7. ВИБРАЦИОННЫЕ КОНВЕЙЕРЫ

7.1. Общие сведения о вибротранспортирующих машинах

Вибрационные транспортирующие машины относятся к машинам непрерывного транспорта. В вибрационных машинах перемещение материала происходит инерционным способом, в результате вибрационного движения грузонесущего органа.

Такой грузонесущий орган выполняется чаще всего в виде трубы или открытого желоба, которым от какого-либо вибрационного привода сообщаются чаще всего направленные под некоторым углом к их оси гармонические колебания. Это предопределяет основные достоинства и преимущества вибротранспортирующих машин перед другими видами непрерывного транспорта:

Вибротранспортирующие машины для штучных грузов в строительстве и производстве строительных материалов используются редко, поэтому речь пойдет о наиболее распространенных конструкциях вибротранспортирующих машин для сыпучих материалов. Поличастотные ударные приводы вибротранспортирующих машин, несмотря на перспективность, до настоящего времени практического использования не получили и поэтому здесь не рассматриваются.

7.2. Горизонтальные виброконвейеры

Горизонтальные виброконвейеры предназначаются для перемещения сыпучих материалов с углом подъема не более 7…8°. Обычно они используются в технологических транспортных линиях заводов по производству строительных материалов, металлургических, химических и горнообогатительных предприятий.

По числу приводов горизонтальные виброконвейеры могут быть разделены на одноприводные и многоприводные. Вследствие сложности обеспечения синхронно-синфазной работы большого числа приводов при установке их на одном не вполне жестком рабочем органе наибольшее практическое применение получили одноприводные машины.

По типу привода горизонтальные виброконвейеры могут быть разделены на машины с дебалансным, кривошипно-шатунным, электромагнитным, пневматическим и гидравлическим приводами.

Практическое распространение получили три типа приводов – дебалансный, кривошипно-шатунный и электромагнитный (рис. 7.1). Электромагнитный привод используется главным образом в питателях (питатель – короткий горизонтальный виброконвейер, который используется в основном не для транспортирования материала, а в качестве затвора-дозатора при подаче ма­териала из бункеров).

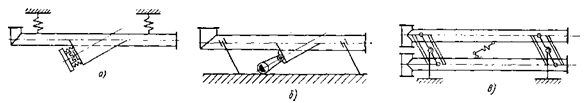


Рис. 7.1. Схемы виброконвейеров с различными типами приводов:

а – с электромагнитным; б – с деба­лансным; в – с кривошипно-шатунным

По числу колеблющихся масс горизонтальные виброконвейеры делятся на одномассные, двухмассные и многомассные.

Наиболее простыми в конструктивном отношении являются одномассные виброконвейеры подвесной конструкции. Для привода этих машин обычно используются двухвальные дебалансные (рис. 7.2, а)или маятниковые (рис. 7.2, б) вибраторы. Вибраторы обоих типов создают направленные колебания. Эти машины, как правило, подвешиваются на очень мягких упругих элементах, что обеспечивает виброизоляцию несущих конструкций.



Рис. 7.2. Схемы одномассных виброконвейеров подвесной конструкции с

приводом: *а* – от двухвалъного дебалансного вибратора;

б– от маятникового вибратора

К недостаткам таких машин следует отнести малую длину транспортирования (до 6 м). По такой схеме чаще всего выполняются короткие виброконвейеры (рис. 7.3, *а*) или питатели (рис. 7.3, б). Наиболее типичными машинами этого типа являются питатели фирмы UHDE ФРГ.

На рис. 7.4 приведены схемы одномассных виброконвейеров опорной конструкции. В этих машинах кинематика движения рабочего органа задается опорными упругими элементами, которые обычно выполняются в виде плоских рессорных пакетов или резино-металлических упругих элементов, работающих на сдвиг.

