

# ВАЛЫ И ОСИ

Разработал: доцент каф. 202  
Ковеза Юрий Владимирович  
ауд. 227 МК  
khai202.ho.ua

Лектор: ассистент каф. 202  
Светличный Сергей Петрович  
ауд. 246

# Содержание лекции:

1. Определения и классификация.
2. Порядок расчета.
3. Проектировочный расчет вала.
4. Проектировочный расчет оси.
5. Правила конструирования.
6. Проверочный расчет на статическую прочность.
7. Проверочный расчет на усталостную прочность.
8. Мероприятия, повышающие усталостную прочность.

# Содержание лекции:

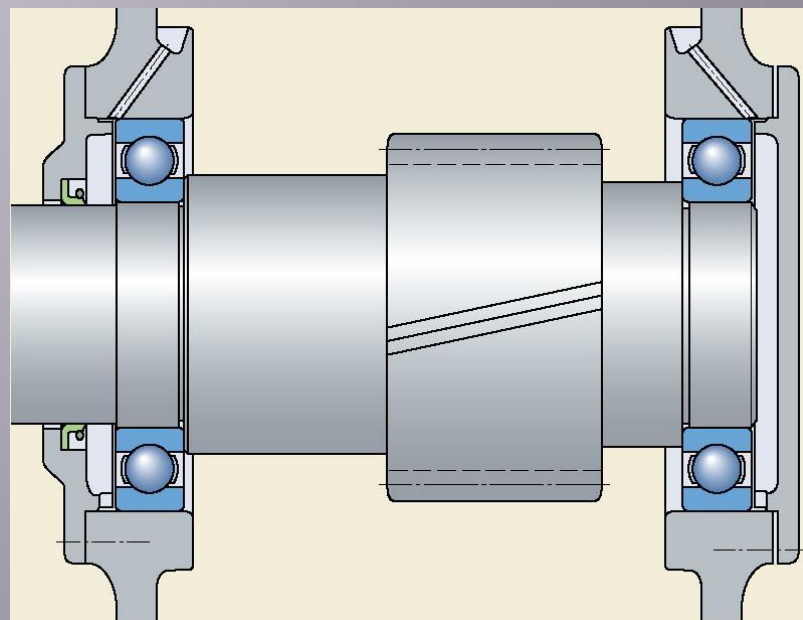
9. Проверочный расчет на жесткость.

10. Проверочный расчет на колебания.

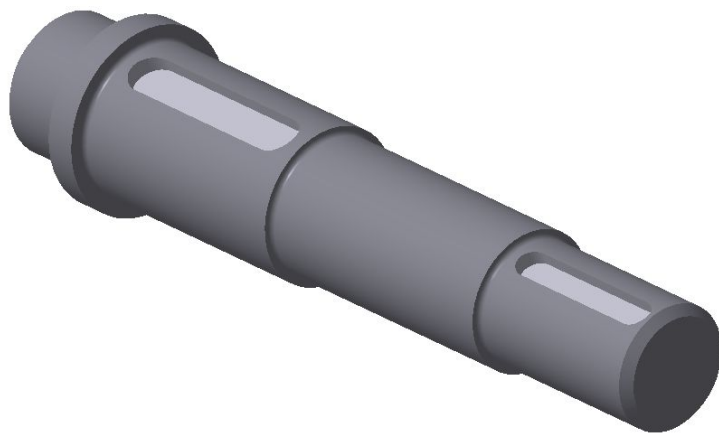
# Определения

Валы – это детали, предназначенные для передачи вращающего момента вдоль своей оси и для поддержания вращающихся деталей машин.

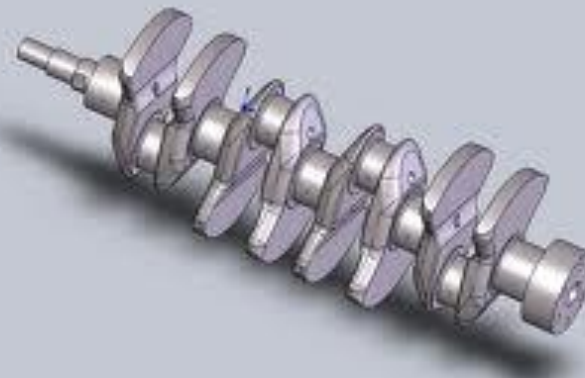
Оси – это детали, предназначенные для поддержания вращающихся деталей и не передающие полезный вращающий момент.



# Классификация: по форме



прямые



коленчатые

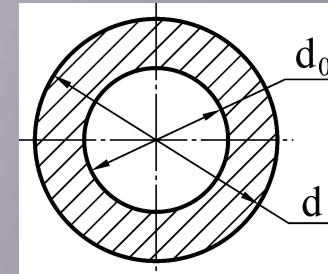
# Классификация:

По виду нагрузки:

- работающие под действием изгиба и кручения;
- работающие под действием только кручения.

По сплошности сечения:

- сплошные;
- полые.



По подвижности:

- подвижные;
- неподвижные.

# Порядок расчета



# Проектировочный расчет вала

Диаметр вала определяют из условия прочности **только на кручение** при пониженных допустимых напряжениях:

$$\tau_{кр} = \frac{T}{W_{\rho}} = \frac{T}{0,2d^3(1-\alpha^4)} \leq [\tau_{кр}]$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2(1-\alpha^4)[\tau_{кр}]}}$$

$[\tau_{кр}] = 20...50 \text{ МПа}$  для общего машиностроения

$[\tau_{кр}] = 60...90 \text{ МПа}$  для авиации

Стандартные размеры по ГОСТ 6636-69 из ряда  $R_{20}$  (в мм): 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63 и т.д.



