УДК 621.604

В.Н. Макаров, В.Я. Потапов, Н.В. Макаров, А.В. Угольников

ГЕНЕЗИС ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУТОНАКЛОННОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА

Предложен крутонаклонный ленточный конвейер с веерными поперечными перегородками, который позволяет значительно увеличить не только угол его наклона, но и массу транспортируемых грузов за счет более эффективного заполнения рабочего пространства ленты и противодействия силам тяжести. Предложенная конструкция конвейера существенно повысить эффективность пылеподавления в процессе транспортирования сыпучих материалов. Уточнена методика расчета крутонаклонного ленточного конвейера в части определения действующих на прижимной рычаг усилий и напряжений. Предложена графическая и математическая модель схемы силового взаимодействия элементов конструкции и транспортируемого материала. Получено уравнение максимального изгибающего момента, обусловленного конструктивными особенностями конвейера, что позволяет производить расчет геометрических параметров прижимного рычага, а также необходимого усилия поджатия пружины. Установлена существенная нелинейность зависимости массы крутонаклонного ленточного конвейера от угла его наклона при заданной производительности конвейера и высоте подъема транспортируемого груза. Показано, что с учетом ограничения угла наклона ленточного конвейера, обусловленного снижением положительного трения сил трения с его ростом, при определенном значении угла наклона, масса конвейера увеличивается пропорционально росту высоты подъема транспортируемого материала при сохранении производительности.

Ключевые слова: крутонаклонный ленточный конвейер, поперечные перегородки, угол наклона, насыпной материал, прижимной рычаг, эпюра давления, изгибающий момент.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-165-170

Применяемые в настоящее время типы конвейеров имеют ряд технических ограничений, главными из которых являются функционирование при углах наклона не более 15—30°, а также невозможность полной локализации пылеобразования [1, 2]. Изучение конструкции и принципа действия, известных крутонаклонных конвейеров показало, что в большинстве случае задача по транспортированию грузов под значительным углом наклона решается за счет обжатия перемещаемого груза, т.е. увеличения силы трения, препятствующей смещению груза под действием силы тяжести [3—7].

С целью увеличения угла наклона и массы транспортируемых грузов ленточного конвейера за счет более эффективного заполнения предложен модернизированный ленточный конвейер [8—11]. Предлагаемый крутонаклонный ленточный конвейер содержит огибающую приводной и натяжной концевые барабаны *1* и *2* транспортерную ленту *3* с грузовой и порожней ветвями *4* и *5*.

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 5. С. 165–170.
© В.Н. Макаров, В.Я. Потапов, Н.В. Макаров, А.В. Угольников. 2018.

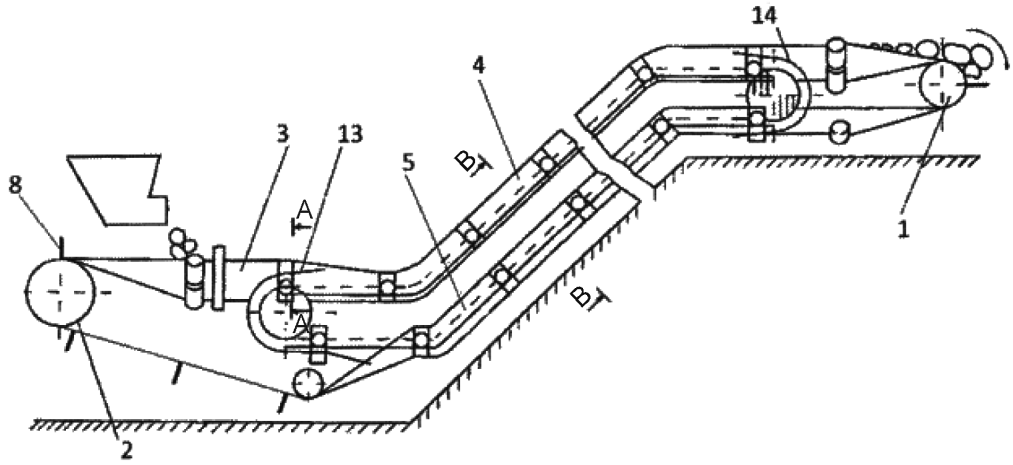

Рис. 1. Общая схема крутонаклонного ленточного конвейера
Fig. 1. General layout of steep angle conveyor belt

