

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
**«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Т. Ф. ГОРБАЧЕВА»**

Кафедра горных машин и комплексов

Составители
С. В. Пешков
А. Ю. Захаров

КОНВЕЙЕРЫ БЕЗ ТЯГОВОГО ЭЛЕМЕНТА

**Методические указания к практическим занятиям
по дисциплине «Конвейерный транспорт»
для студентов всех форм обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией
специальности 21.05.04 «Горное дело»
в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

Рецензенты:

Юрченко В. М. – доцент кафедры горных машин и комплексов

Буялич Г. Д. – председатель учебно-методической комиссии специальности 21.05.04 «Горное дело», специализация 21.05.04.09 «Горные машины и оборудование»

Пешков Сергей Владимирович

Захаров Александр Юрьевич

КОНВЕЙЕРЫ БЕЗ ТЯГОВОГО ЭЛЕМЕНТА [Электронный ресурс]: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Конвейерный транспорт» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», образовательная программа «Обогащение полезных ископаемых», всех форм обучения / сост.: С. В. Пешков, А. Ю. Захаров; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 16 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Приведено описание устройства бункерных установок, их технологическое назначение на обогатительных фабриках, рекомендации по соотношению конструктивных параметров и методика расчета основных элементов конвейеров без тягового элемента.

Рекомендовано для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», образовательная программа «Обогащение полезных ископаемых», а также для студентов образовательной программы «Горные машины и оборудование» при курсовом проектировании по дисциплине «Карьерные транспортные машины».

© КузГТУ, 2016

© Пешков С. В., Захаров А. Ю.,
составление, 2016

1. Качающиеся конвейеры

1.1. Общие сведения

Качающийся (колебательный) конвейер представляет собой открытый или закрытый герметичный желоб или трубу, подвешенную на опорной конструкции. Желоб совершает возвратно-поступательные движения, в результате которых груз, находящийся внутри, совершает короткие перемещения вперед и постепенно передвигается по всей длине транспортирования [2].

Качающиеся конвейеры классифицируют на инерционные, в которых груз скользит по желобу под действием силы инерции, и вибрационные, в которых груз отрывается от желоба и движется внутри него микробросками.

Качающиеся конвейеры имеют горизонтальную, полого-наклонную (с подъемом вверх или уклоном вниз под углом до 15°) и вертикальную трассу с перемещением груза вверх по внутренней винтовой поверхности. Качающиеся конвейеры перемещают насыпные, реже штучные грузы. Длина трассы горизонтальных качающихся конвейеров составляет не более 100 м, производительность – до $400 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Вертикальные качающиеся конвейеры имеют высоту до 12 м, производительность – до 20 м^3 .

Качающиеся конвейеры используют на предприятиях химической и металлургической промышленности, при производстве строительных материалов (для обеспечения герметичного транспортирования пылящих, горячих, газифицирующих, ядовитых, химически агрессивных грузов).

Горизонтальные качающиеся конвейеры перемещают чугунную и витую стальную стружку (которая является очень неудобным для транспортирования грузом) в механических цехах, горячую выбитую землю, мелкое литье на машиностроительных предприятиях, горячие изделия в металлургическом производстве. Вертикальные качающиеся конвейеры используют в виде бункеров-накопителей при перемещении мелких деталей (винтов, заклепок и др.) на линиях механической обработки и сборки.

Преимуществами качающихся конвейеров являются простота конструкции; герметичность; возможность совмещения про-

цесса транспортирования с технологическими операциями (грохочение, сушка, охлаждение); невысокий расход энергии; малый износ желоба вибрационных конвейеров.

К недостаткам относятся: невозможность перемещения липких грузов; передача вибрационных нагрузок на опорные конструкции; невысокий срок службы упругих элементов и подшипников; интенсивное изнашивание желоба; снижение скорости и производительности при перемещении мелкодисперсных грузов.

1.2. Динамические режимы работы качающихся конвейеров

Рассмотрим процесс перемещения частицы груза, находящейся внутри трубы (желоба) качающегося конвейера.

