

# Кабелеукладочные цепи



Очень часто в различных машинах рабочие операции выполняются движущимися частями. Режущая головка станка лазерной или плазменной резки, закрепленный в манипуляторе робота инструмент, тележка подъемного крана - вот примеры подвижных узлов, к которым необходимо подвести электрические кабели, трубопроводы режущего газа, пневмо- или гидротрубопроводы. Для обеспечения нормальной работы этих элементов машин и служат рассматриваемые сегодня кабелеукладочные цепи. Некоторые предприятия комплектуют производимые машины собственными цепями или их подобием. Но на рынке можно приобрести и готовые изделия. Два немецких производителя KabelSchlepp и Igus через своих дистрибьюторов предлагают широкий выбор кабелеукладочных цепей. Каталоги и материалы этих фирм использованы при написании настоящей статьи.

**Перечислять области применения таких цепей, наверное, не имеет смысла. Назову "границы": от металлорежущих станков и строительной техники до передвижных камер, снимающих спортивные соревнования.** На рис. 1 представлен общий вид кабелеукладочной цепи. Она состоит из двух или более цепных поясов, движущихся параллельно. Пояса соединены переключками различной ширины и конструкции. Пояса с переключками образуют пространство, в которое и укладываются электрические кабели и пневмо-, гидрорукава. Звенья цепи сконструированы так, что радиус изгиба лежит вдоль направления движения и не может быть меньше назначенного значения. На концах установлены кронштейны, служащие для крепления цепи к подвижной и стационарной частям машины.

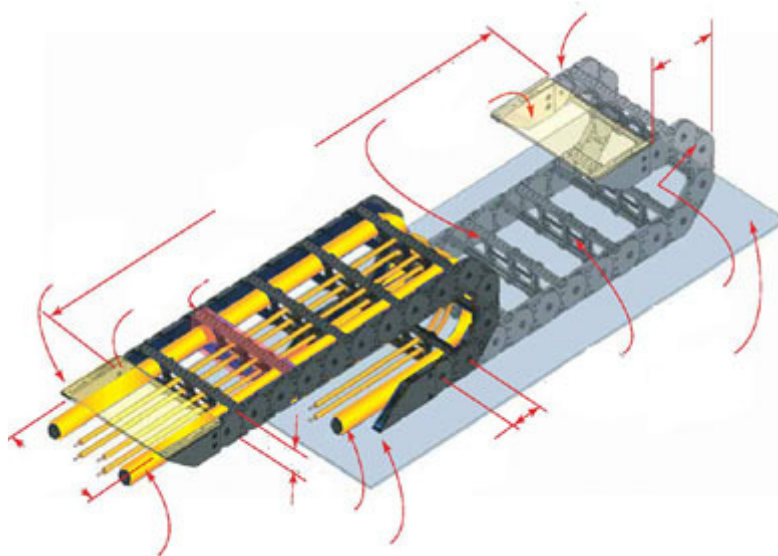


Рис. 1 Общий вид кабелеукладочной цепи

Производители предлагают кабелеукладочные цепи, выполненные из пластика или стали. Наиболее часто используются пластиковые. Стальные цепи применяются в следующих случаях: устанавливаемые кабели и рукава очень тяжелые; необходимы безопорные участки большой длины; тяжелые условия работы механизма; движение происходит по шероховатым поверхностям; высокая температура; взрывоопасной среде. В дальнейшем будут рассматриваться пластиковые цепи. Впрочем, почти все нижеизложенное можно распространить и на стальные.

По конструктивному исполнению кабелеукладочной цепи делятся на два типа: открытый (рис. 2, а) или закрытый (рис. 2, б). Закрытый тип имеет следующие особенности: уложенные кабели и рукава защищены от стружки, продуктов износа, других механических или иных воздействий; эстетичность. Однако, кабели и рукава недоступны для осмотра. Открытый тип имеет меньший вес; лучшее охлаждение частей, чем закрытый; возможность быстрого осмотра. Недостаток - незащищенность от внешних воздействий.