Подпружиненные прижимные рычаги *6* шарнирно закреплены по краям ходовых опор *7* для создания замкнутого контура ленты *3*. Поперечные перегородки *8* выполнены из установленных внахлест сегментов *9* и *10* с возможностью обеспечения их подвижности относительно друг друга и поперек транспортерной ленты *3*. При этом шаг установки поперечных перегородок *8* равен шагу расположения прижимных рычагов *6*. Для восприятия нагрузок от поперечных сегментов *9* и *10* поперечных перегородок *8* и перемещаемого груза вверх боковые участки транспортерной ленты *3* снабжены упорными элементами *11* из эластичного материала. Подпружиненные прижимные рычаги *6* предназна-

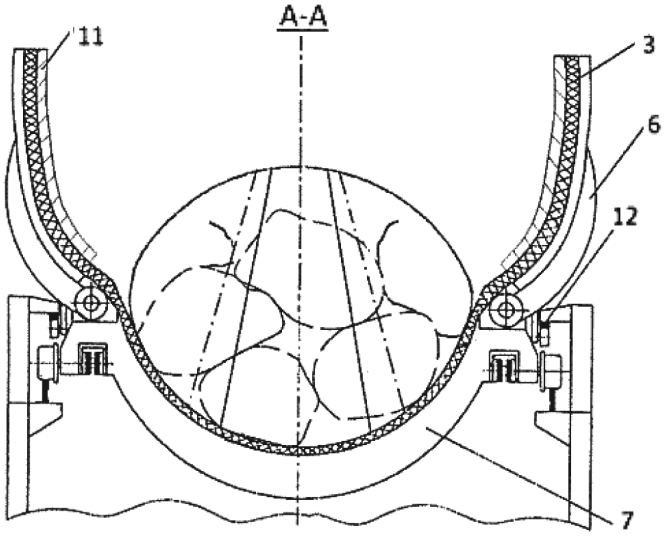

Рис. 2. Схема формирования замкнутого рабочего пространства по средства прижимных рычагов и веерных поперечных перегородок (разрез А-А крутонаклонного ленточного конвейера)
Fig. 2. Formation of closed working space using clamping levers and fans of cross baffles (section A–A of steep angle conveyor belt)

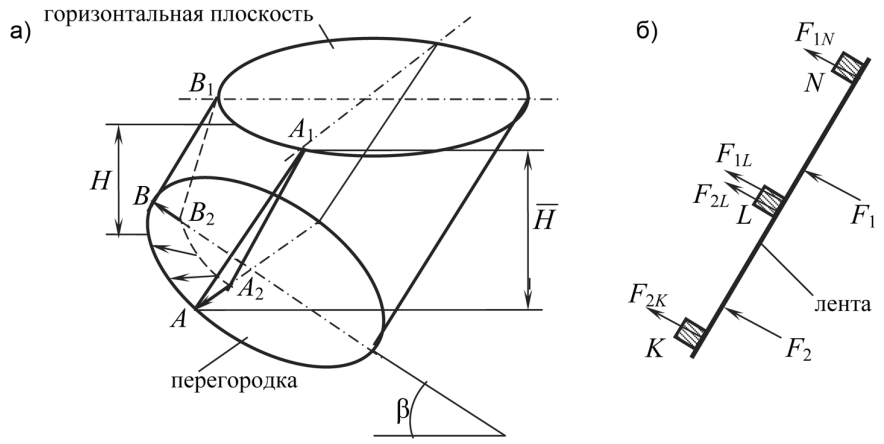

Рис. 3. Давление материала на ленту: эпюра давления (а); распределение силы давления между прижимными рычагами K, L, N (б)

Fig. 3. Cargo pressure on belt: pressure curve (a); distribution of pressure force between clamping levers K, L, N (b)

чены для взаимодействия с боковыми участками грузонесущей ленты *3* на верхней ветви *4* конвейера и поддержки ленты *3* на ее нижней ветви *5* (рис. 1—4).

