

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства  
Кафедра «Городское строительство, архитектура и дизайн»

Утверждено на заседании кафедры ГСАиД  
«17» января 2023 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой ГСАиД  
\_\_\_\_\_ К.А. Головин



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по проведению практических (семинарских) занятий**  
**по дисциплине (модулю)**

**Конструкторское сопровождение дизайн-проекта**

основной профессиональной образовательной программы  
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки  
54.03.01 Дизайн

с направленностью (профилем)  
дизайн

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 540301-04-23

Тула 2023 г.

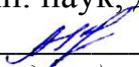
**Разработчик(и) методических указаний**

Кошелева Алла Александровна, проф. каф. ГСАиД, д-р техн. наук, доц.

---

*(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)*

---



*(подпись)*

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

**Целью практических занятий в освоении** дисциплины «*Конструкторское сопровождение дизайн-проекта*» являются:

приобретение умений и навыков применения методов конструирования в постановке и решении дизайнерских задач, освоение основных приемов конструирования, изучение современного состояния конструирования и тенденций его развития. Приобретение инженерно–конструкторских знаний, овладение основными приемами и методами конструирования, формирование способности результативно применять полученные знания при самостоятельном решении проектных проблем соответствующего уровня технической сложности.

**Задачами** освоения дисциплины являются:

- знакомство с видами конструкторской деятельности,
- ознакомление с общей методикой конструирования, закономерностями формирования конструкций, основными этапами, базовыми принципами, приемами, правилами и методами конструирования;
- знакомство с классификацией механизмов и конструкций, принципами действия машин и механизмов, а также условиями прочности, надежности и долговечности конструкций;
- приобретение навыков проектного анализа, компоновки изделий; изучение типовых конструкторских решений;
- обучение профессиональным навыкам выполнения конструкторской документации к изделию средней проектной сложности;
- ознакомление с перспективными направлениями развития современных конструкций, а также конструкторских методов.

## Содержание практических (семинарских) занятий

### Очная форма обучения

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
<i>5 семестр</i>	
1	Принцип действия машин и механизмов (механический).
2	Принцип действия машин и механизмов (гидравлический).
3	Принцип действия машин и механизмов ( пневматический).
4	Принцип действия машин и механизмов (электрический).
5	Принцип действия машин и механизмов (электронные (радио) аппараты).
6	Принцип действия машин и механизмов (фотоэлектронные аппараты).
7	Принцип действия машин и механизмов ( магнитный принцип действия).
8	Принцип действия машин и механизмов (термический).

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
9	Принцип действия машин и механизмов ( оптический).
10	Принцип действия машин и механизмов (акустический).
11	Рычажные механизмы. Кулачковые механизмы.
12	Фрикционные механизмы.
13	Зубчатые (цилиндрические, винтовые, конические) механизмы.
14	Червячные механизмы. Планетарные механизмы.
15	Механизмы с гибкими звеньями (ременные, цепные) механизмы.
16	Механизмы движения с остановками (храповые; мальтийские; звездчатые) механизмы.
17	Растяжение и сжатие.
18	Сдвиг
19	Кручение.
20	Изгиб стержней
21	Неразъемные соединения. Соединение заклепками. Соединение гибкой. Сварные соединения.
22	Соединения с предварительным натягом. Пайка. Клеевые соединения. Соединение замазкой. Заформовка.
23	Разъемные соединения. Резьбовые соединения Шпоночные и шлицевые соединения.
24	Зубчатые (шлицевые соединения) Штифтовые соединения. Крепежные изделия (болты, шурупы, шпильки).
25	Валы и оси.
26	Опоры. Подшипники скольжения Подшипники качения. Направляющие.
27	Муфты. Упругие элементы (пружины).
28	Редукторы
29	Стандартные детали
30	Кнопки, рукоятки, таблички для приборов.
31	Условные знаки на приборах.
<i>6 семестр</i>	