# Проектировочный расчет оси

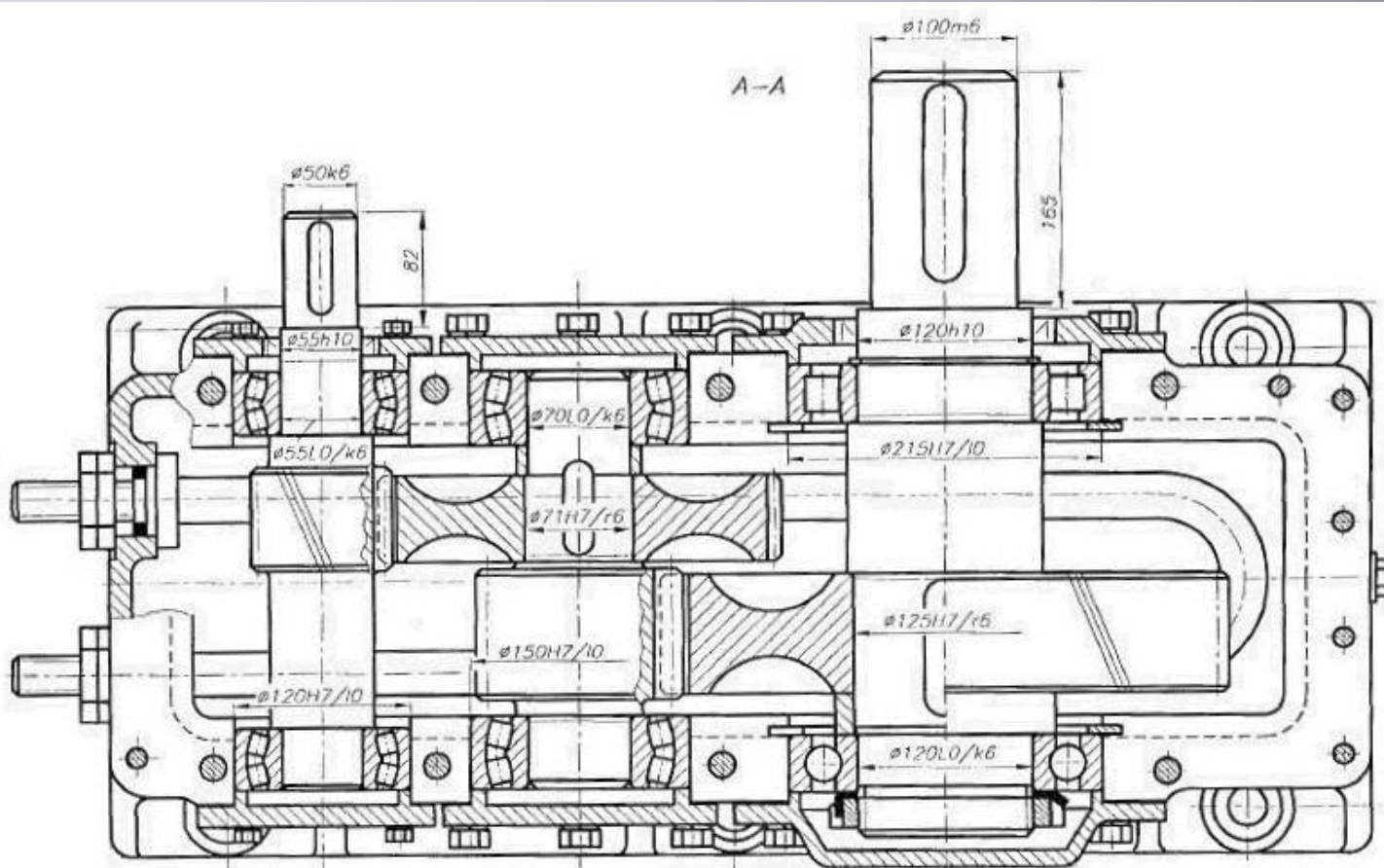
Диаметр оси определяют из условия прочности на изгиб:

$$\sigma_u = \frac{M}{W_{но}} = \frac{32M}{\pi d^3 (1 - \alpha^4)} \leq [\sigma_u]$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{M}{0,1(1 - \alpha^4)[\sigma_u]}}$$