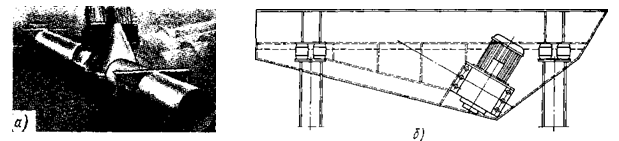


Рис. 7.3. Одномассные машины подвесной конструкции с приводом

от мотор-вибраторов фирмы UHDE (ФРГ):

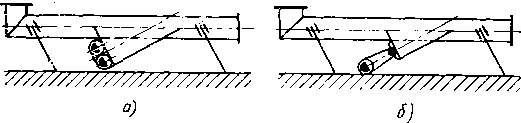
** а – трубчатый виброконвейер; б – лотковый питатель

Рис. 7.4. Схемы одномассных виброконвейеров опорной конструкции

Такие машины могут иметь большую длину транспортирования (10…15 м). Для привода виброконвейеров опорной конструкции чаще всего применяют дебалансные вибраторы с направленными колебаниями, однако не исключена возможность использования кривошипно-шатунных приводов. Наиболее существенным дефектом машин такого типа является передача относительно больших динамических нагрузок на несущие конструкции. Такие виброконвейеры выпускаются фирмой Кюттнер в ФРГ.

Большое практическое распространение получили двухмассные вибротранспортирующие машины с электромагнитным приводом (рис. 7.5 и 7.6). Электромагнитный привод обеспечивает плавную регулировку производительности машин путем изменения тока в катушке вибратора, что позволяет широко использовать такие машины в линиях автоматического регулирования.

По характеру динамической уравновешенности виброконвейеры разделяются на уравновешенные и неуравновешенные.

Виброизоляция несущих конструкций осуществляется, как правило, путем подвески машин на мягких упругих элементах.

По характеру грузонесущих элементов различают виброконвейеры одноэлементные (одножелобные или однотрубные) и двухэлементные.

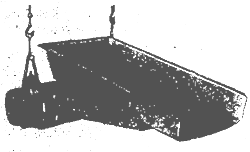


Рис. 7.5. Питатель с электромагнитным приводом фирмы «Синтрон» (США)

По характеристике и настройке упругих опорных элементов (колеблющейся системы) различают конвейеры с резонансной, дорезонансной и зарезонансной настройкой.

Недостатком машин с электромагнитными вибровозбудителями является малая длина транспортирования на один привод. Попытки создания многоприводных машин с одним рабочим органом большой длины встречаются с трудностями обеспечения согласованной работы группового электромагнитного привода. Поэтому с таким приводом обычно выполняются одноприводные питатели.

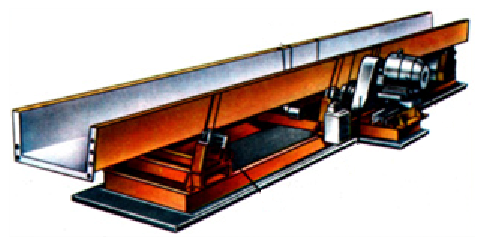


Рис. 7.6. Опорный виброконвейер с электромагнитным приводом

фирмы AEG (ФРГ)

Питатели с электромагнитным приводом выпускаются многими компаниями. В их числе фирмы Sintron (США), AEG (ФРГ), Lokker (Англия).

Горизонтальные виброконвейеры большой длины и производительности чаще всего выполняются по двухмассной схеме (рис. 7.7) с резонансной или околорезонансной настройкой. Такая настройка позволяет значительно снизить усилия, действующие в приводе в режиме установившихся колебаний, и соответственно уменьшить его габариты.

