

5 ЛЕКЦИЯ

Составные части грузоподъемных машин (ГПМ). Основные параметры и режимы работы. Гибкие подвесные органы. Блоки, звёздочки, полиспасты, барабаны.

Составные части грузоподъемных машин (ГПМ)

При всём многообразии ГПМ имеют составляющие одинакового функционального назначения, а именно:

- гибкие подвесные органы;
- блоки, звёздочки, полиспасты, барабаны;
- грузозахватные и чалочные устройства и тара;
- остановы и тормозы;
- передачи и детали передач;
- двигатели;
- детали и узлы ходовой части;
- устройства и приборы управления и защиты, в том числе обеспечивающие безопасность;
- остовы машин (металлоконструкция, рама, корпус)

Основные параметры и режимы работы ГПМ

Грузоподъемностью называется масса Q , кг максимального груза, на подъём которого рассчитана грузоподъемная машина или устройство (вес груза $Q \times g$, Н, где $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести). В величину грузоподъемности включается масса съёмных грузозахватных приспособлений, а у ГПМ, грузозахватным органом которых служит магнит, грейфер и другие – масса последних. Грузоподъемность ГПМ варьирует в пределах от десятков килограмм до сотен тонн.

Вылетом стрелы (консольные краны) называется расстояние от оси вращения поворотной части крана до оси грузозахватного органа.

Горизонтальное расстояние между осями рельсового пути для мостового крана называется *пролётом*, а для стрелового крана и крановых тележек – *колея*.

Скорость подъёма груза в мостовых кранах $\leq 25 \dots 30 \text{ м/мин}$, скорость передвижения моста $\leq 100 \dots 120 \text{ м/мин}$ и крановых тележек $\leq 35 \dots 50 \text{ м/мин}$ (при выполнении массовых перегрузочных работ скорость подъёма $\leq 90 \dots 120 \text{ м/мин}$ и передвижения тележки $\leq 240 \dots 360 \text{ м/мин}$).

Частота вращения стрелы $\leq 3 \text{ об/мин}$ в зависимости от скорости её конца $\leq 5 \dots 6 \text{ м/с}$.

Для ГПМ характерна работа разной интенсивности с *повторно-кратковременными* включениями. Рабочий орган совершает возвратные движения с грузом и без него за цикл, механизмы подъёма, передвижения, поворота работают в реверсивном режиме с остановками. Детали ГПМ испытывают переменный характер нагружения.

В ходе рассмотрения работы ГПМ оперируют понятиями.

А. Коэффициент использования механизма по грузоподъёмности:

$$K_{гр} = \frac{Q_{ср}}{Q_{ном}}$$

где $Q_{ср}$ – среднее значение величины поднимаемого груза за смену;

$Q_{ном}$ – номинальная грузоподъёмность.

Б. Коэффициент годового использования механизма:

$$K_{год} = \frac{\text{Число дней работы механизма в году}}{365}$$

В. Коэффициент суточного использования механизма:

$$K_{сут} = \frac{\text{Число часов работы механизма в сутки}}{24}$$

Г. Относительная продолжительность включения двигателя механизма:

$$ПВ = \frac{\text{Время работы механизма в течение цикла}}{\text{Полное время цикла}} \cdot 100\%$$

(Для электрооборудования полное время цикла ≤ 10 мин, для механизмов 1 час)

Д. Температура окружающей среды, °С.

Е. Число включений механизма в час (пункты Д и Е только для расчёта электрооборудования).

Есть и более точные параметры для оценки интенсивности работы ГПМ.

