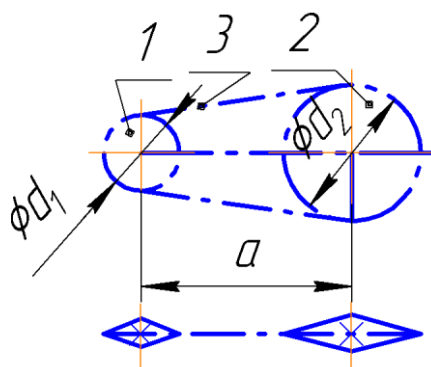


9. Цепные передачи

9.1. Общая характеристика и возможности передачи



Цепная передача это передача зацеплением гибкой связью. Применяется при параллельных осях валов. Условное обозначение на кинематических схемах приведено на рисунке 9.1. Состоит из звёздочек ведущей 1, ведомой 2 и соединяющей их цепи 3. Кроме этого цепная передача может иметь:

- устройство для натяжения цепи;
- смазочное устройство;
- защитное ограждение.

Рис.9.1. Цепная передача

9.1.1. Достоинства передачи:

- значительные межосевые расстояния (до 8м);
- относительно малые габариты;
- отсутствие скольжения;
- достаточно высокий КПД;
- относительно небольшие нагрузки на валы;
- возможность передачи движения одной цепью нескольким ведомым звёздочкам.

9.1.2. Недостатки передачи:

- значительный износ в шарнирах и, как следствие, удлинение цепи, а значит необходимость применения натяжных устройств;
- требуется высокая точность монтажа, так как несовпадение плоскостей звёздочек не допускается;
- скорость движения цепи не постоянна, пульсации скорости тем больше, чем меньше число зубьев звёздочек;
- значительный шум в процессе работы, особенно при малых числах зубьев звёздочек и большом шаге цепи;
- высокая стоимость цепи.

9.1.3. Возможности цепной передачи в приводе

Цепные передачи применяются в станках, транспортных и других машинах для передачи движения между параллельными валами, когда зубчатые передачи непригодны, а ремённые передачи ненадёжны.

Передаваемая мощность до 120 кВт, скорость до 15м/с. В специальных передачах скорость может достигать до 30м/с. КПД - 0.92...0.97.

Передача может быть как быстроходной, в этом случае её передаточное число до 8, так и тихоходной, в этом случае передаточное число лучше до 4. Применение цепной передачи как быстроходной предполагает жесткий корпус и хорошую постоянную смазку.

Долговечность цепей 3-5000 часов работы.

9.2. Приводные цепи

9.2.1. Разновидности цепей

По назначению цепи делятся на:

- грузовые цепи для подвески и подъема грузов, применяются в грузо-подъёмных машинах;
- тяговые цепи для перемещения грузов в транспортирующих машинах;
- приводные цепи для передачи механической энергии в приводах различных машин.

Конструирование цепных передач приводов рассматривается в курсе деталей машин.

В качестве приводных используются:

- приводные роликовые цепи (ПР);
- приводные втулочные цепи (ПВ);
- приводные зубчатые цепи (ПЗ);
- фасоннозвенные цепи.

Все эти цепи стандартизованы. Основным параметр – шаг цепи. Стандартный ряд шагов: 9.52; 12.7; 15.875; 19.05 ...

9.2.2. Приводные роликовые и втулочные цепи

Пластинчатые роликовая и втулочная цепи представляют собой последовательный ряд наружных и внутренних звеньев шарнирно соединённых между собой (рис.9.2).

