

# ТЕМА 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ.

## ЛЕКЦИЯ № 2. РЕМЕННЫЕ ПЕРЕДАЧИ.

### Вопросы, изложенные в лекции:

1. Общие сведения о передачах.
2. Ременные передачи.

### Учебная литература:

Детали машин и подъемное оборудование. Под рук. Г.И. Мельникова - М.: Воениздат, 1980. стр. 33-56.

Н.Г. Куклин и др. Детали машин: Учебник для техникумов / Н.Г. Куклин, Г. С. Куклина, В.К. Житков.- 5-е изд., перераб. и допол.- М.: Илекса, 1999. стр. 87-100; 241-264.

Соловьев В.И. Детали машин (Курс лекций. II часть). - Новосибирск: НВИ, 1997. стр. 64-87.

# Общие сведения о передачах

## Определение:

*Передача – устройство, предназначенное для передачи энергии из одной точки пространства в другую, расположенную на некотором расстоянии от первой.*

В зависимости от вида передаваемой энергии передачи: механические, электрические, гидравлические, пневматические и т.п.

***Механическая передача** – устройство (механизм, агрегат), предназначенное для передачи энергии механического движения, как правило, с преобразованием его кинематических и силовых параметров, а иногда и самого вида движения.*

Наибольшее распространение в технике получили механические передачи вращательного движения, которым в курсе деталей машин уделено основное внимание (далее под термином передача подразумевается, если это не оговорено особо, именно механическая передача вращательного движения).

# Классификация механических передач вращательного движения (2 слайда):

**1. По способу передачи движения** от входного вала к выходному:

1.1. Передачи зацеплением:

1.1.1. с непосредственным контактом тел вращения – зубчатые, червячные, винтовые;

1.1.2. с гибкой связью – цепные, зубчато-ременные.

1.2. Фрикционные передачи:

1.2.1. с непосредственным контактом тел вращения – фрикционные;

1.2.2. с гибкой связью - ременные.

**2. По взаимному расположению валов** в пространстве:

2.1. с параллельными осями валов – зубчатые с цилиндрическими колесами, фрикционные с цилиндрическими роликами, цепные;

2.2. с пересекающимися осями валов - зубчатые и фрикционные конические, фрикционные лобовые;

2.3. с перекрещивающимися осями - зубчатые - винтовые и конические, червячные, лобовые фрикционные со смещением ролика.

**3. По характеру изменения угловой скорости** выходного вала по отношению к входному: редуцирующие (понижающие) и мультиплицирующие (повышающие).

**4. По характеру изменения передаточного отношения (числа):** передачи с постоянным (неизменным) передаточным отношением и передачи с переменным передаточным отношением, изменяемым или по величине, или по направлению или и то и другое вместе.

**5. По подвижности осей и валов:** с неподвижными осями валов – рядовые передачи (коробки скоростей, редукторы), передачи с подвижными осями валов (планетарные передачи, вариаторы с поворотными роликами).

**6. По количеству ступеней** преобразования движения: одно-, двух-, трех-, и многоступенчатые.

**7. По конструктивному оформлению:** закрытые и открытые (бескорпусные).

## Главные характеристики передач (2 слайда):

мощности на входном и выходном валах -  $P_{вх'}$   $P_{вых'}$ ;

и их скорости вращения  $\omega_{вх'}$   $\omega_{вых}$  или частоты вращения -  $n_{вх}$  и  $n_{вых}$ .

Соотношение между частотой вращения  $n$  (общепринятая размерность 1/мин) и угловой скоростью  $\omega$  (размерность в системе *SI* 1/с) выражается следующим образом:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \text{и} \quad n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \quad (2.1)$$

Отношение мощности на выходном валу передачи  $P_{вых}$  (полезной мощности) к мощности  $P_{вх'}$  подведенной к входному валу (затраченной), называют коэффициентом полезного действия (КПД):

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_{вх}} \quad (2.2)$$

Отношение потерянной в механизме (машине) мощности  $(P_{вх} - P_{вых})$  к ее входной мощности называют коэффициентом потерь:

$$\varphi = \frac{P_{вх} - P_{вых}}{P_{вх}} = 1 - \frac{P_{вых}}{P_{вх}} = 1 - \eta \quad (2.3)$$

Сумма коэффициентов полезного действия и потерь всегда равна единице:

$$\eta + \varphi = 1 \quad (2.4)$$

Для многоступенчатой передачи, включающей  $k$  последовательно соединенных ступеней, общий КПД равен произведению КПД отдельных ступеней:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_{k-1} \cdot \eta_k \quad (2.5)$$

Следовательно КПД машины, содержащей ряд последовательных передач, всегда *будет меньше КПД любой из этих передач*.