Согласно Приложения № 4 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъёмные сооружения» (утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 ноября 2020 года № 461) определяется *группа режима работы механизма* в диапазоне **М1...М9** в зависимости от сочетания *класса использования механизма* **Т0...Т9** (общая продолжительность работы включительно до 200 ч ... и до 100000 ч с различной интенсивностью) и *класса нагружения механизма* **Л1...Л4** с коэффициентами распределения нагрузки K_m (соответственно до 0,125 включительно; свыше 0,125 до 0,250; св. 0,25 до 0,50 вкл.; св. 0,50 до 1,00 вкл.). Различные механизмы одной ГПМ могут быть отнесены к разным группам режима работы. По группе режима работы механизма по рекомендации назначают допустимые напряжения, коэффициенты запаса, сроки службы, определяют расчётные нагрузки и принимают другие нормативные данные при расчёте или выборе составляющих конструкцию деталей, узлов и сборочных единиц.

Гибкие подвесные органы

По назначению разделяют:

- *грузовые или подъёмные* – для подъёма и удерживания свободно висящего груза;
- *чалочные* – для обвязки груза при подвешивании к крюку, грузовой скобе;

- *тяговые* – для перемещения груза, вес которого частично или полностью воспринимает опора;
- *несущие или ездовые* – для канатных дорог в качестве подвесного пути.

Наибольшее применение в ГПМ получили свитые из проволок **стальные канаты** диаметром $d_{\text{кан}} = 3 \dots 70$ мм с разрушающей нагрузкой $F_{\text{разр}} = (0,5 \dots 335) \cdot 10^4$ Н ($0,5 \dots 335$ тс) – как высокопрочные, гибкие во всех направлениях, бесшумные и «предупреждающие» о возможности разрушения обрывом проволок.

Различают канаты: *одинарной* свивки (прядь, стренга, спиральный канат – вокруг сердечника, обычно проволоки, закручен один или несколько концентрических слоёв проволоки), *двойной* свивки (трос, тросовой канат – пряди свивают вокруг сердечника) и *тройной* свивки (кабельтовый канат – свивают тросы).

Чаще используются **канаты двойной свивки** с сердечником из пропитанных маслом органических материалов. При высокой температуре сердечник *асбестовый*, при многослойной навивке каната на барабан – *металлический*. Контакт проволок в пряди между слоями может быть *линейный* (предпочтительнее) и *точечный*.

Различают канаты: *крутящиеся* и *некрутящиеся*; *расплетающиеся* и *сохраняющие положение* проволок и прядей при отрезке каната; *крестовой* свивки (проволоки в пряди закручены в одну сторону, а сами пряди в другую) и *односторонней*, в последнем случае канат более гибок и долговечен, но подвержен большей раскрутке при свободной подвеске груза; по направлению свивки есть *правая* (пряди идут слева – вверх – направо) и *левая*, и при навивке каната на барабан направление укладки должно способствовать закручиванию прядей.

Для изготовления канатов применяют высокопрочную проволоку (обычно $d_{\text{пров}} = 0,5 \dots 2$ мм с $\sigma_{\text{в}} = 1400 \dots 1800$ Н/мм²), для работы в агрессивной среде – с цинковым покрытием для «жестких» и «особо жестких» условий.

Выбор каната в соответствии с «Правила безопасности...» производят по разрушающей нагрузке из расчёта на растяжение:

$$F_{\text{разр}}^{\text{ГОСТ}} = F_0 \geq Z_p \cdot F_{\text{наиб}}$$

где $F_{\text{разр}}^{\text{ГОСТ}}$ – разрывное (разрушающее) усилие каната по ГОСТ (или по сертификату – свидетельству об испытании), Н;

Z_p – коэффициент запаса прочности (или минимальный коэффициент использования каната), зависит от назначения каната, типа привода и режима работы – 3...9 и более;

$F_{\text{наиб}}$ – наибольшее натяжение ветви каната, Н.

Канаты работают с блоками и барабанами, применяются как элементы чалочного устройства, как несущие (ездовые) и для растяжек.

Закрепление конца каната обычно производят с помощью *коуша* – стального фасонного кольца желобчатого сечения, предохраняющего канат. Огибая коуш, конец каната плотно ложится в жёлоб и соединяется с основной ветвью: *заплёткой* путём поочерёдных проколов не менее 4-х каждой прядью до диаметра 15 мм); *зажимами* с колодками и резьбовыми скобами не менее 3-х с

шагом не менее $6d_{\text{кан}}$; *опрессовкой* в трубе. Нашли применение клиновые втулки с клиньями и конусные втулки с заливкой.