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
32	<p>Типология конструкций  Классификация механизмов и конструкций. Основные типы конструкций  Основные типы пространственной структуры конструкций.  - с пространственной схемой (монолитные и решетчатые)  - с обособленным объемом (каркасные, кожух, корпус, футляр)  - смешанного типа  Специфические типы конструкций - консольные, трансформирующиеся (кинетические), модульные (агрегатно-блочные, вариантно-комбинаторные), мобильные и др.</p>
33	<p>Типы конструкций и соединений.  Разъемные (сборно-разборные) и неразъемные.  Составные (наборные, сварные, клеевые, клепанные) и монолитные (литые);  Статичные и кинетичные (трансформируемые);  Каркасные (в т.ч. рамные);</p>
34	<p>Оболочковые (в т.ч. щитовые, панельные, сводчатые и заполненные силовыми пространственными решетками с элементами поперечными - нервюрами, штангоутами и продольными лонжеронами, стрингерами);  Закрытые, открытые и полукрытые;</p>
35	<p>Автономные, блокированные;  Стационарные, мобильные и портативные;  Тяжелые (материалоемкие) и облегченные, мало-, средне- и крупногабаритные.</p>
36	<p>Базовые принципы конструирования.  Рациональные приемы конструирования.  Общие правила конструирования  Экономические основы конструирования.</p>
37	<p>Долговечность.  Надежность  Стандартизация и взаимозаменяемость.</p>
38	<p>Унификация.  Агрегатирование.  Моноблочное и модульное конструирование.</p>
39	<p>Универсализация.  Ряды предпочтительных чисел.  Принцип функциональной целесообразности.</p>
40	<p>Моральное старение.  Критерии качества. Аттестация изделий.  Нормализация.</p>

№ п/п	Темы практических (семинарских) занятий
41	Материалы и технология. Технологичность конструкций. Общие правила технологического формообразования. Рациональный выбор баз. Правильная простановка размеров. Допуски и посадки. Шероховатость. Малая материалоемкость.
42	Компактность. Поиск формы. Форма. Технологическая форма. Автономность формы. Структурность формы. Тектоника. Прочность, Пространственная жесткость. Способы повышения жесткости.
43	Ремонтопригодность, удобство монтажа. Безопасность, охрана труда (в т.ч. заземление и т.д.). САПР.
44	Основы строительной физики и архитектурные конструкции. Перепланировка.
45	Основы конструирования объектов оборудования интерьера. Выполнение фрагмента плана этажа (офиса), выполнение расчетов потребности материалов, необходимых для облицовки стен, устройства перегородок, подвесного потолка и сборного основания пола конкретного помещения.
46	Методы конструирования: <ul style="list-style-type: none"> <li>- метод секционирования;</li> <li>- метод изменения линейных размеров;</li> <li>- метод базового агрегата;</li> <li>- метод инверсии;</li> <li>- метод комплексной разработки и иерархизации</li> <li>- методы вариантного поиска конструктивных решений и их наглядного моделирования;</li> <li>- упорядоченный поиск.</li> </ul>

**5 семестр**  
**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1**

**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ:  
МЕХАНИЧЕСКИЙ**

Задачи:

1. Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
2. Подготовиться к семинару.
3. Ответить на контрольные вопросы.

**Теоретические положения**

**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

**Привод. Источник энергии.**

В практике проектирования одним из наиболее распространенных понятий является «привод» и «трансмиссия».

Привод — совокупность устройств, предназначенных для приведения в действие машин. Состоит из двигателя, трансмиссии и системы управления.

Трансмиссия (силовая передача) — в машиностроении совокупность агрегатов и механизмов, соединяющих двигатель (мотор) с ведущими колёсами транспортного средства (автомобиля) или рабочим органом станка, а также системы, обеспечивающие работу трансмиссии. В общем случае трансмиссия предназначена для передачи крутящего момента от двигателя к колёсам (рабочему органу), изменения тяговых усилий, скоростей и направления движения. Трансмиссия входит в состав силового агрегата.

Любая машина состоит из трех частей: двигателя, передаточного механизма (в него входят валы, шкивы, ремни, шестерни и т.д.) и исполнительного механизма. Первые две части служат для приведения в движение исполнительного механизма и управления этим движением, их объединяют общим названием «привод».

Среди приводов наибольшее распространение получили электропривода (используют электродвигатель). (В истории существовали ручной привод, конный, привод от ветряной мельницы, водяного колеса и т.д.).

**Принцип действия машин и механизмов:**

- **механический,**

Различают:

- механизмы, в состав которых включены только твердые тела (зубчатые колеса, рычаги, кулачки...);
- механизмы, в которых для передачи движения от одного звена к другому используются гибкие тела - ремни, канаты, цепи и др.;
- механизмы с упругими звеньями - движение ведомого звена зависит не только от закона движения начального звена, но и от ведомых масс и жесткости звеньев - пружинные молоты, отбойные молотки и др.

