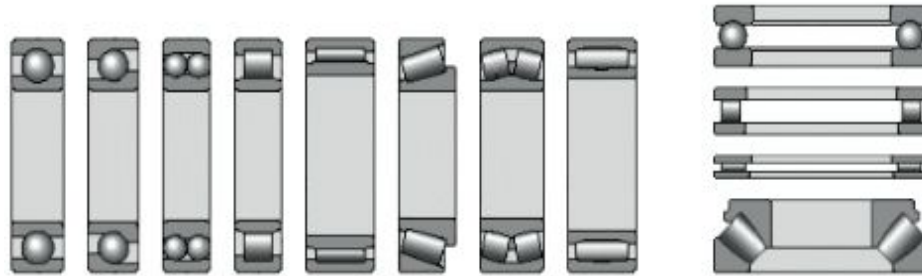
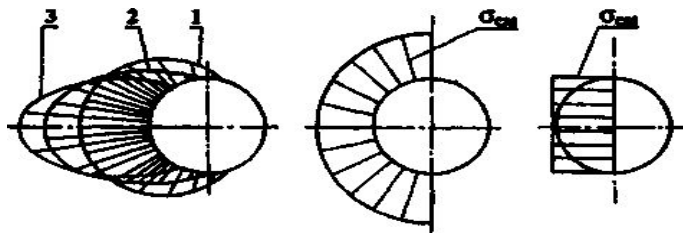
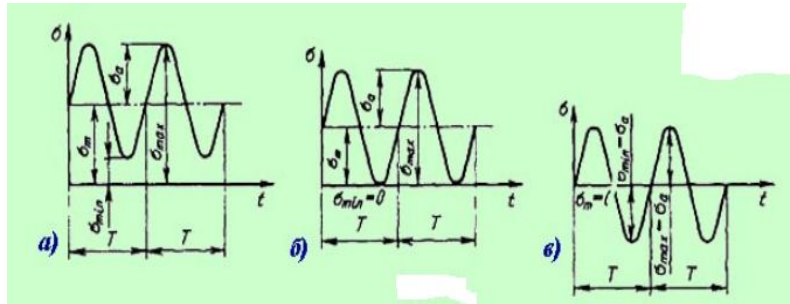


# ТЕМА: ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ



$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{S \cdot \frac{K_{\sigma}}{\varepsilon}}$$



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

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



# ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов М.Н. Детали машин: Уч-к для втузов/ М.Н. Иванов; под редакцией Финогенова. - М.: Высш. шк., 2000 и более поздние изд., - 383с.;
2. Иванов А.С. Конструируем машины. Шаг за шагом. Ч.1. Из-во МГТУ имени Н. Э.Баумана., 2000, -328с.;
3. Иванов А.С. Конструируем машины. Шаг за шагом. Ч.2. Из-во МГТУ имени Н. Э.Баумана., 2003, -392с.;
4. Бельков В. Н., Захарова. Соединение деталей и узлов машин. (уч. пос.), ОмГТУ, 2001, 76с.
5. Бельков В. Н., Захарова. Основы конструирования деталей и сборочных единиц машин. (уч. пос.), ОмГТУ, 2007, 256с.



# ПРОСТЕЙШИЕ

## - «ОБЪЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ В КУРСЕ «ДЕТАЛИ МАШИН»

1. Соединения            2. Передачи            3. Детали передач, обслуживающие вращательное движение

**1. Разъёмные (Допускают неограниченное число сборок, разборок без потери несущей способности, без нарушения целостности деталей, входящих в состав соединения)**