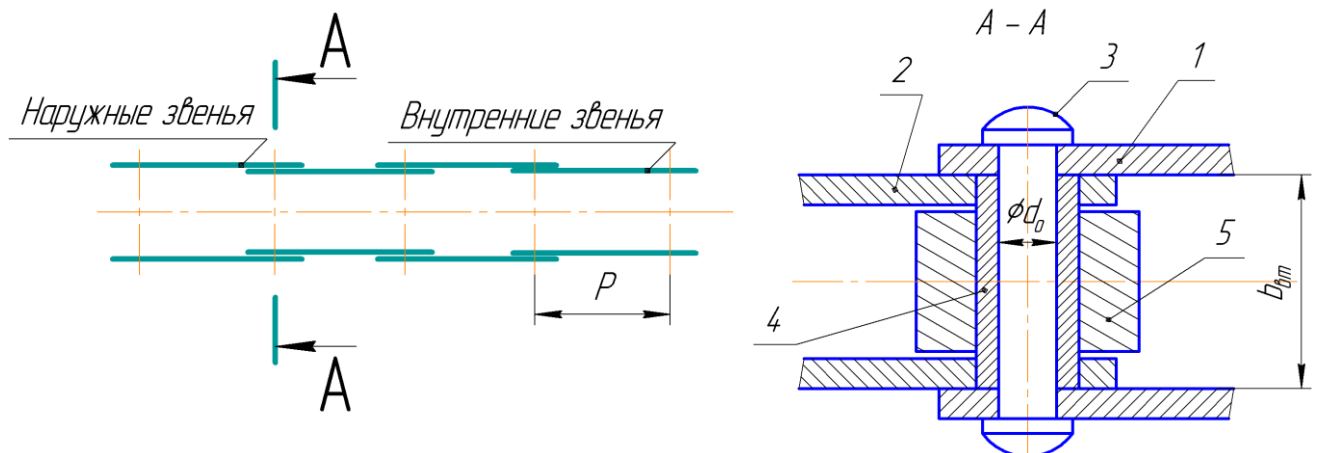


Рис.9.2. Роликовая цепь

Пластины наружных 1 и внутренних 2 звеньев выполнены равнопрочными на растяжение в сечениях 1-1 и 2-2(рис.9.3).

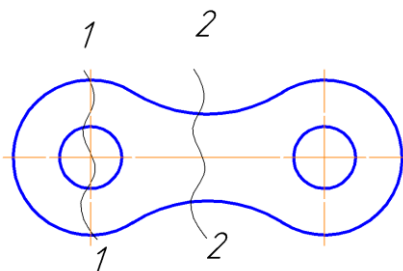


Рис.9.3. Пластина цепи

Наружные пластины 1 жестко связаны с осью 3 (см. рис.9.2), а внутренние 2 жестко связаны со втулкой 4. На втулке свободно сидит ролик 5. Таким образом, при движении цепи ролик 5 катится по боковой поверхности зуба звёздочки.

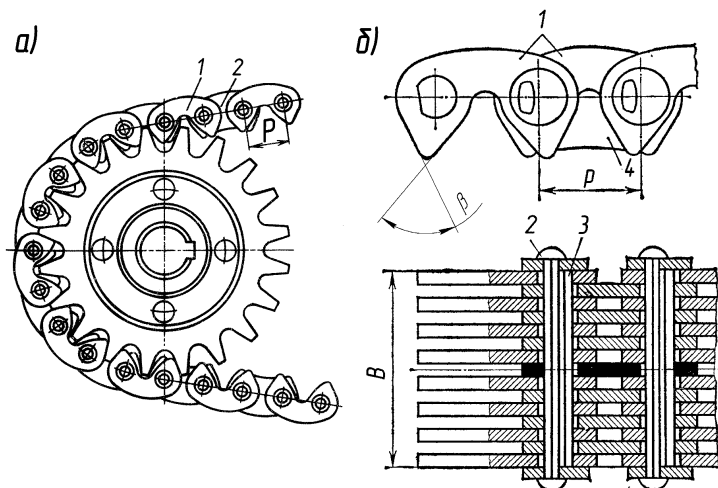
Роликовые цепи могут быть облегчённые однорядные (ПРЛ), нормальные однорядные (ПР), с изогнутыми пластинами (ПРИ), длиннорядные облегчённые (ПРД), усиленные (ПРУ), двух

(2ПР)-, трёх (3ПР)- и четырёхрядные (4ПР).

У втулочной цепи ПВ ролика нет. Поэтому её втулка скользит по рабочей поверхности зуба. В зависимости от передаваемой нагрузки приводные втулочные цепи изготавливают однорядными (ПВ) или двухрядными (2ПВ).

9.2.3. Зубчатые цепи

Зубчатая цепь ПЗ в каждом звене имеет набор пластин 1 (рис.9.4), число которых определяет ширину цепи. Каждая пластина имеет два зуба и впадину между ними. Обычно угол



вклинивания $\beta = 60^\circ$. Цепь охватывает звёздочку, ложится на неё сверху. Для того, чтобы цепь не соскальзывала со звёздочки она имеет направляющие пластины 4, представляющие собой обычные пластины, но без выемок для зубьев звёздочек. Эти пластины движутся по специальной канавке посередине звёздочек. В отверстиях пластин

каждого

Рис.9.4. Зубчатая цепь шарнира устанавливаются две призмы 2 и 3 с криволинейными рабочими поверхностями. Одна из призм соединяется с пластинами наружного звена, вторая – с пластинами соседнего внутреннего. Таким образом, при огибании звёздочки призмы перекатываются друг по другу криволинейными поверхностями.