Силовые показатели передачи определяются по известным из теории механизмов и машин (ТММ) формулам.

усилие, действующее по линии движения на поступательно движущейся детали  $F=P/v$ , где  $P$  – мощность, подведенная к этой детали, а  $v$  – ее скорость;

момент, действующий на каком-либо из валов передачи  $T=P/\omega$ , где  $P$  – мощность, подведенная к этому валу, а  $\omega$  – скорость его вращения. Используя соотношение (2.1), получаем формулу, связывающую момент, мощность и частоту вращения:

$$T = \frac{30P}{\pi \cdot n} \approx 9,55 \frac{P}{n} \quad (2.6)$$

Окружная (касательная) скорость в любой точке вращающегося элемента (колеса, шкива, вала), лежащей на диаметре  $D$  этого элемента, будет равна:

$$v = \frac{\omega \cdot D}{2} = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{60} \approx 5,24 \cdot 10^{-2} \cdot n \cdot D \quad . \quad (2.7)$$

При этом тангенциальную (окружную или касательную) силу можно вычислить по следующей формуле:

$$F_t = \frac{2T}{D} = \frac{60P}{\pi \cdot n \cdot D} \approx 19,1 \frac{P}{n \cdot D} \quad (2.8)$$

**Передаточное отношение** - это отношение скорости входного звена к скорости выходного звена, что для вращательного движения выразится следующим образом:

$$i = \pm \frac{\omega_{вх}}{\omega_{вых}} = \pm \frac{n_{вх}}{n_{вых}} \quad , \quad (2.9)$$

где верхний знак (плюс) соответствует одинаковому направлению вращения входного и выходного звеньев (валов), а нижний - встречному.

В технических расчетах (особенно прочностных) направление вращения чаще всего не имеет решающего значения. В таких расчетах используется передаточное число, которое представляет собой абсолютную величину передаточного отношения:

$$u = |i| = \frac{\omega_{вх}}{\omega_{вых}} = \frac{n_{вх}}{n_{вых}} = \frac{T_{вых}}{T_{вх} \cdot \eta} \quad (2.10)$$

В многоступенчатой передаче с последовательным расположением  $k$  ступеней (что чаще всего наблюдается в технике) передаточное число и передаточное отношение определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} i &= i_1 \cdot i_2 \cdot \dots \cdot i_{k-1} \cdot i_k \\ u &= u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_{k-1} \cdot u_k \end{aligned} \quad (2.11)$$

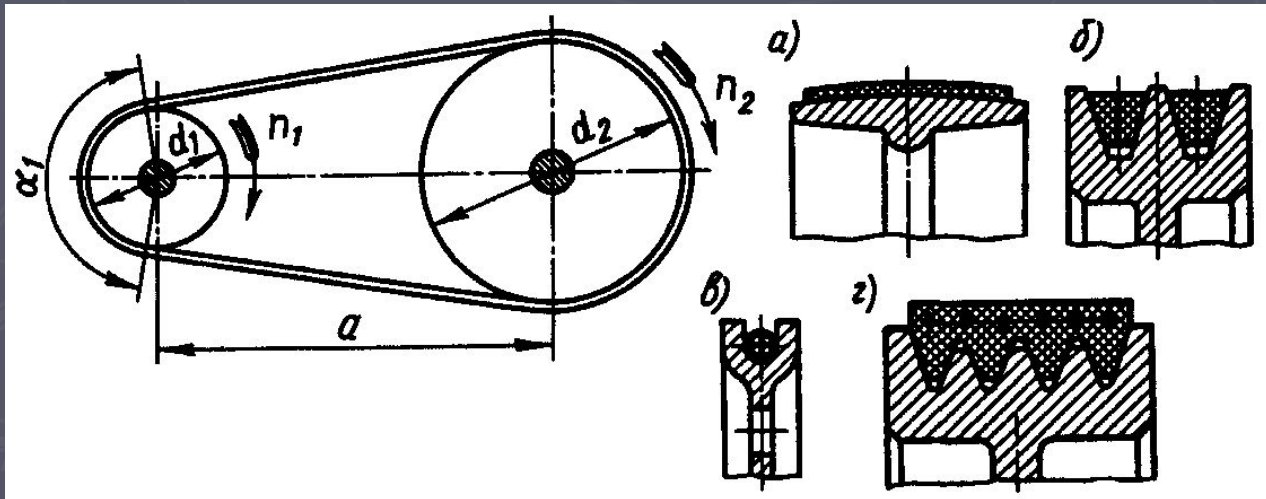
Среди множества разнообразных передач вращательного движения достаточно простыми конструктивно (по устройству) являются передачи с гибкой связью, принцип работы которых строится на использовании сил трения или зубчатого зацепления – это ременные передачи.



