

Валы и оси

Вал — деталь, в форме тела вращения, служащая для передачи вращающего момента и для поддержания вращающихся деталей.

Различают по виду нагрузки:

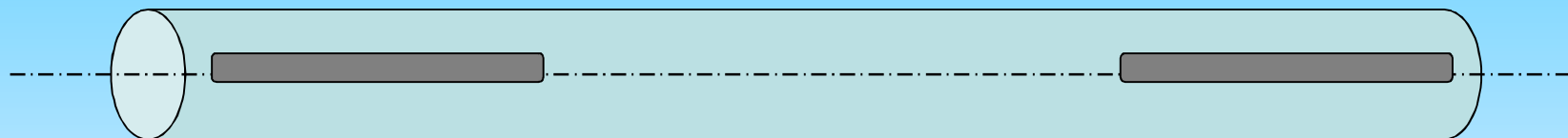
Простые валы — работают в условиях кручения, изгиба и растяжения.

Торсионные валы — работают только на кручение.

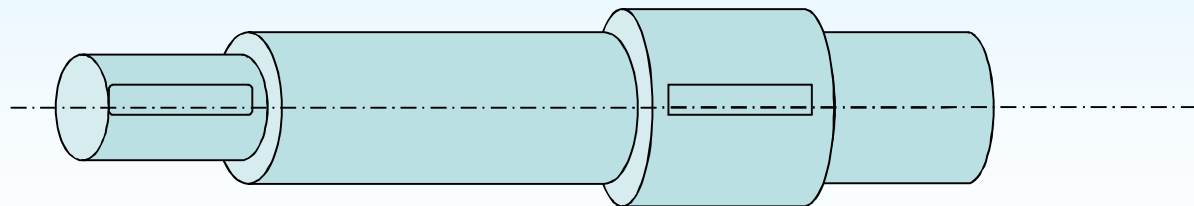
Оси — поддерживающие, не вращающиеся валы — работают на изгиб и растяжение