Вследствие лучших условий зацепления с зубьями звёздочек эти цепи работают с меньшим шумом. Так как ширина цепи может быть любой, то их применяют для передачи больших мощностей. Но по сравнению с другими цепями эти цепи более тяжелые, сложнее в изготовлении и, значит, дороже. Поэтому их применение ограничено.

9.2.4. Фасоннозвенные цепи

Различают два типа фасоннозвенных цепей: крючковые (рис.9.5а) и штыревые (рис.9.5.б).

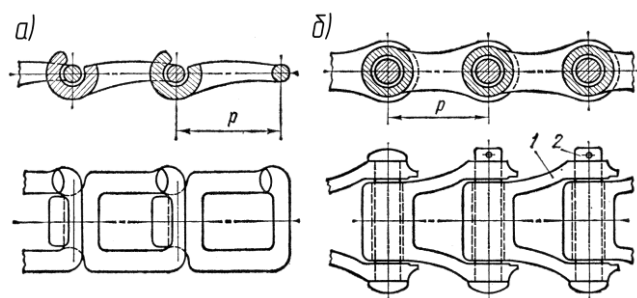


Рис.9.5. Фасоннозвенные цепи

Крючковая цепь состоит из звеньев одинаковой формы, отлитых из ковкого чугуна или штампованных из полосовой стали 30Г без дополнительных деталей. Сборку и разборку этой цепи осуществляют путём взаимного наклона звеньев на угол 60° .

В штыревой цепи звенья 1 из ковкого чугуна соединяются зашплинто-

ванными стальными осями (штырями) 2. Оба вида цепей применяют для передачи небольших мощностей при малых скоростях 3 – 4 м/с, обычно в условиях несовершенной смазки и защиты. Благодаря небольшой стоимости и лёгкости ремонта эти цепи широко применяют в сельхозмашинах.

9.3. Материалы цепей и звёздочек

Пластины цепи – среднеуглеродистая или легированная сталь 45, 50, 40Х, 40ХН. Термообработка обычно закалка до HRC 40...50.

Оси, втулки, ролики – из цементируемых сталей 15, 15Х, 20, 20Х и т.п.

Обычно цементируются и закаляются до HRC 45...65.

Для звёздочек рекомендуется применять углеродистые или легированные стали марок 40, 45, 40Х, 50Г2 и т.п. с закалкой до твёрдости HRC 50...60. Для звёздочек тихоходных передач ($V \leq 3$ м/с) можно использовать также серый или модифицированный чугун с твёрдостью поверхности до HB260...300.

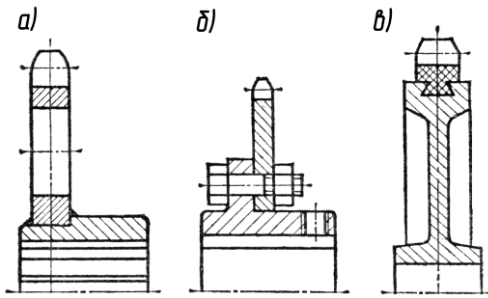


Рис.9.6. Конструкции звёздочек

При больших размерах ($d \geq 200$) звёздочки делают составными: центр из дешёвого материала, а к нему приваривают (рис.9.6.а) или крепят болтами венец из качественного металла (рис.9.6.б).

Перспективным является изготовление звёздочек из пластмасс, позволяющих уменьшить динамические нагрузки и шум передачи (рис.9.6.в).

9.4. Механика цепной передачи

9.4.1. Кинематика передачи

Средняя скорость цепи $V = \frac{znP}{60 \times 1000}$, м/с. Это величина постоянная.