# Ременные передачи.

## Определение:

*Ременная передача* – это механизм, предназначенный для передачи вращательного движения посредством фрикционного взаимодействия или зубчатого зацепления замкнутой гибкой связи – ремня с жесткими звеньями – шкивами, закрепленными на входном и выходном валах механизма.



**Рис. 2.1. Принципиальная схема ременной передачи и основные виды фрикционных ремней:**

*а) плоский; б) клиновой; в) круглый; г) поликлиновой.*

## Достоинства ременных передач:

1. Простота конструкции и низкая стоимость.
2. Возможность передачи движения на достаточно большие расстояния (до 15 м).
3. Возможность работы с большими скоростями вращения шкивов.
4. Плавность и малошумность работы.
5. Смягчение крутильных вибраций и толчков за счет упругой податливости ремня.
6. Предохранение механизмов от перегрузки за счет буксования ремня при чрезмерных нагрузках.

## Недостатки ременных передач:

1. Относительно большие габариты.
2. Малая долговечность ремней.
3. Большие поперечные нагрузки, передаваемые на валы и их подшипники.
4. Непостоянство передаточного числа за счет проскальзывания ремня.
5. Высокая чувствительность передачи к попаданию жидкостей (воды, топлива, масла) на поверхности трения.

## Классификация ременных передач (2 слайда):

### **1. По форме поперечного сечения ремня:**

*1.1 плоскоремные* (поперечное сечение ремня имеет форму плоского вытянутого прямоугольника, рис. 2.1.а);

*1.2 клиноремные* (поперечное сечение ремня в форме трапеции рис. 2.1.б);

*1.3 поликлиноремные* (наружная поверхность ремня плоская, а внутренняя, взаимодействующая со шкивами, поверхность ремня снабжена продольными гребнями, в поперечном сечении имеющими форму трапеции, рис. 2.1.г);

*1.4 круглоремные* (поперечное сечение ремня имеет форму круга, рис. 2.1.в);

*1.5 зубчаторемная* (внутренняя, контактирующая со шкивами, поверхность плоского ремня снабжена поперечными выступами, входящими в процессе работы передачи в соответствующие впадины шкивов).

### **2. По взаимному расположению валов и ремня:**

*2.1 открытая* передача – передача с параллельными геометрическими осями валов и ремнем, охватывающим шкивы в одном направлении (шкивы вращаются в одном направлении);

*2.2 перекрестная* передача – передача с параллельными валами и ремнем, охватывающим шкивы в противоположных направлениях (шкивы вращаются во встречных направлениях);

*2.3 полуперекрестная* передача – оси валов которой перекрещиваются под некоторым углом (чаще всего  $90^\circ$ ).

### **3. По числу и виду шкивов, применяемых в передаче:**

*3.1 с одношкивными валами;*

*3.2 с двухшкивным валом, один из шкивов которого холостой;*

*3.3 с валами, несущими ступенчатые шкивы для изменения передаточного числа (для ступенчатой регулировки скорости ведомого вала).*