Валы и оси

Гладкие валы

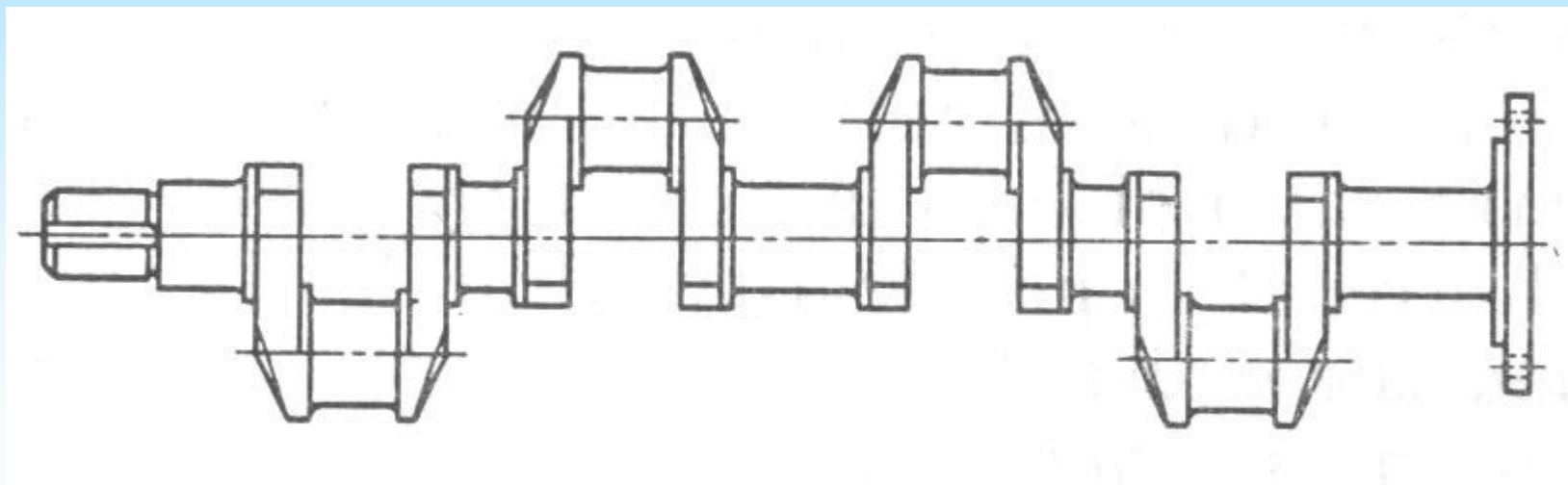


Ступенчатые валы



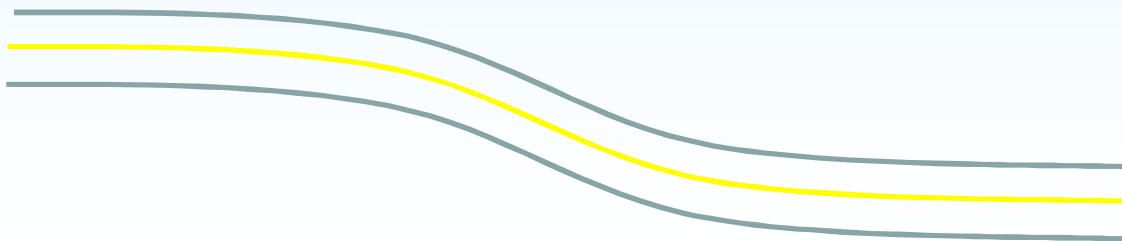
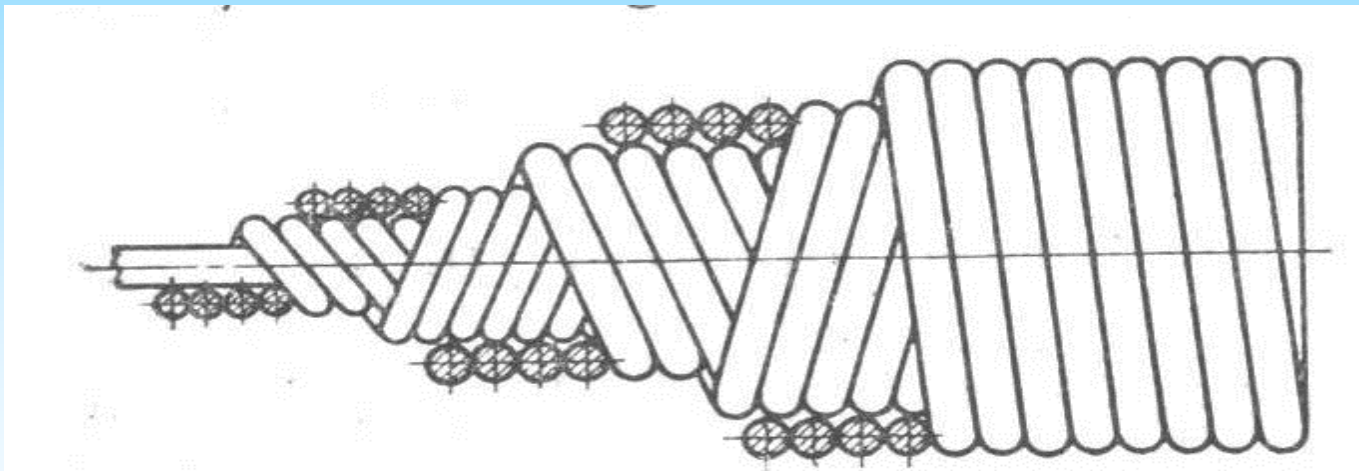
Валы и оси

Коленчатые валы – имеют ломаную ось, служат для преобразования вращательного движения в поступательное или наоборот