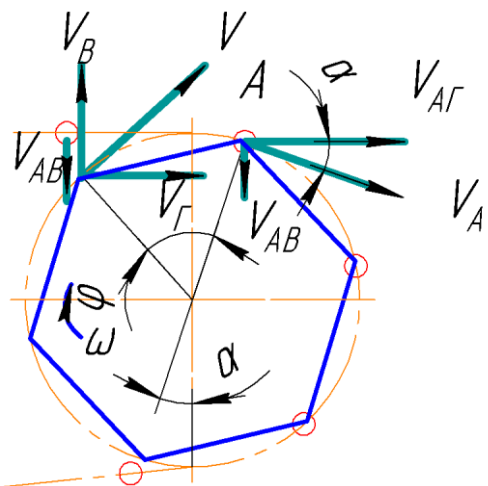


Рис.9.7. Кинематика цепи

Так как скорость цепи на обеих звёздочках одинакова, то $V_1 = V_2$ или

$$z_1 n_1 = z_2 n_2 \text{ и среднее передаточное число } u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

Звенья цепи, находясь в зацеплении с зубьями звёздочки, располагаются в виде сторон многоугольника (рис.9.7), в котором стороны равны шагу цепи, а число сторон равно числу зубьев Z звёздочки.

Скорость шарнира А равна окружной скорости звёздочки в точке, совпадающей с центром шарнира. Направлена она перпендикулярно радиусу этой

точки. Её можно разложить на две составляющие: V_{AG} , направленную вдоль ветви цепи (условно горизонтальная), и V_{AB} , направленную перпендикулярно ветви цепи (условно вертикальная).

Составляющие скорости зависят от положения ведущего шарнира:

$$V_{AG} = V_A \cos \alpha; \quad V_{AB} = V \sin \alpha.$$

Здесь значение угла α изменяется в пределах

$$-\frac{\varphi}{2} \leq \alpha \leq +\frac{\varphi}{2}.$$

Угол $(-\frac{\varphi}{2})$ соответствует моменту входа в зацепление шарнира А.

Угол $(+\frac{\varphi}{2})$ для этого же шарнира, но в момент входа в зацепление с зубом

звёздочки следующего шарнира; $\varphi = \frac{2\pi}{Z}$.

Движение ведомой звёздочки определяется горизонтальной составляющей скорости V_{AG} . Но это величина переменная, поэтому мгновенное зна-

чение передаточного числа величина переменная ($u_{\text{мгн}} = \frac{Z_2 \cos \alpha_2}{Z_1 \cos \alpha_1}$).

Вертикальная составляющая скорости V_{AB} приводит к поперечным колебаниям ветвей цепи и к ударам шарнира цепи о зуб звёздочки в момент зацепления, так как в это время вертикальные составляющие скорости цепи и шарнира направлены навстречу друг другу (см.рис.9.7). Такие соударения приводят к шуму при работе передачи и являются одной из причин разрушения шарниров цепи и зубьев звёздочки, так как создают дополнительные динамические нагрузки.

Перечисленные отрицательные особенности работы цепи проявляются тем сильнее, чем больше шаг цепи и чем меньше число зубьев звёздочки. Обычно непостоянство передаточного числа не превышает 1...2%, а дополнительные динамические нагрузки составляют несколько процентов от окружной силы.

9.4.2. Основные геометрические параметры передачи

Как отмечалось ранее, основной параметр передачи – шаг цепи P , он обязательно принимается по стандарту.

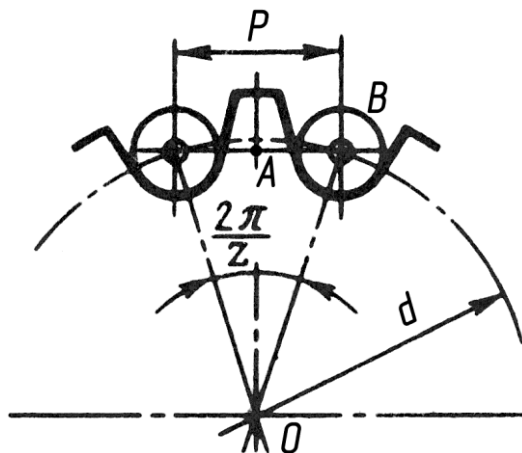
Для ведущей звёздочки при большой частоте вращения число зубьев Z_1 можно определять по выражению

$$Z_1 = 29 - 2u \approx 21...23$$

При средних частотах вращения принимается $z_1 = 17 \dots 19$, при малых – $z_1 = 13 \dots 15$. Принимая число зубьев z_1 , нужно учитывать рекомендации по предельной частоте вращения и по передаточному числу.

Число зубьев ведомой звёздочки $z_2 = z_1 u \leq 120$ для роликовой цепи, $z_2 \leq 140$ для зубчатой цепи.

Числа зубьев звёздочек лучше принимать нечётными.