### **4. По количеству валов, охватываемых одним ремнем:**

*двухвальная,*

*трех-,*

*четырёх- и*

*многовальная передача.*

### **5. По наличию вспомогательных роликов:**

*без вспомогательных роликов,*

*с натяжными роликами;*

*с направляющими роликами.*

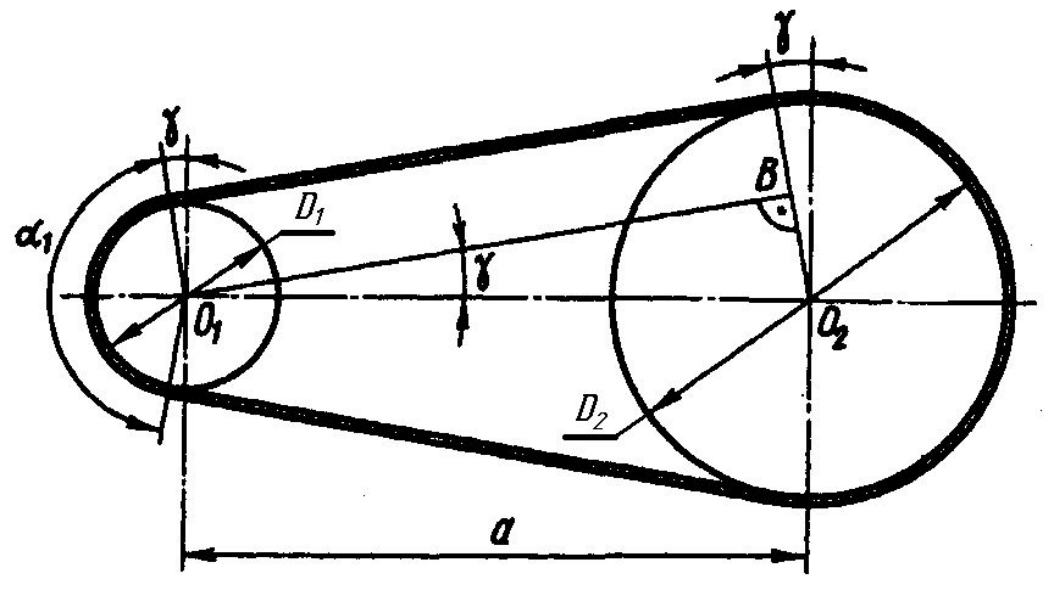


Рис. 2.2. Геометрия открытой ременной передачи.

Геометрические соотношения в ременной передаче рассмотрим на примере открытой плоскоременной передачи (рис. 2.2). Межосевое расстояние  $a$  – это расстояние между геометрическими осями валов, на которых установлены шкивы с диаметрами  $D_1$  (он, как правило, является ведущим) и  $D_2$  (ведомый шкив).

При расчетах клиноременных передач для ведущего и ведомого шкивов используются расчетные диаметры  $d_{p1}$  и  $d_{p2}$ . Угол между ветвями охватывающего шкивы ремня -  $2\gamma$ , а угол охвата ремнем малого (ведущего) шкива (угол, на котором ремень касается поверхности шкива)  $\alpha_1$ . Как видно из чертежа (рис. 2.2) половинный угол между ветвями составит

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{D_2 - D_1}{2 \cdot a}\right) \quad , \quad (2.12)$$

а так как этот угол обычно невелик, то во многих расчетах допустимым является приближение  $\gamma \approx \sin\gamma$ , то есть

$$\gamma \approx \frac{D_2 - D_1}{2 \cdot a} \quad (2.13)$$

Используя это допущение, угол охвата ремнем малого шкива можно представить в следующем виде

$$\alpha = \pi - 2 \cdot \gamma \approx \pi - \frac{D_2 - D_1}{a} \quad (2.14)$$

в радианной мере, или

$$\alpha = 180 \cdot \left( 1 - \frac{D_2 - D_1}{\pi \cdot a} \right) \quad (2.15)$$

в градусах.

Длину ремня при известных названных выше параметрах передачи можно подсчитать по формуле

$$L_p = 2 \cdot a + \frac{\pi}{2} \cdot (D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4 \cdot a} \quad (2.16)$$

Однако, весьма часто ремни изготавливаются в виде замкнутого кольца известной (стандартной) длины. В этом случае возникает необходимость уточнять межосевое расстояние по заданной длине ремня

$$a = \frac{1}{8} \cdot \left\{ 2 \cdot L_p - \pi \cdot (D_2 + D_1) + \sqrt{\left[ 2 \cdot L_p - \pi \cdot (D_2 + D_1) \right]^2 - 8 \cdot (D_2 - D_1)^2} \right\} \quad (2.17)$$

С целью обеспечения стабильности работы передачи обычно принимают

для плоского ремня –

$$a \geq 2 \cdot (D_2 + D_1)$$

а для клинового –

$$2 \cdot (d_{p2} + d_{p1}) \geq a \geq 0,55 \cdot (d_{p2} + d_{p1}) + h_p$$

где  $h_p$  – высота поперечного сечения ремня (толщина ремня).