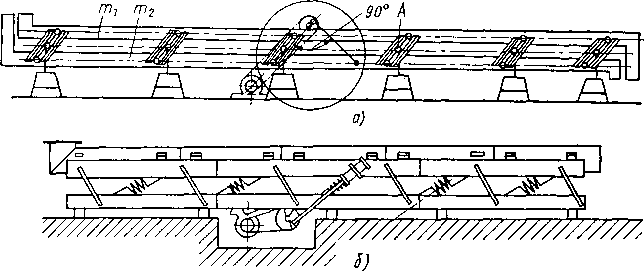


Рис. 7.7. Схемы двухмассных горизонтальных резонансных

виброконвейеров с кривошипно-шатунным приводом:

а – с двумя грузонесущими органами; *б* – с одним грузонесущим органом

Для привода горизонтальных двухмассных виброконвейеров наиболее широкое применение получили кривошипно-шатунные механизмы. Двухмассные виброконвейеры могут иметь либо один, либо два грузонесущих органа. Уравновешенные виброконвейеры с двумя грузонесущими органами достигают 100 м длины на один привод. Виброконвейеры с одним грузонесущим органом достигают 30 м длины на один привод. К недостаткам конвейеров такого типа следует отнести затрудненные условия пуска. Обычно для облегчения запуска в шатуны кривошипно-шатунного привода таких виброконвейеров встраивают упругие элементы, которые могут обладать как линейной, так и нелинейной характеристикой.

Двухмассные виброконвейеры с кривошипно-шатунным приводом выпускаются фирмами Binder (Австрия) (рис. 7.8), Humboldt (ФРГ) (рис. 7.9), Sineks (Франция) и рядом других.

В последние годы стали появляться многомассные горизонтальные виброконвейеры (рис. 7.10). Привод этих машин осуществляется от двухвального самосинхронизирующегося вибратора, результирующая возмущающая сила которого направлена вдоль оси грузонесущего органа.

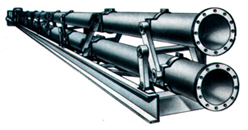


Рис. 7.8. Двухмассный виброконвейер с кривошипно-шатунным приводом

и двумя грузонесущими органами фирмы «Binder» (Австрия)

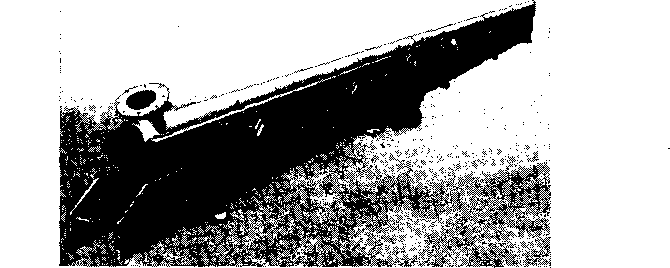


Рис. 7.9. Двухмассный виброконвейер с кривошипно-шатунным приводом с одним грузонесущим органом фирмы «Humboldt» (ФРГ)

Вертикальная составляющая колебаний возбуждается резонансно-подвешенными к грузонесущему органу с некоторым шагом массами. Колебания этих масс возбуждаются приводом, а угол подвески их таков, что результирующая колебаний грузонесущего органа направлена под некоторым углом к его оси, что обеспечивает транспортирование материала. Привод сообщает колебания грузонесущему органу через горизонтальные плоские рессоры и поэтому передача на него вертикальной составляющей колебаний грузонесущего органа исключается. Описанные многомассные виброконвейеры выпускаются фирмой Kuttner (ФРГ).

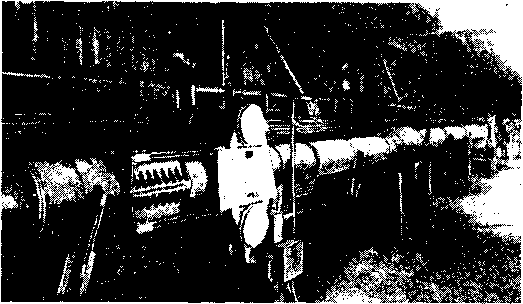
-

Рис. 7.10. Многомассный виброконвейер фирмы «Humboldt» (ФРГ)

В отечественной практике из всех рассмотренных схем чаще всего используются для питателей одномассная схема с дебалансным приводом и двухмассная схема с электромагнитным приводом; для легких горизонтальных конвейеров одномассная схема с дебалансным приводом и для горизонтальных конвейеров большой длины и производительности двухмассная схема с кривошипно-шатунным приводом. Поэтому в дальнейшем будут более подробно рассмотрены машины, выполненные по этим схемам.