Шарниры цепи располагаются по делительному диаметру звёздочки

d (рис.9.8), величина которого из треугольника OAB

$$d = P / \sin(180/z).$$

Остальные размеры профиля зуба и диаметры звёздочки определяются по соответствующим стандартам.

Межосевое расстояние a (см. рис.9.1) при проектировании цепной передачи определяется конструкцией, т.е. известно,

хо-

Рис.9.8. Диаметр звёздочки

тя бы ориентировочно. Если величина его не определяется конструкцией, то можно

принять

$$a_{\text{опт}} \approx (30 \dots 50)P, \quad a_{\text{max}} \approx 80P.$$

По принятому межосевому расстоянию определяется потребное число звеньев цепи

$$W = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{2a}{P} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{P}{a}.$$

Полученная величина округляется до чётного числа (тогда соединительное звено будет прямым).

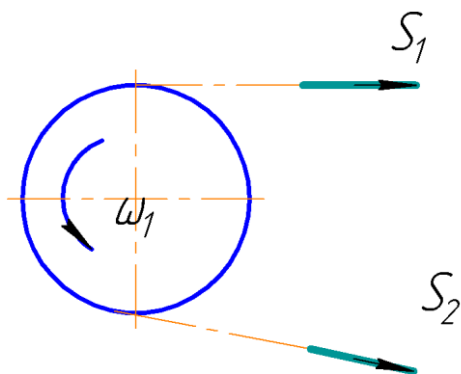
По принятому числу звеньев W уточняется межосевое расстояние

$$a = \frac{P}{4} \left[W - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\left(W - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right].$$

Для обеспечения необходимого небольшого провисания ведомой ветви цепи полученное значение уменьшают на $0.2 \dots 0.4\%$.

9.4.3. Силы в цепной передаче

Натяжение ведущей ветви - S_1 , натяжение ведомой ветви - S_2 (рис.9.9).
Полезная передаваемая нагрузка - F_t .



При таких обозначениях

$$S_1 = F_t + S_2$$

$F_t = N/V$, где N - передаваемая мощность; V - скорость цепи.

$$S_2 = S_q + S_{\text{ц}},$$

где S_q - натяжение от силы тяжести ведомой ветви цепи;

$S_{\text{ц}}$ - натяжение от центробежной

Рис. 9.9. Нагрузка на цепь
силы.

Натяжение цепи от провисания ведомой ветви $S_q = K_f a q g$.

Здесь:

- K_f - коэффициент провисания, зависящий от угла наклона линии центров цепной передачи к горизонту: для горизонтальных передач $K_f = 6$, для наклонных при угле наклона линии центров не более 40° $K_f = 3$, для вертикальных передач $K_f = 1$;

- a - длина ведомой ветви цепи, приблизительно она равна межосевому расстоянию;

- q - погонная масса цепи, берётся из стандарта;

- g - ускорение силы тяжести.

Натяжение от центробежной силы $S_{\text{ц}} = qV^2$. Оно становится существенным при скорости цепи более 5м/с.

9.4.4. Нагрузка на валы звёздочек

Нагрузка на валы от работающей цепной передачи направлена по линии центров в сторону сопряженной звёздочки и принимается

$$F_{\text{в}} = K_{\text{в}} F_t,$$

где $K_{\text{в}}$ - коэффициент нагрузки вала, учитывающий характер нагрузки, действующей на вал, и расположение передачи: при наклоне линии центров звёздочек к горизонту $0...40^\circ$ и спокойной нагрузке $K_{\text{в}} = 1.15$, при ударной нагрузке $K_{\text{в}} = 1.30$, при наклоне более 40° и спокойной нагрузке $K_{\text{в}} = 1.05$, при ударной нагрузке $K_{\text{в}} = 1.15$.

9.5. Критерии работоспособности цепных передач

В процессе работы цепная передача может выйти из строя по следующим причинам:

- износ шарниров цепи; это основная причина выхода из строя, в результате износа цепь удлиняется, а это приводит к увеличению шага цепи и потере ею прочности, допустимое удлинение составляет 1.5...2.5%;
- усталостное разрушение пластин по проушинам: чаще всего встречается у высокоскоростных, тяжелонагруженных втулочных и роликовых цепей, работающих в условиях хорошей смазки;
- выкрашивание и раскалывание роликов;
- износ зубьев звёздочек.

Основной критерий работоспособности – износостойкость шарниров цепи.