В процессе работы передачи ремень обегает ведущий и ведомый шкивы.

Долговечность ремня в заданных условиях его работы характеризует

отношение  $V_p / L_p$  (в системе СИ его размерность –  $c^{-1}$ ), чем больше

величина этого отношения, тем ниже при прочих равных условиях

долговечность ремня. Обычно принимают

для плоских ремней –  $V_p / L_p = (3 \dots 5) c^{-1}$ ,

для клиновых –  $V_p / L_p = (20 \dots 30) c^{-1}$ .



**Силловые соотношения в ременной передаче.** В ременной передаче силы нормального давления между поверхностями трения можно создать только за счет предварительного натяжения ремня. При неработающей передаче силы натяжения обеих ветвей будут одинаковыми (обозначим их  $F_0$ , как на рис 2.3,а). В процессе работы

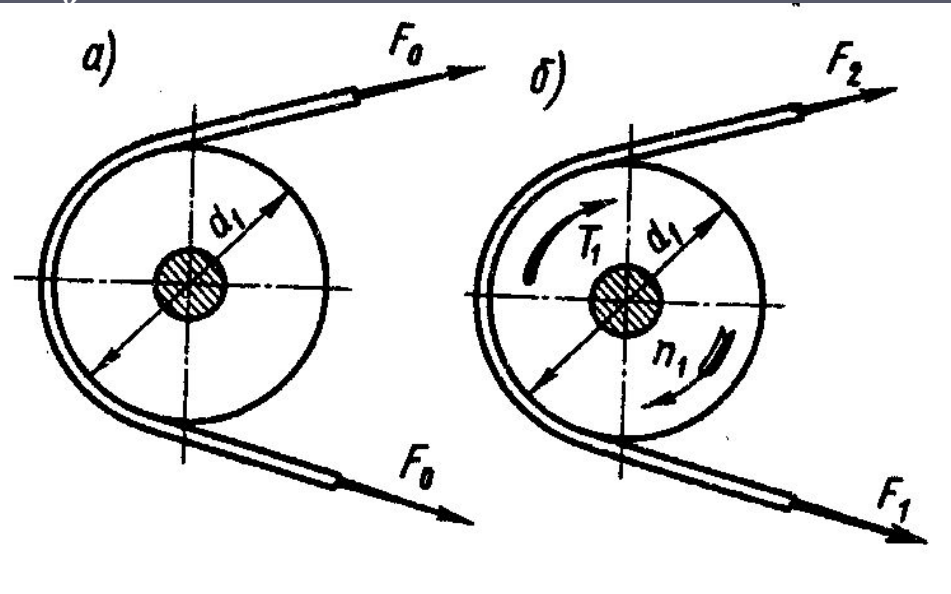


Рис. 2.3. Силы в ременной передаче.

передачи за счет трения ведущего шкива о ремень набегающая на этот шкив ветвь ремня получает дополнительное натяжение (сила  $F_1$ ), а, сбегающая с ведущего шкива, ветвь ремня несколько ослабляется (сила  $F_2$ , рис. 2.3,б).

Окружное усилие, передающее рабочую нагрузку  $F_t = F_1 - F_2$ , но, как для передачи вращения  $Ft = 2T_2/D$  (см. (2.8)),

а для поступательно движущихся ветвей ремня  $F_t = P / V_p$ , где  $P$  – мощность передачи, а  $V_p$  – средняя скорость движения ремня. Суммарное натяжение ветвей ремня  $F_p$  остается неизменным, как в работающей, так и в неработающей передаче, то есть  $F_1 + F_2 = 2F_0$ .



