

## Лекция 3 ГИБКИЕ ОРГАНЫ

### *Рассматриваемые вопросы*

Гибкие органы. Назначение и разновидности. Материалы и конструкции канатов. Стальные проволочные канаты. Параметры режимов работы и конструкционные факторы, влияющие на срок службы каната. Методика подбора каната по правилам Госпромнадзора. Цепи сварные и пластинчатые: материалы и конструкции, область применения, подбор и расчет.

В грузоподъемных машинах и механизмах и в процессах перемещения грузов с их использованием применяются гибкие элементы (гибкие органы) различного назначения: для обвязки тарных и штучных грузов, в качестве строп для крепления и подвешивания грузов, в качестве тяговых или грузонесущих и грузоподъемных органов. Для этих целей применяются канаты или цепи.

Пеньковые, хлопчатобумажные и синтетические канаты используются в основном для обвязки и зачалки груза (прикрепления к крюку). В качестве строп применяются пеньковые и стальные канаты, стропы-ленты. В качестве основного грузового органа (грузоподъемного или грузонесущего) используются стальные канаты и грузовые цепи. Канаты могут быть: стальные, пеньковые, хлопчатобумажные и из синтетических материалов. Перспективным является использование синтетических канатов (нейлон, стеклопластик), обладающих устойчивостью к влаге, высокой прочностью и долговечностью. В последнее время применяются и разрабатываются новые типы канатов – фасоннопрядные, с пластически обжатými прядями, комбинированные и т. д.

Пеньковые канаты изготавливают из пеньки двух видов: канаты из обыкновенной пеньковой пряжи и смольные из просмоленной пеньковой пряжи. Последние лучше противостоят гниению, но имеют пониженную механическую прочность из-за термического просмаливания. Достоинством пеньковых канатов является большая гибкость, малый вес и легкость вязки. Они должны соответствовать требованиям ГОСТ 483-75 «Канаты пеньковые».

Стропы-ленты изготавливают из полиамидной ткани или ленты с каркасом из стальных тонких канатов, находящихся в оболочке из пластмассы, и парусиновых полотнищ.

По структуре (строению) пеньковые канаты делятся на тросовые (рис. 3.1, а), которые получают скручиванием трех прядей, изготов-

ленных из канатной пряжи, и кабельтовые (рис. 3.1, б), получающиеся скручиванием в обратном направлении трех тросовых канатов.