9.6. Расчёт цепной передачи

Методик расчёта цепных передач достаточно много. Наиболее простой представляется нижеследующая.

9.6.1. Исходные данные

- передаваемая мощность N , кВт;
- передаточное число u ;
- частота вращения одной из звёздочек, например, n_1 , об/мин;
- условия и режим работы.

9.6.2. Выбрать тип цепи.

9.6.3. Выбрать шаг и число рядов цепи.

9.6.4. Задаться Z_1 .

9.6.5. Определить d_1 .

9.6.6. Найти передаваемый цепью момент $T = 9.55 \times 10^6 \times \frac{N}{n_1}$, Нмм.

9.6.7. Найти передаваемое окружное усилие $F_t = \frac{2T}{d_1}$.

9.6.8. Найти коэффициент эксплуатации, учитывающий реальные условия и режим работы

$$k_{\varepsilon} = k_d k_a k_n k_{\text{рег}} k_c k_{\text{реж}} \leq 3,$$

где k_d - коэффициент динамичности внешней нагрузки:

$$k_d = 1 \text{ при спокойной нагрузке, } k_d = 1.5 \text{ при ударах;}$$

k_a - коэффициент межосевого расстояния:

$$k_a = 1 \text{ при } a = (30 \dots 50)P,$$

$$k_a = 0.8 \text{ при } a = (60 \dots 80)P,$$

$$k_a = 1.25 \text{ при } a \leq 25P;$$

k_H - коэффициент наклона передачи к горизонту:

$$k_H = 1, \text{ если наклон линии центров звёздочек не более } 60^\circ,$$

$$k_H = 1.25, \text{ если наклон линии центров более } 60^\circ;$$

$k_{\text{рег}}$ - коэффициент способа регулировки натяжения цепи:

$$k_{\text{рег}} = 1, \text{ если регулировка натяжной звёздочкой,}$$

$$k_{\text{рег}} = 1.25, \text{ если нет регулировки;}$$

k_c - коэффициент, зависящий от способа смазки передачи:

$$k_c = 0.8, \text{ если картерная смазка или циркуляционная,}$$

$$k_c = 1, \text{ если капельная смазка (20 кап/мин),}$$

$$k_c = 1.5 \text{ и выше, если смазка периодическая;}$$

$k_{\text{реж}}$ - коэффициент продолжительности работы передачи в течение суток:

$$k_{\text{реж}} = 1 \text{ при односменной работе,}$$

$$k_{\text{реж}} = 1.25 \text{ при двухсменной работе,}$$

$$k_{\text{реж}} = 1.45 \text{ при трёхсменной работе.}$$

Если исходное неравенство не выполняется, то нужно изменить условия работы передачи.

9.6.9. Найти удельные давления в шарнире и сравнить их с табличными, полученными на основании опыта эксплуатации:

$$p = \frac{F_t k_{\text{э}}}{A} \leq [p].$$

Здесь A – опорная поверхность шарнира цепи: для роликовой и втулочной цепей $A = d_o b_{\text{вт}}$ (см.рис.9.2). Для стандартных цепей A приведено в соответствующем стандарте.

Если неравенство не выполняется, то нужно взять цепь с большим шагом или изменить условия работы.

9.6.10. В случае переменной нагрузки ($k_d \neq 1$) проверить

$$K = \frac{Q}{S_{\text{max}}} \geq [K],$$

Q – разрушающее усилие для принятой цепи, определяется по стандарту;

$S_{\max} = k_d F_t + S_2$ - максимальная нагрузка на цепь.

$[K] \geq 6$ – коэффициент запаса прочности, принимается по таблице для данной цепи.

9.6.11. При скорости цепи более 10 м/с выполняется проверка по максимальному числу оборотов, частоте и энергии ударов в момент входа в зацепление.

9.6.12. Конструировать ведущую и ведомую звёздочки.

9.6.13. Определить нагрузку на валы звёздочек.

Контрольные вопросы

9.1. Структура и возможности цепной передачи.

9.2. Достоинства и недостатки передачи.

9.3. Приводные цепи: роликовые и втулочные цепи.

9.4. Приводные цепи: зубчатые цепи.

9.5. Кинематика цепной передачи.

9.6. Геометрические параметры передачи роликовой цепью.

9.7. Натяжение ветвей цепи во время работы передачи.

9.8. Критерии работоспособности цепных передач.

9.9. Порядок расчёта цепных передач.

9.10. Коэффициент эксплуатации при проектировании цепных передач.