При колебательном движении наклонной плоскости (рис. 1) под углом α с ускорением $j_{ж}$, направленном под углом β , частица груза, лежащая на этой плоскости, будет перемещаться вдоль данной плоскости [2].

При этом нормальное давление N частицы груза на плоскость (дно трубы или желоба)

$$N = mg \cos \alpha + mj_y, \quad (1)$$

где m – масса частицы груза;

j_y – составляющая ускорения $j_{ж}$ по оси Y ;

$$j_y = -j_{ж} \sin \beta = -a\omega^2 \sin \varphi \sin \beta. \quad (2)$$

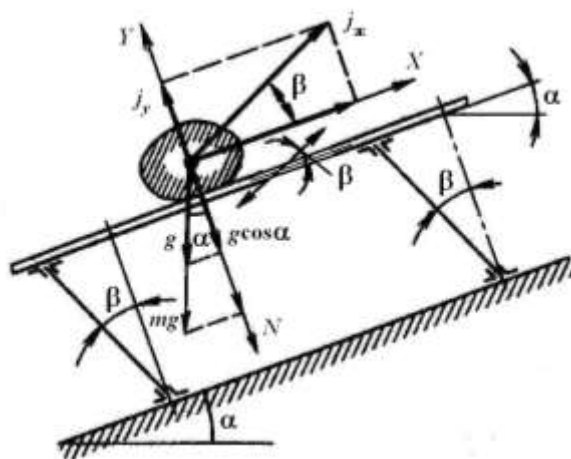


Рис. 1. Схема к расчету силы давления груза на желоб

Сила давления груза на плоскость:

$$N = m (g \cos\alpha - a\omega^2 \sin\varphi \sin\beta), \quad (3)$$

где a – амплитуда колебаний плоскости;

ω – угловая скорость возбудителя колебаний;

$\varphi = \omega t$ – фазовый угол колебаний (t – время).

При $g \cos\alpha > a\omega^2 \sin\varphi \sin\beta$ сила давления груза на плоскость направлена вниз и является положительной (груз находится на дне желоба).

При $g \cos\alpha < a\omega^2 \sin\varphi \sin\beta$ сила давления направлена вверх, и груз стремится оторваться от плоскости. Угол φ изменяется от 0 до 360° , тогда $\sin\varphi = 1$ при $\varphi = \pi/2 = 90^\circ$.

Коэффициент режима работы качающегося (колебательно-го) конвейера

$$\Gamma = \frac{a\omega^2 \sin\beta}{g \cos\alpha}. \quad (4)$$

Для горизонтального конвейера $\cos\alpha = \cos 0^\circ = 1$ поэтому

$$\Gamma = \frac{a\omega^2 \sin\beta}{g}. \quad (5)$$

Коэффициент Γ характеризует динамический режим работы качающегося конвейера и характер движения частиц груза:

при $\Gamma < 1$ груз лежит на колеблющейся плоскости и перемещается не отрываясь от нее (режим инерционных конвейеров);

при $\Gamma > 1$ груз отрывается от колеблющейся плоскости и перемещается микробросками (режим вибрационных конвейеров) (рис. 2);

при $\Gamma = 1$ имеют место граничные условия (рис. 3).

При выполнении условия $1 < \Gamma \leq 3,3$ движение частицы груза является оптимальным и состоит из нескольких этапов, выполняемых в различные промежутки времени одного периода колебаний плоскости.

Наиболее эффективным является движение частиц груза без скольжения, перемешивания, обратного движения, препятствующих рациональному перемещению.