Для ремня, охватывающего шкив, по формуле Эйлера  $F_1 = F_2 \cdot e^{f \cdot \alpha}$ , где  $e$  – основание натурального логарифма ( $e \approx 2,7183$ ),  $f$  – коэффициент трения покоя (коэффициент сцепления) между материалами ремня и шкива,  $\alpha$  – угол охвата ремнем шкива. Тогда,

$$F_0 = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n_1 \cdot D_1} \cdot \frac{e^{f \cdot \alpha} + 1}{e^{f \cdot \alpha} - 1}, \quad (2.19)$$

где индексы «1» указывают на параметры, относящиеся к ведущему шкиву передачи.

Отношение разности сил натяжения в ветвях ремня работающей передачи к сумме этих сил называется **коэффициентом тяги** ( $\phi$ ).

$$\phi = \frac{F_1 - F_2}{F_1 + F_2} = \frac{F_t}{2F_0}. \quad (2.21)$$

Оптимальная величина коэффициента тяги:

$$\phi_0 = \frac{e^{f \cdot \alpha} - 1}{e^{f \cdot \alpha} + 1}. \quad (2.22)$$

**Оптимальная величина коэффициента тяги** зависит только лишь от конструктивных параметров передачи и качества фрикционной пары материалов ремня и шкива.

**Кинематика ременной передачи.** Удлинение каждого отдельно взятого элемента ремня меняется в зависимости от того, на какую его ветвь этот элемент в данный момент времени попадает (поскольку  $F_1 > F_2$ ). Изменение длины этой элементарной части ремня может происходить только в процессе ее движения по шкивам. При этом, проходя по ведущему шкиву (при переходе с ведущей ветви на свободную), эта элементарная часть укорачивается, а при движении по ведомому шкиву (переходя со свободной ветви ремня на его ведущую ветвь) – удлиняется. Изменение длины части ремня, соприкасающейся с поверхностью шкива, возможно только с её частичным проскальзыванием. Следовательно:

**1) работа ременной передачи без скольжения ремня по рабочей поверхности шкивов невозможна.;**

**2) скорости движения ведущей и свободной ветвей ремня различны, а следовательно, различны и скорости рабочих поверхностей ведущего и ведомого шкивов.**

Окружная скорость рабочей поверхности ведущего шкива больше окружной скорости на поверхности ведомого шкива ( $V_1 > V_2$ ).

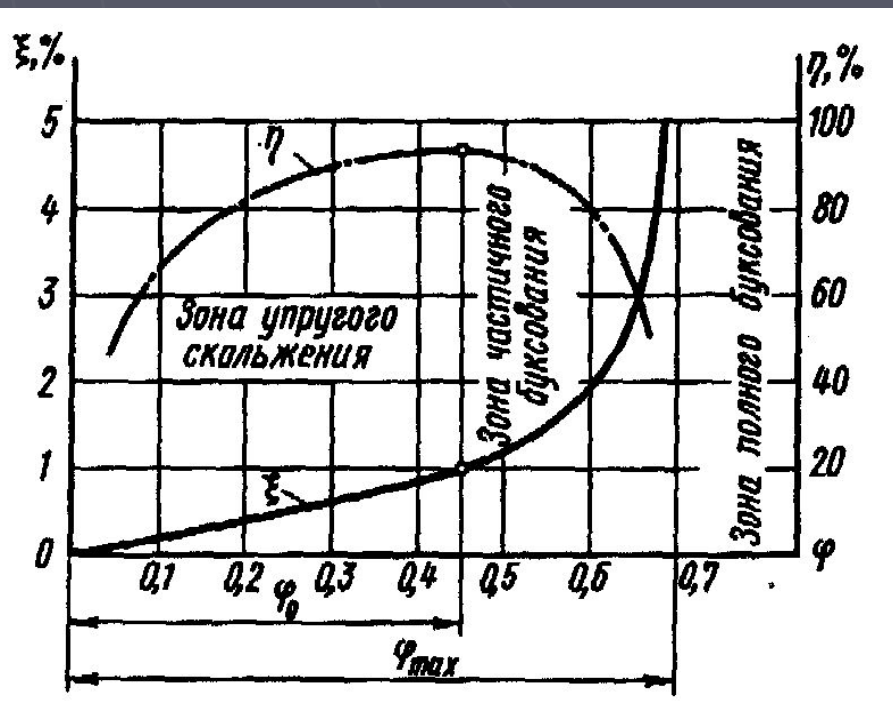
Отношение разности между окружными скоростями на рабочей поверхности ведущего и ведомого шкивов к скорости ведущего шкива называют **коэффициентом скольжения передачи ( $\xi$ )**.