Валы и оси

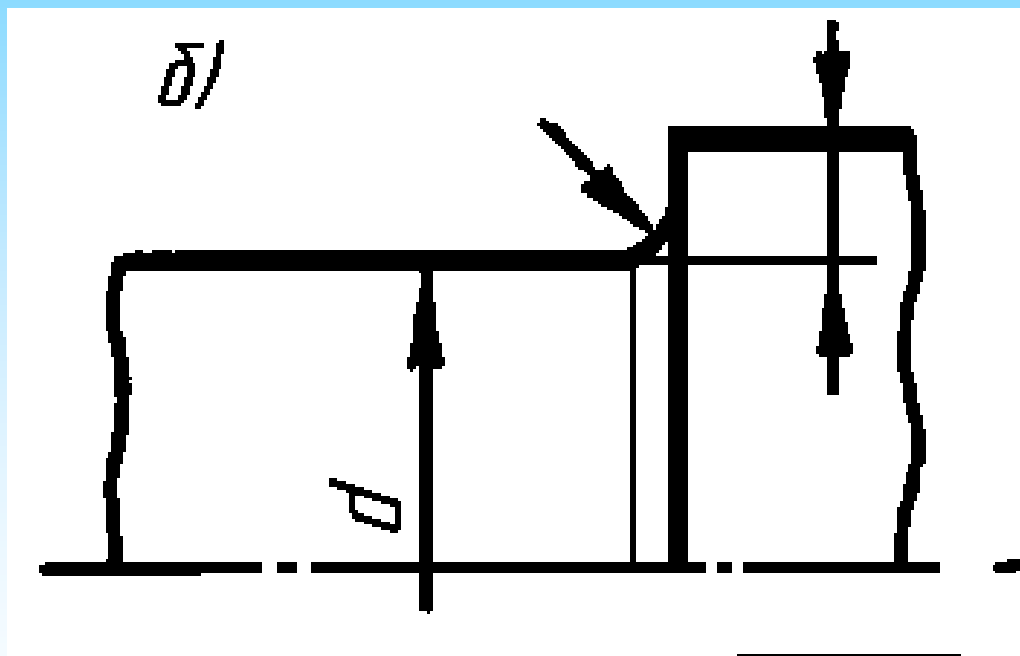
Гибкие валы – имеют криволинейную ось при работе, обладают большой жесткостью при кручении и малой при изгибе