7.3. Вертикальные виброконвейеры

Вертикальные виброконвейеры предназначаются для подъема сыпучих материалов и штучных грузов. Они позволяют совместить транспортирование материала с его технологической обработкой – подогревом, сушкой, увлажнением и т.п. Вертикальный виброконвейер, как правило, представляет собой вертикально установленную несущую трубу, на наружной стенке которой приварен по винтовой линии желоб с углом подъема до 8°. На несущей трубе устанавливается вибропривод, который сообщает всей конструк­ции возвратно-поступательное движение по винтовой линии относительно оси несущей трубы с углом подъема на среднем диаметре желоба 40…50°.

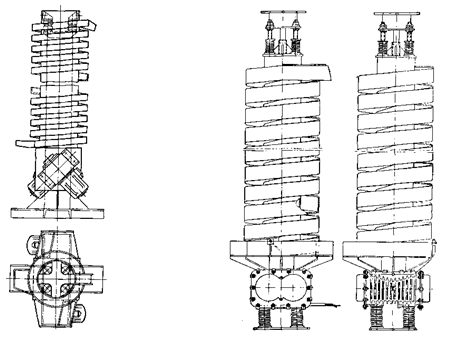
По типу привода вертикальные виброконвейеры могут быть разделены на машины с дебалансным, кривошипно-шатунным и электромагнитным приводами. В виброконвейерах для сыпучих материалов чаще применяются первые два типа приводов.

По числу колеблющихся масс вертикальные виброконвейеры делятся на одномассные и двухмассные. Наибольшее распространение получили более простые одномассные машины с дебалансным приводом. Такие виброконвейеры выпускаются многими компаниями, например UHDE (ФРГ) (рис. 7.11).

В России ряд таких машин разработан во ВНИИСтройдормаше (рис. 7.12).

Высота подъема материалов виброконвейеров с дебалансным приводом обычно не превышает 6…8 м, а производительность 15м3/ч.

Виброизоляция одномассных виброконвейеров с дебалансным приводом осуществляется путем установки или подвески их на мягких виброизолирующих упругих элементах.



|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рис. 7.11. Одномассный вертикальный виброконвейер фирмы UHDE (ФРГ) с приводом от двухвального дебалансного вибратора |  | Рис. 7.12. Одномассный вертикальный виброконвейер конструкции  ВНИИСтройдормаша с приводом от двухвального вибратора |

Такие конвейеры имеют частоту колебаний при электромагнитными возбудителями до 3000 кол/мин, с центробежными – 1000… 1500 кол/мин; с эксцентриковыми – 600…700 кол/мин. Амплитуда колебаний составляет 0,5…8 мм.

Вертикальные виброконвейеры с кривошипно-шатунным приводом чаще всего настраиваются на околорезонансный режим работы. Машины такого типа при диаметре желоба 300…900 мм и его ширине 100…400 мм обеспечивают высоту подъема материала до 12 м при производительности до 20 м3/ч. Их основным недостатком является наличие больших динамических усилий, передаваемых на несущие конструкции. Резонансные вертикальные виброконвейеры с кривошипно-шатунным приводом выпускаются фирмой Venancetti (Италия) (рис. 7.13).

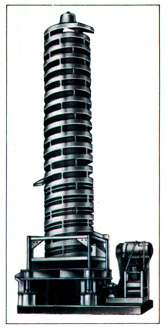


Рис. 7.13. Одномассный вертикальный виброконвейер фирмы «Venancetti» (Италия) с кривошипно-шатунным приводом

В последние годы появились конструкции двухмассных резонансных вертикальных виброконвейеров. Такие машины позволяют снизить динамические нагрузки, передаваемые на несущие конструкции, и в то же время сохраняют преимущества резонансных виброконвейеров.