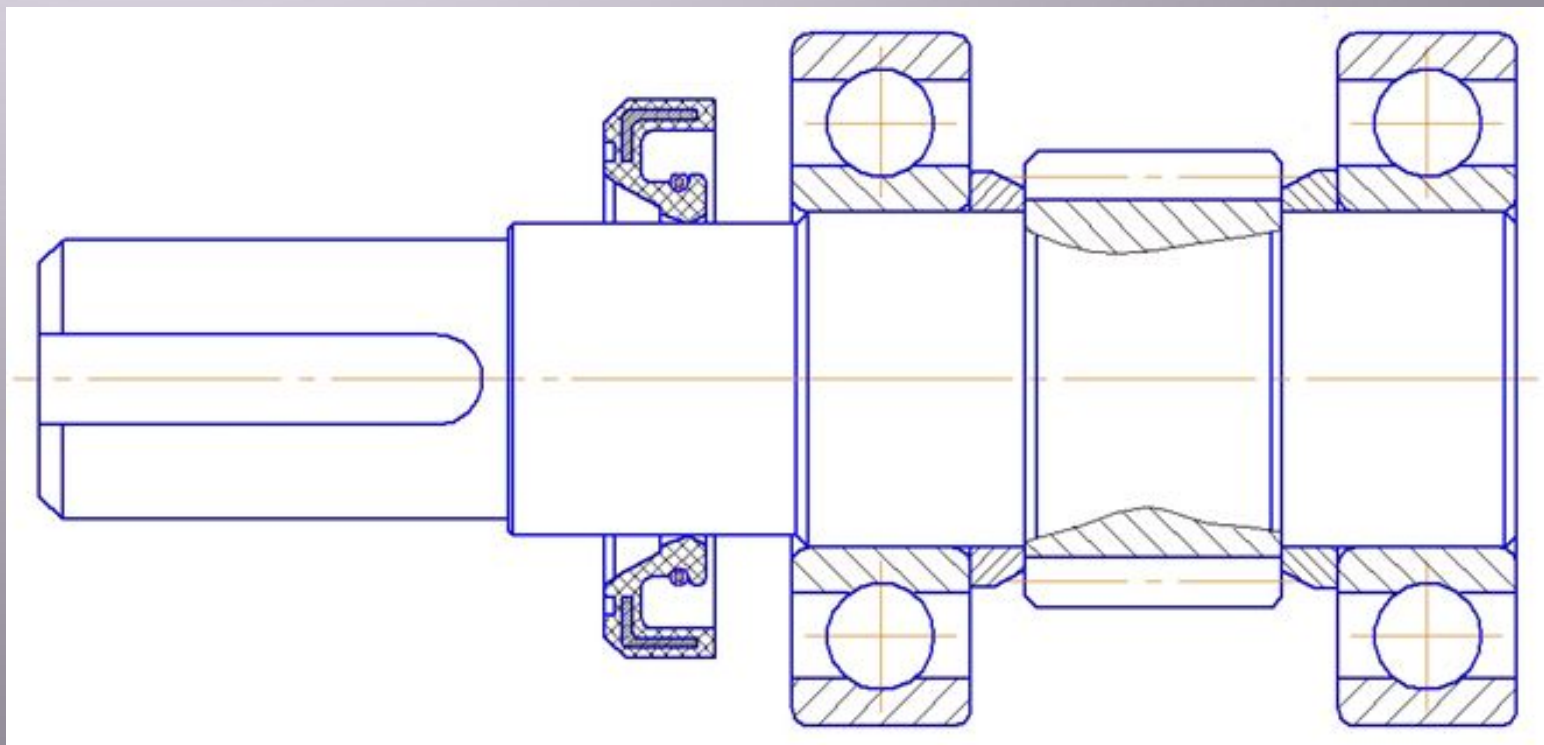
# Правила конструирования

1. Форму вала следует приближать к форме тела равного сопротивления изгибу с учётом кручения. Это означает, что наибольший диаметр должен быть в тех местах, где действуют максимальные изгибающий и крутящий моменты.