Валы и оси

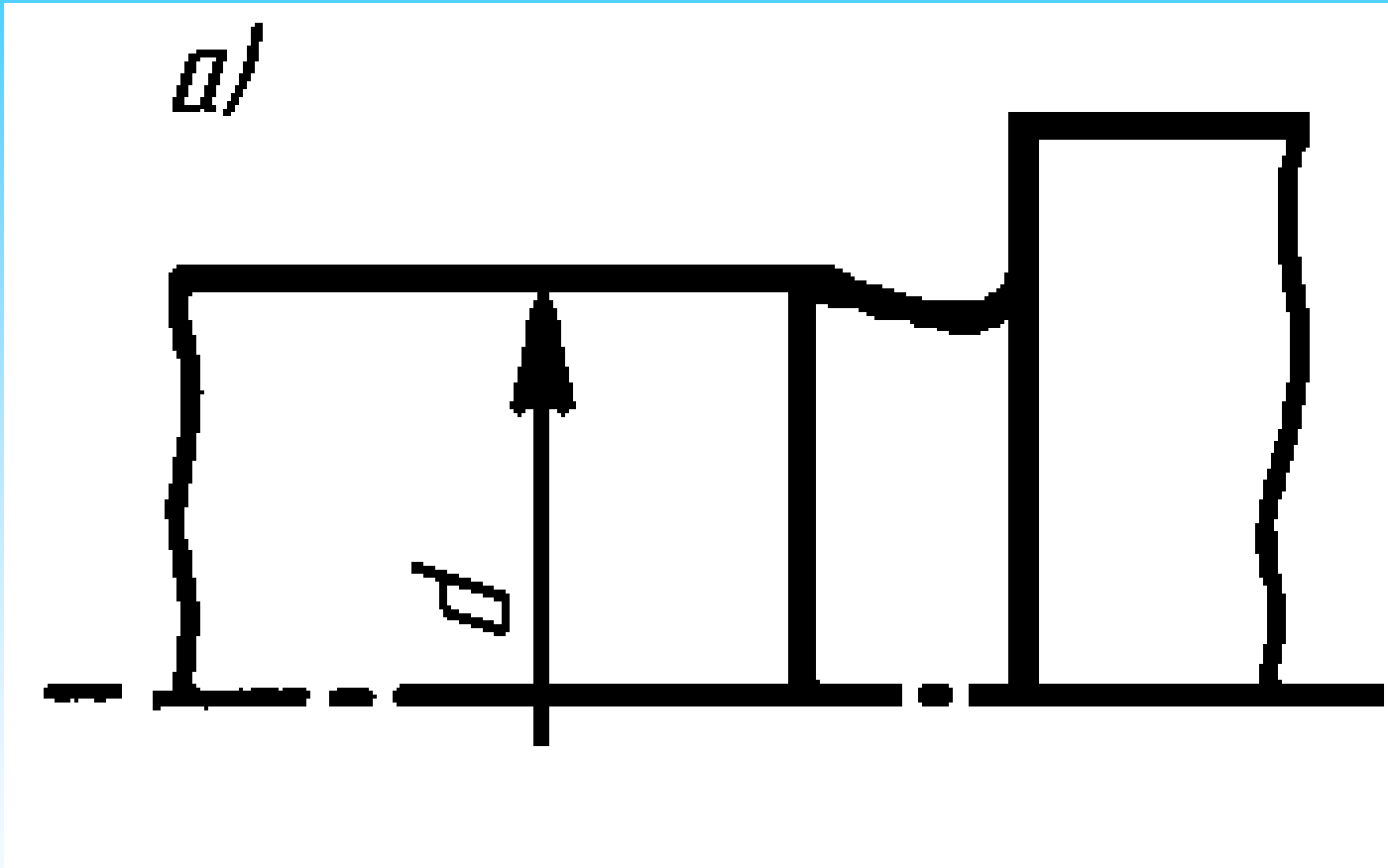
Особенности конструкции

Переходные участки



Галтель – переходная поверхность от цилиндрической части вала к заплечу, выполненная обычно без удаления материала с цилиндрической и торцевой

