УДК 621.867.212.7

© С. В. Репин, д-р техн. наук, профессор
© А. А. Баженов, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)
E-mail: repinserge@mail.ru, z4m62@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-1-141-145

© S. V. Repin, Dr. Sci. Tech., Professor
© A. A. Bazhenov, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)
E-mail: repinserge@mail.ru, z4m62@yandex.ru

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРУТОНАКЛОННЫХ КОНВЕЙЕРОВ С ПЕРЕГОРОДКАМИ

OPTIMIZATION METHOD OF CALCULATING THE GEOMETRICAL PARAMETERS OF STEEPLY INCLINED CONVEYORS WITH PARTITIONS

Предложена методика определения оптимального угла наклона перегородок к ленте крутонаклонного конвейера в зависимости от угла наклона ленты к горизонтали, выведена зависимость объема материала на ленте от угла естественного транспортируемого сыпучего груза. Методика реализована в компьютерной программе, приведены результаты компьютерного эксперимента.

Ключевые слова: груз, конвейер, производительность, транспортировка.

The article presents a technique of calculating the optimum tilt angle of the conveyor partitions in regard to the belt of the steeply inclined conveyor, depending on the tilt angle of the belt to the horizon line. The dependence of the material volume on the belt on the angle of the natural transported loose load is deducted. The technique is realized in the computer program, results of the numeral experiment are given.

Keywords: load, conveyor, productivity, transportation.

В настоящее время во многих отраслях промышленности применяются крутонаклонные конвейеры (КНК), которые обладают рядом преимуществ перед ленточными конвейерами традиционной конструкции и широко используются, в частности, в строительном производстве и производстве строительных материалов. Они находят применение там, где возникает необходимость транспортировки больших потоков грузов на относительно небольшие расстояния [1, 2]. При необходимости транспортирования грузов под значительными углами (превышающими угол естественного откоса) применяются крутонаклонные конвейеры, имеющие устройства для удержания груза (например, перегородки или дополнительные прижимные ленты). Развитие конвейеров этого типа в значительной степени тормозится отсутствием точных математических методов их расчетов [4]. В частности, отсутствуют методы расчета оптимальных геометрических параметров конвейера, например оптимального угла установки перегородок относительно ленты в зависимости от угла на-

клона ленты [5]. Это вызвано тем, что конвейерная лента, как правило, вибрирует при работе и угол естественного откоса груза несколько изменяется. Не имея возможности рассчитать объем груза на полотне конвейера, нельзя рассчитать и другие его параметры — производительность, тяговое усилие, мощность привода [6–9].

Рассмотрим участок конвейера U-образного сечения ленты, разделенной перегородками высотой H (рис. 1). Введем необходимые дополнительные построения.

Поверхность материала между перегородками ($FPOK$) расположена под углом φ естественного откоса к горизонтали. Объем материала между перегородками будем рассматривать как сумму объемов центральной части $AMQB-EZUK$ и двух боковых — $AFB-EDK$ и $MPQ-ZOU$ [10, 11].

Определим объем центральной призмы $AMQB-EZUK$.

Площадь трапеции $ABDE$ равна разности площадей треугольников: большого ABC и малого EDC (рис. 2).

Рис. 1. Схема, поясняющая расчет объема груза между перегородками: 1 — полотно (лента) конвейера; 2 — поперечные перегородки; β — угол наклона конвейера; ω — продольный угол наклона перегородки; ϕ — угол естественного откоса сыпучего груза; δ — боковой (поперечный) угол наклона перегородок; H — высота перегородок; B_n, B_n — ширина верхней и нижней частей перегородок соответственно; T — шаг перегородок

По теореме синусов

$$L = \sin(180 - \omega - (\beta - \omega)) \frac{H}{\sin(\beta - \omega)}. \quad (1)$$

Площадь большого треугольника

$$S_{ABC} = \frac{H \cdot L \cdot \sin \omega}{2}. \quad (2)$$

Высота груза по верхней перегородке

$$ED = H \frac{L - T}{L}. \quad (3)$$

Рис. 2. Продольный разрез участка конвейера с сыпучим грузом между перегородками

Площадь малого треугольника

$$S_{EDC} = \frac{E \cdot D(L - T) \sin \omega}{2}. \quad (4)$$

В случае $L < T$ площадь продольного сечения груза равна площади большого треугольника, при $L > T$ она равна разнице площадей большого и малого треугольников.

$$S_{ABDE} = S_{ABC} - S_{EDC}. \quad (5)$$

Расчет объема материала между перегородками.

Ширина B_n нижней части ленты задана конструктивно, ширина верхней части равна

$$B_n = B_n + 2 \cdot H \cdot \tan \delta. \quad (6)$$

Объем груза в центральной части равен произведению ширины центральной части и площади трапеции продольного сечения

$$V_{ц} = S_{ABDE} \cdot B_n. \quad (7)$$

Расчет объема боковой призмы ABFEDK (рис. 3).