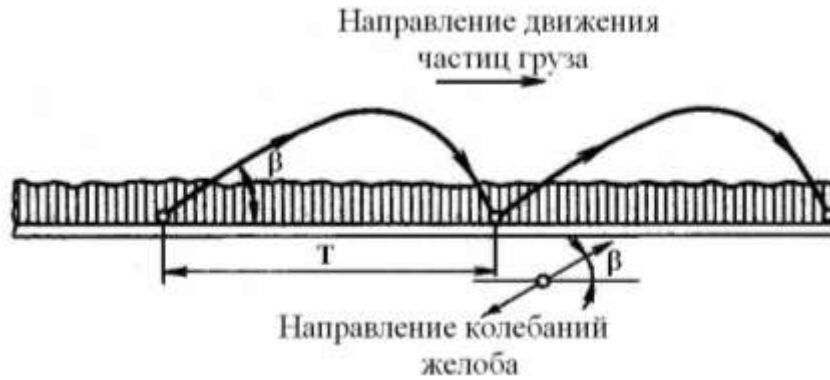


Рис. 2. Схема движения частиц груза на вибрационном конвейере

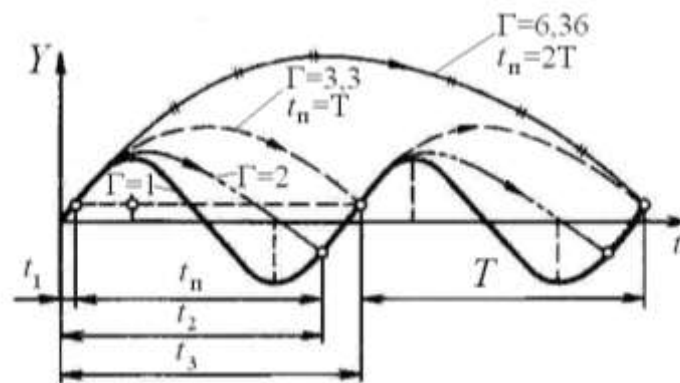


Рис. 3. Диаграмма движения частиц груза на вибрационном конвейере

Наиболее рациональными режимами работы конвейера считаются такие, при которых движение частиц происходит при непрерывном подбрасывании и время их микрополета t_n составляет $t_n = \rho T$ (ρ – любое целое число).

Движение с непрерывным подбрасыванием частиц груза происходит при значении коэффициента Γ , определяемом по формуле

$$\Gamma = \sqrt{\pi^2 \rho + 1}. \quad (6)$$

При $\rho = 1$ время t_n равно одному полному периоду колебания конвейера, а коэффициент режима $\Gamma = 3,3$; при $\rho = 2$ $t_n = 2T$, а коэффициент $\Gamma = 6,36$ (рис. 3).

В результате исследований динамических режимов работы

качающихся конвейеров установлено, что при $\rho > 1$ и $\Gamma > 3,3$ имеются определенные зоны снижения скорости перемещения груза (не происходит пропорционального увеличения скорости). При этом конвейер работает со значительными ускорениями, обуславливающими большие динамические нагрузки на привод, подшипники и другие элементы. Следовательно, для вибрационного конвейера коэффициент режима работы должен находиться в теоретических пределах $1 < \Gamma \leq 3,3$.

2. Инерционные и вибрационные конвейеры

2.1. Общие сведения

Существует два основных типа качающихся инерционных конвейеров: с постоянным (система Маркуса) и переменным (система Крейса) давлением груза на дно желоба. Конвейер Маркуса состоит из желоба, который опирается на стационарные катки, и двухкривошипного привода [2].

Желоб совершает прямолинейное возвратно-поступательное движение в горизонтальной плоскости: в период прямого хода скорость желоба плавно возрастает, затем резко снижается до нуля, а затем меняет направление; в период обратного хода скорость желоба резко возрастает, затем плавно снижается. Во время прямого хода желоба груз движется вместе с ним без скольжения, накапливая кинетическую энергию; при резком изменении скорости груз продолжает перемещаться вперед по инерции с замедлением, скользя вперед и при обратном ходе желоба (желоб как бы выскальзывает из-под груза). При обратном ходе скольжение груза прекращается, и он вместе с желобом движется вперед.

Режим работы конвейера выбирают таким, чтобы обратный ход груза был минимальным. Сила давления груза на дно желоба в каждый цикл колебаний будет одинаковой и равной силе тяжести груза; сила трения груза по дну желоба будет тоже постоянной.