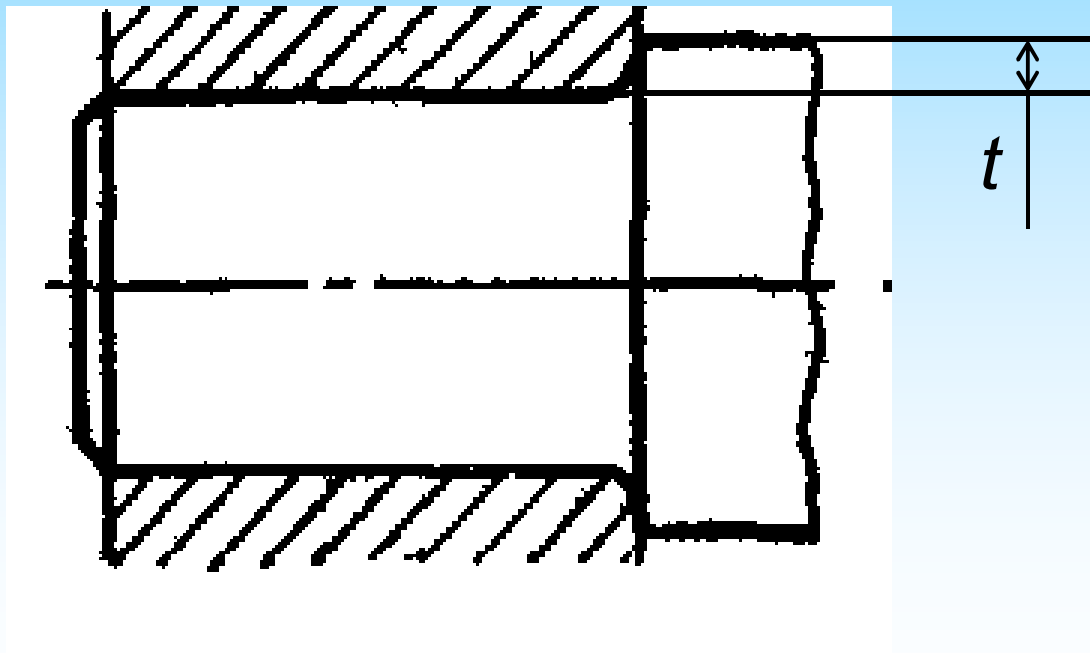
Валы и оси



Канавка – небольшое углубление на цилиндрической поверхности вала

Валы и оси

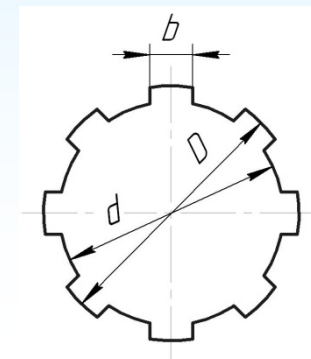
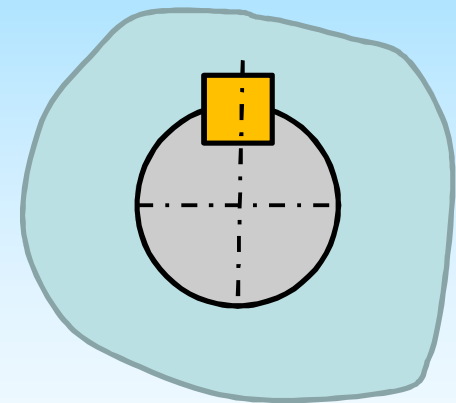
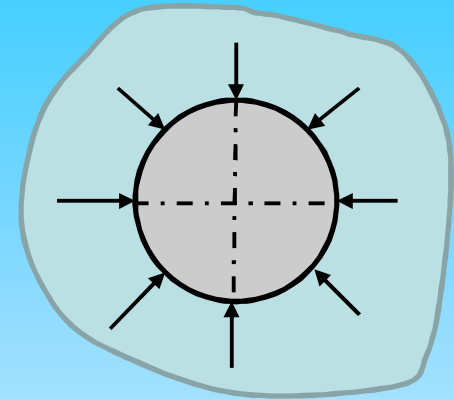
Для осевого фиксирования используют упорные буртики