болтовые  
шпоночные  
шлицевые  
профильные

**Неразъёмные** (Теряет часть несущей способности при повторной сборке)

сварные  
заклёпочные  
с натягом (прессованные)  
паяные  
клеевые

**2. Передачи зацеплением**

зубчатые  
планетарные  
волновые  
червячные    цепные    винт-гайка

**Передачи, основанные на действии сил трения.**

фрикционные  
Ременные

3. оси  
валы  
Подшипники (скольжения, качения)  
муфты

пружины



# КЛАССИФИКАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАШИН

Технологические – изменение формы, свойств, состояния предмета труда

- станки, с/х и строительные машины, роботы

Энергетические – преобразование энергии

- машины-двигатели, генераторы, дизель-генераторы, турбогенераторы

Транспортные – перемещение грузов и пассажиров на большие расстояния

- автомобили, самолеты, локомотивы, теплоходы, велосипеды

Транспортирующие – перемещение грузов и пассажиров на небольшие расстояния

- грузоподъемные краны, конвейеры, элеваторы, водоподъемные устройства

Информационные – сбор, переработка и использование информации

- ЭВМ, шифровальные, копировальные

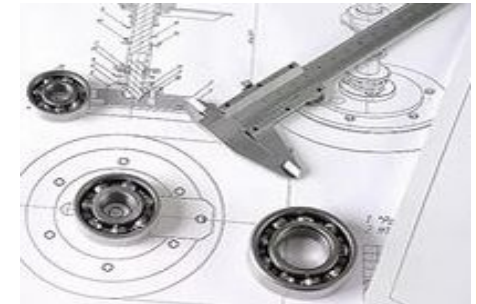


# ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА КОНСТРУИРОВАНИЯ

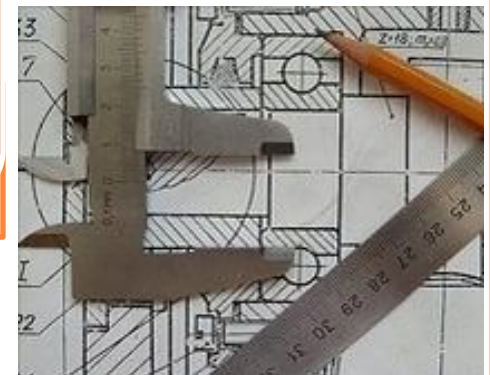
Ориентирование на реальный режим эксплуатации



Поиск оптимального конструкторского решения задачи



Выполнение условий равнопрочности отдельных частей изделия



# СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИН АРМ WinMachine

АРМ WinMachine является отечественной Системой расчета и проектирования механических конструкций и оборудования в области машиностроения и строительства и представляет собой набор инструментов, программ, баз данных и баз знаний, графических и других модулей, использование которых позволяет проводить геометрические, динамические, прочностные и другие расчеты, по результатам которых возможно определить наилучшие конструкторские решения при последующем оформлении конструкторской документации.

Результаты червячной передачи

Проверочный расчет  
 Максимальный момент

Основные параметры  
 Силы в зацеплении  
 Основная геометрия  
 Параметры контроля  
 Метод охлаждения  
 Чертеж...

Продолжить  
Отменить  
Помощь  
Выбрать все  
Снять выделение

Результаты

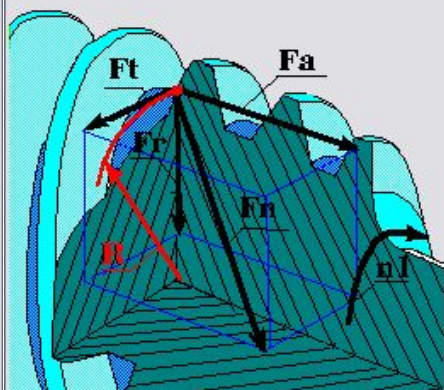
Геометрические параметры      Параметры работы

а <sub>ш</sub> .....	100.0	[мм]	Р.....	3.434	[кВт]
т.....	3.15	[мм]	η.....	0.741	[-]
q.....	12.5	[-]			
х.....	-0.503	[-]			

Число зубьев колеса      52      [-]  
Число заходов червяка      2      [-]