Выбраковка канатов производится по ряду дефектов в соответствии с «Правила безопасности...» (статья 270 – характер и число обрывов проволок; разрыв пряди; поверхностный и внутренний износ; поверхностная и внутренняя коррозия; местное уменьшение диаметра, включая разрыв сердечника; уменьшение площади поперечного сечения проволок; деформация в виде волнистости, корзинообразности, выдавливания проволок и прядей, раздавливания прядей, заломов, перегибов; повреждения в результате температурного воздействия или электрического дугового разряда). В первом приближении, при работе каната на блоках, число обрывов на одном шаге для крестовой свивки равно 0,1 числа проволок в канате, для односторонней – 0,05 числа проволок (при разной толщине проволок в канате обрыв тонкой принимается за 1, а толстой за 1,7), при наличии у каната поверхностного износа или коррозии канат выбраковывается при меньшем числе обрывов. Для канатного стропа выбраковка производится при вдвое меньшем числе обрывов.

Цепи сварные нашли ограниченное применение как грузовые, чалочные и тяговые. Их недостаток – внезапность разрушения, хотя они гибкие во всех направлениях, работают со звёздочками значительно меньшего диаметра ($z \geq 4$) по сравнению с канатными барабанами, меньше чувствительны к коррозии и нагреву.

Выпускают цепи: короткозвенные А ($p < 3d_{\text{пров}}$, где $d_{\text{пров}}$ – диаметр проволоки, он же калибр цепи, 5...42 мм) и длиннозвенные В; калиброванные 1 и некалиброванные 2. Материал – сталь Ст3, Ст2, 10; шаг 18,5...147 мм; разрушающая нагрузка $F_{\text{разр}} = (1...68) \cdot 10^4 \text{ Н}$ ($1...68 \text{ тс}$).

Выбор цепи производят по разрушающей нагрузке

$$F_{\text{разр}}^{\text{ГОСТ}} \geq Z_p \cdot F_{\text{наиб}}$$

где Z_p – коэффициент запаса. Для цепи в качестве стропов ≥ 5 ; при ручном приводе – 3, машинном – 6 (работа на барабане, скорость $\leq 1,5 \text{ м/с}$) и 8 (работа на звёздочке, скорость $\leq 0,5 \text{ м/с}$); в процессе работы цепь смазывают.

Цепи пластинчатые (цепи Галля) состоят из валиков с цапфами на концах (опорные участки) и надетых на них шарнирно пластин, которых тем больше, чем выше разрушающая нагрузка. Допускают изгиб только в одной плоскости, применяют как грузовые и тяговые с приводом от звёздочки при наличии направляющих, исключаяющих перекося цепи.

Материал сталь 40, 45, 50, шаг $p=25...200 \text{ мм}$, разрушающая нагрузка $(2,5...200) \cdot 10^4 \text{ Н}$ ($2,5...200 \text{ тс}$).

Выбор цепи производят по разрушающей нагрузке

$$F_{\text{разр}}^{\text{ГОСТ}} \geq Z_p \cdot F_{\text{наиб}}$$

где Z_p – коэффициент запаса. При ручном приводе – 3, машинном – 5 (при скорости $\leq 0,25 \text{ м/с}$) и 8 (при скорости $\leq 1,5 \text{ м/с}$); в процессе работы цепь смазывают.

Канаты пеньковые и хлопчатобумажные имеют три эллиптические пряди, свитые из каболки (каболка – скрученное волокно). Гибкие, но имеют малую прочность и срок службы; применяют как чалочные и тяговые. Диаметр 7...112 мм, разрушающая нагрузка $(0,2...64) \cdot 10^4$ Н *(0,2...64 тс)*.

Выбор канатов производят по разрушающей нагрузке

$$F_{\text{разр}}^{\text{ГОСТ}} \geq Z_p \cdot F_{\text{наиб}}$$

где Z_p – коэффициент запаса, ≥ 8 .