**Передаточное отношение**, которое показывает, во сколько раз угловая скорость  $\omega$  (или частота вращения  $n$ ) одного вала передачи больше или меньше угловой скорости (частоты вращения) другого вала передачи.

Передаточное отношение определяется в направлении потока мощности.

Пусть параметры ведущего звена передачи имеют индекс  $1$ , а параметры ведомого звена — индекс  $2$ . Тогда отношения частот вращения (или угловых скоростей) — передаточные отношения — можно записать так:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}.$$

Производные характеристики часто используют вместо основных. Например, передачу можно определить с помощью  $P_1$ ,  $n_1$ ,  $u$ ,  $\eta$ .

Если механические передачи используют для уменьшения числа оборотов ( $\frac{n_1}{n_2} > 1$ ), то их называют **редукторами**. Значительно реже механические передачи ис-

пользуют для увеличения скоростей ( $\frac{n_1}{n_2} < 1$ ); в этом случае их называют **мультиплика-**

**торами**.

Понижающие передачи имеют наибольшее распространение, так как частота вращения исполнительного механизма в большинстве случаев меньше частоты вращения двигателя.

Передачи выполняют с постоянным или переменным (регулируемым) передаточным отношением. Как те, так и другие широко распространены. Регулирование передаточного отношения может быть ступенчатым или бесступенчатым. Ступенчатое регулирование выполняют в коробках скоростей с зубчатыми колесами, в ременных передачах со ступенчатыми шкивами и т.п.; бесступенчатое регулирование – с помощью фрикционных или цепных вариаторов.

Применение того или иного способа регулирования передаточного отношения зависит от конкретных условий работы машины, которую обслуживает передача. Так, например, механические передачи ступенчатого регулирования с зубчатыми колесами обладают высокой работоспособностью и поэтому широко применяются в транспортном машиностроении, станкостроении и т.п. Механические передачи бесступенчатого регулирования обладают меньшей нагрузочной способностью и имеют меньшее распространение. Их применяют в основном для малых мощностей (до 10...15 кВт). Конкурентами этих передач являются электрическая и гидравлическая передачи, которые позволяют передавать большие мощности и иметь сравнительно простую систему автоматического регулирования.

При расчете передач часто используют следующие зависимости между различными параметрами.

Выражение мощности  $P$ , Вт, через окружную (тангенциальную) силу  $F_t$ , Н, и окружную скорость  $v$ , м/с, колеса, шкива, барабана и т.п. имеет следующий вид:

$$P = F_t v;$$

выражение вращающего момента  $T$ , Н·м, через мощность  $P$ , Вт, и угловую скорость  $\omega$ , с<sup>-1</sup> –

$$T = P/\omega, \text{ где } \omega = \pi n/30.$$

Связь между вращающимися моментами на одном  $T_1$  и другом  $T_2$  валах через передаточное отношение  $u$  и КПД  $\eta$  в линии передачи между этими валами в направлении потока мощности выражается следующей формулой:

$$T_2 = T_1 u \eta.$$

### **Силы в машинах.**

В ТММ в зависимости от характера решаемых задач применяют различные классификации сил:

1) Действующие на механическую систему силы подразделяют на заданные (активные) и реакцию связей.

2) Действующие на систему силы делят на внешние и внутренние по отношению к данной системе.

3) Силы действующие на механизм и развивающие мощность, подразделяют на силы движущие и силы сопротивления.

Движущие силы  $A_d$  обеспечивают движение механизма. Их направление совпадает с направлением скоростей точек их приложения. Силы сопротивления делят на полезные сопротивления  $A_{пс}$ , для преодоления которых механизм предназначен, и вредные сопротивления  $A_t$  (силы трения в кинематических парах, сопротивление жидкости, гидродинамическое и аэродинамическое сопротивление).

Обычно наблюдается три стадии движения механизма: пуск в ход (разбег), установившееся движение, останов.

**Пуск.** При пуске механизма движущие силы не только преодолевают полезные и вредные сопротивления, но и сообщают механизму кинетическую энергию. Следовательно, работа движущихся сил должна быть больше суммарной работы сил сопротивления.