7.4. Описание конструкций виброконвейеров, их настройка

и выбор основных параметров

Широкое распространение двухмассных горизонтальных виброконвейеров с кривошипно-шатунным приводом вызвано рядом их преимуществ перед виброконвейерами других систем. К этим преимуществам относятся: большая длина транспортирования на один привод, простота снижения динамических нагрузок, передаваемых на несущие конструкции, до допустимых норм, низкая энергоемкость, простота настройки, надежность в работе.

Уравновешенный конвейер с двумя грузонесущими органами (см. рис. 7.7, а) представляет собой двухмассную колебательную систему. Обеими колеблющимися массами являются грузонесущие органы (открытый или закрытый желоб или труба). Грузонесущие органы связаны между собой упругими элементами, которые обычно выполняются в виде резино-металлических упругих блоков, работающих на сдвиг, или в виде плоских рессорных пакетов.

Собственная частота системы на упругостях, связывающих грузонесущие органы, подбирается близкой к частоте вынужда­ющей силы. Кинематика движения грузонесущих органов задается упругими элементами, установленными с определенным шагом по их длине, и качалками, шарнирно связывающими оба грузонесущих органа (рис. 7.14).

Направление колебаний грузонесущих органов из условий максимальной производительности задается в пределах 25…35° к их оси.

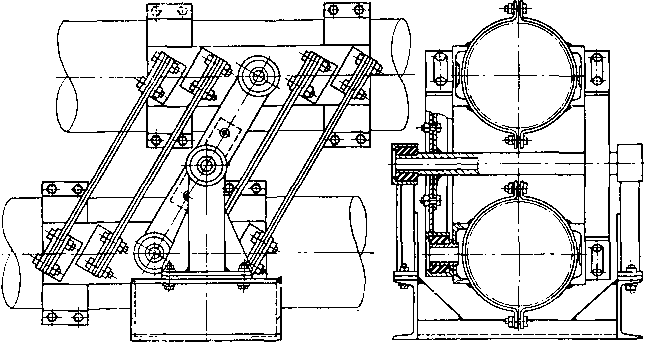


Рис. 7.14. Опорный узел двухмассного резонансного виброконвейера

с двумя грузонесущими органами

Вследствие равенства масс и амплитуд колебаний обоих грузонесущих органов и противофазного движения их относительно друг друга средняя точка А (см. рис. 7.7, а) качалок остается не подвижной. Таким образом, при опирании конвейера на эти точки, передача колебаний на несущие конструкции в основном исключается. Шарниры качалок, связывающие грузонесущие органы и опорные шарниры, как правило, выполняются в виде резино-металлических сайлентблоков.

Наибольшего эффекта достигают при транспортировании сухих однородных порошкообразных, зернистых и мелкокусковых материалов (песка, шлака и т.д.); скорость транспортирования по горизонтали составляет 0,3…0,6 м/с. При транспортировании неоднородных частиц скорость падает в 2…3 раза.

Для пылевидных материалов (цемент), а также несортированных материалов с большим количеством (более 60 %) пылевидных частиц угол наклона конвейера при транспортировании вверх не превышает 5°.

**7.5. Расчет вибрационных конвейеров**

Для расчета конвейера задаются исходными данными: параметрами транспортируемого материала; необходимой производительностью *Q*т конвейера; условиями работы конвейера; длиной конвейера.

Из табл. 7.1 для заданного типа конвейера принимаем коэффициент режима Г.

