

Д. т. н. **В. Н. Макаров**, д. т. н. **С. Я. Давыдов** (✉), к. т. н. **В. М. Таугер**,
к. т. н. **Н. В. Макаров**
ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 621.867.2:622.023.65

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРУТОНАКЛОННОГО ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Предложен крутонаклонный ленточный конвейер с поперечными перегородками, который позволяет значительно увеличить не только угол его наклона, но и массу транспортируемых грузов за счет более эффективного заполнения и противодействия силам тяжести. 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. С учетом влияния коэффициента трения, силы тяжести дополнительно передаваемого усилия на диафрагму, прижимной рычаг и конвейерную ленту определен оптимальный диапазон угла наклона конвейера, обеспечивающего снижение его материалоемкости при заданной производительности по сравнению с известными конвейерами.

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

Применяемые в настоящее время типы конвейеров, например для загрузки известняка в шахтные печи [1], имеют ряд технических ограничений, главными из которых являются функционирование только при углах наклона 35–40°, а также невозможность полной локализации пылеобразования. Изучение конструкции и принципа действия известных крутонаклонных конвейеров [2, 3] показало, что в большинстве случаев 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.

Для увеличения массы транспортируемых грузов крутонаклонного ленточного конвейера [4] за счет более эффективного заполнения предлагается модернизированный ленточный конвейер [5, 6], который содержит огибающую приводной и натяжной концевые барабаны 1 и 2 (рис. 1) конвейерную ленту 3 с грузовой и порожней ветвями 4 и 5. 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 конвейерной 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 вверх груза боковые участки конвейерной ленты 3 снабжены упорными элементами 11 из эластичного материала. Подпружиненные прижимные рычаги 6 предназначены для взаимодействия с боковыми участками грузонесущей ленты 3 на верхней ветви 4 конвейера и поддержки ленты 3 на ее нижней ветви 5.

Крутонаклонный ленточный конвейер работает следующим образом. Загрузочное устройство подает насыпной груз на ленту 3, на которой через некоторые промежутки в неизменном вертикальном положении жестко закреплены сегменты 9 и 10 поперечной перегородки 8. Загруженная лента поступает на ходовые опоры 7, принимая при этом в поперечном сечении желобчатую форму. Сегменты 9 и 10 поперечной перегородки 8 под воздействием изгиба ленты 3 начинают перемещаться навстречу друг другу поперек этой ленты (рис. 1, в). В этом случае боковые края ленты 3 в сведенном положении вплотную прижимаются к верхнему краю