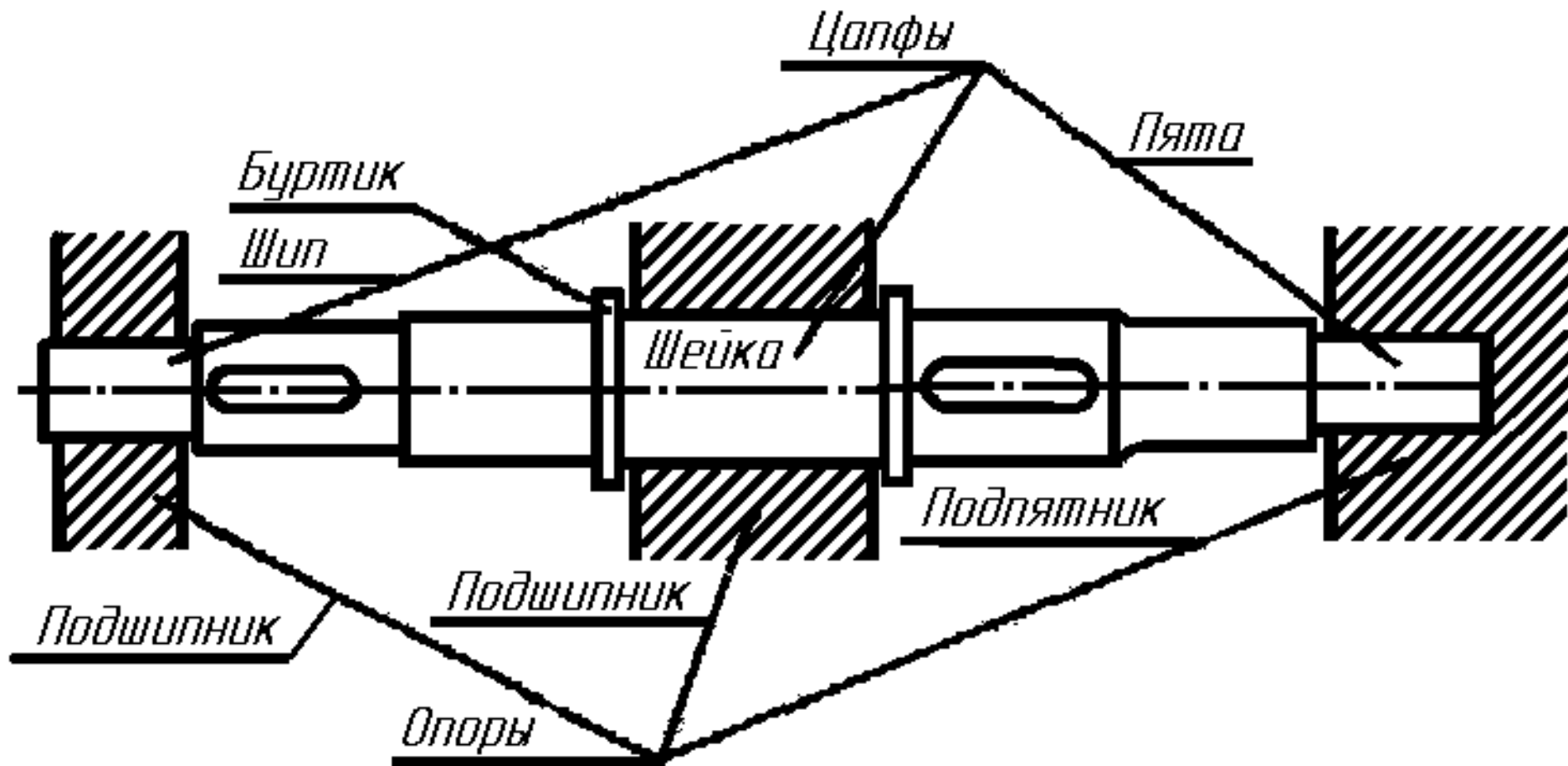
Валы и оси

Фиксирование в окружном направлении насаживаемой детали:

- Соединения с натягом (за счет сил трения)
- Шпоночным соединением (при средних вращающих моментах)
- Шлицевым соединением (при высоких вращающих моментах)



Валы и оси



Участки осей и валов, которыми они упираются на подшипники, называют **цапфами**

Валы и оси

Цапфы на некотором расстоянии от концов-
шейки

Концевые цапфы – **шипы и пяты**

Пята – концевая цапфа, передающая только осевую нагрузку.

Шип – концевая цапфа, передающая на корпус только радиальную или радиальную и осевую нагрузки вместе.

Валы и оси

Критерии работоспособности

- Прочность
- Жесткость
- Виброустойчивость

Валы и оси

Расчеты на прочность

При проектировочном расчете размеры валов определяют из условия прочности на кручение.

Учитывать влияние изгибающих моментов не удастся, т.к. неизвестны расстояния между опорами.

Валы и оси

Из условия прочности на кручение:

$$\tau \leq [\tau]$$

$$[\tau] = 12 \dots 20 \text{ МПа}$$

$$\tau = \frac{T}{W_{\rho}} \approx \frac{T}{0,2 d^3}$$

$\Rightarrow$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{T}{0,2 [\tau]}}$$

Валы и оси

Уточненный расчет валов на прочность

После выполнения общей компоновки и получения формы и размеров валов выполняют уточненный расчет — определение коэффициентов запаса прочности для опасных сечений S и сравнение их с допускаемым $[S]$ (обычно принимают $[S] = 1,2 \dots 2,5$).

$$S = \frac{S_{\sigma} \cdot S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}} \geq [S]$$

S_{σ} и S_{τ} - коэффициенты запаса прочности по нормальным и касательным напряжениям соответственно

Валы и оси

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \cdot \sigma_a + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m}; \quad S_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} \cdot \tau_a + \psi_{\tau} \cdot \tau_m};$$

σ_{-1} и τ_{-1} – пределы выносливости для материала вала при симметричном цикле изгиба и кручения;

σ_a и τ_a – амплитуды изменения напряжений изгиба и кручения;

σ_m и τ_m – средние значения за цикл тех же напряжений;

ψ_{σ} и ψ_{τ} – коэффициенты чувствительности материала вала к асимметрии цикла напряжений ($\psi_{\tau} \approx 0,5 \cdot \psi_{\sigma}$; $0,05 \leq \psi_{\sigma} \leq 0,2$);

$K_{\sigma D}$ и $K_{\tau D}$ – коэффициенты снижения пределов выносливости по изгибу и кручению