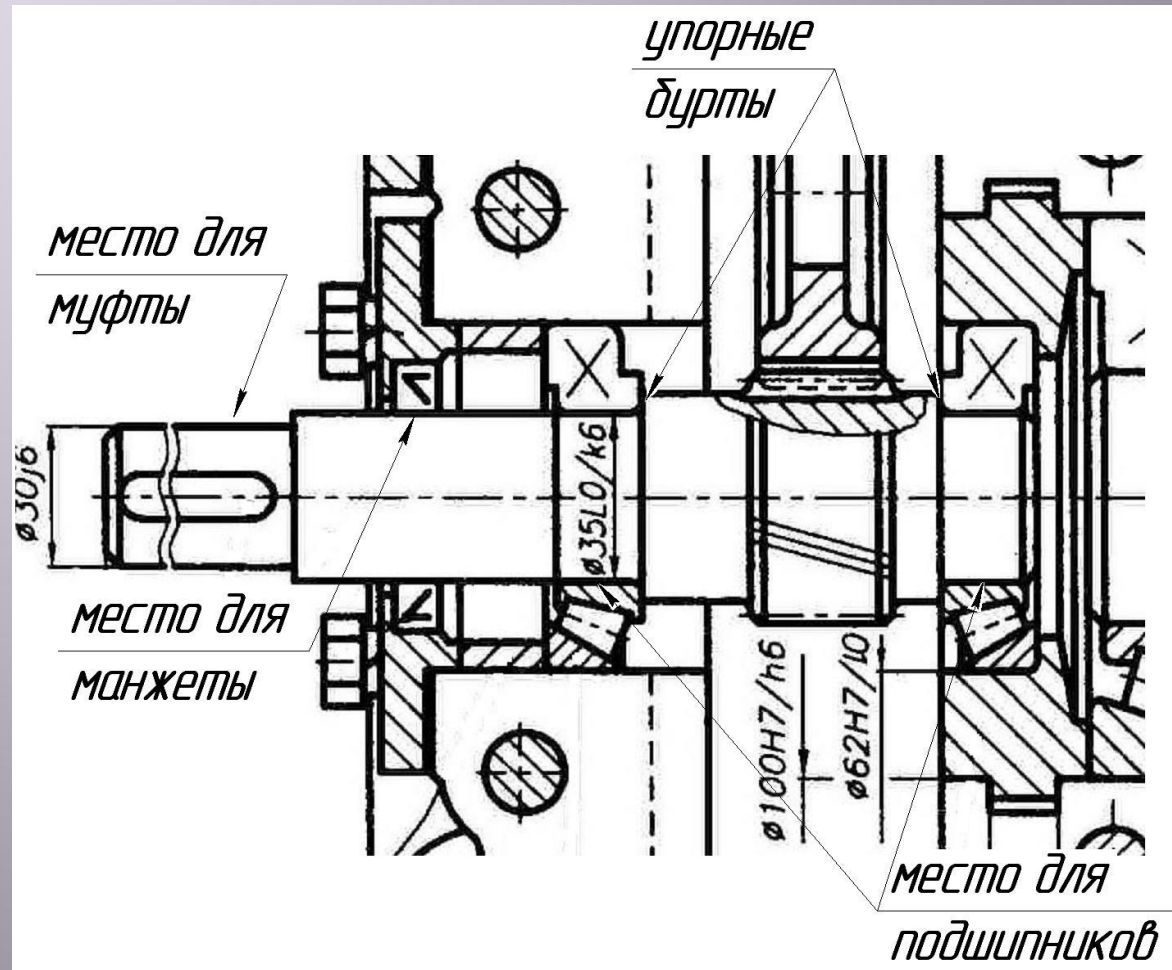
# Правила конструирования

2. Каждая деталь должна свободно (без натяга) проходить на своё посадочное место. Для этого под детали, посаженные плотно (по переходной посадке или с натягом) надо предусматривать отдельное посадочное место с диаметром, большим всех остальных от края, с которого эта деталь устанавливается.



# Правила конструирования

3. Вал должен быть зафиксирован в радиальном и осевом направлениях. Для этого вал должен иметь две точки опоры в радиальном направлении и по одной в каждом из осевых направлений.



# Правила конструирования

4. *Длина шейки вала должна соответствовать длине посадочной поверхности детали. Она может быть и чуть короче на величину фасок или скруглений.*

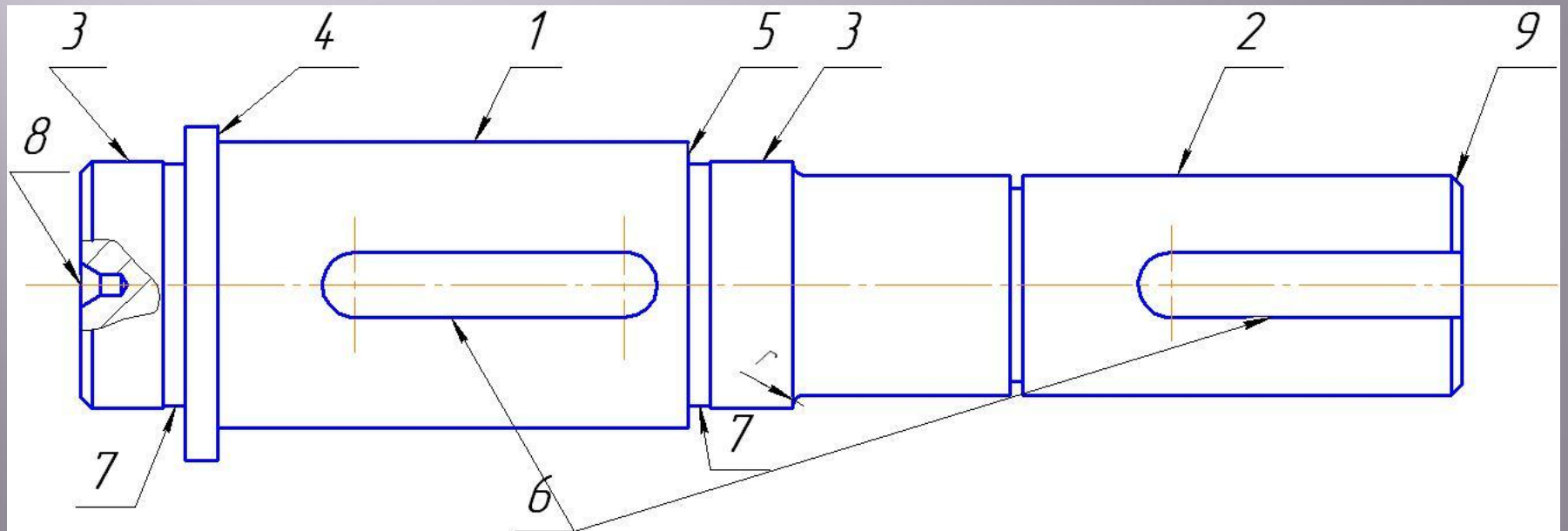
5. *Предусматривать фаски на всех сопрягаемых поверхностях (под подшипники, колёса, муфты и т.п.), поскольку монтаж деталей без фасок весьма затруднён.*