**Установившееся движение.** Работа движущихся сил должна быть равна работе сопротивлений.

**Останов.** После того, как вся кинетическая энергия израсходовалась на полезные и вредные сопротивления, механизм останавливается.

### **КПД.**

Энергия, подводимая к механизму в виде работы  $A_d$ , расходуется на совершение полезной работы  $A_{пс}$  и работы  $A_t$ , связанной с преодолением сил трения в кинематических парах и сил сопротивления среды.

$$A_d = A_{пс} + A_t$$

Каждый механизм характеризуется коэффициентами полезного действия.

КПД - отношение  $\eta = A_{пс} / A_d$

КПД показывает, какая доля механической энергии, подведенной к машине, полезно расходуется на совершение той работы, для которой машина создана (например, на подъем груза).

КПД может принимать значения  $0 \leq \eta < 1$

Если  $A_{пс} = 0$ , режим называется «холостым ходом».

Обычно КПД отдельных механизмов определяют экспериментальным путем и указывают в справочниках.

Коэффициент полезного действия также определяют

$$\eta = P_2 / P_1, \quad \text{или} \quad \eta = 1 - P_r / P_1,$$

где  $P_1$  и  $P_2$  – мощности на входе и выходе;  $P_r$  – мощность, потерянная в передаче.

КПД механизма является одной из важнейших количественных характеристик его качества. Чем больше величина  $\eta$ , тем большая часть энергии расходуется в механизме на полезную работу и тем меньше доля потерь ее на вредные сопротивления, т.е. тем рациональнее используется поступающая энергия.

### **Вопросы для самоконтроля:**

1. Что такое КПД? Как рассчитать КПД?
2. Что такое передаточное число?
3. Силы в машинах.
4. Мощность: понятие, единицы измерения.
5. Принцип действия машин и механизмов.

## Практическое занятие № 2

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ: ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

#### Теоретические положения

**Гидравлический привод (гидропривод)** — это совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством гидравлической энергии. Обязательными элементами гидропривода являются насос и гидродвигатель. Гидропривод представляет собой своего рода «гидравлическую вставку» между приводным двигателем и нагрузкой (машиной или механизмом) и выполняет те же функции, что и механическая передача (редуктор, ремённая передача, кривошипно-шатунный механизм и т. д.). Основное назначение гидропривода, как и механической передачи, — преобразование механической характеристики приводного двигателя в соответствии с требованиями нагрузки (преобразование вида движения выходного звена двигателя, его параметров, а также регулирование, защита от перегрузок и др.). Приводным двигателем насоса могут быть электродвигатель, дизель и другие, поэтому иногда гидропривод называется соответственно электронасосный, дизельнасосный и т. д.

#### Виды гидроприводов

Гидроприводы могут быть двух типов: гидродинамические и объёмные. В гидродинамических приводах используется в основном кинетическая энергия потока жидкости. В объёмных гидроприводах используется потенциальная энергия давления рабочей жидкости.

Широкое распространение в настоящее время получил объёмный гидропривод. Под объёмным гидроприводом понимается совокупность объёмных гидромашин, гидроаппаратуры и других устройств, предназначенная для передачи механической энергии и преобразования движения посредством рабочей жидкости.

Объёмной называется гидромашина, рабочий процесс которой основан на попеременном заполнении рабочей камеры жидкостью и вытеснении её из рабочей камеры. К объёмным машинам относят, например, поршневые насосы, аксиально-поршневые, радиально-поршневые, шестерённые гидромашин и др.

Трудно назвать отрасль современной промышленности, где бы ни применялся **гидропривод**. Высокая эффективность, большие технические возможности делают его почти универсальным средством, используемым в различных технологических процессах.

#### Выбор привода

Приводы в промышленном производстве обеспечивают прямолинейное или вращательное движение деталей и узлов, их поднимание или опускание, движение с нагрузкой, поддержание заданной скорости перемещения и ускорение, позиционирование, комбинирование производственных процессов и т. д. В зависимости от применяемого приводного двигателя различают электро-, гидро-, и пневмоприводы. Каждый из этих приводов имеет свои достоинства и недостатки. Поэтому при выборе оборудования с тем или иным видом привода можно ориентироваться на их потребительские характеристики, представленные в таблице 1.