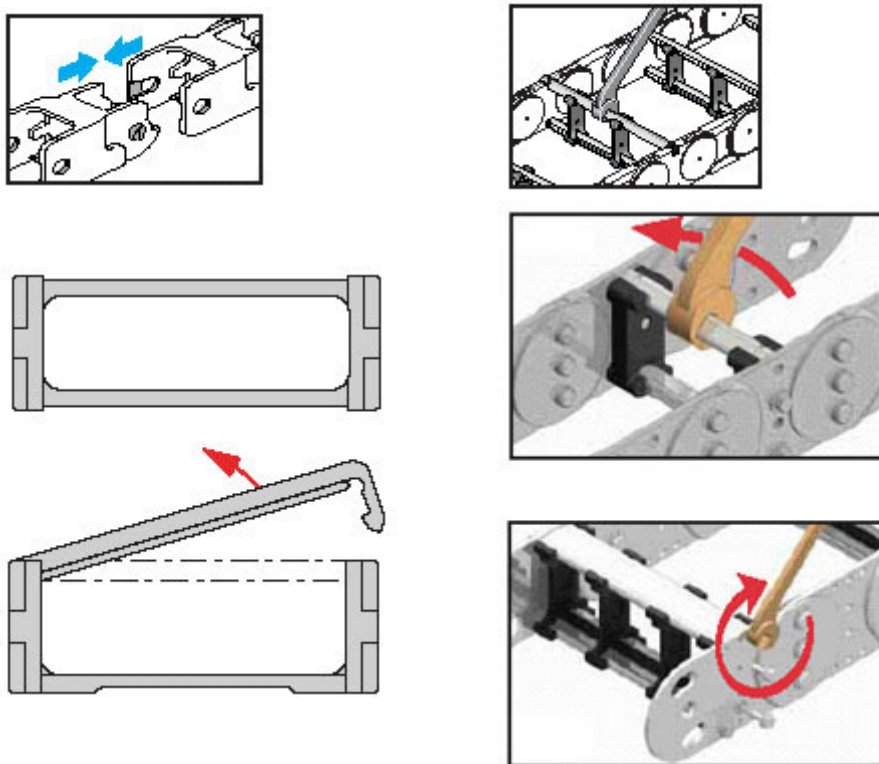


а) открытое исполнение

б) закрытое исполнение

**Рис. 2 Исполнения цепей**

По типу звеньев цепи бывают двух типов: цельного (моно) (рис. 3, а) и модульного (рис. 3, б) исполнения. Цельные звенья представляют собой литые пластмассовые детали, которые легко соединяются друг с другом, что дает возможность набирать цепи различной длины. В свою очередь такая цепь может иметь открываемые звенья или замкнутые. При замкнутых звеньях кабели или рукава должны продеваться через внутреннее пространство цепи. Открываемые звенья имеют запираемую крышку или планку. Это упрощает укладку кабелей и рукавов.