С. Я. Давыдов

E-mail: davidovtrans@mail.ru

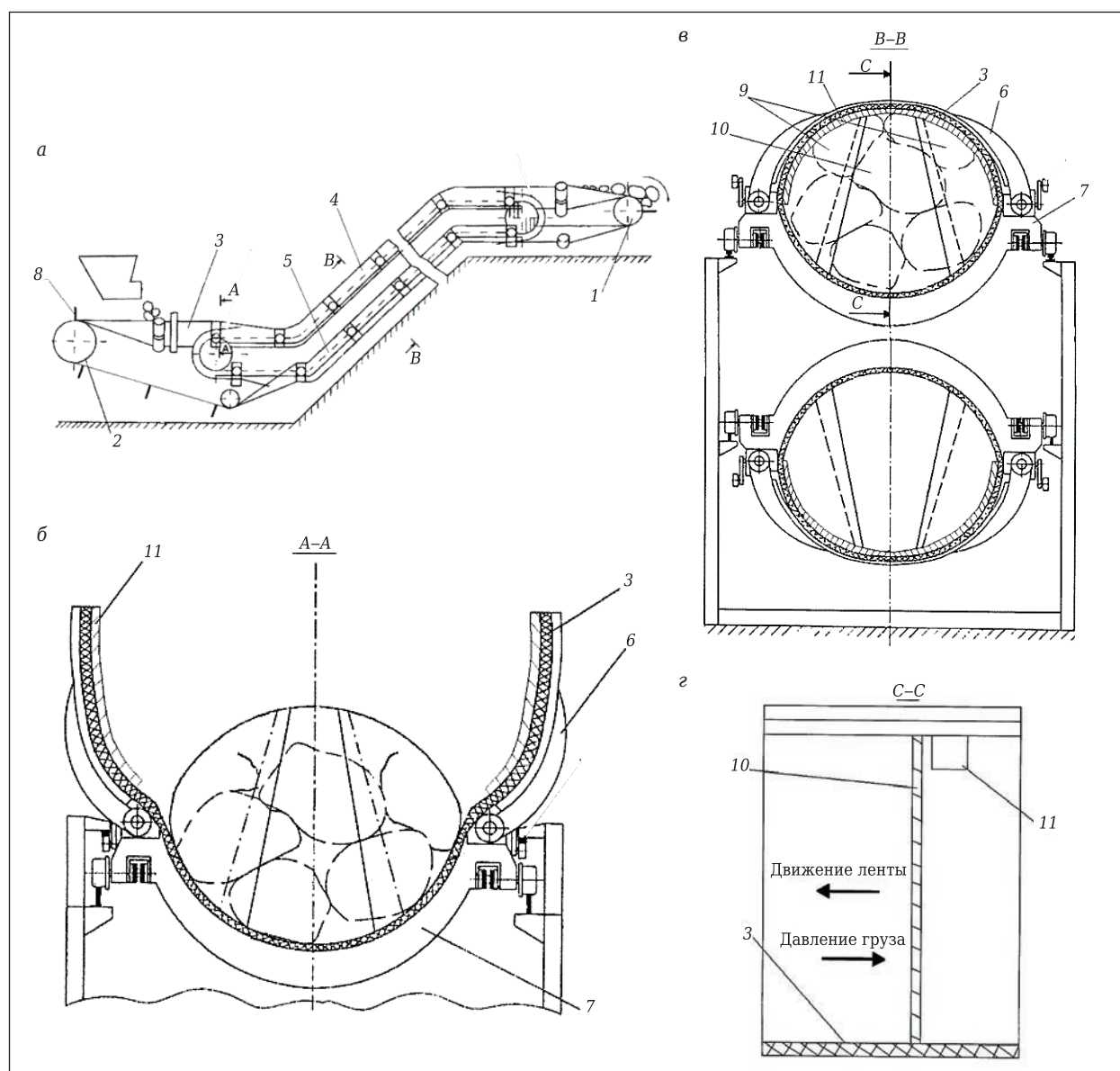


Рис. 1. Общая схема крутонаклонного ленточного конвейера (а) и разрезы А-А (б), В-В (в) и С-С (г)

сегментов 9 и 10 поперечной перегородки 8 и фиксируются упорными элементами 11 для обеспечения общей жесткости конструкции (рис. 1, г). Это приводит к формированию профиля максимального заполнения грузонесущей ленты 3 и не позволяет сегментам 9 и 10 перегородки 8 опрокинуться под давлением груза. Лента 3 поступает на головной барабан 1 для ее разгрузки. После прохождения головного барабана 1 сегменты 9 и 10 поперечной перегородки 8 снова принимают профиль свернутой ленты 3. Лента 3 обжимается прижимными рычагами 6.

Для обеспечения максимальной возможности конструктивных элементов ленточного конвейера противодействовать силам тяжести, воздействующим на насыпные и кусковые грузы по мере повышения угла наклона грузовой ветви к горизонту, необходимо обеспечить совмещение

ходовых опор 7 с грузонесущей лентой 3 в зоне расположения поперечных перегородок 8 в процессе работы конвейера, поскольку только в данном случае достигается наибольшая прочность и жесткость конструкции, сформированной поперечными перегородками 8, упорными элементами 11, прижимными рычагами 6 и грузонесущей лентой 3.

Новизна предложенного технического решения обуславливает разработку методов расчета основных конструктивных элементов, одним из которых является прижимной рычаг. От работоспособности прижимных рычагов зависят замыкание ленты в трубу и сохранение трубчатой формы в процессе транспортирования. Поджимающие рычаги должны создавать усилие, способное противодействовать силам давления транспортируемого материала и упругости лен-

ты, а сами рычаги должны обладать достаточно высокой изгибной прочностью.

Считаем, что транспортируемый материал в результате колебаний ленты при движении занимает объем, ограниченный горизонтальной плоскостью и поверхностью поперечной перегородки (рис. 2, а). Силами упругости ленты пренебрегаем. Эпюра давления материала на ленту, которое воспринимается прижимным рычагом 6 (см. рис. 1, б, в), представляет собой фигуру $ABB_1A_1A_2B_2$ (рис. 2, а). Сила давления создает момент, изгибающий прижимной рычаг и нагружающий поджимающие его пружины. Для расчета на прочность прижимного рычага и определения жесткости пружины необходимо определить этот момент.