**Таблица 1**

Параметры	Электроприводы	Гидроприводы	Пневмоприводы
Затраты на энерго-снабжение	Низкие	Высокие	Очень высокие
Передача энергии	На неограниченное расстояние со скоростью света	На расстояние до 100 м. Скорость -- до 6 м/сек., передача сигналов --- до 100 м/сек.	На расстояние до 1000 м. Скорость -- до 40 м/сек., передача сигналов -- до 40 м/сек.
Накопление энергии	Затруднено	Ограничено	Легко осуществимо
Линейное перемещение	Затруднительно, дорого, низкие усилия	Просто, высокие усилия, хорошее регулирование скорости	Просто, невысокие усилия, скорость зависит от нагрузки
Вращательное движение	Просто, можно обеспечить высокие мощности	Просто, высокий вращающий момент, невысокие обороты	Просто, невысокий вращающий момент, высокая скорость вращения
Рабочая скорость исполнительного механизма	Зависит от конкретных условий	До 0,5 м/сек.	2,5 м/сек. и выше
Усилия	Высокие усилия, не допускаются перегрузки	Усилия до 3000 кН, защищены от перегрузок	Усилия до 30 кПа, защищены от перегрузок
Точность позиционирования	Плюс-минус 1 мкм и выше	До плюс-минус 1 мкм	До 0,1 мм
Жесткость	Высокая -- при использовании механических промежуточных элементов	Высокая, так как масло практически несжимаемо	Низкая, так как газ сжимаем
Утечки и их последствия	Отсутствуют	Создают загрязнение, при наличии утечек пожароопасны	Вреда, кроме потерь энергии, нет, взрывобезопасны
Влияние окружающей среды	Практически нечувствительны к изменению температур	Чувствительны к изменению температур	Практически нечувствительны к колебаниям температуры

Обычно к основным преимуществам **гидропривода** относят:

- высокие усилия и большую передаваемую мощность на единицу массы привода;
- широкий диапазон бесступенчатого регулирования скорости выходного звена;
- точность позиционирования деталей;
- простоту управления и автоматизации;

- простоту предохранения приводного двигателя и исполнительных органов машин от перегрузок;
- надежную смазку трущихся поверхностей при применении минеральных масел в качестве рабочих жидкостей.

А к недостаткам:

- утечки рабочей жидкости через уплотнения и зазоры, особенно при высоких значениях давления;
- нагрев рабочей жидкости, что в ряде случаев требует применения специальных охладительных устройств и средств тепловой защиты;
- необходимость обеспечения в процессе эксплуатации чистоты рабочей жидкости и защиты от проникновения в нее воздуха;
- пожароопасность — в случае применения горючей рабочей жидкости.

### Гидроприводы в промышленности

Потребителями **гидроприводов** в России являются практически все отрасли экономики. Но в машиностроении, металлургии, сельском хозяйстве, на транспорте, в добывающих и многих других сферах производства в основном применяются объемные приводы.

Основная часть объемного привода — это гидромашина, состоящая из насоса и гидродвигателя. Насос преобразовывает энергию приводного двигателя (электрического, бензинового, дизеля и др.) в движение рабочей жидкости, а **гидродвигатель** — снова в возвратно-поступательное или вращательное механическое движение, необходимое для работы самого различного оборудования (часть такого оборудования представлена в таблице 1). Одно из достоинств объемных гидромашин состоит в том, что они обратимы и могут работать как в качестве насоса, так и в качестве двигателя.

**Таблица 2. Оборудование с гидроприводами в различных отраслях производства**

Отрасли	Оборудование
Станкостроение	Металлообрабатывающие станки, пресловое оборудование, пресс-автоматы для пластмасс
Лесная отрасль	Валочно-пакетирующие машины, погрузчики-штабелеры, машины сучкорезные, установки раскряжевочные, валочно-трелевочные машины, лесоповалочные машины, транспортировщики, бульдозеры, лесовозы, гидроманипуляторы, трелевочные трактора
Нефте- и газодобывающая отрасль	Машины для ремонта скважин, лебедки, трубоукладчики, гидроключи, гидроманипуляторы
Строительно-дорожная и подъемно-транспортная техника	Автокраны, автогрейдеры, автогидроподъемники, бульдозеры, асфальтоукладчики, бетоноукладчики, катки, экскаваторы, погрузчики, косилки роторные дорожные, подъемники монтажные, бульдозеры-погрузчики, виброплиты, комбинированные дорожные машины, автобетоновозы, скреперы
Судостроение	Приводы судовых механизмов, механизмы подъема якорей, катера, гидроманипуляторы, лебедки гидравлические
Инженерная техника	Машины для наведения мостов, бензоаправщики, траншекопатели, колесные тягачи, вездеходы автокраны, автогрейдеры, бульдозеры