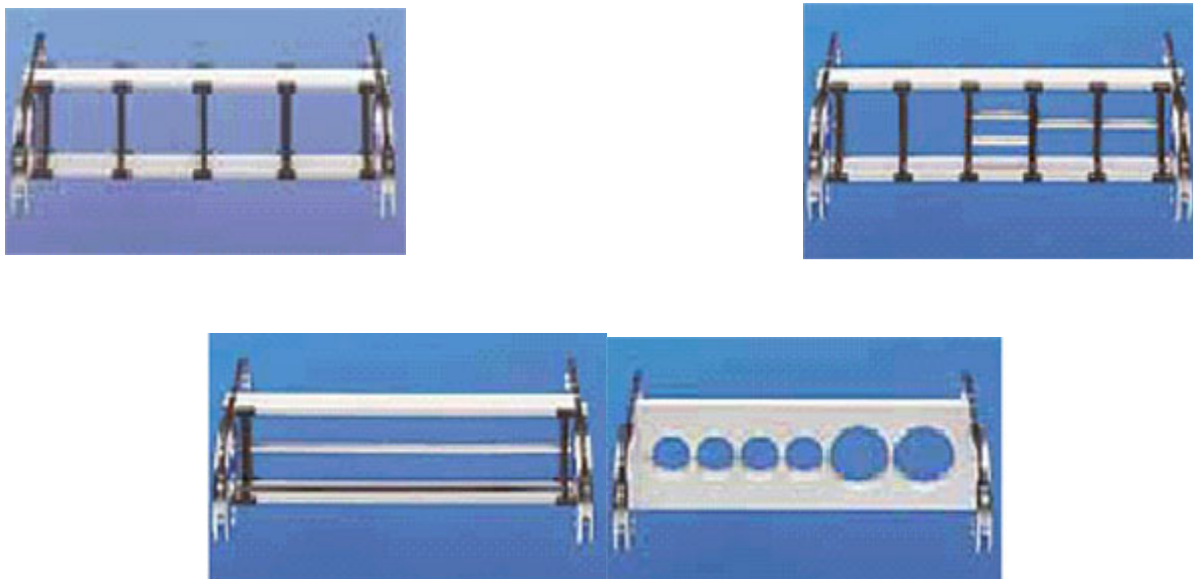
а) цельный тип

б) модульный тип

**Рис. 3 Исполнения звеньев**

Звенья модульного типа состоят из литых полимерных, алюминиевых и стальных элементов,

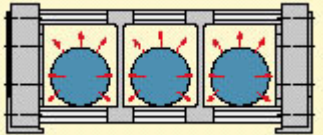
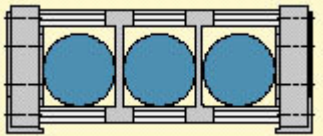
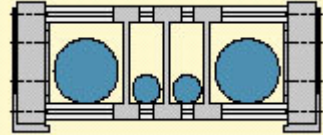
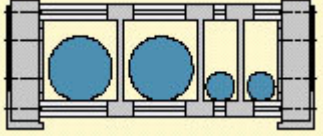
которые komponуются друг с другом. Звенья открываются поворотом планки или крышки, либо отвинчиванием части звена.

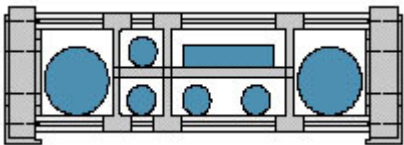
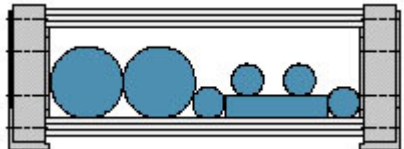


**Рис. 4 Конструкция перемычек**

Перемычки различной конструкции представлены на рис. 4. Перемычки могут иметь вертикальные и горизонтальные разделители, либо отверстия для размещения электрических кабелей и пневмо-, гидрорукавов. Функции разделителей и рекомендации по их применению приведены в таблице 1.

**Таблица 1 Применение разделителей**

Заполнение цепи	 <p>Правильное размещение</p>	Пространство в каждой ячейке цепи больше диаметра кабелей и рукавов плюс необходимый зазор. Общее заполнение кабелями и рукавами не должно превышать 60% внутреннего пространства цепи.
	 <p>Не рекомендуется</p>	Кабели и рукава заполняют весь внутренний объем, что приводит к их преждевременному износу и износу цепи.
Распределение веса	 <p>Правильное размещение</p>	Кабели и рукава равномерно и симметрично распределены по внутреннему пространству цепи. Цепь сбалансирована.
	 <p>Не рекомендуется</p>	Неравномерное распределение приводит к неуравновешенности цепи и может стать причиной аварии

Применение вертикальных разделителей	 <p>Правильное размещение</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Разнородные компоненты необходимо прокладывать отдельно</li> <li>• Необходимо разделять компоненты с разной оболочкой</li> <li>• Предотвращает переплетение и повреждение кабелей и рукавов</li> <li>• Улучшает равномерность распределения веса</li> <li>• Необходимо использовать при диаметре кабеля или рукавов меньшем 60% выбранной высоты цепи</li> </ul>
	 <p>Не рекомендуется</p>	

Выбор кабелеукладочной цепи, прежде всего, зависит от характера движения механизма, к которому подведены уложенные в нее кабели и рукава. Рассмотрим наиболее распространенные схемы установки цепей.