Давление материала на прижимной рычаг в его произвольной точке равно

$$p = \gamma_s H = \gamma_s (\bar{H} - r \sin \alpha \sin \beta), \quad (1)$$

где γ_s — 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 (см. рис. 2, а); $\bar{H}$ — среднее значение глубины, соответствующее расположению условной жесткой заделки прижимного рычага (см. рис. 2, а); r — внутренний радиус прижимного рычага; α — угол, опре-

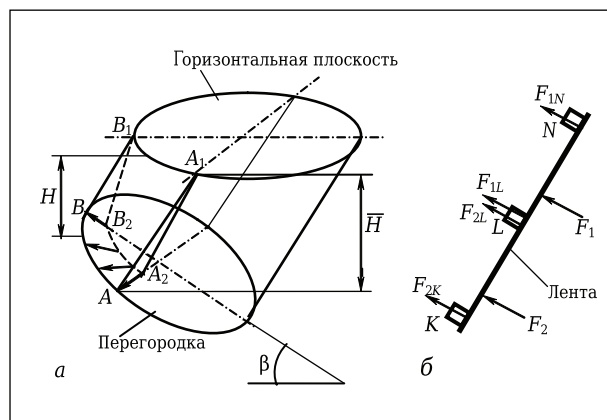


Рис. 2. Давление материала на ленту: а — эпюра давления; б — распределение силы давления между прижимными рычагами К, L, N

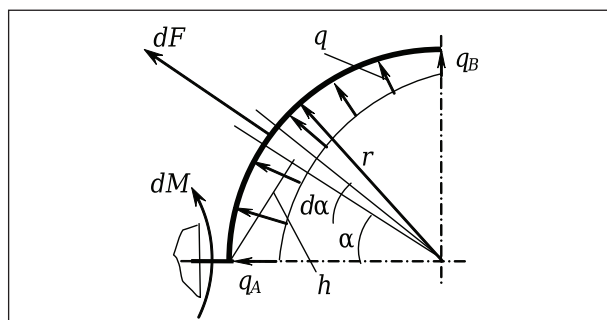


Рис. 3. Сила давления в виде распределенной нагрузки

деляющий расположение точки на прижимном рычаге; β — угол между горизонталью и поверхностью перегородки.

Рассмотрим распределение силы давления между соседними прижимными рычагами К, L, N (см. рис. 2, б). Три прижимных рычага К, L и 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 К и L в виде сил F_{2K} и F_{2L} . В силу справедливости равенств

$$F_1 = F_2 = F_{1L} + F_{1N} = F_{2K} + F_{2L}, \quad (2)$$

$$F_{2K} = F_{1L}, F_{2L} = F_{1N}, \quad (3)$$

получаем, что

$$F_{2L} + F_{1L} = F_1, \quad (4)$$

т. е. каждый рычаг воспринимает полную силу давления.

Это обстоятельство позволяет существенно упростить расчет путем представления силы давления в виде нагрузки, распределенной по рычагу в зависимости от угла α . Значение распределенной нагрузки q в радиальном сечении равно площади эпюры p в данном сечении. Сечение имеет форму треугольника с основанием, определяемым по формуле (1), и высотой $H = \bar{H} - r \sin \alpha \sin \beta$, поэтому

$$q = \frac{1}{2} \gamma_s (\bar{H} - r \sin \alpha \sin \beta)^2. \quad (5)$$

Выделим на внутренней поверхности рычага (на дуге окружности) элементарный угол $d\alpha$ (рис. 3). Соответствующая элементарная сила давления на дуге $r d\alpha$ равна

$$dF = q r d\alpha = \frac{1}{2} \gamma_s (\bar{H} - r \sin \alpha \sin \beta)^2 r d\alpha. \quad (6)$$

Сила dF создает относительно жесткой заделки элементарный момент:

$$dM = dF h = \frac{1}{2} \gamma_s (\bar{H} - r \sin \alpha \sin \beta)^2 r^2 \sin \alpha d\alpha, \quad (7)$$

где h — плечо силы dF относительно заделки.