Продолжить      Прервать

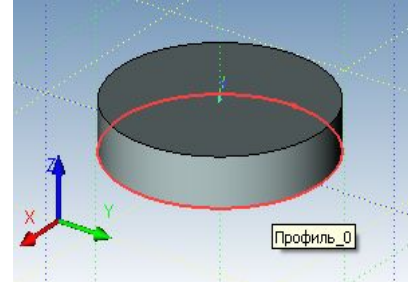
Результаты



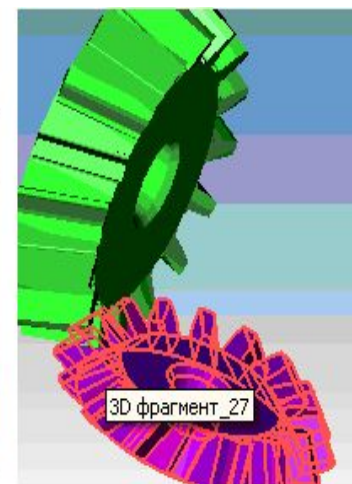
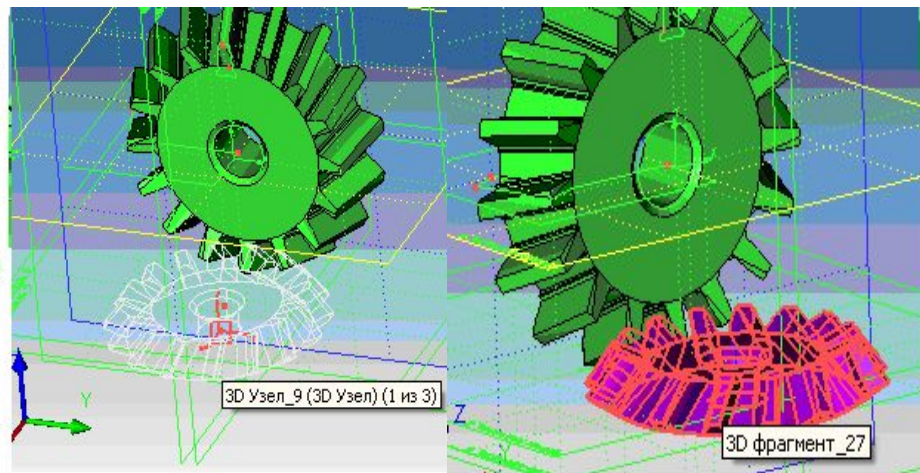
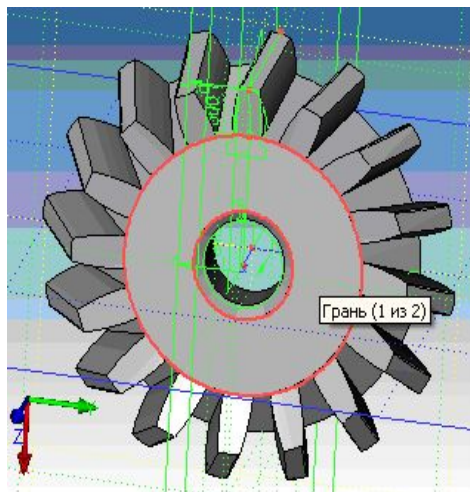
	Червяк	Колесо	
Fa	5494.505	1290.359	[Н]
Fr	2020.386	2020.386	[Н]
Ft	1290.359	5494.505	[Н]
R	18.103	81.9	[мм]

Продолжить  
Прервать

# СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АРМ «T-FLEX CAD»



АРМ «T-FLEX CAD» — система автоматизированного проектирования, разработанная компанией «Топ Системы», объединяет в себе 3D- и 2D-функционал. Предназначена для создания чертежей деталей и сборок, а также для оформления конструкторской документации.



# ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛЯМ МАШИН

1. **Надежность;**
2. **Экономичность**



**Экономичность** достигнута, если при минимальной стоимости затрат на проектирование, изготовление и эксплуатацию реализация проекта приносит прибыль.

**Надежность** – свойство изделия сохранять во времени способность к выполнению требуемых функций в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. надежность характеризуется состояниями и событиями.