Основными параметрами конвейеров Маркуса являются: амплитуда колебаний желоба 50–150 мм; частота колебаний 40–85 мин⁻¹; ширина желоба 200–1200 мм; длина до 50 м; скорость перемещения груза до 0,2 м/с.

Конвейер Крейса имеет желоб, который опирается на жестко прикрепленные упругие стойки-рессоры, установленные под углом $20\text{--}30^\circ$ к вертикали. Колебательное движение желоб получает от кривошипного привода, который сообщает желобу возвратно-поступательное движение одинакового характера как для прямого, так и для обратного ходов в направлении, перпендикулярном опорным стойкам.

При движении вперед желоб немного приподнимается вверх, а при движении вниз – опускается. Для движения частицы груза вперед при прямом ходе желоба необходимо, чтобы сила трения груза о дно желоба была больше, чем горизонтальная составляющая силы инерции груза.

При обратном ходе, когда желоб движется назад, опускаясь, вертикальная составляющая силы инерции груза направлена вверх, а сила тяжести – вниз. Сила давления груза на дно желоба и сила трения груза уменьшаются. Для движения груза вперед при движении желоба назад необходимо, чтобы горизонтальная составляющая силы инерции была больше силы трения.

Таким образом, силы давления груза на дно желоба при прямом и обратном ходах получаются различными по значению – это обеспечивает возможность непрерывного перемещения груза по желобу.

Для конвейеров Крейса с переменным давлением груза на желоб принимают $\Gamma < 1$, при этом груз никогда не отрывается от желоба и скользит с переменной скоростью, и ускорение желоба

$$j_{\text{ж}} = n^2 a / 90 > f g / (\cos\beta - \sin\beta), \quad (7)$$

где n – частота вращения вала кривошипа, мин^{-1} ;

a – амплитуда колебания;

f – коэффициент трения груза о дно желоба;

β – угол наклона опорных стоек к вертикали.

Основными параметрами конвейеров Крейса являются: амплитуда колебаний $10\text{--}20$ мм; частота колебаний $300\text{--}400$ мин^{-1} ; ширина желоба $200\text{--}1000$ мм; скорость движения груза на горизонтальном конвейере $0,15\text{--}0,2$ м/с; угол наклона $10\text{--}15^\circ$.

Вибрационные конвейеры имеют много различных конструктивных исполнений и классифицируются по различным

признакам:

по направлению перемещения груза: горизонтальные; пологонаклонные; вертикальные;

по числу одновременно колеблющихся масс: одномассные; двухмассные; многомассные;

по характеру динамической уравновешенности: уравновешенные; неуравновешенные;

по числу грузонесущих элементов: одноэлементные (с одинарным или сдвоенным грузонесущим элементом); двухэлементные;

по способу крепления грузонесущего элемента: подвесная свободноколеблющаяся конструкция; опорная конструкция с наклонными направляющими упругими элементами;

по назначению: виброконвейеры; питатели и дозаторы; грохоты;

по характеристике и настройке упругих опорных элементов: с резонансной настройкой; с дорезонансной настройкой; с зарезонансной настройкой.

При резонансной настройке частота возмущающейся силы вибровозбудителя ω и основная частота собственных колебаний упругой системы конвейера ω_0 одинаковы или близки (для устойчивой работы конвейера $0,85 < \omega / \omega_0 < 1,1$). При дорезонансной настройке ω значительно меньше ω_0 ; при зарезонансной настройке $\omega \gg \omega_0$.

Резонансная настройка упругой системы имеет наибольшее распространение, обеспечивает высокую производительность при малом расходе энергии при установившейся работе конвейера, но требует больших пусковых усилий.

Зарезонансная настройка обеспечивает длительную устойчивую работу машины при различных изменениях нагрузки; при зарезонансной настройке пусковые усилия снижаются, но увеличивается расход энергии при установившейся работе конвейера. Зарезонансная настройка используется для подвесных и опорных конвейеров легкого типа. Дорезонансная настройка имеет малое применение.