На рис. 5 представлена горизонтальная установка самоопирающейся цепи. Верхняя часть цепи может свободно перемещаться, т.е. она не имеет опоры и прогиба. Эта схема установки наиболее распространена. В зависимости от типа цепи и весовой нагрузки может использоваться вплоть до хода механизма  $10\text{ м}$ ; допускает максимальную скорость перемещения (до  $40\text{ м/с}$ ) и ускорение (до  $300\text{ м/с}^2$ ); имеет возможность огибать выступающие части механизма.

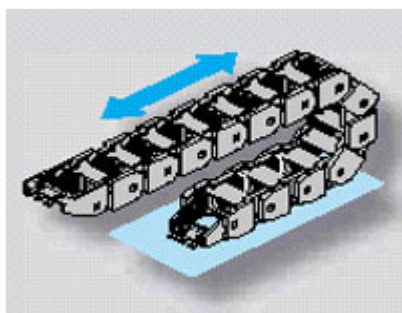


Рис. 5 Самоопирающаяся цепь

При большой весовой нагрузке и большом ходе механизма ( $12...14\text{ м}$ ) применяется схема, изображенная на рис. 6, которая получила название "с допустимым прогибом". Однако, в этом случае при ускорениях свыше  $1\text{ м/с}^2$  может возникнуть вертикальная вибрация свободного участка цепи. Для борьбы с этим эффектом стараются уменьшить полную высоту цепи. Еще одним недостатком является требование к отсутствию у механизма выступающих частей.

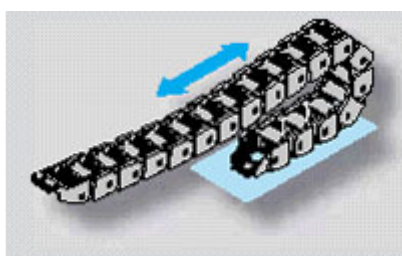


Рис. 6 Цепь с допустимым прогибом

Если допустимая длина самоопирающейся кабелеукладочной цепи превышена, то верхний участок цепи дополнительно опирают на лоток или ролик (рис. 7). Вместе с тем, можно также

применить самоопирающуюся цепь большого типоразмера (если это позволяет отведенное цепи место). Применение опоры более предпочтительно. Встречаются схемы с одной (рис. 8, а) или двумя (рис. 8, б) опорами. Рекомендуемое расположение опор можно определить по рис. 8.

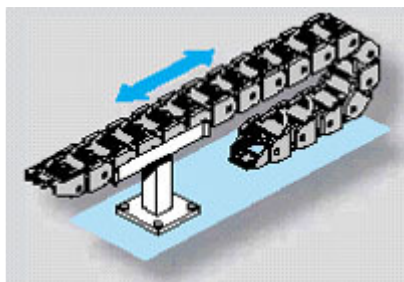
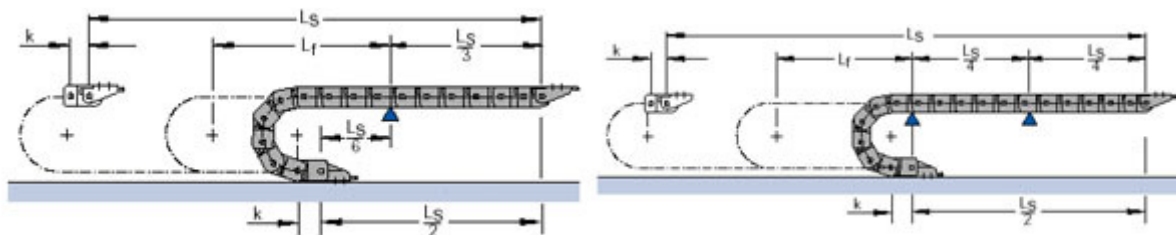


Рис. 7 Цепь с опорой



а) одна опора

б) две опоры

Рис. 8 Размещение опор

Для очень большого хода механизма, который не может быть обеспечен приведенными выше цепями, применяют схему "скользящая в направляющем лотке" (рис. 9). Верхняя подвижная ветвь цепи прогнута до соприкосновения с нижней и скользит по ней, либо по направляющему лотку. Производители гарантируют малое значение силы трения. Обязательно применение направляющего лотка. На звеньях цепи предусмотрены специальные ползуны, обеспечивающие низкий коэффициент трения.