Валы и оси

Расчет осей из условия прочности на изгиб:

$$\sigma \leq [\sigma]_u$$

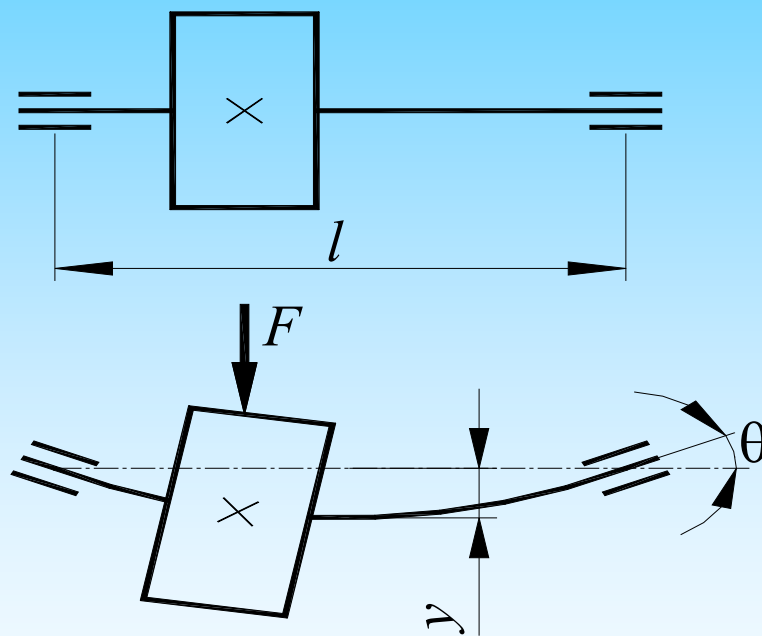
$$\sigma = \frac{M}{W_z} \approx \frac{M}{0,1 d^3}$$

$$\Rightarrow$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{10M}{[\sigma]_u}}$$

Валы и оси

Проверочный расчёт валов на жёсткость чаще всего выполняется по нескольким критериям.



Дè ñ. 4.3.15

Валы и оси

Проверочный расчёт валов на жёсткость чаще всего выполняется по нескольким критериям. Наиболее часто при этом виде расчёта определяются:

- 1) *прогиб* вала в определённых сечениях (например, под зубчатым или червячным колесом);
- 2) *максимальный прогиб* вала;
- 3) *поворот отдельных сечений* вала, вызванный его изгибом (чаще всего в местах установки подшипников);
- 4) *закручивание* вала под действием рабочих моментов.

Валы и оси

Исходя из изложенного, получаем следующие критерии жесткости вала:

прогиб под элементами зацепления – $y \leq [y];$

полная стрела прогиба– $f \leq [f];$

угол поворота сечения– $\theta \leq [\theta];$

удельный угол закручивания вала– $\varphi_0 \leq [\varphi_0];$

Валы и оси

Допустимые значения прогибов и углов составляют:

Предельный прогиб в месте установки зубчатых колёс при модуле зацепления m :

цилиндрических –

$$[y] = 0,01m;$$

конических, гипоидных, глобоидных, червячных –

$$[y] = 0,005m;$$

полная стрела прогиба – $[f] = 3 \cdot 10^{-4}l$, где l – полная длина вала;

допустимый удельный угол закручивания вала:

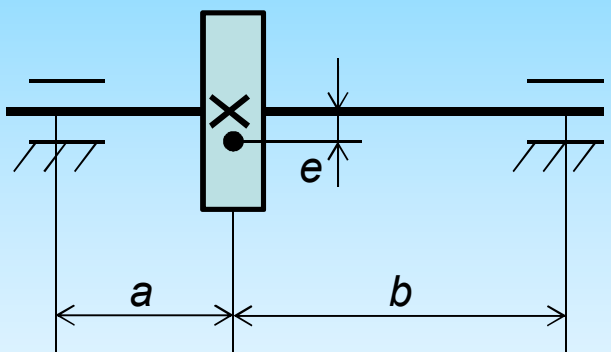
$0,025 \leq [\varphi_0] \leq 1,0$ градус/м в зависимости от конструкции и назначения вала.

Для осей полный прогиб $[f] \approx (2...3) \cdot 10^{-3}l$, где l – полная длина оси.