Грузонесущий элемент вибрационного конвейера совершает прямолинейные (иногда круговые или эллиптические) симметричные гармонические колебательные движения.

Вертикальные вибрационные конвейеры совершают двойное движение: прямолинейное вдоль вертикальной оси и вращательное вокруг вертикальной оси. Вибрационные конвейеры должны обеспечивать минимальную передачу динамических нагрузок на опорные конструкции; полную герметичность транспортирования; автоматическую (в том числе и промежуточную) загрузку и разгрузку; минимальную массу; малые габариты по высоте; высокую надежность.

Наиболее эффективным является использование вибрационных конвейеров для перемещения сухих однородных порошкообразных, зернистых и мелкокусковых грузов.

2.2. Горизонтальные и пологонаклонные вибрационные конвейеры

Подвесные виброконвейеры. Желоб (или труба) вибрационного конвейера подвесной конструкции (рис. 4) свободно подвешен на амортизаторах к опорным стойкам [2].

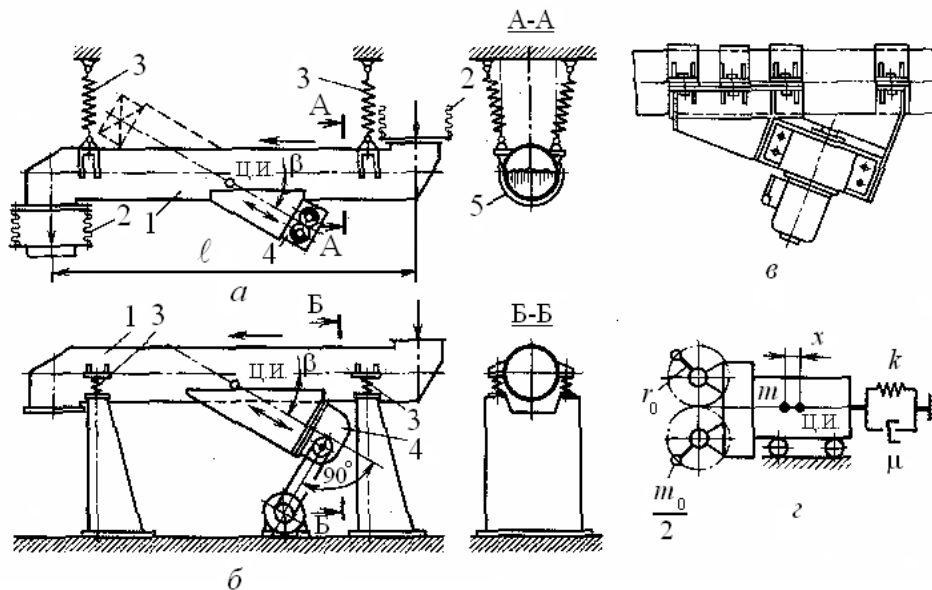


Рис. 4. Схемы одномассных свободноколеблющихся вибрационных конвейеров: *a*, *б*, *в* – конструктивные; *г* – расчетная; 1 – желоб (труба); 2 – гофрированный патрубкок; 3 – амортизатор; 4 – привод; 5 – предохранительный пояс

Желоб получает направленные колебания от центробежного привода, имеющего нижнее или верхнее расположение. Для обеспечения перемещения груза в заданном направлении привод уста-

навливают под углом $\beta = 20\text{--}30^\circ$ к продольной оси конвейера.

Линия действия возмущающей силы, вызывающей колебания системы, должна проходить через центр инерции (тяжести) системы для исключения дополнительных крутильных колебаний, неблагоприятно действующих на процесс перемещения груза.

Высокая жесткость узла крепления привода к желобу обеспечивает стабильность распространения колебаний и предотвращает возможное разрушение трубы. Увеличение габаритов грузонесущего элемента повышает его массу и уменьшает амплитуду колебаний, поэтому длина вибрационных конвейеров подвесной конструкции не более 6–8 м.