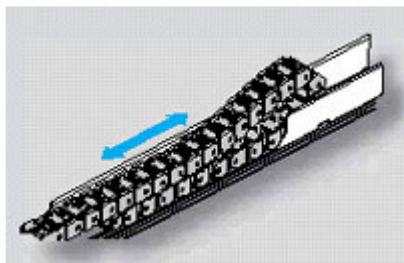
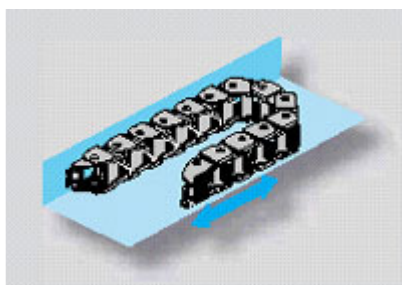


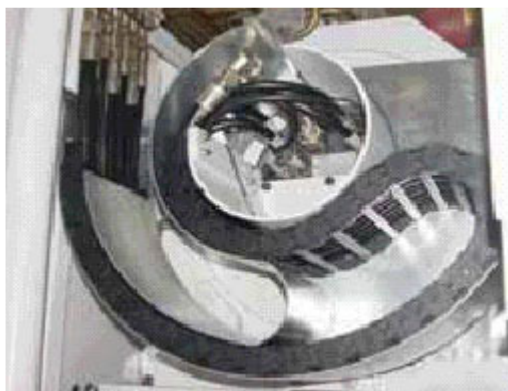
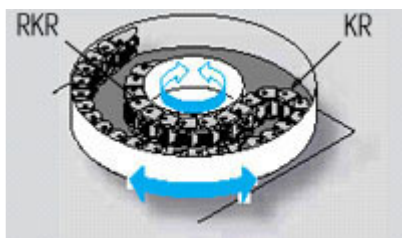
Рис. 9 Скользящая цепь с направляющим лотком

При очень ограниченном по высоте пространстве, отведенном для кабелеукладочной цепи, применяют схему установки "горизонтальная повернутая на  $90^\circ$  (лежащая на боку)" (рис. 10). Цепь, установленная в "нормальное" горизонтальное положение, повернута на  $90^\circ$ , т.е. скользит наружной стороной цепного пояса или специального диска по опорной поверхности или лотку. Эта схема установки требует особо надежного разделения и фиксации уложенных в цепь кабелей и рукавов. Только в этом случае гарантирован их длительный срок службы. Рекомендуется укладка в перемычки с отверстиями. Такая схема установки может применяться фактически для всех типов цепей.



**Рис. 10** Развернутая горизонтальная установка

Для кругового движения применяют схему, изображенную на рис. 11. Она носит название "с обратным радиусом изгиба". Комбинация изгиба с радиусом  $KR$  и обратного изгиба с радиусом  $RKR$  позволяет цепи совершать управляемое круговое движение двух точно определенных направлениях. Таким образом реализуется большинство перемещений подобного рода. Цепь присоединена к внутреннему и наружному кольцу направляющего канала. Подвижное кольцо (внутреннее или наружное) ведет цепь. При этой схеме установки она обязательно укладывается в лоток. Конструкция лотка должна обеспечивать малый износ цепи, которая скользит боковой стороной по дну лотка и опирается на его стенки. Иногда для этого применяют специальные пластиковые ползуны, гарантирующие хорошее скольжение и длительный срок службы.