В статье предложена методика расчета от работоспособности которого зависит замыкание ленты в трубу и сохранение трубчатой формы в процессе транспортирования. Эпюра давления материала на ленту, которое воспринимается прижимным рычагом, представляет собой фигуру $ABB_1A_1A_2B_2$ (рис. 3, *а*).

Давление материала на прижимной рычаг в его произвольной точке равно

$$p = \gamma_э H = \gamma_э (\overline{H} - r \sin\alpha \sin\beta) \qquad (1)$$

где $\gamma_э$ — эквивалентный насыпной удельный вес, равный насыпному удельному весу с поправками на трение частиц материала между собой и по поверхности ленты [7]; H — глубина расположения точки на прижимном рычаге (рис. 3, *а*); среднее значение глубины, соответствующее расположению условной жесткой заделки прижимного рычага (рис. 3, 4); r — внутренний радиус прижимного рычага; α — угол, определяющий расположение точки на прижимном рычаге;

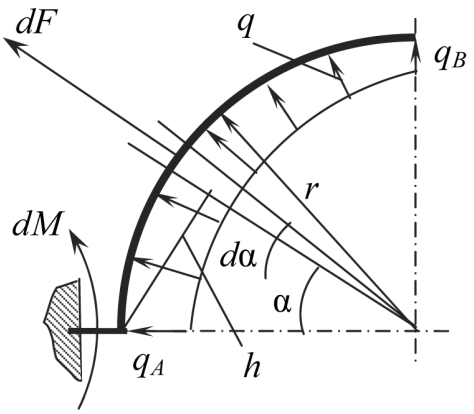

Рис. 4. Сила давления в виде распределенной нагрузки

Fig. 4. Pressure force in the form of distributed load

β — угол между горизонталью и поверхностью перегородки.

Прижимные рычаги *K, L, N* вместе с лентой образуют два пролета, в которых действуют силы давления F_1 и F_2. Сила F_1 передается лентой на рычаги *L* и *N* в виде сил F_{1L} и F_{1N}, а сила F_2 — на рычаги *K* и *L* в виде сил F_{2K} и F_{2L} (рис. 3, *б*).

Распределенная нагрузка q в радиальном сечении равна площади эпюры p в сечении, имеющим форму треугольни-

Рис. 5. Изменение относительной массы конвейера $\overline{m}$; изменение приведенного изгибающего момента прижимного рычага $\overline{M}$
Fig. 5. Change in relative weight of conveyor $\overline{m}$; change in reduced bending moment of clamping lever $\overline{M}$

ка с основанием, определяемым по формуле (1), и высотой $H = \overline{H} - r\sin\alpha\sin\beta$

$$q = \frac{1}{2}\gamma_э(\overline{H} - r\sin\alpha\sin\beta)^2 \qquad (2)$$

С учетом рис. 4 элементарная сила давления на дуге $rd\alpha$ равна:

$$dF = qrd\alpha = \frac{1}{2}\gamma_э(\overline{H} - r\sin\alpha\sin\beta)^2 rd\alpha \quad (3)$$

Сила dF создает относительно жесткой заделки элементарный момент:

$$dM = dFh = \frac{1}{2}\gamma_э(\overline{H} - r\sin\alpha\sin\beta)^2 r^2\sin\alpha d\alpha \quad (4)$$

где h — плечо силы dF относительно заделки.

Момент, нагружающий рычаг в заделке, равен [12]:

$$M = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{2}\gamma_э\left(\overline{H} - r\sin\alpha\sin\beta\right)^2 r^2\sin\alpha d\alpha =$$

$$= \frac{\gamma_э r^2}{2}\int_0^{\frac{\pi}{2}}\left(\overline{H}^2\sin\alpha - 2\overline{H}r\sin^2\alpha\sin\beta + r^2\sin^3\alpha\sin^2\beta\right)d\alpha = \quad (5)$$

$$= \frac{\gamma_э r^2}{2}\left(\overline{H}^2 - \frac{\pi}{2}\overline{H}r\sin\beta + \frac{2}{3}r^2\sin^2\beta\right)$$

Формула (5) позволяет определить действующий на прижимной рычаг максимальный изгибающий момент и осуществить расчет потребного усилия поджимающей пружины и элементов конвейера на прочность.