Преимуществами вибрационных конвейеров подвесной конструкции являются простота; малая масса; возможность промежуточной загрузки и разгрузки; малые динамические нагрузки на опоры. К недостаткам относятся малая длина перемещения и амплитуда колебаний; снижение амплитуды при увеличении загрузки.

Основные параметры конвейеров подвесной конструкции: диаметр трубы: 160, 200, 320, 400 мм; производительность 6–50 м³/ч.

Опорные виброконвейеры. Вибрационный конвейер опорной конструкции (рис. 5) состоит из грузонесущего элемента, установленного на опорных упругих элементах под углом β к вертикальной оси опорной рамы, расположенной непосредственно на фундаменте или установленной на упругих амортизаторах [2].

Возмущающая сила привода должна быть направлена под углом направления колебаний β , ее линия воздействия должна проходить через центр инерции колебательной системы.

Основным недостатком таких конвейеров является их неуравновешенность и передача вибронагрузок на опорные конструкции, и поэтому необходимость установки фундаментов. Для уменьшения нагрузок используют тяжелую раму, установленную на амортизаторы (что значительно утяжеляет конвейер).

Опорные конвейеры с центробежными приводами имеют резонансную, а с электромагнитным и эксцентриковым приводом резонансную настройку упругой системы.

Основными параметрами вибрационных конвейеров опорной конструкции являются: амплитуда колебаний желоба 6 мм; частота 680 мин⁻¹; угол направления колебаний 22°; температура

транспортируемого груза не более $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

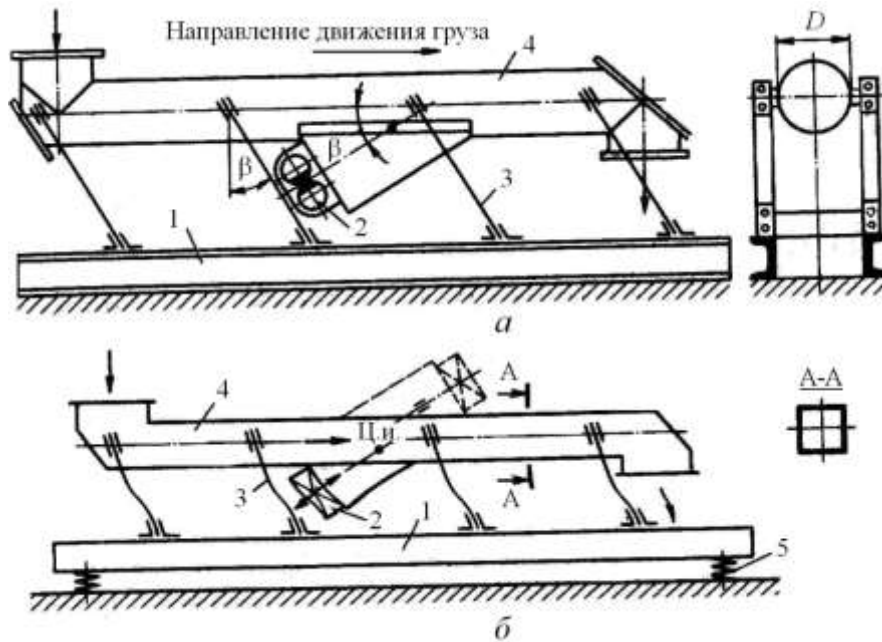


Рис. 5 Схемы опорных вибрационных конвейеров:
а – одномассного; *б* – двухмассного; 1 – опорная рама;
 2 – вибропривод; 3 – опорные упругие элементы;
 4 – желоб (труба); 5 – амортизаторы

Двухтрубный вибрационный конвейер (рис. 6) представляет собой уравновешенную двухмассную колебательную систему с нижней и верхней грузонесущими трубами, которые движутся возвратно-поступательно, параллельно друг другу со сдвигом фаз на 180° , т. е. при движении одной трубы вперед другая труба отклоняется назад на ту же величину – этим обеспечивается уравновешивание движущихся масс [2].

Транспортируемый груз перемещается по верхней и нижней трубам в одном направлении.