*Таблица 7.1*

**Рекомендуемые значения режима работы Г вибрационных конвейеров**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Конструкция конвейера | Тип вибрационного привода | Коэффициент Г для транспортирования материалов | |
| Пылевидных и кусковых | Кусковых |
| Однотрубные (одножелобчатые) легкого и среднего типов (при *Q* ≤ 50 т/ч) подвесной и опорной конструкции | Центробежный или  электромагнитный | 3,0…3,3 | 2,8…3,0 |
| Тоже тяжелого типа  (при *Q* ≤ 50 т/ч) | То же | 2,0…2,5 | 1,8…2,3 |
| Одно-, двухтрубные уравновешенные, легкого и среднего типов (при *Q* ≤ 50 т/ч) и *L* ≤ 30 м) | Эксцентриковый | 1,6…2,8 | 1,5…2,5 |
| Тоже тяжелого типа (при *Q* ≤ 50 т/ч и *L* > 30 м) | То же | 1,3…2,5 | 1,2…2,0 |

По табл. 7.2 подбираем рекомендуемую амплитуду колебаний несущих элементов.

Определяем частоту колебаний конвейеров с эксцентриковым или центробежным приводами по формуле:

** (7.1)

где α – угол наклона конвейера, град; β – направление колебаний, угол между направлением возмущающей силы и продольной осью конвейера, β = 20…30°.

*Таблица 7.2*

**Рекомендуемые значения амплитуды а и частоты колебаний ωв вибрационных конвейеров**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип привода | ω, с-1 | *а*, мм, для материалов | |
| Пылевидных и кусковых | Кусковых |
| Электромагнитный | 300 | 1,2…2,0 | 0,8…1,0 |
| Центробежный одинарный | 150…280 | 1,2…3,0 | 0,8…2,5 |
| Центробежный сдвоенный | 100…150 | 2,0…4,0 | 2…3,0 |
| Эксцентриковый | 45…80 | 5…15 | 4,0…8,0 |

Для конвейеров с электромагнитным приводом и фиксированной частотой колебаний определяют амплитуду колебаний желоба:

** (7.2)

Критическая частота вращения эксцентрикового вала

**

Скорость транспортирования зависит от свойств транспортируемого материала и угла наклона конвейера по формуле:

** (7.3)

где *K*1 и *K*2  – эмпирические коэффициенты, зависящие от свойств транспортируемого материала (табл. 7.3).

*Таблица 7.3*

**Обобщенные значения коэффициентов *K*1 и *K*2**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Транспортируемый материал | Размер характерных частиц, мм | Влажность, % | *K*1 | *K*2 |
| Кусковой | 5…200 | - | 0,9…1,1 | 1,5…2,1 |
| Зернистый | 0,5…5,0 | 0,5…10 | 0,8…1,0 | 1,6…2,5 |
| Порошкообразный | 0,1…0,5 | 0,5…5,0 | 0,4…0,5 | 1,8…3,0 |
| Пылевидный | Менее 0,1 | 0,5…5,0 | 0,2…0,5 | 2,0…5,0 |

В выражении (7.3) знак «–» в скобках принимается для конвейеров, работающих на подъем, а знак «+» для конвейеров, работающих на спуск.

Для горизонтальных конвейеров *K*2 sin α = 0 и скорость

 (7.4)

Диаметр трубы при выбранном числе грузонесущих элементов *z* и принятом коэффициенте их наполнении ψ определяют по формуле:

** (7.5)

Проверка по условию размещению кусков материала:

**

Общая масса колеблющейся частей части конвейера (одного грузонесущего элемента) вместе с материалом и прикрепленными частями

*т* = *т*э + *т*п + *т*гλ . (7.6)

Массу элемента *тʹ*э

*тʹ*э = *q*э*L*, (7.7)

где *q*э – масса 1 м грузонесущего элемента, для трубы

*q*э = ρπ*D*δт. (7.8)

Масса элемента вместе с прикрепленными к нему деталями

*т*э = 1,3 *тʹ*э. (7.9)

Масса материала, находящегося в одном грузонесущем элементе

*т*г = *q*г*L*, (7.10)

где *q*г – масса 1 м материала, находящегося в одном грузонесущем элементе,

** (7.11)

Коэффициент λ принимают в зависимости от коэффициента режима работы конвейера Г.