Момент, нагружающий рычаг в заделке, равен

$$\begin{aligned} M &= \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{2} \gamma_s (\bar{H} - r \sin \alpha \sin \beta)^2 r^2 \sin \alpha d\alpha = \\ &= \frac{\gamma_s r^2}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} (\bar{H}^2 \sin \alpha - 2 \bar{H} r \sin^2 \alpha \sin \beta + r^2 \sin^3 \alpha \sin^2 \beta) d\alpha = \\ &= \frac{\gamma_s r^2}{2} \left(\bar{H}^2 - \frac{\pi}{2} \bar{H} r \sin \beta + \frac{2}{3} r^2 \sin^2 \beta \right). \end{aligned} \quad (8)$$

Формула (8) позволяет определить действующий на прижимной рычаг максимальный изгибающий момент, необходимый для расчета как самого рычага на прочность, так и необходимого усилия поджимающей пружины. Из анализа формулы (8) можно сделать вывод о существенной нелинейности зависимости массы крутонаклонного ленточного конвейера от угла его

наклона $\varphi = \pi/2 - \beta$ при фиксированной производительности конвейера и высоте подъема транспортируемого материала. При этом с учетом ограничения угла наклона ленточного конвейера, обусловленного снижением положительного действия сил трения с его ростом, при предельном значении угла наклона масса конвейера увеличивается пропорционально росту высоты подъема транспортируемого материала при сохранении производительности.

На рис. 4 показан график изменений относительной удельной массы крутонаклонного ленточного конвейера $\bar{m}$ и приведенного изгибающего момента прижимного рычага $\bar{M}$ в зависимости от угла наклона при заданной производительности и высоте подъема транспортируемого материала [8]. Видно, что при $\varphi \geq 29^\circ$ конвейера с поперечными перегородками его удельная масса меньше удельной массы конвейера без перегородок при равных производительности и высоте подъема транспортируемого материала.

Экспериментальные исследования показали возможность снижения материалоемкости конвейера до 12 % при $\varphi = 30 \div 46^\circ$ и увеличения про-

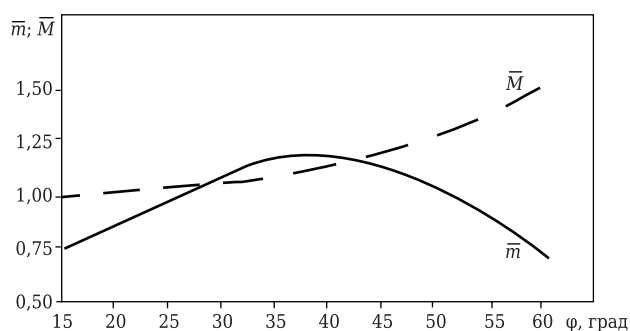


Рис. 4. Изменения относительной удельной массы конвейера $\bar{m}$ и приведенного изгибающего момента прижимного рычага $\bar{M}$ в зависимости от угла наклона конвейера φ

изводительности 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.

Библиографический список

1. **Давыдов, С. Я.** Вращающиеся печи предприятий строительных материалов : уч. пособие / С. Я. Давыдов, В. А. Пьячев, И. Д. Кашеев [и др.]. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2005. — 352 с.
2. **Давыдов, С. Я.** Энергосберегающее оборудование для транспортировки сыпучих материалов: исследование, разработка, производство / С. Я. Давыдов. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2007. — 317 с.
3. **Пат. 152528 Российская Федерация.** Генезис эффективности крутонаклонного ленточного конвейера / Давыдов С. Я., Филатов М. С. — № 201414865 ; заявл. 02.12.14 ; опубл. 10.06.15, Бюл. № 16.
4. **Пат. 2455216 Российская Федерация.** Крутонаклонный ленточный конвейер / Мулухов К. К., Беслекоева З. Н. — № 2010142101 ; заявл. 13.10.10 ; опубл. 10.07.12, Бюл. № 19.
5. **Пат. 2589529 Российская Федерация.** Крутонаклонный ленточный конвейер / Макаров В. Н., Чуркин

В. Н., Кокарев К. В., Давыдов С. Я. — № 2015107158 ; заявл. 02.03.15 ; опубл. 10.07.16, Бюл. № 19.

6. **Макаров, В. Н.** Крутонаклонный ленточный конвейер для перемещения огнеупорных материалов : тез. докл. Междунар. конф. огнеупорщиков и металлургов (6–7 апреля 2017 г., Москва) / В. Н. Макаров, К. В. Кокарев, Н. В. Макаров, В. Н. Чуркин // Новые огнеупоры. — 2017. — № 3. — С. 31, 32.
7. <https://megalektsii.ru/s17523t4.html>.
8. **Галкин, В. И.** Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В. И. Галкин, В. Г. Дмитриев, В. П. Дьяченко [и др.]. — М. : Изд. МГУ им. М. В. Ломоносова, 2005. — 543 с. ■

Получено 25.12.17

© В. Н. Макаров, С. Я. Давыдов, В. М. Таугер,
Н. В. Макаров, 2018 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

IRANANO 2018
11-я Международная выставка по нанотехнологиям
13–16 октября 2018 г.
г. Тегеран, Иран