорт. Трубчатые конвейеры смонтированы в галерее и предназначены для транспортирования руды различных фракций. Один конвейер транспортирует более крупные куски, второй – куски мелкой и средней фракций. Конвейерная система спроектирована для работы производительностью 3 000 т/ч [1].

Германская фирма «Koch» смонтировала на цементном заводе в Австрии трубчатый конвейер длиной 336 м, производительностью 20,0 т/ч при диаметре трубчатой ленты 200 мм, а один из наиболее мощных трубчатых конвейеров в мире разработала фирма «СКИТ» из ЮАР для индийского горного предприятия Birla Copper. Конвейер имеет длину 3,2 км и производительность 1 800 т/ч [2].

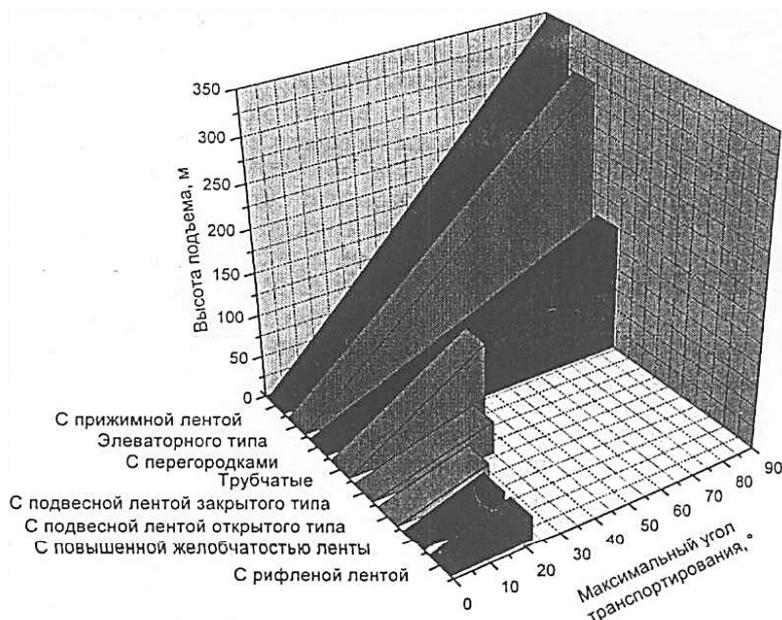


Рис. 1. Сравнительные диаграммы различных типов крутонаклонных ленточных конвейеров

Известно, что трубчатые конвейеры, использующие стандартные гладкие ленты, с неполным заполнением сечения трубы, транспортируют груз при больших, чем желобчатый углах установки конвейера $30-40^\circ$ (рис. 2) [1–3].

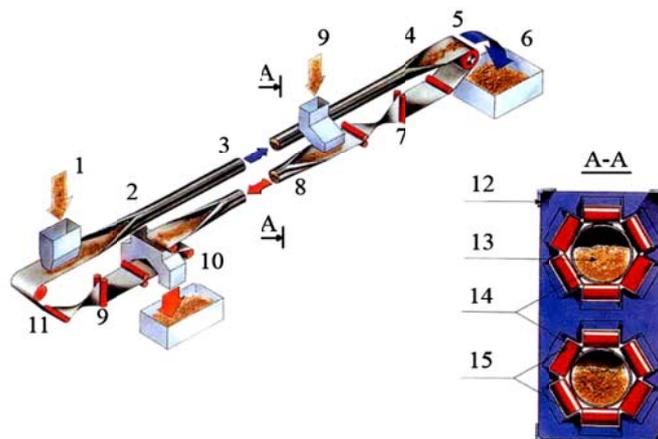


Рис. 2. Принципиальна схема ленточного трубчатого конвейера:

1 – загрузка; 2, 4 – переходные участки; 3 – верхняя ветвь, 5 – приводной барабан; 6 – загрузка верхней ветви; 7, 9 – участки переворота ленты; 8 – нижняя ветвь; 10 – загрузка нижней ветви; 11 – концевой барабан; 12 – рама линейной секции; 13 – груз; 14 – лента; 15 – поддерживающие ролики

В работах [1, 4] приведены данные рекомендуемой производительности, ширины и скорости движения ленты трубчатого конвейера в зависимости от диаметра трубы. Вместе с тем авторы не встречали работ, в которых рассматривалась возможность задавать производительность питателя применительно к параметрам трубчатого конвейера работающего с максимальной производительностью.

Цель работы – выявить зависимость позволяющую с учетом параметров трубчатого конвейера и транспортируемого груза определить оптимальную производительность питателя.

Определим угол, характеризующий степень заполнения поперечного сечения ленты при котором ширина грузонесущего полотна используется максимально.