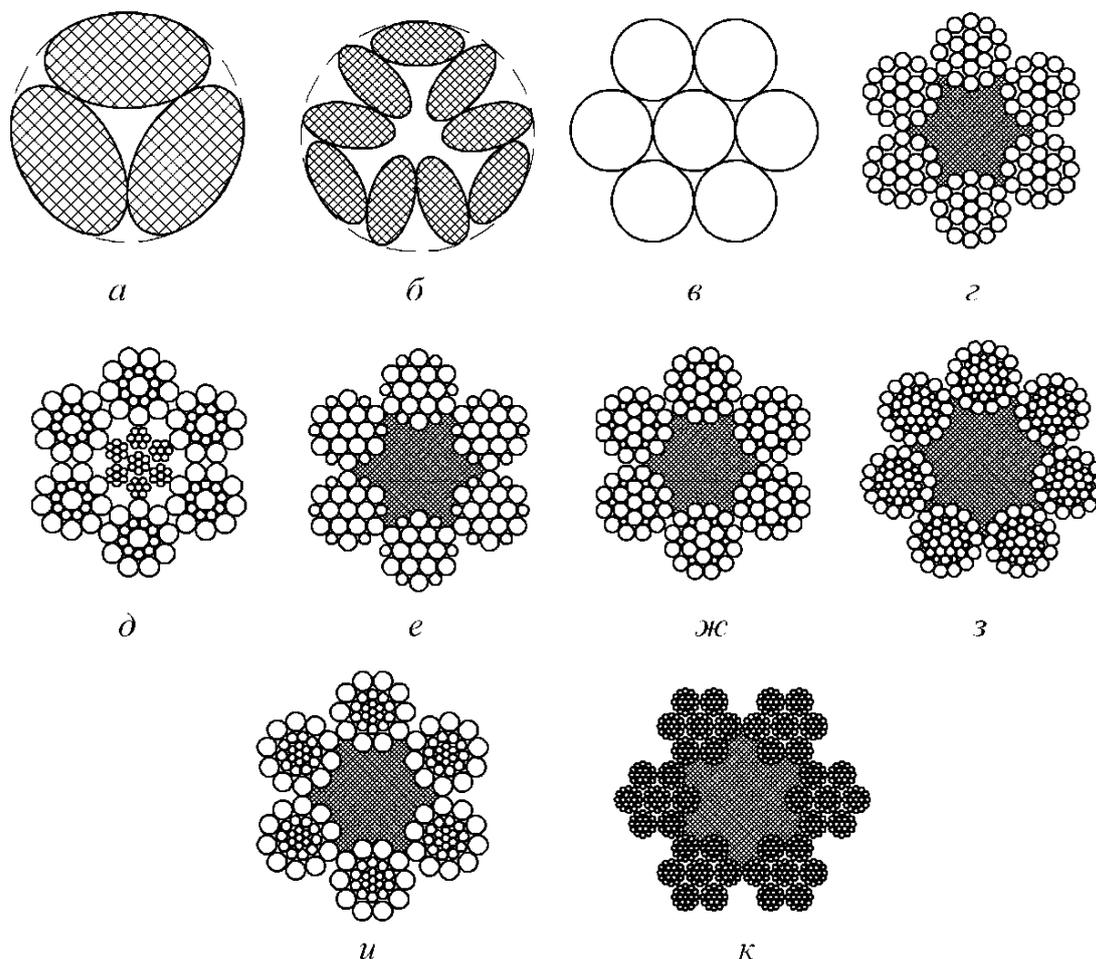


Рис. 3.1. Канаты:

*a* – пеньковый тросовый; *б* – пеньковый кабельтовый ГОСТ 483-75;  
*в* – стальной ЛК-О конструкции  $1 \times 7$ , ГОСТ 3062-80; *з* – стальной ТК конструкции  $6 \times 19 + 1$  о. с., ГОСТ 3070-80; *д* – стальной ЛК-О конструкции  $6 \times 19 + 7/7$ , ГОСТ 3081-80; *е* – стальной ЛК-Р конструкции  $6 \times 19 + 1$  о. с., ГОСТ 2688-80;  
*ж* – стальной ЛК-З конструкции  $6 \times 25 + 1$  о. с., ГОСТ 7665-80; *з* – стальной ЛК-РО конструкции  $6 \times 36 + 1$  о. с., ГОСТ 7668-80; *и* – стальной ТЛК-О конструкции  $6 \times 27 + 1$  о. с., ГОСТ 3079-80; *к* – стальной канат-кабель конструкции  $6 \times 7 \times 19 + 1$  о. с

К применению в качестве грузовых допускаются канаты, соответствующие государственным и межгосударственным стандартам, имеющие сертификат (свидетельство) или копию сертификата организа-

ции – изготовителя канатов в соответствии с ГОСТ 3241-91 «Канаты стальные. Технические условия» и ГОСТ 18899-73 «Канаты стальные. Канаты закрытые несущие. Технические условия».

Применение канатов, изготовленных по международным стандартам, допускается только с разрешения технадзора по заключению головной организации. Выбор стальных канатов производят только в соответствии с Правилами Госпромнадзора и другими нормативными правовыми актами.

Стальные канаты обладают высокой прочностью и используют как для подвешивания груза, так и как тяговый орган (передвижение тележек), в качестве растяжек и т. д. Изготавливается из высокоуглеродистой холодноотянутой стальной проволоки с расчетным пределом прочности 700 – 2000 (в некоторых случаях до 2600) МПа. В грузоподъемных машинах применяются канаты с пределом прочности проволок от 1600 до 2000 МПа. Проволока меньшей прочности вызывает необходимость увеличения диаметра каната, а при большей прочности увеличивается их жесткость.

**По прочности** проволоки канаты бывают В, 1 и 2 сорта (диаметр от 0,2 до 2 – 3 мм), которые зависят от марки стали ( $\sigma_{и}$  и  $\tau_{кр}$ ).

**По конструкции:** стальные круглые канаты изготавливают: *одинарной спиральной свивки* – канат свивается непосредственно из стальных проволок (рис. 3.1, в, г); *двойной свивки (трос)* – сначала из отдельных проволок свиваются пряжи, затем из нескольких прядей свивается один крученый канат (рис. 3.1, д); *тройной свивки (кабель)* – из канатов малого диаметра двойной свивки (тросов) свивается канат большого диаметра (рис. 3.1, и, к).