Валы и оси

Виброустойчивость

В реальных условиях, центры тяжести вращающихся деталей не совпадают с осью вращения



Сила инерции:

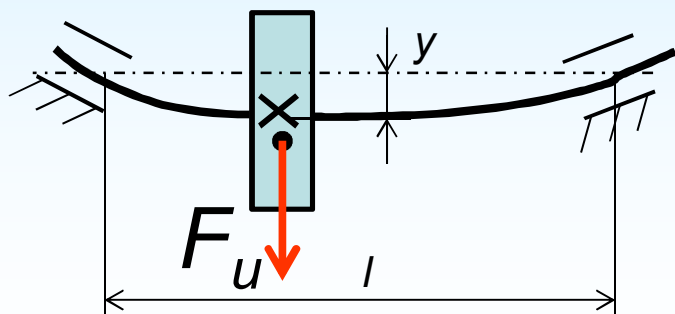
$$F_u = m \cdot a^n = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

где:

$$R = y + e$$

y – прогиб вала

e – эксцентриситет

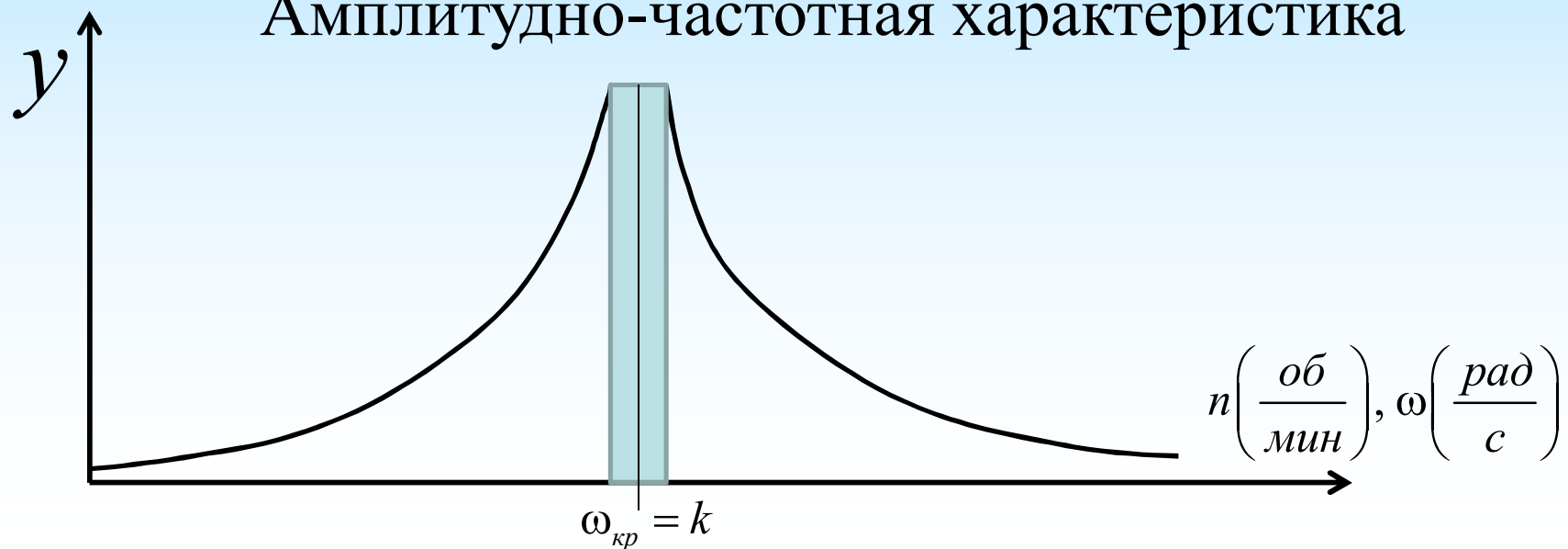


Валы и оси

Прогиб вала $y = \frac{e}{\frac{k}{m \cdot \omega^2} - 1}$

$k = \frac{48 \cdot E \cdot J}{l}$ - собственная частота

Амплитудно-частотная характеристика



Валы и оси

Явление совпадения вынуждающей и собственной частот называется резонансом.

Большинство валов передач работают в зарезонансном режиме ($\omega_e \gg \omega_0$), и при разгоне и торможении машины вал проходит через область резонанса.

Длительная работа вала в резонансном режиме ведёт к увеличению его деформаций, а, следовательно, и напряжений в нём, способствуя тем самым быстрому его разрушению. Следовательно, *необходимо сокращать время разгона и торможения*, чтобы амплитуда колебаний вала не достигла опасной величины.