Получают распространение **канаты из синтетических материалов**, но они весьма чувствительны к надрезам.

Блоки, звёздочки, полиспасты, барабаны

Блоки изменяют направление движения каната, режут цепи, *не изменяя значения усилия*. Имеют форму колеса с жёлобом (ручьём) по окружности обода, последний соединяется диском со ступицей. Устанавливают на оси на подшипниках качения или скольжения. Различают: подвижные – блок вращается, и его ось перемещается из-за движения каната (блок на крюковой обоймице); неподвижные – блок вращается, но положение оси не связано с движением каната (направляющий блок на стреле); уравнивательные – блок совершает малые движения в ту или иную сторону, выравнивая вытяжку каната.

Материал обычно серый чугун Ст15, реже – стальное литье 35Л и штампованная или сварная конструкция из стали Ст3. Профиль ручья выполняют по рекомендациям (для стального каната угол раствора $40...50^\circ$, высота $\geq 2d_{\text{кан}}$, радиус дна – $0,53d_{\text{кан}}$).

Диаметр подвижного и неподвижного блока по центру *стального каната*:

$$D_{\text{бл}} \geq e \cdot d_{\text{кан}}$$

где e – зависит от вида ГПМ и режима работы, 12,5...28 и более.

Диаметр уравнивательного блока меньше на 20...30%.

Для *сварной цепи* при ручном приводе $D_{\text{бл}} \geq 20d_{\text{пров}}$, при машинном приводе $D_{\text{бл}} \geq 30d_{\text{пров}}$.

Звёздочки для сварной цепи обычно выполняют литыми из чугуна или стали, цепь ложится в гнезда по форме звена, число зубьев $Z \geq 4$. Звёздочки пластинчатой цепи стальные, зубья фрезеруют, число зубьев $Z \geq 5$, профиль стандартизован.

В зацеплении с ведущей звёздочкой должно быть не менее 2-х звеньев цепи.

Полиспасты представляют собой совокупность подвижных и неподвижных блоков, огибаемых гибким подвесным органом. *Это своего рода рычаг с золотым правилом механики: во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии*. В ГПМ чаще всего применяют полиспасты для выигрыша в силе, при этом канат наматывается на барабан.

Бывают полиспасты *одинарные* – одна ветвь каната идёт на барабан, и *сдвоенные* – на барабан идут две грузовые ветви. Последние получили широкое

распространение как обеспечивающие устойчивое вертикальное перемещение груза при подъёме и опускании без его раскачивания.

Кратностью полиспаста $i_{пол}$ называют отношение числа ветвей, на которых висит груз, к числу ветвей, идущих на барабан.

Соотношения в одинарном полиспасте:

$$S_{кан} = g \cdot Q / (i_{пол} \cdot \eta_{пол})$$

$$L_{кан} = h \cdot i_{пол}$$

$$V_{кан} = V_{гр} \cdot i_{пол}$$

где $S_{кан}$ – усилие в ветви каната, идущей на барабан, Н;

$\eta_{пол}$ – КПД полиспаста. В первом приближении $\eta_{пол} = (\eta_{бл})^m$;

$\eta_{бл}$ – КПД блока. На подшипнике качения 0,98, скольжения – 0,96;

m – число вращающихся блоков, огибаемых ветвью каната;

$L_{кан}$ – длина «выбираемого каната» при подъёме груза (наматывается на барабан), м;

h – высота подъёма груза, м;

$V_{кан}$ – скорость каната, м/с;

$V_{гр}$ – скорость груза, м/с;

Барабаны преобразуют крутящий момент механизма в тяговое усилие гибкого элемента и «складируют» последний, выбираемый при подъёме. Обычно выполняются в виде цилиндров (реже – конусов), на которые наматываются и сматываются канаты или сварные цепи.