Металлургия	Прокатные станы, литейные машины, установки для транспортировки ленты, прессы гидравлические правильные; кокильные машины, машины для литья под давлением; гидропрессы, протяжные станки
Горнодобывающие отрасли	Скреперы, карьерные экскаваторы, карьерные самосвалы, угольные комбайны, солевые комбайны, бульдозеры, автогидроподъемники, фронтальные погрузчики, путеремонтные машины, автогрейдеры
Сельское хозяйство	Гидропрокидыватели, косилки роторные, кормоуборочные машины, виноградоуборочные комбайны
Железно-дорожный транспорт	Рельсоукладчики, балластоукладчики, щебнеочистительные машины, выправочно-подбивочные машины, погрузчики, трелевочные трактора, гидравлические краны на ж/д ходу, путеремонтные машины, краново-бурильные машины
Коммунальное хозяйство	Снегоуборочные машины, мусоровозы, пожарные машины, пескоразбрасыватели, уборочные машины, малогабаритные погрузчики, гидроманипуляторы
Аэродромная техника	Аэродромно-уборочные машины, погрузчики, подъемники, снегоуборочные машины, заправщики, лестницы, установки для проверки гидросистем летательных аппаратов

### **Структура объемного гидропривода**

Объемный гидропривод — достаточно сложное устройство. Принято различать его 4 основные подсистемы: гидропередачу, устройства управления, вспомогательные устройства и гидролинии (см. рис. 1).



Рис. 1. Структура объемного гидропривода

Объемная гидропередача — это так называемая силовая часть **гидропривода**. Ее главные элементами являются **насос** и **гидродвигатель**. Если выходное звено гидромашинны получает вращательное движение, то такой двигатель называют гидромотором, если возвратно-поступательное, то — силовым цилиндром.

В состав гидропередач может входить гидроаккумулятор (емкость, предназначенная для аккумуляции энергии рабочей жидкости, находящейся под давлением), позволяющий использовать эту энергию по мере необходимости. Кроме того, в гидропередачу могут включаться также гидропреобразователи — устройства для изменения уровня давления и расхода рабочей жидкости.

Собственно для управления изменением или поддержанием на нужном уровне давления и расхода, а также изменением направления движения потока рабочей жидкости служат такие устройства, как:

- гидрораспределители — для изменения направления движения потока рабочей жидкости, нужной последовательности включения в работу гидродвигателей, реверсирования движения их выходных звеньев и т. д.;
- регуляторы давления (предохранительный, редукционный, переливной и другие клапаны) — для регулирования давления рабочей жидкости;
- регуляторы расхода (делители и сумматоры потоков, дроссели и регуляторы потока, направляющие клапаны);
- гидравлические усилители мощности сигналов управления.

К вспомогательным же устройствам обычно относят так называемые кондиционеры рабочей жидкости (фильтры, теплообменные аппараты и др.), гидравлические реле давления, гидроемкости, уплотнители, обеспечивающие герметизацию системы и др. А гидролинии — это трубы, рукава высокого давления, каналы и соединения, по которым циркулирует рабочая жидкость. Сами гидролинии подразделяются на всасывающие, напорные, сливные, дренажные, а также гидролинии управления.

## Проектирование гидропривода

В гидроприводах механическая энергия преобразуется в гидравлическую, в этой форме перемещается, управляется или регулируется и затем снова преобразуется в механическую энергию.



*Передача энергии в гидроприводе*

### Преобразование энергии

В первую очередь для преобразования энергии служат насосы, а во вторую - гидроцилиндры и гидромоторы.

### Вопросы для самоконтроля:

1. Принцип работы гидропривода.
2. Достоинства и недостатки гидропривода.
3. Сферы применения гидропривода.
4. Структура гидропривода.

## Практическое занятие № 3

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ: ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ

#### Задачи:

1. Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
2. Подготовиться к семинару.
3. Ответить на контрольные вопросы.