**Работоспособность** - состояние изделия, при котором оно способно нормально выполнять заданные функции.

**Отказ** – событие, заключающееся в полной или частичной утрате работоспособности.

**Показатели качества изделия по надежности:** безотказность, долговечность, ремонтпригодность.

**Временные понятия надежности:** наработка, ресурс и срок службы.



# ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Способы определения:

- табличный;
- дифференциальный (расчетный)

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{S \cdot \frac{K_{\sigma}}{\varepsilon}}$$

$[\sigma]$  - нормальные допускаемые напряжения на определяемом виде деформации при неограниченном сроке службы детали

$\sigma_{lim}$  - предельные напряжения для материала деталей  
характеристики материалов:

$\sigma_T$  - предел текучести;

$\sigma_B$  - временное сопротивление;

$\sigma_{-1}$  - длительный предел выносливости при знакопеременном

симметричном цикле нагружения;

**при статическом нагружении**

$\sigma_{lim} = \sigma_T$  - при пластичном разрушении детали;

$\sigma_{lim} = \sigma_B$  - при хрупком разрушении детали.

**при динамическом нагружении**

за базовый принят симметричный знакопеременный цикл.

$\sigma_{lim} = \sigma_{-1}$  - при симметричном знакопеременном цикле нагружения.



## ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{S \cdot \frac{K_{\sigma}}{\varepsilon}}$$

**S** - запас прочности (коэффициент запаса прочности);  
 **$K_{\sigma}$**  - эффективный коэффициент концентрации напряжений,  
 **$K_{\sigma} > 1$** , выбирается по таблицам в зависимости от вида концентратора напряжений: резьба, отверстие, микронеровности и др.;

**$\varepsilon$**  - масштабный коэффициент.

**$\sigma_{-1}$**  не остается постоянным, если менять размеры сечения детали. Если размеры изделия и испытываемого образца различны, то напряжения в них будут различны, так как сказывается механическое влияние размеров сечений деталей на изменение механических характеристик материалов. Это и учитывает  **$\varepsilon$** .

**$\varepsilon < 1$**  выбирается по таблицам в зависимости от отношения размеров детали и лабораторного образца.



# КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ

**S** - коэффициент запаса прочности (запас прочности ).

**S** > 1 принимается конструктором:

1. по рекомендациям;

2. определяется расчётом  $S = S_1 * S_2 * S_3$ .

**S**<sub>1</sub> - учитывает точность расчётных схем.

**S**<sub>1</sub> = 1,2 - 1,5

**S**<sub>1</sub> = 2 - 3, когда нужно получить деталь высокой точности;

**S**<sub>2</sub> - учитывает изменчивость свойств материала деталей по её сечению (например, однородность материала);

**S**<sub>2</sub> = 1,05 - 1,10 в качестве заготовки деталей: прокат, поковка, штамповка;

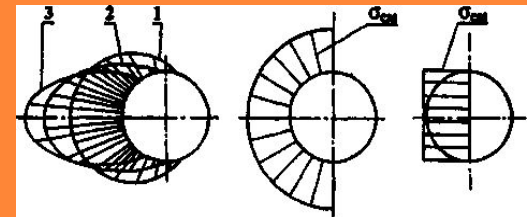
**S**<sub>2</sub> = 1,15 - 1,20 стальное литьё;

**S**<sub>2</sub> = 1,5 - 2,5 чугунное литьё;

**S**<sub>3</sub> - учитывает степень ответственности детали:

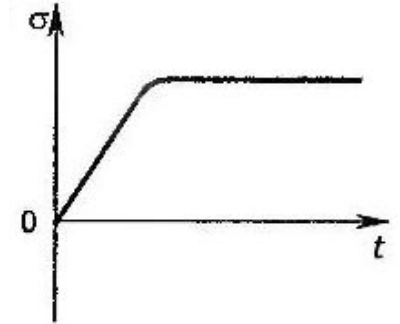
в общем машиностроении принимаются значения коэффициентов:

**S**<sub>3</sub> = 1,0 - 1,5 ( 1.5 для наиболее ответственных деталей).



# ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ. СТАТИЧЕСКОЕ НАГРУЖЕНИЕ

**Статическое нагружение** – числовое значение нагрузки, её направление и место приложения постоянны или меняются очень медленно и незначительно.