Для уменьшения износа канат укладывается на поверхность барабана в один слой в проточенную винтовую канавку (для сдвоенных полиспастов нарезка выполняется с одной стороны барабана – правая, а с другой – левая). Многослойная навивка, не более 4-х слоёв, применяется редко из-за быстрого разрушения каната ввиду неблагоприятных условий работы.

Диаметр барабана $D_{бар}$ по центру каната можно снижать до $0,85D_{бл}$, шаг нарезки $t = d_{кан} + (2...3)$ мм.

Длина барабана $L_{бар}$ определяется канатом, наматываемом при подъёме груза, числом запасных витков до места крепления (*не менее 1,5, которые никогда не должны сматываться с барабана при работе*), числом витков для крепления каната на барабане (примерно 3) и расстоянием до края (примерно 1,5 с каждой стороны).

При одинарном полиспасте:

$$L \approx [h \cdot i_{пол} / (\pi D_{бар}) + (1,5 + 3 + 2 \cdot 1,5)] \cdot t \approx (h \cdot i_{пол} / (\pi D_{бар}) + 8) \cdot t, \text{ мм}$$

При сдвоенном полиспасте:

$$L \approx 2(h \cdot i_{пол} / (\pi D_{бар}) + 6) \cdot t + l_{пром}, \text{ мм}$$

где $l_{пром}$ – свободный промежуток в середине барабана между правой и левой нарезками, мм

Изготавливают барабаны литыми из чугуна и стали тех же марок, что и блоки, и сварными. Толщина стенки от дна канавки ориентировочно, мм:

$$\delta = 0,02D_{бар} + (6...10)$$

Стенку проверяют на сжатие:

$$\sigma_{сж} = S_{кан} / (\delta \cdot t) \leq [\sigma]_{сж}$$

где $[\sigma]_{сж}$ – допускаемое напряжение, для чугуна – 100 Н/мм².

При $L/D_{бар} > 3$ стенку проверяют на сложное напряжённое состояние (кручение и изгиб).

Закрепление каната на барабане производят прижимными накладками на поверхности (не менее двух) или накладкой на торце, клином... .

Установку барабанов производят:

- на оси сплошной с одной опорой на тихоходном валу редуктора, выходной конец которого выполнен в виде зубчатой полумуфты, а другая опора вынесена на раму;
- вариант предыдущий, но ось не сплошная;
- на отдельной оси на двух опорах и с приводом от зубчатого колеса;
- консольная на тихоходном валу редуктора;
- на отдельном валу с двумя опорами и муфтой;
- на трёхопорном валу (на длинном выходном валу редуктора с дополнительной опорой).

ВНИМАНИЕ

Материал лекции прорабатывается и дополняется по источникам, приведённым в «Детали машин» (**программные вопросы по разделу «Подъёмно-транспортные машины»**) *для студентов очного обучения*. Не исключаются и другие источники, в том числе и ИНТЕРНЕТ, как добавление.

Проработка подтверждается представлением письменных ответов на вопросы 25,28,29б,30,36,38,40 вышеупомянутых ...**программные вопросы по разделу**... .

Ответы рукописные, выполняются на листах формата А4 (по «зебре» с шагом 1 см или листы в клетку) **аккуратно и разборчиво**, ориентация книжная. Все поля по 20 мм (можно писать с обеих сторон листа) . *На левом поле каждого листа вдоль по центру указывается группа, фамилия и дата написания (лист повернуть, чтобы поле оказалось вверху)*. Обязательно записывается вопрос, затем приводится ответ. Листы нумеруются, соединяются скрепкой и представляются на занятиях и консультации (во время карантина сдаются лаборанту, ауд. 310). Срок сдачи – конец следующей недели после лекции по расписанию.

Ответы следует сопровождать рукописными схемами и рисунками в карандаше, при необходимости можно заимствовать сложные фигуры из ИНТЕРНЕТА с рукописным добавлением позиций с наименованиями непосредственно на поле рисунка.

ВАША оценка будет складываться как суммарная, в том числе регулярность работы, полнота и качество ответов, тестирование, выполнение расчётов... . Успеха в учёбе!