**Рис. 11** Цепь для кругового движения

Следующим видом движения, который встречается в машинах и механизмах, является вертикальное перемещение. На рис. 12 представлена схема "цепь стоит". К установке цепи в этом случае предъявляются следующие требования: обеспечить параллельность движения ведущей и ведомой частей цепи; присоединение цепи к фиксированной точке и ведущему механизму должно быть жестким; расстояние между этими точками должно соответствовать радиусу изгиба; отсутствие или минимальное значение предварительного натяжения. Правильная укладка кабелей и рукавов для этой схемы особенно важна: они не должны испытывать никакого давления со стороны перемычек; их вес должен быть равномерно и симметрично размещен по сечению цепи; радиус изгиба подобран правильно.



## Рис. 12 Вертикальная установка "цепь стоит"

На рис. 13 представлена вторая схема установки цепи для вертикального перемещения - "цепь висит". При этой установке механизм может совершать как чисто вертикальное движение, так и комбинированное: вертикальное и горизонтальное. Требования к укладке кабелей и рукавов такие - же, как для предыдущей схемы. Для комбинированных перемещений (вертикальных и горизонтальных) применяют также схему, приведенную на рис. 14.

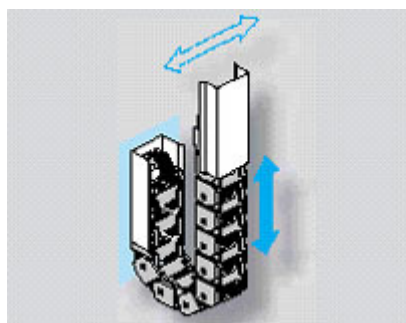


Рис. 13 Вертикальная установка "цепь висит"

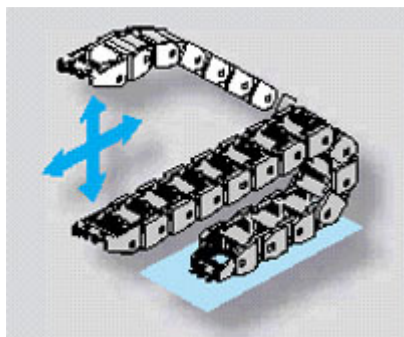


Рис. 14 Цепь для комбинированных перемещений

Рассмотренные схемы установки и цепи предназначены для механизмов, имеющих одну или две линейных оси перемещения. Однако, современные сложные механизмы, прежде всего роботы, могут иметь больше степеней свободы. Для таких задач предлагаются так называемые мультиосевые (3D) цепи, изображенные на рис. 15.



Рис. 15 Мультиосевые цепи

Производители предлагают очень широкий ассортимент кабелеукладочных цепей. Для описания всех типов и указания размеров даже одного производителя не хватит и всего журнала. Ограничимся диапазоном размеров: ширина от 6 до 600 мм; высота сечения от 10 до 108 мм; радиусы изгиба от 20 до 600 мм; ход механизма при самоопирающейся цепи 1 до 10 м; максимальный ход механизма до 350 м.

Исходными данными для выбора кабелеукладочной цепи являются: диаметр электрических кабелей  $d_э$ , мм; диаметр пневморукавов  $d_п$ , мм; диаметр гидрорукавов  $d_г$ , мм; максимальная скорость перемещения рабочего органа,  $V$ , м/с; ускорение  $a$ , м/с<sup>2</sup>; распределенная нагрузка от веса кабелей и рукавов (с учетом заполнения),  $q$ , кг/м; ход механизма  $L_s$ , мм. Расчет производится в следующей последовательности.

1. Определить высоту внутреннего пространства кабелеукладочной цепи  $h_j$ , мм (рис. 16), значение которой определяется наружным диаметром проложенных кабелей и рукавов плюс необходимый зазор  $X$ . Для электрического кабеля  $X_э = 0,05 \cdot d_э$ , но не менее 1 мм; для пневматических рукавов  $X_п = 0,075 \cdot d_п$ , но не менее 2 мм; для гидравлических рукавов  $X_г = 0,1 \cdot d_г$ , но не менее 3 мм. Высота  $h_j$  стандартной цепи должна быть больше максимального из значений  $d+2X$ .