$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{S \cdot \frac{K_{\sigma}}{\varepsilon}}$$

$[\sigma]$  - нормальные допускаемые напряжения на определяемом виде деформации при неограниченном сроке службы детали

$\sigma_{lim}$  - предельные напряжения для материала деталей характеристики материалов:

$\sigma_T$  - предел текучести;

$\sigma_B$  - временное сопротивление;

**при статическом нагружении**

$\sigma_{lim} = \sigma_T$  - при пластичном разрушении детали (ст);

$\sigma_{lim} = \sigma_B$  - при хрупком разрушении детали (чугун,

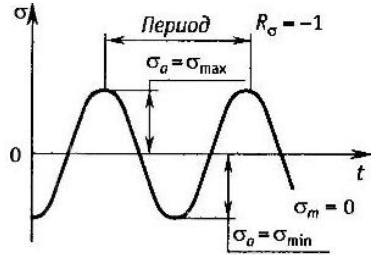
фарфор).



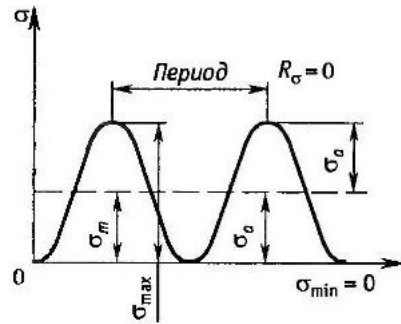
# НАГРУЖЕНИЕ (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

## Динамическое нагружение

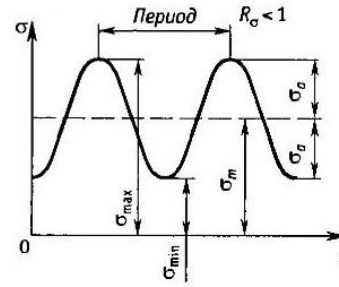
### Циклы:



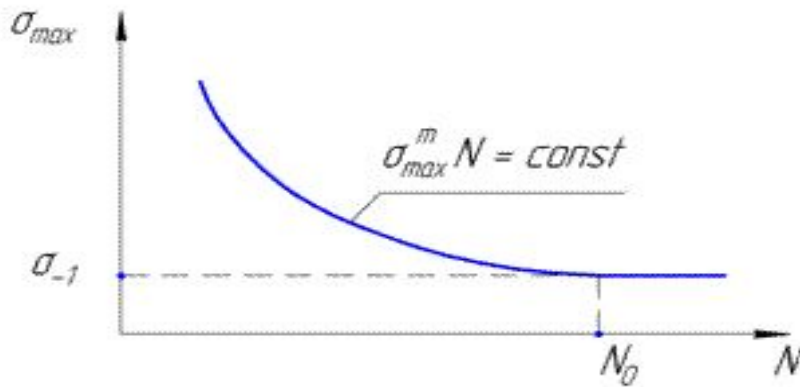
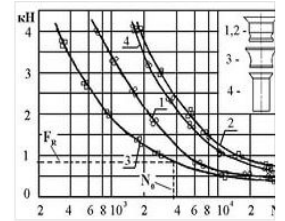
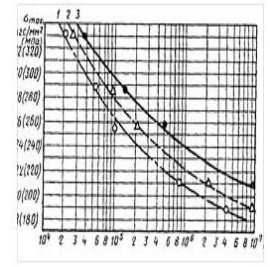
Симметричный  
знакопеременный  
(вращающиеся валы)



Пульсирующий (отнулевой)  
(зубья зубчатых колес)



Асимметричный  
знакопостоянный (винты, пружины)  
или знакопеременный (большинство  
деталей, элементы ферм мостов)



$$N \cdot \sigma^m = const$$

Кривая Вёллера  
(кривая усталости)

Прочность детали снижается с ростом числа циклов нагружения  $N$ .