Основными параметрами двухтрубных вибрационных конвейеров являются: диаметр трубы: 104, 154, 220, 310, 390, 470 мм; длина 10–30 м; производительность 15–150 м³/ч.

Преимуществами двухтрубных вибрационных конвейеров являются: уравновешенность колеблющихся масс; удвоенная производительность; постоянство амплитуды колебаний; малый расход энергии из-за резонансной настройки упругой системы. К недостаткам относятся: сложность конструкции и узлов проме-

жуточной загрузки и разгрузки; большие габаритные размеры.

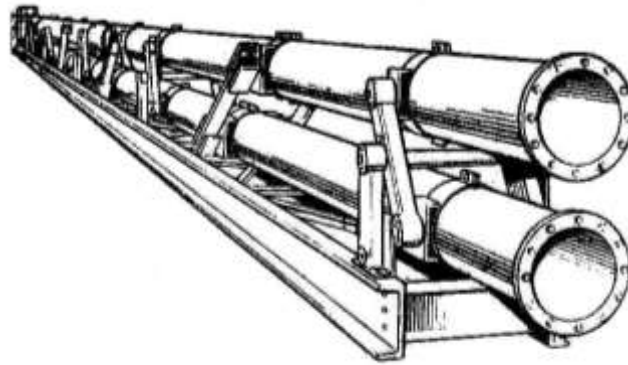


Рис. 6 Двухтрубный вибрационный конвейер

2.3. Вертикальные вибрационные конвейеры

Вертикальный вибрационный конвейер-элеватор (рис. 7) имеет жесткий каркас, с наружной стороны которого прикреплен открытый желоб (труба), по которому снизу вверх перемещается груз [2].

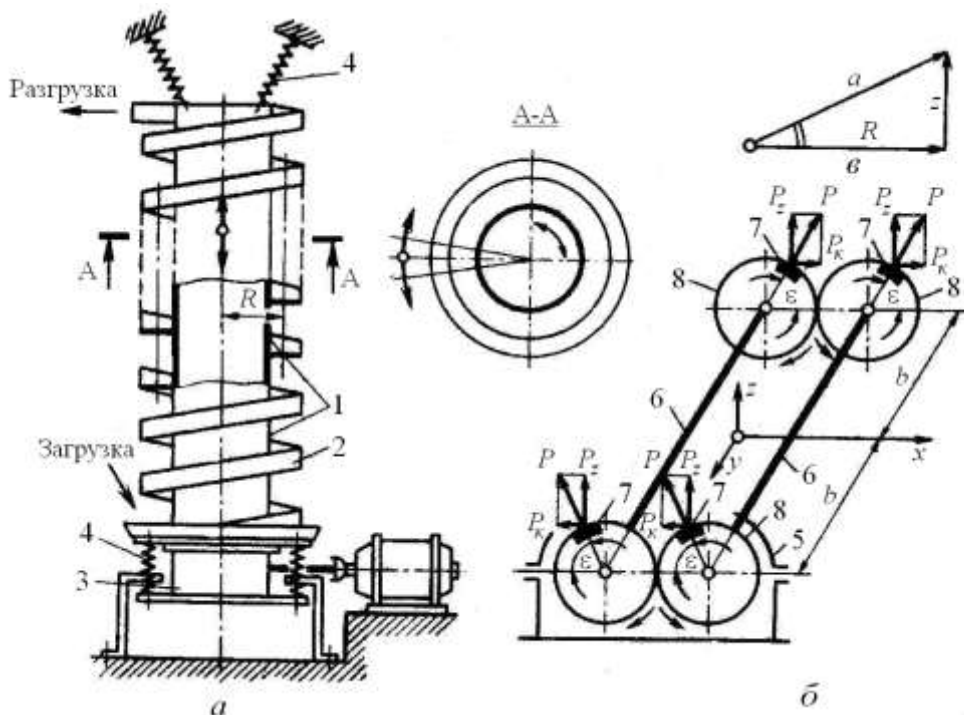


Рис. 7. Схема вертикального вибрационного конвейера:
a – конструктивная схема; *б* – двухвальный центробежный вибровозбудитель; *в* – составляющие амплитуды колебания;
 1 – цилиндрический каркас; 2 – труба; 3 – привод-вибровозбудитель; 4 – амортизаторы; 5 – каркас;
 6 – параллельные валы; 7 – диски; 8 – зубчатые передачи