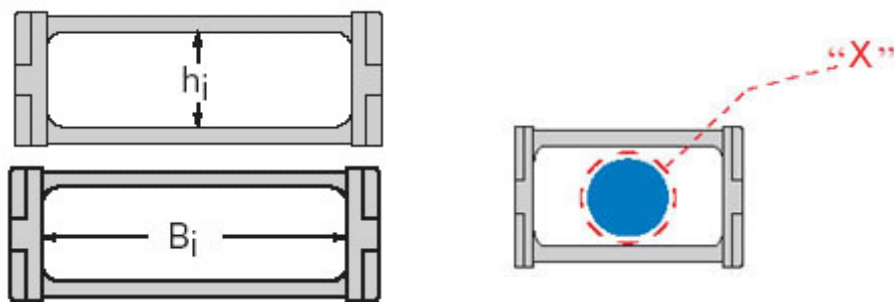


Рис. 16 Определение внутренних размеров

2. Определить суммарную ширину кабелей и рукавов  $w_j$ , мм (рис. 16), которая равна сумме вышеупомянутых диаметров с необходимыми зазорами,  $w_j = \sum(d_э + 2X_э) + \sum(d_п + 2X_п) + \sum(d_г + 2X_г)$ .

3. Распределить кабели и рукава по сечению цепи и выбрать конструкцию перемычки (рис. 4), следуя рекомендациям таблицы 1.

4. Если в соответствии с рекомендациями таблицы требуется применение вертикальных разделителей с толщиной раз,  $\delta_{раз}$ , мм, то потребная ширина цепи равна  $B_i = w_j + \sum \delta_{раз}$ . Следует иметь в виду, что вертикальные разделители могут быть установлены с интервалом в 2, 3 или 4 звена цепи. По умолчанию разделители размещены через 2 звена. Максимальный рекомендуемый интервал составляет 0,5 м.

5. Если потребная ширина  $B_i$  получилась больше имеющихся типоразмеров, возможно применение горизонтальных полок. Все изложенные рекомендации по конструированию остаются в силе.

6. По каталогам производителя выбрать тип цепи, конструкцию звеньев, схему установки и т.д. При этом необходимо учитывать действующие скорости и ускорения.

7. Необходимо определить радиус изгиба кабелеукладочной цепи  $KR$ , мм и монтажную высоту  $H$ , мм (рис. 17). Для этого необходимо умножить минимальный радиус изгиба наибольшего применяемого кабеля или рукава на коэффициент безопасности и подобрать ближайший стандартный. Радиус изгиба кабеля или рукава задается их производителем, но при отсутствии этих данных можно дать следующие общие рекомендации: для электрических кабелей  $KR = (7,5 - 10) \cdot d_э$ , для рукавов  $KR = (10 - 12) \cdot d_{ка}$ . Монтажная высота должна быть на 10% больше расчетной.



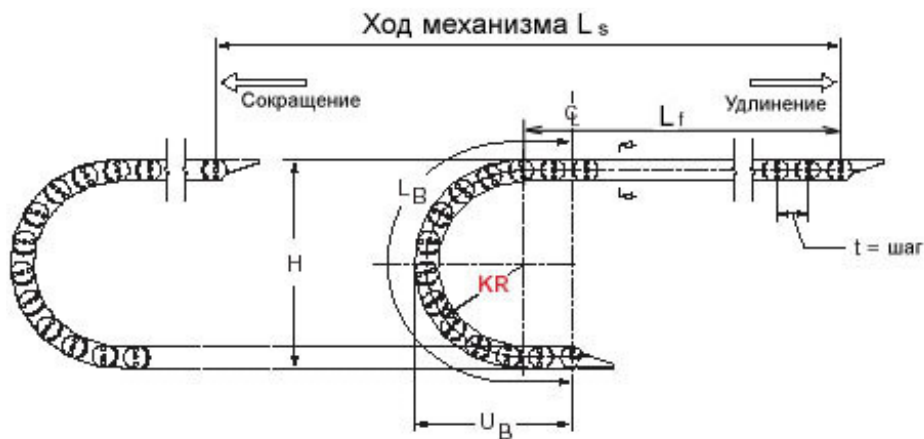


Рис. 17 Расчет длины цепи

8. Определяем требуемую длину цепи  $L_k$ , мм и длину свободного участка цепи  $L_f$ , мм. Длина цепи  $L_k$  зависит от характера движения механизма и точки фиксации неподвижного конца. В таблице 2 приведены расчетные формулы для наиболее распространенных вариантов установки цепи. В приведенных формулах  $t$ , мм - шаг звеньев цепи. Общее число звеньев  $n$  определится по