При числе циклов более базового  $N_0$  (для сталей  $N_0 = 10^7$ ) она снижается до длительного предела выносливости  $\sigma_{-1}$ .

Показатель степени  $m=6-9$ .

Если нет экспериментальных данных, то  $\sigma_{-1} = (0,55 - 0,0001 \sigma_B) \sigma_B$ .



# КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И РАСЧЕТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

## Основные критерии:

1. Прочность
2. Жесткость
3. Износостойкость
4. Теплостойкость
5. Виброустойчивость.

## Дополнительные критерии:

- коррозионная стойкость;
- снижение массы деталей;
- простота изготовления и технологичность деталей;
- удобство эксплуатации.;
- транспортабельность машин, узлов и деталей;
- стандартизация;
- эстетика форм;
- экономичность изделия.

При конструировании деталей **работоспособность обеспечивают** выбором материалов и расчетом по основному ( или нескольким основным) критериям.

**Выбор критерия** для расчета обусловлен характером разрушения (видом отказа)



# Прочность

Прочность – способность детали сопротивляться разрушению или возникновению недопустимых пластических деформаций под действием приложенных к ней внешних нагрузок.

Расчеты на прочность выполняют:

- по номинальным напряжениям;
- по коэффициентам безопасности;
- по вероятности безотказной работы.

**Расчеты по номинальным напряжениям** - в качестве предварительных для выбора основных размеров. Используют при массовом выпуске.

Условие достаточной прочности

нормальные напряжения

касательные напряжения

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

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

**Расчеты по коэффициентам безопасности.** Более точны, но все таки сохраняют некоторую условность, т.к. ряд факторов учитывается в явной форме, а ряд учитывается усредненными значениями.

**Расчеты по вероятности безотказной работы** – в ответственных конструкциях, т.к. требуют накопления значительного объема достоверного статистического материала.



# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЧНОСТИ

1. **Выравнивание напряжения по длине и сечению изделия.** Предпочтительнее, чтобы материал в конструкции работал на сжатие или растяжение, а не на изгиб. Например, мосты выполняют в виде ферм, а не как балки, опертые по краям.

2. **Выбор рациональной формы.** Например, применение для сосудов высокого давления сферических, цилиндрических, а не призматических форм; плавные переходы между участками разных диаметров; в рельсах двутавр, а не призма; разнесение по длине детали разных концентраторов напряжений.

3. **Создание в деталях предварительного напряжения обратного знака.** Позволяет задействовать в работе весь материал конструкции и снизить за счет этого её массу. Например, в тяжелых машинах - прессах, подъёмных кранах.

4. **Использование поверхностных упрочнений.**

- пластическое деформирование (обкатка роликом, наклеп дробью);
- термическое деформирование (токи высокой частоты (СВЧ))
- химико-термическое деформирование (цементация, азотирование).

5. **Использование материалов с высокой удельной прочностью.** (Ванадий - «Форд»; молибден - самурайские мечи).



# ЖЕСТКОСТЬ

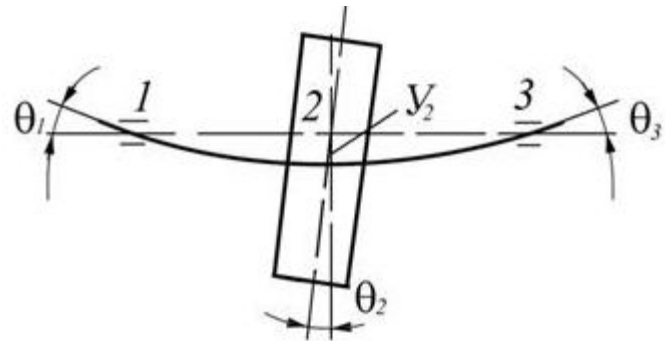
Жесткость – способность детали сопротивляться изменению формы и размеров под нагрузкой.