$$\xi = \frac{V_1 - V_2}{V_1} = 1 - \frac{V_2}{V_1}, \quad (2.23)$$

где индекс «1» соответствует ведущему, а индекс «2» – ведомому шкивам. Передаточное число ременной передачи, представленное через ее конструктивные параметры:

$$i = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - \xi)} \quad (2.24)$$

Тяговая способность и долговечность ремня являются основными критериями работоспособности ременной передачи. Её проектный расчет обычно выполняется по тяговой способности, а расчет долговечности при этом является проверочным.



Поведение ременной передачи характеризует график рис. 2.4. На нем выявляются 3 зоны:

- 1 зона упругого скольжения ( $0 \leq \phi \leq \phi_0$ ;  $\xi$  меняется линейно);
- 2 зона частичного буксования ( $\phi_0 \leq \phi \leq \phi_{max}$ ,  $\xi$  быстро нарастает);
- 3 зона полного буксования ( $\phi > \phi_{max}$  скольжение полное).

Рис. 2.4. Кривые скольжения и КПД.

**Напряжения в ремне.** В ремне возникают напряжения от действия рабочей нагрузки, от изгиба вокруг шкива, от действия центробежных сил при обегании шкива.

напряжения растяжения от рабочей нагрузки

$$\sigma_p = \frac{60 \cdot P}{\pi \cdot n_1 \cdot D_1 \cdot A_p} \cdot \frac{1}{1 - e^{-f \cdot \alpha}} \quad ; \quad (2.25)$$

напряжения изгиба

$$\sigma_u = \frac{2 \cdot E \cdot y_0}{D_1} \quad ; \quad (2.26)$$

напряжения от действия центробежных сил

$$\sigma_{ц} = \rho \cdot V_p^2 \quad ; \quad (2.29)$$

где  $\rho$  – средняя плотность материала ремня, а  $V_p$  – средняя скорость движения ремня, оббегающего шкив.

На внешней стороне ремня все три вида названных напряжений являются растягивающими и потому суммируются. Таким образом, максимальные растягивающие напряжения в ремне

$$\sigma_{max} = \sigma_p + \sigma_u + \sigma_{ц} \quad . \quad (2.31)$$

Особенности конструкции, работы и расчета клиноременных и поликлиноременных передач. Клиновые ремни имеют трапециевидное поперечное сечение, а поликлиновые – выполненную в форме клина рабочую часть (рис. 2.5). Угол клина для обоих видов ремней одинаков и составляет  $40^\circ$ . На шкивах такой передачи выполняются канавки, соответствующие сечению рабочей части ремня и называемые ручьями. Профили ремней и ручьев шкивов контактируют только по боковым (рабочим) поверхностям (рис. 2.6).

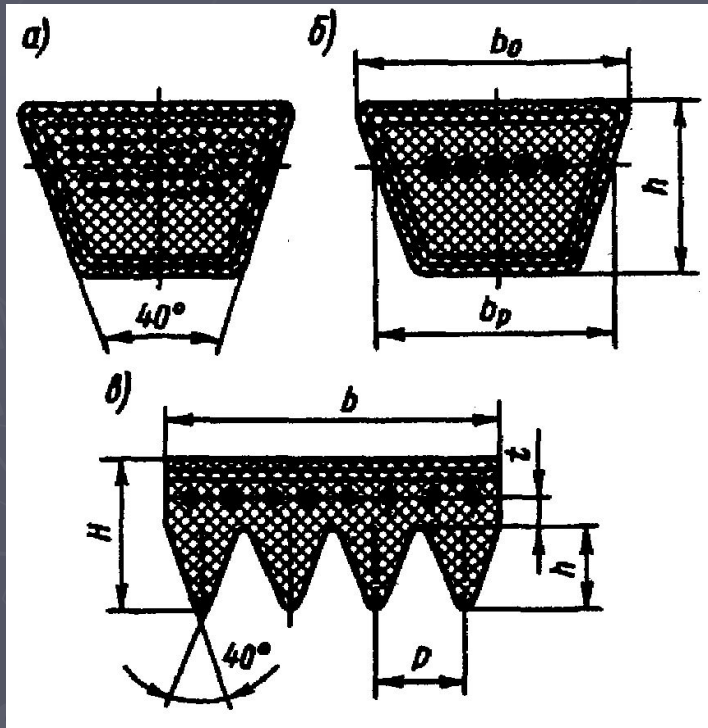


Рис. 2.5. сечения клинового (а, б) и поликлинового (в) ремней.