d, мм	16...20	20...30	30...50	50...100
c, мм	1	1,5	2	3

# Правила конструирования

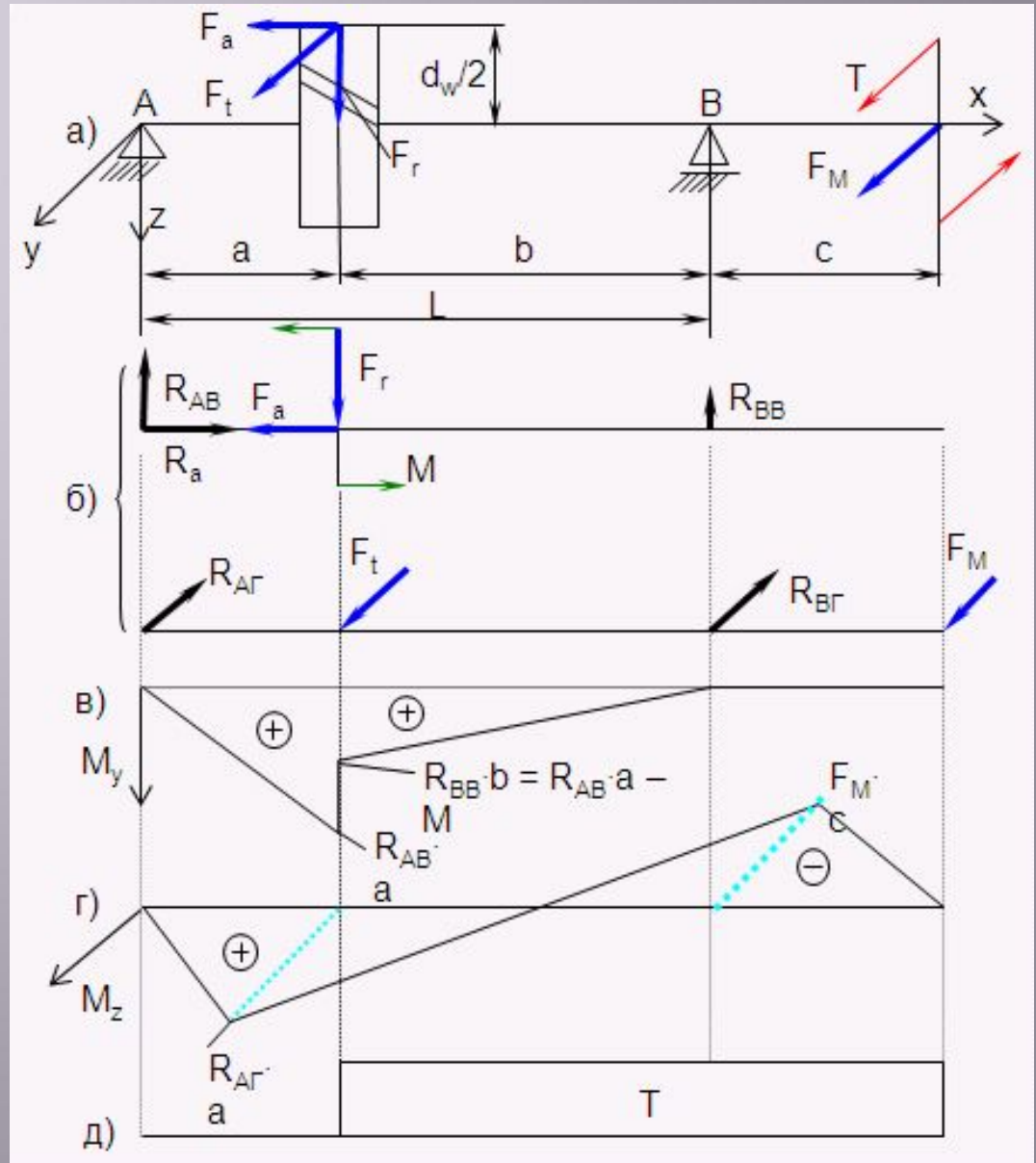
6. Учитывать объём производства при назначении способов получения заготовки и механической обработки.

7. Диаметры входного и выходного концов соответствующих валов должны быть согласованы с диаметрами присоединяемых деталей (например, со стандартными диаметрами муфт). Если эти размеры сильно отличаются, надо или изменять валы, или использовать переходные втулки.



# Проверочный расчет

1. Составляют расчетную схему.
2. По чертежу определяют расстояния между опорами и точками приложения внешних сил.
3. Методами теоретической механики определяют опорные реакции.
4. Строят эпюры изгибающих и вращающих моментов.