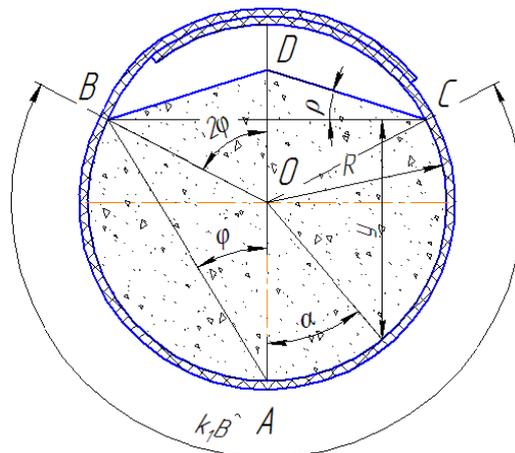


Рис. 3. Геометрическая схема поперечного сечения ленты:

k_1B – ширина ленты, соприкасающейся с грузом; φ – угол, характеризующий степень заполнения поперечного сечения; ρ – угол естественного откоса материала в движении

Площадь поперечного сечения груза на ленте (рис. 3):

$$F_{rp} = S_{окк.} - S_{сегм. BC} + S_{\Delta BCD}; \quad (1)$$

$$F_{rp} = \pi R^2 - 0,5R^2[4\varphi - \sin 4\varphi] + \sin^2 2\varphi \cdot tg\rho. \quad (2)$$

Здесь в выражении $0,5R^2[4\varphi - \sin 4\varphi]$ φ в радианах. После преобразований радиан в градусы выражение будет выглядеть следующим образом $0,5R^2\left[\frac{\pi\varphi}{45^0} - \sin 4\varphi\right]$

Из уравнения (2):

$$R = \sqrt{\frac{F_{rp}}{\pi - 0,5\left[\frac{\pi\varphi}{45^0} - \sin 4\varphi\right] + \sin^2 2\varphi \operatorname{tg} \rho}}. \quad (3)$$

Ширина ленты соприкасающейся с грузом:

$$k_1 B = \frac{2\pi R(360^\circ - 4\varphi)}{360^\circ}; \quad (4)$$

$$k_1 B = \pi R \left(2 - \frac{\varphi}{45^\circ}\right). \quad (5)$$

Подставив уравнение (3) в уравнение (5) имеем:

$$k_1 B = 2\pi \sqrt{\frac{F_{rp}}{\pi - 0,5\left[\frac{\pi\varphi}{45^0} - \sin 4\varphi\right] + \sin^2 2\varphi \cdot \operatorname{tg} \rho}} \left(1 - \frac{\varphi}{90^\circ}\right). \quad (6)$$

Площадь поперечного сечения транспортируемого груза при известной производительности определяется из выражения:

$$F_{rp} = \sqrt{\frac{Q}{3600v\gamma}}. \quad (7)$$

Подставим уравнение (7) в уравнение (6) имеем

$$k_1 B = 2\pi \sqrt{\frac{Q}{3600v\gamma \left(\pi - 0,5\left[\frac{\pi\varphi}{45^0} - \sin 4\varphi\right] + \sin^2 2\varphi \cdot \operatorname{tg} \rho\right)}} \left(1 - \frac{\varphi}{90^\circ}\right). \quad (8)$$

Обозначим значение k_n коэффициентом производительности получим:

$$k_n = \frac{\pi - 0,5\left(\frac{\pi\varphi}{45^0} - \sin 4\varphi\right) + \sin^2 2\varphi \cdot \operatorname{tg} \rho}{\left(1 - \frac{\varphi}{90^\circ}\right)^2}. \quad (9)$$

Подставив уравнение (9) в (8) получим ширину ленты соприкасающейся с грузом выраженную через производительность и коэффициент производительности k_n :

$$k_1 B = 2\pi \sqrt{\frac{Q}{3600v\gamma k_n}}. \quad (10)$$

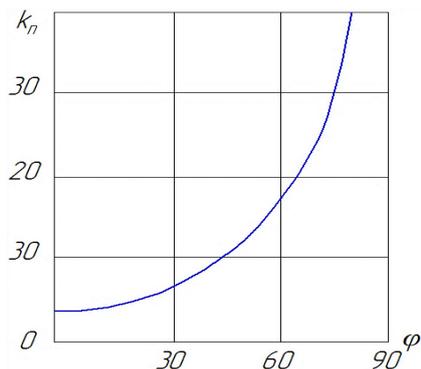


Рис. 4. Изменение коэффициента производительности k_n в зависимости от угла заполнения поперечного сечения ленты

Построим график изменения ширины ленты соприкасающейся с грузом k_1B от угла заполнения поперечного сечения ленты φ , $k_1B = f(\varphi)$ при постоянной производительности $Q = const$ и $F_{rp} = const$ (для выполнения анализа примем объемную производительность $V = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, скорость движения ленты $v = 2 \text{ м/с}$), и график изменения площади поперечного сечения транспортируемого груза F_{rp} от угла заполнения поперечного сечения ленты φ , $F_{rp} = f(\varphi)$ при постоянной ширине ленты соприкасающейся с грузом $k_1B = 1000 \text{ мм} = const$