Пряжи (рис. 3.1, д) свиваются в канат вокруг сердцевины (сердечника). Сердечник может быть: металлическим, из органических материалов (пенька, лен, хлопчатобумажный) и из минеральных волокон (асбест – очень вреден). Сердечник выбирается в зависимости от назначения каната. Канат со стальным сердечником (прядь или канат двойной свивки) используется при многослойной навивке, при динамических нагрузках и при высоких температурах. Металлический сердечник не увеличивает разрушающую нагрузку, т. к. канат разрушается уже при 0.7 – 0.9 от предельной нагрузки, разрывающей остальные пряди. Канаты с органическим сердечником более гибки и лучше удерживают смазку.

Канаты одинарной свивки обладают повышенной жесткостью, вследствие чего плохо изгибаются на блоках и барабанах, что вызыва-

ет необходимость увеличения диаметров огибаемых ими блоков и барабанов. Такие канаты применяют чаще в качестве несущих канатов подвесных дорог и растяжек (вант).

В подъемных и транспортирующих машинах наибольшее применение получили канаты двойной свивки (тросы).

Канаты тройной свивки обладают большей гибкостью, однако при равном диаметре с канатом двойной свивки быстрее изнашиваются при огибании барабанов и блоков, так как изготавливаются из более тонких проволок. По этой причине, а также из-за более высокой стоимости эти канаты не получили широкого распространения.

**По роду свивки** проволок в прядях канаты изготавливают типа ТК (с точечным контактом между слоями прядей) и типа ЛК (с линейным касанием проволок в пряди). Бывают канаты также типа ТЛК (с точечным и линейным касанием проволок в пряди). Канаты типа ТК используются только для ненапряженных условий работы, т. к. срок службы канатов ЛК значительно (до 30 – 100%) выше срока службы канатов типа ТК. Вследствие лучшего заполнения сечения они имеют при том же разрывном усилии несколько меньший диаметр, чем канаты ТК.

**По виду свивки канаты бывают:** обыкновенные (раскручивающиеся) канаты; нераскручивающиеся (свиваются из заранее деформируемых проволок и прядей, имеют значительно больший срок службы, чем другие); некрутящиеся (многослойные – имеют противоположное направление свивки прядей по отдельным слоям).

По направлению свивки проволок в прядях канаты бывают односторонней и крестовой свивки. В канатах односторонней свивки в прядях и прядей в канатах одно и то же, поэтому они имеют более ровную поверхность, они более гибки и долговечны, чем канаты крестовой свивки.

В обозначении структурной формулы каната первая цифра структурной формулы означает число прядей, вторая – проволок в прядях, третья – сердечников.

Пример обозначения структурной формулы каната: линейное касание проволок в прядях, в верхней пряди проволоки разных диаметров, шесть прядей, в каждой пряди 19 проволок, которые свиваются вокруг одной центральной проволоки, в первом ряду шесть проволок одинакового размера, во втором (внешнем) – проволоки разного диаметра – шесть одного и шесть – другого, пряди свиты вокруг одного органического сердечника: ЛК - Р6×19 (1×6×6/6) + 1 о. с.

Для создания более благоприятных условий работы каната следует так подбирать направление навивки, чтобы он в процессе работы дополнительно подкручивался, что приводит к увеличению его срока службы.

Преимуществом стальных канатов является плавная и бесшумная работа при любых скоростях, гибкость во всех направлениях и надежность в работе (по числу лопнувших проволок можно установить степень износа каната), относительно малый вес. Значительная упругость снижает динамические нагрузки, однако для нормальной работы требуются блоки и барабаны большого диаметра.

Не следует стремиться использовать канаты, свитые из большого числа тонких проволок, т. к. они подвержены абразивному износу. Степень износа каната и необходимость его замены определяют по числу оборванных проволок в наружных слоях прядей на длине одного шага свивки. Шаг свивки – длина каната, на которой прядь делает полный оборот вокруг его оси. Предельное число оборванных проволок определяется по соответствующим нормативным документам в зависимости от конструкции каната, коэффициента запаса прочности. Число оборванных проволок определяется либо визуальным методом, либо с применением технических средств в соответствии с ГОСТ.

При работе каната, как сложного тела, его отдельные проволоки испытывают различные напряжения. При огибании канатом блока или барабана пульсирующие напряжения изгиба и смятия приводят к усталостному разрушению сначала наружных, а затем и внутренних проволок. При этом перегибы каната на блоках являются более опасными, чем на барабане, поскольку один перегиб в противоположном направлении в отношении долговечности примерно равноценен двум перегибам в одном направлении. Поэтому следует уменьшать количество направляющих блоков и увеличивать их диаметр. Величины напряжений, возникающих в материале проволок, зависят от множества факторов и установить математическую зависимость между всеми факторами, влияющими на напряженное состояние проволок, практически невозможно.