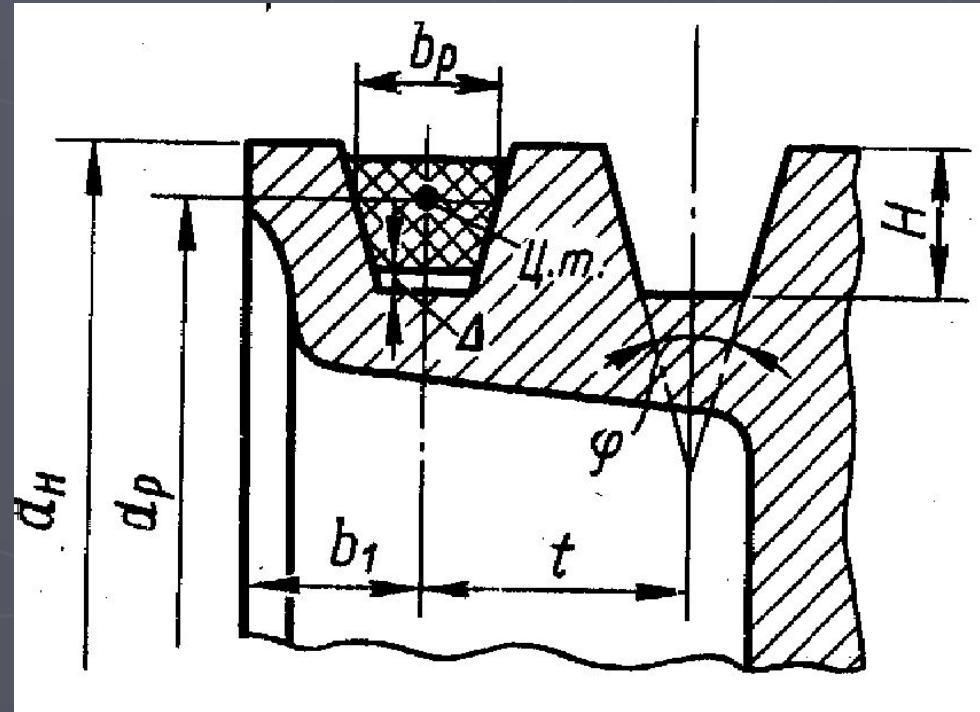


Рис. 2.6. Расположение клинового ремня в ручье шкива.

Размеры сечений клиновых ремней стандартизованы (ГОСТ 1284.1-89, ГОСТ 1284.2-89, ГОСТ 1284.3-89). Стандартом предусмотрено 7 ремней нормального сечения (Z, A, B, C, D, E, E0), у которых  $b_0/h \approx 1,6$ , и 4 – узкого сечения (YZ, YA, YB, YC), у которых  $b_0/h \approx 1,25$ . Ремни изготавливаются в виде замкнутого кольца, поэтому их длины тоже стандартизованы. Таким образом, ремень со шкивом образуют клиновую кинематическую пару, для которой приведенный коэффициент трения  $f^*$  выражается зависимостью

$$f^* = f / \sin \frac{\phi}{2}, \quad (2.36)$$

где  $f$  – коэффициент трения между контактирующими поверхностями ремня и шкива, а  $\phi$  – угол между боковыми рабочими поверхностями ремня. При  $\phi = 40^\circ$  получаем, что  $f^* = 2,92 f$ , то есть при одном и том же диаметре ведущего шкива несущая способность клиноременной передачи будет примерно втрое выше в сравнении с плоскоременной.

Проектный расчет клиноременных передач выполняется достаточно просто методом подбора, поскольку в стандартах указывается мощность, передаваемая одним ремнем при определенном расчетном диаметре меньшего шкива и известной средней скорости ремня или частоте вращения шкива.



Лекция окончена.  
Спасибо за внимание!