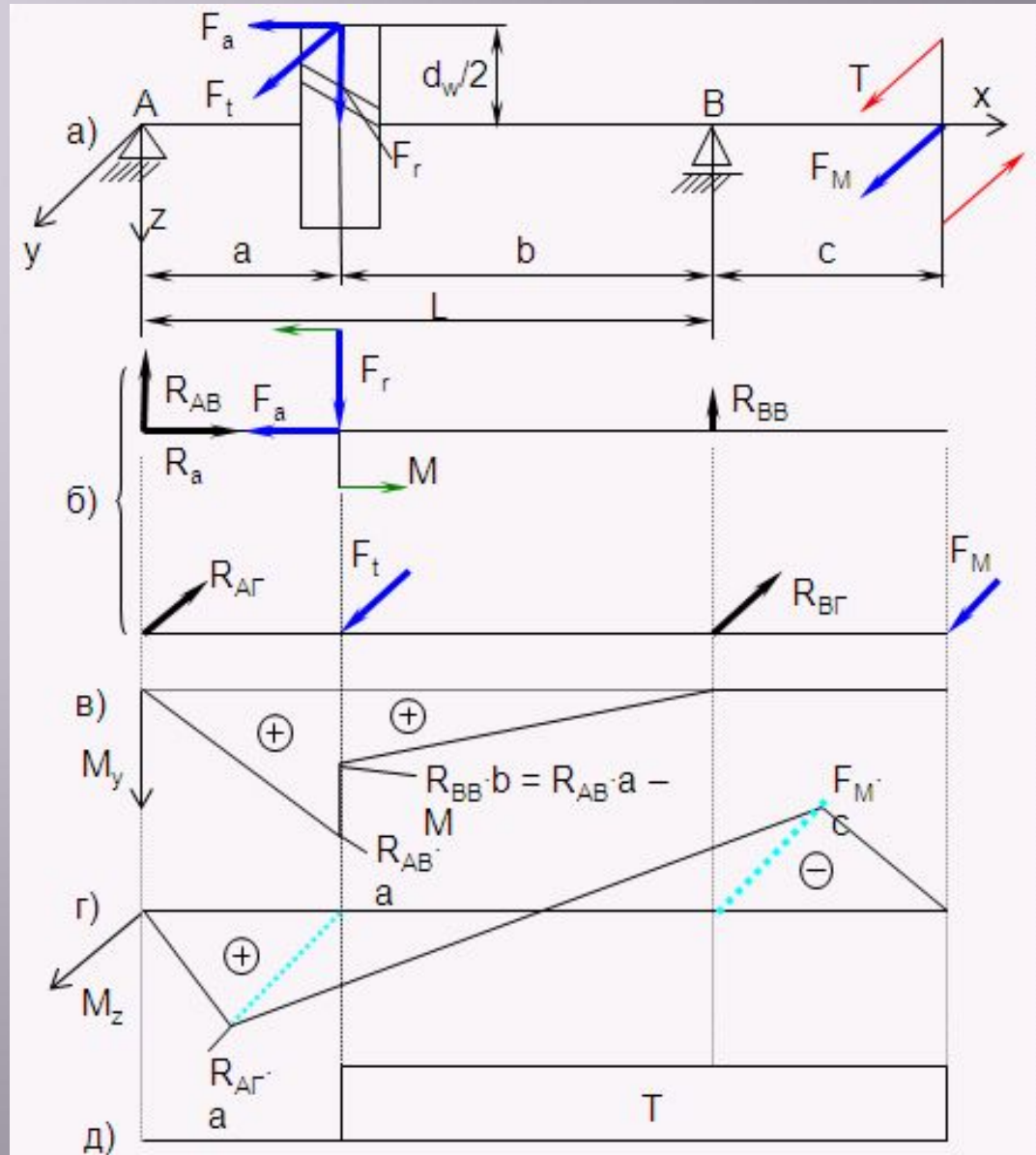


# Проверочный расчет

5. Определяют опасные сечения.

6. Рассчитывают суммарный изгибающий момент для этих сечений.

$$M_{\Sigma} = \sqrt{M_{\theta}^2 + M_z^2}$$





# Проверочный расчет на статическую прочность

Проводят в целях предупреждения остаточных пластических деформаций в том случае, если вал работает с большими кратковременными перегрузками.

Величину перегрузки оценивают коэффициентом перегрузки  $K = 1,5 \dots 3$ .

$$\sigma_E = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_T}{S}$$

$$\sigma = \frac{M_{\Sigma} K}{W_{HO}} + \frac{F_a}{A} \quad \tau = \frac{TK}{W_{\rho}}$$

# Проверочный расчет на усталостную прочность

Проводят в форме проверки коэффициента запаса усталостной прочности при совместном действии нормальных и касательных напряжений.

$$S = \frac{S_\sigma S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \geq [S] = 1,5 \dots 2,5$$

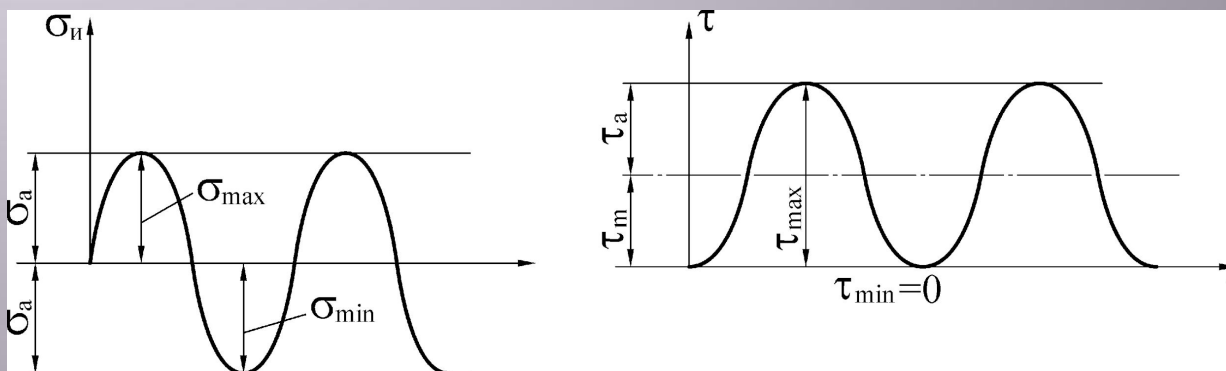
$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}$$

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} \tau_a + \psi_\tau \tau_m}$$

# Проверочный расчет на усталостную прочность

Чаще всего трудно установить действительный цикл нагрузки машины, поэтому расчет выполняют условно по номинальной нагрузке, а цикл напряжений принимают симметричным для напряжений изгиба и отнулевым для напряжений кручения.