По теории синусов

$$CG1 = \sin \omega \frac{L}{\sin 90}; \quad CG2 = \sin \omega \frac{L - T}{\sin 90};$$

$$BF = H \cdot \tan \delta.$$

Площадь боковой части перегородки равна

$$S_{бок} = \frac{H \cdot BF \cdot \sin 90}{2}. \quad (8)$$

Объем большой пирамиды (с воображаемой частью выше верхней перегородки) равен

$$V_{ABCF} = \frac{S_{бок} \cdot CG1}{3}. \quad (9)$$

Объем малой пирамиды (только воображаемая часть груза выше верхней перегородки) равен

$$V_{CDEK} = \frac{S_{CDE} \cdot CG2}{3}, \quad (10)$$

где $S_{CDE} = \frac{S_{ABC}(L - T)^2}{L^2}$ — площадь боковой части верхней перегородки.

Объем боковой части груза между перегородками, представляющей усеченную пирамиду, равен

$$V_{бок} = V_{бол} - V_{мал}. \quad (11)$$

Итоговый объем груза между перегородками равен

$$V = V_{центр} + 2V_{бок}. \quad (12)$$

Результаты расчета оптимального угла наклона перегородок ω в функции угла наклона конвейера β по критерию максимума объема материала между перегородками выполнены в

Рис. 3. Схема, поясняющая расчет объема боковой части груза

среде MathCAD, представлены на рис. 4 при следующих параметрах конвейера:

- высота перегородок $H = 0,5$ м;
- шаг перегородок $T = 0,8$ м;
- ширина нижней части ленты $B_n = 0,7$ м;
- угол наклона конвейера $\beta = 40-60^\circ$;
- угол наклона перегородок конвейера $\omega = 30, 40-120^\circ$.

На основании результатов расчета зависимости объема груза на полотне от угла β при различных значениях угла ω (см. рис. 4) выведена зависимость для расчета оптимального угла наклона перегородок в функции β , графически представленная на рис. 5. Выбор оптимальных углов наклона перегородок позволит увеличить объем транспортируемого материала до 6 %.

Установлено, что в зависимости от угла естественного откоса ϕ материала величина максимального объема материала между перегородками может возрастать до 180 % по сравнению с $\phi = 20^\circ$ (рис. 6). Важность данного результата объясняется тем, что в существующих конструкциях КНК вследствие влияния вибрации угол естественного откоса на движущемся конвейере снижается по сравнению с углом естественного откоса материала в спокойном состоянии. Например, для песка значение этих углов составит 20° и 35° соответственно.

Выводы

1. Расчет с использованием данной методики позволит с большей точностью проектировать

Рис. 4. Зависимость объема груза на полотне от ω при различных значениях

Рис. 5. Графики оптимального ω перегородок к полотну в зависимости от β (1) и отношения максимального объема материала между перегородками при оптимальном ω по сравнению с установкой перегородок под прямым углом к ленте (2)

конвейеры, более точно подбирать их элементы (конструкцию, привод), получать определенный экономический эффект.

2. Установлена зависимость оптимальных продольных углов наклона перегородок от угла

Рис. 6. Величина максимального объема материала между перегородками в процентах с увеличением угла естественного откоса φ по сравнению с $\varphi = 20^\circ$, при котором объем материала принят за 100 %, для различных значений β

наклона конвейера. Выбор оптимальных углов наклона перегородок позволит увеличить объем транспортируемого материала до 6 %.

3. Установлено влияние угла естественного откоса движущегося на ленте материала на величину максимального объема транспортируемого материала. Величина данного влияния между перегородками может возрасти до 180 % по сравнению с $\varphi = 20^\circ$.

Библиографический список

1. Баженов А. А. Разработка методики расчета крутонаклонных конвейеров с перегородками: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2012. 102 с.
2. Repin S., Evtjukov S. Theoretical Study on the Stressed State of the Disc-Shaped Cohesive Bulk Material // *World Applied Sciences Journal*. 2013. 23 (Problems of Architecture and Construction). Pp. 153–159. URL: <http://idosi.org/wasj/wasj23%28pac%2913/31.pdf>
3. Спиваковский А. О., Дьячков В. К. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1987. 503 с.
4. Черненко В. Д. Расчет средств непрерывного транспорта. СПб.: Политехника, 2008. 386 с.
5. Черненко В. Д., Баженов А. А. Расчет по нелинейной теории конвейерных лент с поперечными перегородками // *Современные проблемы техносферы и подготовки научных кадров: сб. тр. III Междунар. семинара в г. Табарка (Тунис). Донецк: ДонНТУ, 2011. С. 242–246.*
6. Баженов А. А. Определение поля напряжений в сыпучем грузе на рабочем полотне ленточно-

цепных конвейеров // *Проблемы машиноведения и машиностроения: межвуз. сб. СЗТУ. 2008. Вып. 40. С. 186–189.*

7. Баженов А. А. Исследование распределения напряжений в сыпучем грузе на рабочем участке скребковых конвейеров // *Проблемы машиноведения и машиностроения: межвуз. сб. СЗТУ. 2008. Вып. 40. С. 190–192.*