Требуемую жесткость упругой системы найдем из формулы

*с* = ω20*т*.

Суммарную жесткость упругой системы представляем как сумму жесткостей рессор *с*1, больших *с*2 и малых *с*3 резинометаллических шарниров, *с = с*1+ *с*2 + *с*3 откуда жесткость рессор

*с*1 *= с* – *с*2 – с3.(7.12)

Для ориентировочных расчетов принимаем число стоек в конвейере, например 10 (по пять с каждой стороны), число больших резинометаллических шарниров в одной стойке 4. Тогда больших шарниров *z*3 = 10·4; число малых резинометаллических шарниров в одной стойке *z*3 = 80 (по восемь в каждой стойке); приведенная жесткость одного большого шарнира ** всех больших шарниров **для одного малого шарнира **для всех малых шарниров **

Жесткость одной рессоры **

Здесь *z*1 количество рессор.

Приняв ширину рессоры *b*, и ее длину *l* определяем ее толщину по формуле:

** (7.13)

принимаем ближайшее большее число в мм.

Определяем напряжение изгиба в месте запрессовки рессоры:

** (7.14)

где *Е* – модуль упругости рессорной стали, *Е* = 2,15·105 МПа; *k* – коэффициент заделки рессоры, *а –* амплитуда колебаний желоба, равная радиусу кривошипа, мм; *k*  = 0,5…0,7 при δ = 4…6 мм; *k*  = 0,8…0,9 при δ = 2…3 мм; [σи] – допускаемые напряжения изгиба, для рессор из сталей 55С2, 60С2, 60С2Н2Л [σи] = 100…120 МПа.

Усилие в шатуне при установившемся движении

** (7.15)

где μ0 – обобщенный коэффициент сопротивлений, учитывающий внутреннее сопротивление в упругих элементах, μ0 = 0,1 – для стальных рессор; μ0 = 0,25…0,4 – для резиновых связей.

Мощность привода определяем по эмпирическим формулам В.К. Дьячковым:

– для коротких конвейеров длиной *L* ≤ 10 м

** (7.16)

– для конвейеров длиной *L* < 10 м

** (7.17)

где *С*в – коэффициенты транспортабельности материала: для зернистых и кусковых материалов, обладающих хорошей транспортабельностью (песок, шлак) *С*в = 1; для порошковых и пылевидных материалов с пониженной транспортабельностью *С*в = 1,5…2; *Q* – расчетная производительность конвейера, т/ч; η – КПД механизмов привода; *K*3 и *K*4 – коэффициенты удельной мощности, определяемые по табл. 7.4; *L* – горизонтальная проекция длины транспортирования материала, м; *Н* – высота подъема материала, м.

*Таблица 7.4*

**Значения коэффициентов *K*3 и *K*4**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вибрационный конвейер | Расчетная про-  изводительность  конвейера, т/ч | *K*3 | *K*4 |
| Подвесной одномассный с центробежным приводом | 5…50  Свыше 50 | 6…7  5,0…5,5 | –  – |
| Опорный одномассный с направляющими наклонными стойками с центробежным приводом | 5…50  Свыше 50 | 7…10  5,0…6,0 | 5,0…6,0  3,5…4,0 |
| Двухтрубный и однотрубный двухмассный, с экцентриковым приводом | 5…50 | С жесткими шатунами  10…12 8…10 | |
| Свыше 50 | С упругими шатунами  4,5…5,0 3,5…4,5  4,5…5,0 3,0…3,5 | |

Вопросы для самопроверки

1**.** В каких отраслях промышленности применяются вибрационные конвейеры? Какие функции они выполняют?

2. Как устроен вибрационный горизонтальный конвейер?

3. Типы приводов вибрационных конвейеров.

4. Как устроен вибрационный вертикальный конвейер?

5. Основы расчета вибрационных конвейеров.