Поэтому при расчете пользуются основными факторами, выявленными в результате многочисленных исследований канатов, влияющими на число перегибов каната до разрушения проволок. Этими факторами являются максимальные натяжения каната и отношение диаметров блоков и барабана к диаметру каната.

В зависимости от этих факторов и установлены нормы Госпромнадзора для подбора каната. По этим нормам размер каната подбирается из соотношения

$$S_{\max}k \leq S_{\text{разр}},$$

где  $S_{\max}$  – максимальное рабочее усилие ветви, каната, определяемое при подъеме номинального груза с учетом потерь на блоках полиспасатов и на обводных блоках, но без учета динамической нагрузки,  $H$ ;  $k$  – запас прочности, т. е. отношение минимальной разрушающей нагрузки каната к максимальной рабочей нагрузке на канат, принимаемой по нормам Госпромнадзора в зависимости от назначения каната и группы режима работы механизма и типа привода;  $S_{\text{разр}}$  – разрывное усилие каната в целом. Минимальные допускаемые значения коэффициента запаса прочности для грузовых и стреловых кранов составляют: для Л – 5, С – 5,5, Т и ВТ – 6.0.

Минимальные допустимые значения коэффициента запаса прочности для пассажирских лифтов составляют примерно 13, причем применять канаты диаметром меньше 7 мм в лебедках, предназначенных для подъема людей, запрещается.

Кроме запаса прочности каната необходимо соблюдать заданное правилами Госпромнадзора отношение между диаметром выбранного каната и диаметром блока и барабана, ограничивающее напряжение изгиба каната:

$$D_2 \geq ed,$$

где  $D_2$  – диаметр блока или барабана, измеренный по средней линии навитого каната;  $e$  – коэффициент, принимаемый по нормам Госпромнадзора в зависимости от назначения каната и группы режима работы механизма;  $d$  – диаметр каната;

Минимальные допускаемые значения коэффициента  $e$ : для Л – 20, С – 25, Т и ВТ – 35. Для пассажирских лифтов  $e = 46$ .

Метод расчета по запасам прочности и коэффициенту  $e$  является условным, т. к. не отражает условий работы каната.

В грузоподъемных машинах и механизмах могут применяться грузовые сварные (рис. 3.2, а) и пластинчатые (рис. 3.2, б) цепи.

*Сварные и штампованные цепи*, применяемые в качестве грузовых, должны соответствовать ГОСТ 228-95 «Цепи якорные судовые. Параметры и размеры, технические требования, маркировка сборочных единиц» и другим требованиям нормативных правовых актов.

*Пластинчатые цепи*, применяемые на кранах, должны соответствовать ГОСТ 191-82 «Цепи грузовые пластинчатые. Технические условия».