В таком случае



$$\sigma_a = \frac{M_{\Sigma}}{W_{HO}} \quad \sigma_m = \frac{F_a}{A} \quad \tau_a = \tau_m = \frac{1}{2} \frac{T}{W_{\rho}}$$

# Проверочный расчет на усталостную прочность

$$K_{\sigma D} = \frac{\frac{K_{\sigma}}{\varepsilon} + K_F - 1}{K_v}$$

$$K_{\tau D} = \frac{\frac{K_{\tau}}{\varepsilon} + K_F - 1}{K_v}$$

Напряжение состояние	Материал	Значение $\varepsilon$ при диаметре вала, мм							
		15	20	30	40	50	70	100	200
Изгиб, кручение, для всех сталей	Высокопрочная легированная сталь	0,87	0,83	0,77	0,73	0,7	0,65	0,59	0,52

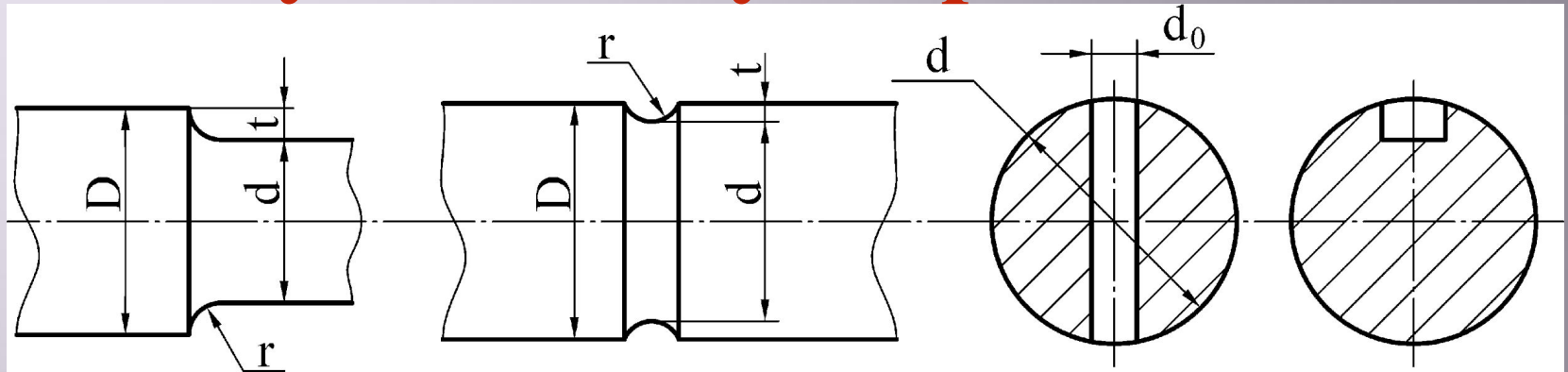
# Проверочный расчет на усталостную прочность

Вид упрочнения	Образец	
	без концентрации напряжений*	с концентрацией напряжений**
Закалка ТВЧ углеродистых и легированных сталей	1,2...1,5	1,5...2,5
Азотирование при глубине слоя 0,1...0,4 мм	1,1...1,15	1,3...2,0
Цементация при толщине слоя 0,2...0,6 мм	1,1...1,5	1,2...2,0
Обдувка дробью углеродистых и легированных сталей	1,1...1,2	1,1...1,5

# Проверочный расчет на усталостную прочность

Механическая обработка поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля , мм	Значение коэффициента $K_F$ при $\sigma_B$ , МПа		
		400	600	1200
Шлифование	0,32...0,08	1	1	1
Обточка	2,5...0,32	1,05	1,10	1,25
Обдирка	20...5	1,2	1,25	1,5

# Проверочный расчет на усталостную прочность



$\sigma_B$ , МПа	$K_\sigma$			$K_\tau$		
	для шлицев	для валов со шпонками	для резьбы	для шлицев		для валов со шпонками
				прямоугольных	эвольвентных	
500	1,45	1,60	1,80	2,25	1,43	1,40
600	1,55	1,75	1,95	2,35	1,46	1,50
700	1,60	1,90	2,20	2,45	1,49	1,70
800	1,65	2,05	2,30	2,55	1,52	1,90
900	1,70	2,20	2,45	2,65	1,55	2,00
1000	1,72	2,30	2,60	2,70	1,58	2,20

# Мероприятия, повышающие усталостную прочность

Различают конструктивные и технологические мероприятия.

**Конструктивные мероприятия** направлены на снижение концентрации напряжений.

1. Предусматривают плавные переходы от одного диаметра к другому.
2. Утолщают валы в местах посадок деталей и в других местах.
3. Используют мелкую резьбу с шагом 1,5 мм, длина которой 8...12 мм.
4. Вместо шпонок и прямобочных шлицев применяют эвольвентные шлицы.

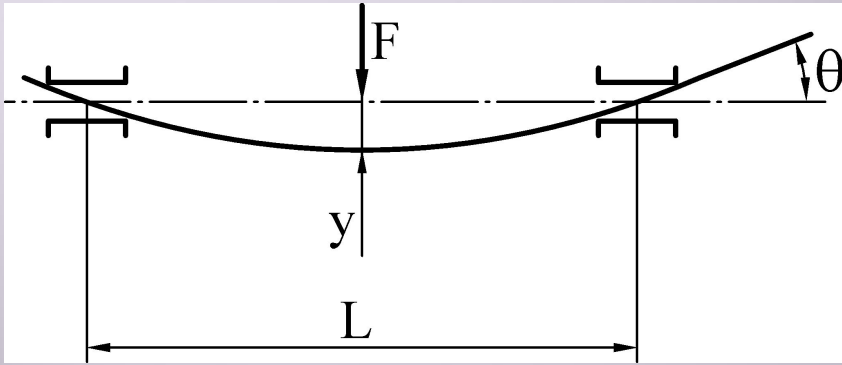


# Мероприятия, повышающие усталостную прочность

## Технологические мероприятия:

1. Упрочнение посадочных поверхностей обкаткой роликами или шариками, обдувка дробью. При этом предел выносливости может повыситься в два раза.
2. Химико-термическая обработка (цементация, азотирование, цианирование), закалка ТВЧ и др.
3. Повышение чистоты поверхности. При этом уменьшаются микроконцентраторы от механической обработки.