Абсолютно жестких тел в природе не существует, задача – под действием приложенных к ней нагрузок, избежать недопустимо больших упругих деформаций.

Практические расчеты на жесткость проводят в форме ограничения упругих деформаций в пределах, допустимых для конкретных условий работы.

Жесткость в зависимости от вида нагружения:

- Продольная;
- Изгибная;
- Крутильная.



Условие достаточной жесткости

$$y \leq [y] \quad (\text{величина прогиба})$$

$$\theta \leq [\theta] \quad (\text{угол поворота в сечении})$$

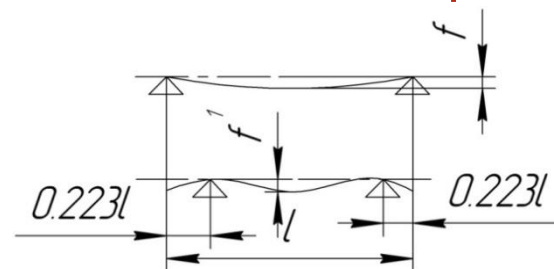
$$\varphi \leq [\varphi] \quad (\text{угол закручивания в сечении})$$



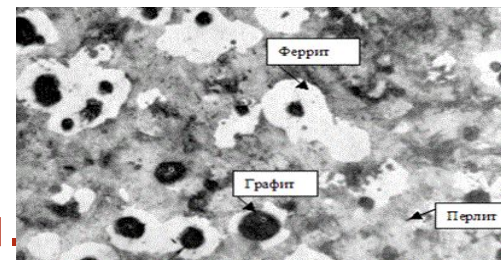
# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ

## 1. Выбор типа и рациональное расположение опор.

Например, расположение опор на расстоянии  $0,223l$  от концов уменьшает максимальный прогиб балки под действием силы тяжести в 48 раз; уменьшить прогиб позволяет замена консольного нагружения двухопорным и уменьшение расстояния между опорами.

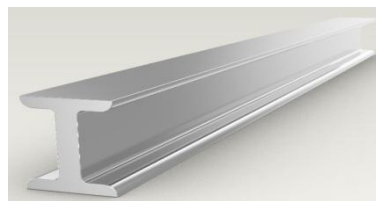


2. Применение материалов с высоким модулем упругости: сталей, чугунов с шаровидным графитом.



## 3. Выбор рациональной формы сечения.

Жесткость двутавра, равновеликого круглому цилиндрическому брусу, выше в 26 раз.



4. Повышение контактной жесткости в подвижных сопряжениях пригонкой и уменьшением волнистости и шероховатости поверхностей, предварительным натягом.



# Износостойкость

Износостойкость - свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию.

Изнашивание - процесс разрушения и отделения частиц материала с поверхности твердого тела вследствие трения, проявляющийся в постепенном изменении размеров и формы.

Износостойкость зависит от физико-механических свойств материала, термообработки, шероховатости поверхностей, от значений давлений и контактных напряжений, скорости скольжения, наличия смазочного материала, режима работы и других факторов.

Износ (результат изнашивания) меняет характер сопряжения, увеличивает зазоры в подвижных соединениях, вызывает шум, уменьшает толщину покрытия, снижает прочность деталей.

Универсального и общепринятого метода расчета на изнашивание нет. В большинстве случаев расчет проводят в форме отсутствующих давлений  $p$ , МПа в местах контакта

Условие достаточной износостойкости

$$p < [p]$$

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ

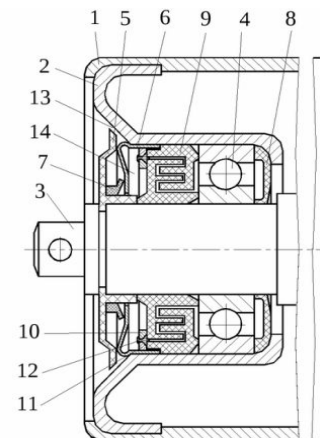
1. **Предупреждение абразивного воздействия на трущиеся поверхности** (защита кожухами механических передач, подъемных кранов, лифтов, лебедок, деталей станков; использование подшипников качения с защитными шайбами и встроенными уплотнениями).