На рис. 5 приведен график изменения относительной удельной массы крутонаклонного ленточного конвейера $\overline{m}$ и приведенного изгибающего момента прижимного рычага $\overline{M}$ в сравнении с конвейером с углом наклона 15° в зависимости от угла наклона при заданной производительности и высоте подъема транспортируемого материала [1, 4, 12].

Экспериментальные исследования показали возможность снижения материалоемкости конвейера до 12% при угле его наклона φ = 30—46° и увеличения производительности и конвейера в среднем на 16%.

Использование предлагаемого крутонаклонного ленточного конвейера с поперечными перегородками позволяет снизить материалоемкость конвейерного транспорта в условиях ограничения производственных площадей при подъеме транспортируемого материала на заданную высоту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Юдин А. В.* Горнопромышленный транспорт. Расчет и проектирование транспортных систем: учебное пособие. — Екатеринбург: УГГУ, 2014. — 306 с.

2. *Дьяков В. А., Шахмейстер Л. Г., Дмитриев В. Г.* Ленточные конвейеры в горной промышленности. — М.: Недра, 1982. — 168 с.

3. *Davydov S., Kashcheev I., Sychev S., Lyaptsev S.* Tubular belt conveyer with turnover of the return run of the belt // Refractories and Industrial Ceramics, 2010, Vol. 51, no 4, December, pp. 250—255(6).

4. *Davydov S. Ya., Kashcheev I. D.* Energy-saving pneumatic lift // Refractories and Industrial Ceramics. 2011. Vol. l, pp. 1—5.

5. *Davydov S. Ya., Kosarev N. P., Valiev N. G., Boyarskikh G. A., Filatov M. S.* Prerequisites for the Creation of Energy-Conserving Constructions of Tubular Belt Conveyors // Refractories and Industrial Ceramics. 2017, Vol. 57, No. 5, January, pp.462—466.

6. *Шешко Е. Е.* Горнотранспортные машины и оборудование для открытых работ. — М.: Изд-во МГГУ, 2006. — 260 с.

7. *Справочник* по горнотранспортным машинам непрерывного действия. — М.: Недра, 1982. — 191 с.

8. *Давыдов С. Я., Филатов М. С.* Патент № 152528 RU. Заявка № 201414865 от 02.12.2014. Крутонаклонный ленточный конвейер, опубл. 10.06.2015. Бюл. № 16.

9. *Мулухов К. К., Беслекоева З. Н.* Патент № 2455216 RU. Заявка № 2010142101 от 13.10.2010. Крутонаклонный ленточный конвейер, опубл. 10.07.2012. Бюл. № 19.

10. *Макаров В. Н., Чуркин В. Н., Кокарев К. В., Давыдов С. Я.* Патент № 2589529 RU. Заявка № 2015107158 от 02.03.2015. Крутонаклонный ленточный конвейер, опубл. 10.07.2016. Бюл. № 19.

11. *Макаров В. Н., Кокарев К. В., Макаров Н. В, Чуркин В. Н.* Крутонаклонный ленточный конвейер для перемещения огнеупорных материалов // Новые огнеупоры. — 2017. — № 3. — С. 31—32.

12. *Смирнов В. И.* Курс высшей математики Т. 2. — М.: Наука, 1974. — 655 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Макаров Владимир Николаевич[1] — доктор технических наук, профессор,
Потапов Валентин Яковлевич[1] — доктор технических наук, профессор,
Макаров Николай Владимирович[1] — кандидат технических наук,
зав. кафедрой, e-mail: mnikolay84@mail.ru,
Угольников Александр Владимирович[1] — кандидат технических наук,
доцент, зав. кафедрой,
[1] Уральский государственный горный университет.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 5, pp. 165–170.