# Проверочный расчет на жесткость



$$\theta \leq [\theta]$$

$$[\theta] \leq 0,005 \quad \text{для шариков}$$

$$[\theta] \leq 0,002 \quad \text{для роликов}$$

$$y \leq [y]$$

$$[y] \leq 0,01m \quad \text{для цилиндрических колёс}$$

$$[y] \leq 0,005m \quad \text{для конических колёс}$$

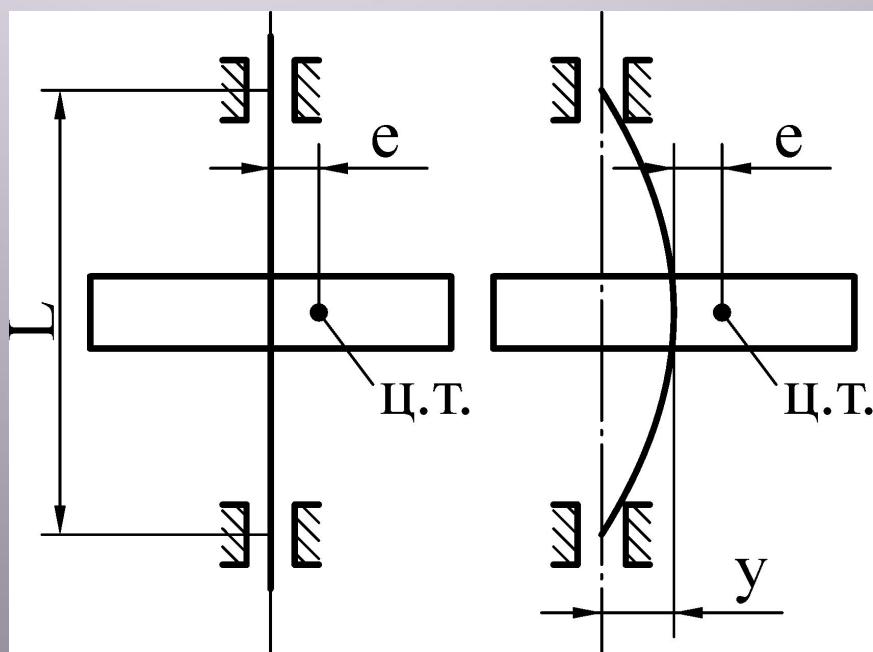
$$y = \frac{FL^3}{48EJ}$$

$$\varphi \leq [\varphi]$$

$$\varphi = \frac{Tl}{GJ_{\rho}}$$

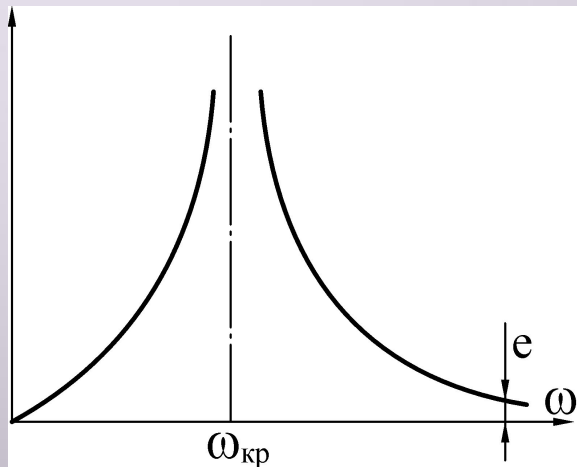
# Проверочный расчет на колебания

В валах и осях наблюдают следующие колебания: 1) изгибные; 2) крутильные; 3) изгибно-крутильные; 4) осевые.



$$mr\omega^2 = yC$$
$$m\omega^2(e + y) = yC$$
$$y = \frac{e}{\frac{C}{m\omega^2} - 1}$$

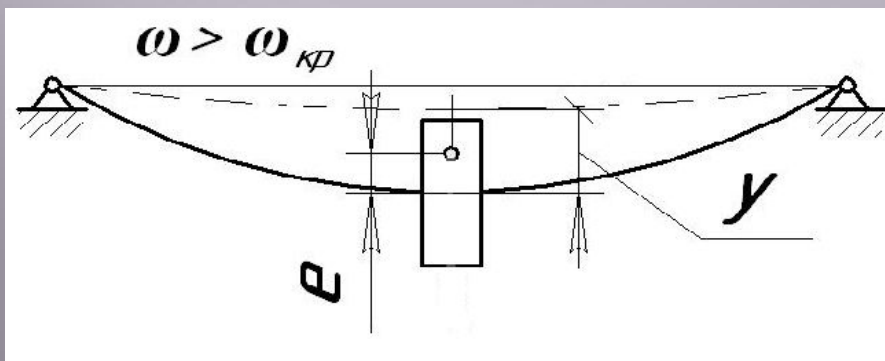
# Проверочный расчет на колебания



$$m\omega_{кр}^2 = C$$

$$\omega_{кр} = \frac{\pi n_{кр}}{30} \quad n_{кр} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{C}{m}}$$

В резонансной зоне



$$m\omega^2(y - e) = yC$$

$$y = \frac{e}{1 - \frac{C}{m\omega^2}}$$