2. **Обеспечение равномерного распределения давления по поверхности** (применение самоустанавливающихся конструкций).

3. **Применение поверхностного упрочнения деталей, наплавки и покрытий** (закалка, сульфидирование, борирование, биметаллизация, поверхностный наклеп, антифрикционные полимерные материалы)

4. **Компенсация или самокомпенсация износа** (силой тяжести в V-образных и треугольных в сечении направляющих станков, пружиной в манжетных или торцовых уплотнениях).



5. **Использование жидкостного трения** (гидродинамического, гидростатического), **специальная обработка поверхностей** (придание пористости поверхности, специально накатываемые для удерживания смазки углубления на поверхности).

# КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ

С образованием пленки на поверхности

С изменением химического состава поверхностного слоя

С изменением структуры поверхностного слоя

С изменением энергетического запаса поверхностного слоя

С изменением микрогеометрии поверхности и наклепом

С изменением структуры по всему объему материала

# Теплостойкость

Теплостойкость - способность конструкции работать в пределах заданных температур в течение заданного срока службы.

*с целью повышения теплоотдачи предусматривают охлаждающие ребра, принудительное охлаждение или увеличивают размеры корпуса*

Для обеспечения нормального теплового режима работы проводят тепловые расчеты (расчеты червячных и волновых редукторов, подшипников скольжения).

При этом составляют *уравнение теплового баланса* (тепловыделение за единицу времени приравнивают теплоотдаче) и определяют среднюю установившуюся температуру при работе машины.

Условие достаточной теплостойкости

$$q \leq [q].$$



# СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ

1. Создание более термоустойчивых изменения толщин стенок
2. Использование систем охлаждения, стабилизация температуры масла и охлаждение наиболее важных узлов станка.
3. Выбор материала деталей с низким коэффициентом теплопроводности
4. Теплоизоляция характерна для энергоемких узлов, например, коробок скоростей.
5. Рациональное закрепление деталей.
6. Автоматическое обеспечение зазоров-натягов.
7. Применение статически определимых систем.
8. Использование различных схем компенсации для снижения влияния деформаций на работу
9. Самокомпенсация деформаций. Применение самоустанавливающихся элементов и механизмов.
10. Применение систем адаптации.
11. Уменьшение источников тепловыделений за счет совершенствования технологических процессов.

# ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ

Виброустойчивость - способность конструкции работать в диапазоне режимов, достаточно далеких от области резонанса.

Вибрации снижают качество работы машин, увеличивают шум, вызывают дополнительные напряжения в деталях.

Особенно опасны резонансные колебания.

Расчеты на виброустойчивость выполняют для машины в целом. Они сводятся к определению частот собственных колебаний механической системы и обеспечению их несовпадения с частотой вынужденных колебаний.

Условие достаточной виброустойчивости

$$f_{\text{собств}} \neq f_{\text{вынужд}}$$





# СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ



## 1. *Повышение жесткости конструкций*

- при использовании, например, стальных базовых деталей, к тому же обеспечивающих меньшую массу;
- перераспределением масс внутри станка. Следует уменьшить массу тех узлов, в которых ожидаются максимальные амплитуды.

## 2. *Повышение демпфирования*

- за счет применения гидростатических направляющих и скольжения;
- расположением стыков и направляющих перпендикулярно основным формам колебаний;
- за счет использования новых материалов (полимербетона, в котором демпфирование выше в 7...10 раз).

Применение демпферов (с вспомогательной массой, фрикционных) также повышает виброустойчивость, но в узком диапазоне частот колебаний.