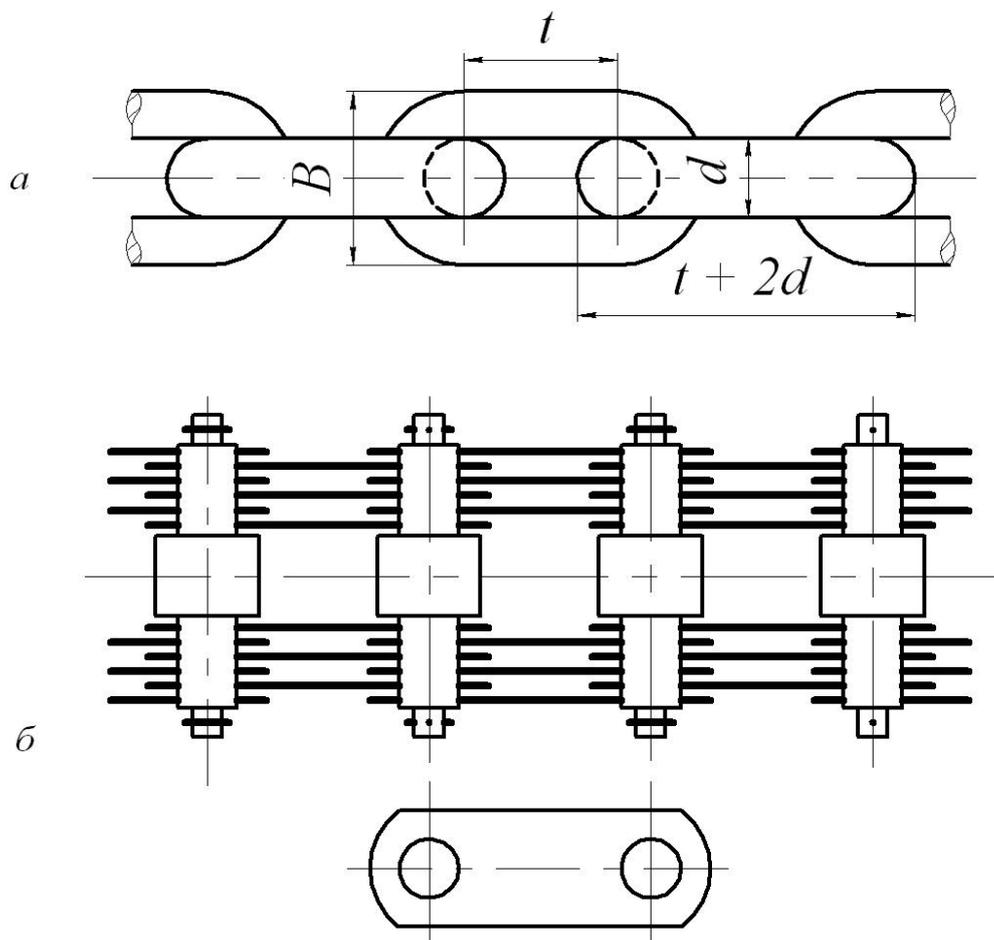


Рис. 3.2. Грузовые цепи

*Сварные цепи* широко используются в качестве грузовых органов (материал Ст2, Ст3 и сталь 10 ( $\sigma_B = 340 - 420$  МПа)) и выполняются контактной электросваркой.

Достоинства сварных цепей: гибкость во всех направлениях; возможность работы с малыми диаметрами звездочек и барабанов, позволяющая уменьшить значения крутящих моментов; простота конструкции и изготовления.

Недостатки: относительно большая масса, невозможность использования при высоких скоростях из-за чувствительности к толчкам и ударам (возможен внезапный обрыв), большой износ, трудность контроля за износом.

Звенья овальной формы лежат во взаимно перпендикулярных плоскостях, что обеспечивает значительную подвижность. Бывают *простые*, работающие только с гладкими блоками и барабанами, и *калиброванные*, работающие со звездочкой т. к. имеют более жесткий допуск по шагу  $t$  и ширине звена  $B$ .

Для обеспечения нормального зацепления звеньев нагрузка на калиброванную цепь принимается на 35% меньше. Расчет напряжений не дает достаточно точных значений, поэтому расчет сварных цепей ведут по формуле, аналогичной формуле для расчета канатов:

$$S_{\max}k_{\text{ц}} \leq S_{\text{разр}},$$

где  $S_{\max}$  – максимальное рабочее усилие, Н;  $S_{\text{разр}}$  – разрушающая нагрузка сварной цепи, установленная стандартом, Н;  $k_{\text{ц}}$  – запас прочности относительно разрушающей нагрузки, принимаемой по нормам Госпромнадзора (для машинного привода и гладкого барабана  $k_{\text{ц}}$  равен 6, для калиброванной цепи 8 и для пластинчатой грузовой цепи – 5).

Соотношение между диаметром барабана и блока, огибаемого сварной цепью и диаметром прутка стали, из которого изготовлена цепь, должно быть не менее 20 для ручного и не менее 30 для машинного привода.

*Пластинчатые грузовые цепи* состоят из стальных (стали марок 40, 45, 50 – улучшение или нормализация) пластин, соединенных валиками. Так как их изготавливают без использования электросварки, то они более надежны, из-за меньших диаметров приводных звездочек уменьшают необходимое передаточное число редуктора, меньше деформируются под нагрузкой и более плавно работают, однако с меньшей скоростью; они тяжелее и дороже, не могут изгибаться в поперечном направлении, сильно изнашиваются, не могут навиваться на барабаны, должны находиться в полном зацеплении не менее чем с двумя зубьями звездочек.

Пластинчатые цепи могут работать на звездочках при числе зубьев не менее 8 со скоростью не более 0,25 м/с. Коэффициент запаса прочности на разрыв пластинчатых цепей должен быть для групп классификационного режима М1 и М2 не менее 3, для всех остальных – не менее 5. Как исключение, скорость цепи может быть увеличена до 1,5 м/с при соответствующем увеличении коэффициента запаса прочности до 8.

Расчет пластинчатых грузовых цепей ведется по ранее приведенной зависимости.