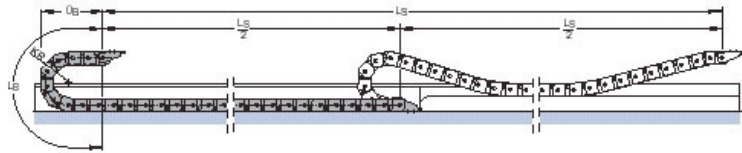
$$n = \frac{L_k}{t}$$

формуле

Таблица 2 Определение размеров цепи

Описание схемы	Схема установки	Расчетная формула
Самоопирающаяся (точка фиксации в середине линии перемещения)		$L_f = \frac{L_s}{2} + t$ $L_k = \frac{L_s}{2} + L_B$ $L_B = \pi \cdot KR + 2 \cdot t$
Самоопирающаяся (точка фиксации смещена от середины линии перемещения)		$L_k = \frac{L_s}{2} + L_f + L_B$ $L_B = \pi \cdot KR + 2 \cdot t$
С допустимым прогибом (точка фиксации в середине линии перемещения)		$L_f = \frac{L_s}{2} + t$ $L_k = \frac{L_s + KR}{2} + L_B$ $L_B = \pi \cdot KR + 2 \cdot t$

Скользкая с направляющим лотком (точка фиксации в середине линии перемещения)



$$L_c = \frac{L_s}{2} + L_p$$

$$L_p = \pi \cdot K_R + 2 \cdot t + K_R$$

9. После определения длины цепи и схемы установки необходимо определить по данным производителя максимально допустимую весовую нагрузку и сравнить ее с нагрузкой  $q$ , кг/м. На рис. 18 приведен типовой график определения максимально допустимой весовой нагрузки.

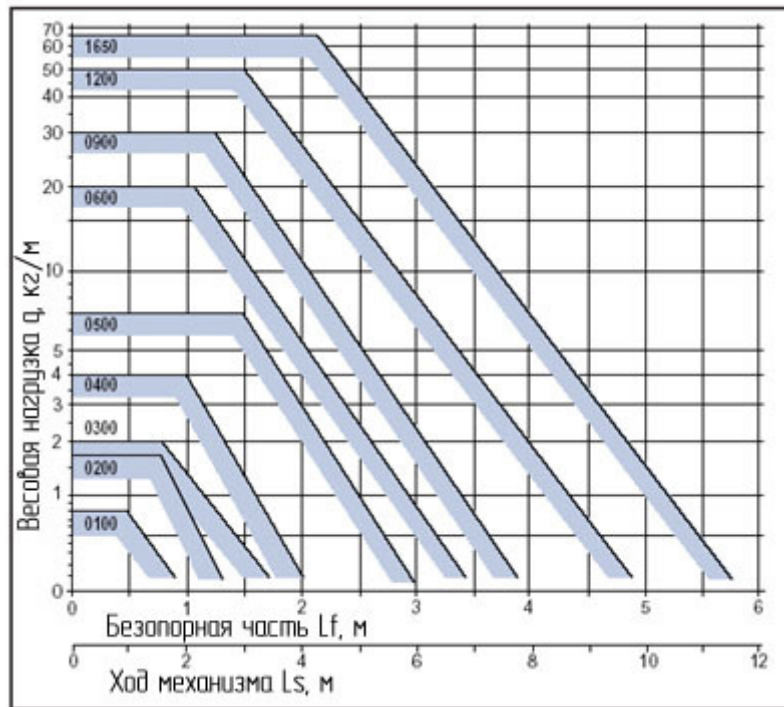


Рис. 18 Допустимая весовая нагрузка