8. Баженов А. А. Расчет оптимальных геометрических параметров плоской ленты с перегородками // *Проблемы машиноведения и машиностроения: межвуз. сб. СЗТУ. 2008. Вып. 40. С. 193–195.*

9. Баженов А. А. Определение давления от сыпучего груза на перегородку и ленту крутонаклонного конвейера с перегородками // *Проблемы машиноведения и машиностроения: межвуз. сб. СЗТУ. 2008. Вып. 40. С. 196–198.*

10. Виноградова В. В. Расчет устойчивости сыпучего груза на полотне движущейся ленты // *Проблемы машиноведения и машиностроения: межвуз. сб. СЗТУ. 2008. Вып. 39. С. 23–25.*

11. Виноградова В. В. Расчет оптимального расстояния между роlikоопорами конвейеров с прижимной лентой // *Проблемы машиноведения и машиностроения: межвуз. сб. СЗТУ. 2008. Вып. 39. С. 26–27.*

References

1. Bazhenov A. A. *Razrabotka metodiki rascheta krutonaklonnykh konveyerov s peregorodkami*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of the calculation technique for steeply inclined conveyors with partitions. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2012, 102 p.
2. Repin S., Evtjukov S. Theoretical Study on the Stressed State of the Disc-Shaped Cohesive Bulk Material. *World Applied Sciences Journal*, 2013, no. 23 (Problems of Architecture and Construction), pp. 153–159. Available at: <http://idosi.org/wasj/wasj23%28pac%2913/31.pdf>
3. Spivakovskiy A. O., D'yachkov V. K. *Transportiruyushchie mashiny* [Transporting machines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 503 p.
4. Chernenko V. D. *Raschet sredstv nepreryvnogo transporta* [Calculation of continuous transport means]. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 2008, 386 p.
5. Chernenko V. D., Bazhenov A. A. *Raschet po nelineynoy teorii konveyernykh lent s poperechnymi peregorodkami* [Calculation for the nonlinear theory of conveyor belts with transverse partitions]. *Trudy III Mezhdunar. seminara v g. Tabarka (Tunis) «Sovremennye problemy tekhnosfery i podgotovki nauchnykh kadrov»* [Proc. of the III Int. workshop in Tabarka (Tunis) "Modern problems of the technosphere and preparation of scientific staff"]. Donetsk, DonNTU Publ., 2011, pp. 242–246.

6. Bazhenov A. A. *Opreделение polya napryazheniy v sypuchem gruze na rabochem polotne lentочно-tseпnykh konveyerov* [Determination of the stress field in loose load on the working cloth of the belt chain conveyor]. *Problemy mashinovedeniya i mashinostroeniya* [Problems of engineering science and mechanical engineering]. Interuniversity collection. SZTU Publ., 2008, iss. 40, pp. 186–189.

7. Bazhenov A. A. *Issledovanie raspredeleniya napryazheniy v sypuchem gruze na rabochem uchastke skrebkovykh konveyerov* [Research of tension distribution of loose load on the working plane of drag-type conveyors]. *Problemy mashinovedeniya i mashinostroeniya* [Problems of engineering science and mechanical engineering]. Interuniversity collection. SZTU Publ., 2008, iss. 40, pp. 190–192.

8. Bazhenov A. A. *Raschet optimal'nykh geometricheskikh parametrov ploskoy lentы s peregorodkami* [Calculation of optimum geometrical parameters of the flat conveyor belt with partitions]. *Problemy mashinovedeniya i mashinostroeniya* [Problems of engineering science and mechanical engineering]. Interuniversity collection. SZTU Publ., 2008, iss. 40, pp. 193–195.

9. Bazhenov A. A. *Opreделение davleniya ot sypuchego gruzа na peregorodku i lentu krutonaklonnogo konveyera s peregorodkami* [Determination of pressure from loose load upon the partition and the belt of the steeply inclined conveyor with partitions]. *Problemy mashinovedeniya i mashinostroeniya* [Problems of engineering science and mechanical engineering]. Interuniversity collection. SZTU Publ., 2008, iss. 40, pp. 196–198.

10. Vinogradova V. V. *Raschet ustoychivosti sypuchego gruzа na polotne dvizhushcheysya lentы* [Calculation of stability of loose load on the cloth of the moving belt]. *Problemy mashinovedeniya i mashinostroeniya* [Problems of engineering science and mechanical engineering]. Interuniversity collection. SZTU Publ., 2008, iss. 39, pp. 23–25.

11. Vinogradova V. V. *Raschet optimal'nogo rasstoyaniya mezhdu rolikooporamі konveyerov s prіzhimnoy lentoy* [Calculation of optimum distance between roller bearing of conveyor with a pressure belt]. *Problemy mashinovedeniya i mashinostroeniya* [Problem of engineering science and mechanical engineering]. Interuniversity collection. SZTU Publ., 2008, iss. 39, pp. 26–27.