Вверху или внизу каркаса устанавливается привод-вибровозбудитель, сообщающий каркасу направленные продольные и крутильные колебания, обеспечивая движение груза вверх по спирали. Каркас прикрепляют амортизаторами к опорным частям здания или фундамента.

Вертикальные составляющие P_z центробежных сил P (рис. 7) вызывают колебания конвейера вдоль его вертикальной оси, горизонтальные составляющие P_x центробежных сил, направленные в разные стороны, образуют момент, вызывающий крутильные колебания конвейера. Сочетание этих колебаний при определенной частоте и амплитуде обеспечивает транспортирование груза вверх по спирали.

Вертикальные виброконвейеры имеют частоту колебаний 1000–3000 мин⁻¹; суммарные амплитуды колебаний $a = 0,5–8$ мм.

К основным параметрам виброконвейеров относятся: диаметр желоба (трубы) $D_k = 300–900$ мм; ширина желоба 100–400 мм; производительность до 20 м³/ч; высота подъема 6–12 м.

Производительность конвейера

$$Q = 3600 F_0 \nu \psi, \quad (18)$$

где F_0 – сечение трубы (желоба), м²;

ψ – коэффициент заполнения желоба.

Скорость транспортирования

$$\nu = (K_1 \pm K_2 \sin \alpha) a \omega \cos \beta \sqrt{1 - \frac{1}{\Gamma^2}}, \quad (19)$$

где K_1 и K_2 – эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств груза;

α – угол наклона конвейера (угол подъема спирали);

a – амплитуда колебаний;

Γ – коэффициент режима работы виброконвейера.

Наружный диаметр каркаса конвейера

$$D_k \geq H / 10, \quad (20)$$

где H – высота подъема, м.

Контрольные вопросы

1. Основные типы и области применения качающихся конвейеров.
2. Преимущества и недостатки качающихся конвейеров.
3. Устройство и основные элементы качающихся конвейеров.
4. Динамические режимы работы качающихся конвейеров.
5. Основные разновидности, устройство и конструкции инерционных и вибрационных конвейеров.
6. Конструктивные особенности и основные параметры горизонтальных и пологонаклонных вибрационных конвейеров.
7. Конструктивные особенности и основные параметры вертикальных вибрационных конвейеров.

Литература

1. Ромакин, Н. Е. Конструкция и расчет конвейеров. – Старый Оскол : ТНТ, 2011.– 504 с
2. Конвейеры: справочник / Р. А. Волков, А. Н. Гнутов, В. К. Дьячков [и др.]; ред. Ю. А. Пертен. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 367 с.: ил.
3. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины : учеб. пособие для машиностроительных вузов / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков. – 3-е изд., перераб. – М. : Машиностроение, 1983. – 487 с.: ил.
4. Ромакин, Н. Е. Машины непрерывного транспорта : учеб. пособие для студентов вузов. – М. : Академия, 2008. – 430 с
5. Батаногов, А. П. Подъемно-транспортное, хвостовое и ремонтное хозяйство обогатительных фабрик : учебник / А. П. Батаногов. – М. : Недра, 1989. – 336 с.
6. Шешко Е. Е. Горнотранспортные машины и оборудование для открытых горных работ : учеб. пособие для вузов. – М. : Изд-во Моск. горн. ун-та, 2006. – 260 с.
7. Кузнецов, Б. А. Транспорт на горных предприятиях : учебник / Б. А. Кузнецов. – М. : Недра, 1976. – 552 с.
8. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта : учебник / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – М. : Машиностроение, 1987. – 432 с.

9. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта : учеб. для студентов вузов / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1987. – 432 с.: ил.