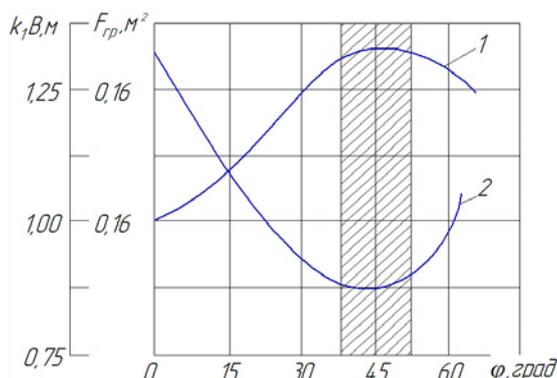


Рис. 5. Графики изменения:

1 – площади поперечного сечения груза в зависимости от угла, характеризующего заполнение поперечного сечения ленты $F_{rp} = f(\varphi)$; 2 – ширины ленты соприкасающейся с грузом от угла, характеризующего заполнение поперечного сечения ленты $k_1B = f(\varphi)$

Для угла заполнения $\varphi = 45^\circ$ ширина ленты, соприкасающейся с грузом, минимальна при максимальной площади поперечного сечения транспортируемого материала. Рациональная область изменения рабочей ширины ленты и площади поперечного сечения материала на грузонесущем полотне находится в пределах $\varphi = 32 \div 43^\circ$. На рис. 5 эта область заштрихована (среднее значение угла $\varphi = 37,5^\circ$). Данные графики свидетельствуют, что оптимальным углом заполнения поперечного сечения трубчатой ленты можно считать угол $\varphi_{opt} = 37,5^\circ$. При $\varphi_{opt} = 37,5^\circ$ производительность конвейерной установки максимальна, а ширина грузонесущего полотна используется максимально.

В работах [1, 5] указывается, что величина зоны перекрытия слоев ленты при ее сворачивании в трубу должна быть $\delta_{\min \text{ пер.}} = R$ – отсюда необходимая ширина ленты должна быть $B = 2\pi R + 2\delta_{\text{пер.}}$

Или

$$B = 2R(\pi + 1). \quad (11)$$

Отсюда

$$R = \frac{B}{2(\pi + 1)}. \quad (12)$$

Подставим уравнение (12) в уравнение (5) определим коэффициент k_1 :

$$k_1 = \frac{\pi(2 - \varphi / 45^\circ)}{2(\pi + 1)}. \quad (13)$$

Подставим значение $\varphi_{opt} = 37,5^\circ$ в уравнение (12) и уравнение (9) определим $k_{n, opt}$ и $k_{1, opt}$:

$$k_{1, opt} = \frac{3,14(2 - 37,5^\circ / 45^\circ)}{2(3,14 + 1)} = 0,442; \quad (14)$$

$$k_{n, opt} = \frac{\pi - 0,5 \left(\frac{\pi \cdot 37,5^\circ}{45^\circ} - \sin(4 \cdot 37,5^\circ) \right) + \sin^2(2 \cdot 37,5^\circ) \cdot \operatorname{tg} \rho}{\left(1 - \frac{37,5^\circ}{90^\circ} \right)^2} = 2,744(2,231 + \operatorname{tg} \rho). \quad (15)$$

Оптимальную производительность питателя трубчатого конвейера при заданных параметрах трубчатого конвейера и транспортируемого груза определим подставив уравнение (15) и уравнение (14) в уравнение (10):

$$Q_{пит.тр.кон.} = 48,946v\gamma B^2(2,231 + \operatorname{tg} \rho), \quad (m^3/ч) \quad (16)$$

или

$$Q_{пит.тр.кон.} = 48,946vB^2(2,231 + \operatorname{tg} \rho), \quad (m^3/ч) \quad (17)$$

ВЫВОДЫ

1. Высокопроизводительная работа крутонаклонного трубчатого конвейера зависит от устойчивой работы питателя с заданной производительностью.
2. Максимально-оптимальная производительность питателя определяется по зависимости (17) и зависит от скорости движения и ширины ленты, угла естественного откоса транспортируемого материала в движении.
3. Производительность трубчатого конвейера будет максимальна при максимальным использовании ширины грузонесущего полотна.
4. Максимальное использование ширины грузонесущего полотна возможно при угле заполнения поперечного сечения трубчатой ленты $\varphi = 37,5^\circ$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галкин В. И. Особенности эксплуатации трубчатых ленточных конвейеров / В. И. Галкин // Горное оборудование и электромеханика. – 2008. – № 1. – С. 7–12.
2. Hinterholzer S. Again published in Bulk Solids Handling / S. Hinterholzer, F. Kessler, K. Grabner – November, 2001. – P. 43–46.
3. Картавий А. Н. Крутонаклонные ленточные конвейеры для горной промышленности / А. Н. Картавий // Горное оборудование и электромеханика, 2006. – № 10. – С. 22–26.
4. Васильев К. А. Трубчатые ленточные конвейеры и перспективы их использования в горной промышленности / К. А. Васильев // Горное оборудование и электромеханика, 2006. – № 3. – С. 33–36.
5. Antoniak Jerzy. Przenośniki taśmowe w górnictwie podziemnym i odkrywkowym / Jerzy Antoniak. – wydanie 2, Gliwice, 2006. – P. 174–175.

Статья поступила в редакцию 15.05.2015 г.