V.N. Makarov, V.Ya. Potapov, N.V. Makarov, A.V. Ugolnikov

GENESIS OF EFFICIENCY OF STEEP ANGLE CONVEYOR BELTS

The review of the belt haulage transport currently in operation highlights inefficiency of increasing the belt angle and cargo weight using existing methods. The put forward steep angle conveyor belts equipped with fans of cross baffles make it possible to build up essentially both the belt angle and cargo weight owing to more effective filling of working space of the belt and better gravity counteraction. The proposed design of the belt conveyor will allow considerably improved dust control in conveyance of granular materials. The steep angle conveyor belt design is protected by patents for invention as intellectual property. The procedure for the steep angle conveyor belt design is adjusted regarding calculation of forces and stresses on clamping lever. The graphical and mathematical mo_ dels are proposed to describe force interaction between the conveyor belt structure elements and

the conveyed material. An equation of maximum bending moment governed by the structural peculiarities of the conveyor belt is obtained, which enables calculation of clamping lever geometry as well as the wanted prepressure force. It is found that the weight–angle curve of the steep angle conveyor belt given assigned capacity and haulage height is essentially nonlinear. Considering the limited angle of conveyor belts as steeper angles result in reduction in positive friction, the weight of conveyor belts grows in proportion to the increase in the hoist height of conveyed material at the preserved conveyance capacity. With regard to the influence exerted by friction coefficient, gravity and additional force on diaphragm, clamping lever and conveyor belt, the angle value range is optimized towards saving of material consumption at the pre-set capacity as against the known conveyor structures.

Key words: steep angle conveyor belt, cross baffles, angle, bulk material, clamping lever, pressure plot, bending moment.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-165-170

AUTHORS

Makarov V.N.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
Potapov V.Ya.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor,
Makarov N.V.[1], Candidate of Technical Sciences,
Head of Chair, e-mail: mnikolay84@mail.ru,
Ugolnikov A.V.[1], Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, Head of Chair,
[1] Ural State Mining University,
620144, Ekaterinburg, Russia.

REFERENCES

1. Yudin A.V. *Gornopromyshlennyy transport. Raschet i proektirovanie transportnykh sistem*: uchebnoe posobie (Mining transport. Transport system engineering: Educational aid), Ekaterinburg, UGGU, 2014, 306 p.

2. D'yakov V.A., Shakhmeyster L.G., Dmitriev V.G. *Lentochnye konveyery v gornoy promyshlennosti* (Conveyor belts in mining), Moscow, Nedra, 1982, 168 p.

3. Davydov S., Kashcheev I., Sychev S., Lyaptsev S. Tubular belt conveyer with turnover of the return run of the belt. *Refractories and Industrial Ceramics*, 2010, Vol. 51, no 4, December, pp. 250—255(6).

4. Davydov S.Ya., Kashcheev I.D. Energy-saving pneumatic lift. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2011. Vol. l, pp. 1—5.

5. Davydov S.Ya., Kosarev N.P., Valiev N.G., Boyarskikh G.A., Filatov M.S. Prerequisites for the Creation of Energy-Conserving Constructions of Tubular Belt Conveyors. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2017, Vol. 57, No. 5, January, pp.462—466.

6. Sheshko E.E. *Gornotransportnye mashiny i oborudovanie dlya otkrytykh rabot* (Transport machines and equipment for open pit mining), Moscow, Izd-vo MGGU, 2006, 260 p.

7. *Spravochnik po gornotransportnym mashinam nepreryvnogo deystviya* (Handbook on continuous-type mine transportation machines), Moscow, Nedra, 1982, 191 p.

8. Davydov S.Ya., Filatov M.S. *Patent RU 152528*, 10.06.2015.

9. Mulukhov K.K., Beslekoeva Z.N. *Patent RU 2455216*, 10.07.2012.

10. Makarov V.N., Churkin V.N., Kokarev K.V., Davydov S.Ya. *Patent RU 2589529*, 10.07.2016.

11. Makarov V.N., Kokarev K.V., Makarov N.V, Churkin V.N. *Novye ogneupory*. 2017, no 3, pp. 31—32.

12. Smirnov V.I. *Kurs vysshey matematiki* T. 2 (Higher mathematics course, vol. 2), Moscow, Nauka, 1974, 655 p.