#### Теоретические положения

**Пневматический привод (пнеumoпривод)** — совокупность устройств, предназначенных для приведения в движение машин и механизмов посредством энергии сжатого воздуха. Обязательными элементами пневмопривода являются компрессор (генератор пневматической энергии) и пневмодвигатель.

Пневмопривод, подобно гидроприводе, представляет собой своего рода «пневматическую вставку» между приводным двигателем и нагрузкой (машиной или механизмом) и выполняет те же функции, что и механическая передача (редуктор, ремённая передача, кривошипно-шатунный механизм и т. д.).

Основное назначение пневмопривода, как и механической передачи, — преобразование механической характеристики приводного двигателя в соответствии с требованиями нагрузки (преобразование вида движения выходного звена двигателя, его параметров, а также регулирование, защита от перегрузок и др.).

В общих чертах, передача энергии в пневмоприводе происходит следующим образом:

1. Приводной двигатель передаёт вращающий момент на вал компрессора, который сообщает энергию рабочему газу.

2. Рабочий газ после специальной подготовки по пневмолиниям через регулируемую аппаратуру поступает в пневмодвигатель, где пневматическая энергия преобразуется в механическую.

3. После этого рабочий газ выбрасывается в окружающую среду, в отличие от гидропривода, в котором рабочая жидкость по гидролиниям возвращается либо в гидробак, либо непосредственно к насосу.

В зависимости от характера движения выходного звена пневмодвигателя (вала пневмомотора или штока пневмоцилиндра), и соответственно, характера движения рабочего органа пневмопривод может быть вращательным или поступательным. Пневмоприводы с поступательным движением получили наибольшее распространение в технике.

Широкое распространение пневмопривода объясняется целым рядом его достоинств: простотой конструкции, доступностью рабочего тела (воздуха из окружающей среды), простотой эксплуатации и ремонта, сравнительно низкой стоимостью, высокой надежностью работы при высоких и низких температурах, полной пожаро- и взрывобезопасностью при высокой влажности и запыленности окружающей среды.

Срок службы пневмопривода достигает 10—20 тыс. часов (до 10—50 млн. циклов работы). Он может обеспечивать очень высокие скорости выходного звена — до нескольких метров в секунду, а при вращательном — до 300 тыс. оборотов в минуту. Рабочие скорости пневмопривода значительно выше скоростей гидропривода. По транспортабельности сжатый воздух уступает только электроэнергии. Сжатым воздухом можно одновременно снабжать большое число пневмоприводов машин от одного источника, например, компрессорной станции завода. Во многих случаях пневмоприводы удается соединять с рабочими органами непосредственно, без сложных механических передач. Это существенно упрощает конструкцию машин.

К недостаткам пневмопривода относятся невозможность обеспечить плавное перемещение рабочих органов машин при колебаниях нагрузки, сложность обеспечения точной остановки выходного звена, например, штока пневмоцилиндра, в любом промежуточном положении. Это объясняется сжимаемостью воздуха — рабочего тела пневмопривода. Скорость передачи пневматических командных сигналов по трубопроводам ограничена скоростью распространения звука в воздушной среде. Поэтому для увеличения быстродействия применяют комбинированные электропневматические системы управления, в которых командные сигналы передаются по электрическим линиям связи.

Сжимаемость воздуха (или объемная упругость), то есть изменение объема под действием внешних сил, в других случаях является не недостатком, а решающим преимуществом. Именно это свойство используется в пневматических шинах и подвесках автомобилей, в приводах автоматических дверей электропоездов и метро, в надувных лодках и футбольных мячах для смягчения ударов.

Сжимаемость воздуха и несжимаемость минерального масла прежде всего определяют и разграничивают области применения пневматических и гидравлических приводов.

Высокую плавность и равномерность хода, точность остановки выходного звена, большие рабочие усилия может обеспечить гидравлический привод, в котором рабочим телом служит несжимаемая жидкость — минеральное масло, или комбинированный привод — пневмогидравлический. Только в этих случаях рационально его применение. Однако гидропривод имеет целый ряд недостатков: трудность снабжения рабочим телом — ми-

неральным маслом, опасность его утечки через уплотнения и т.д. Поэтому в большинстве случаев рационально применять более простой в эксплуатации пневмопривод, рабочим телом для которого служит воздух из атмосферы, сжатый в компрессоре.

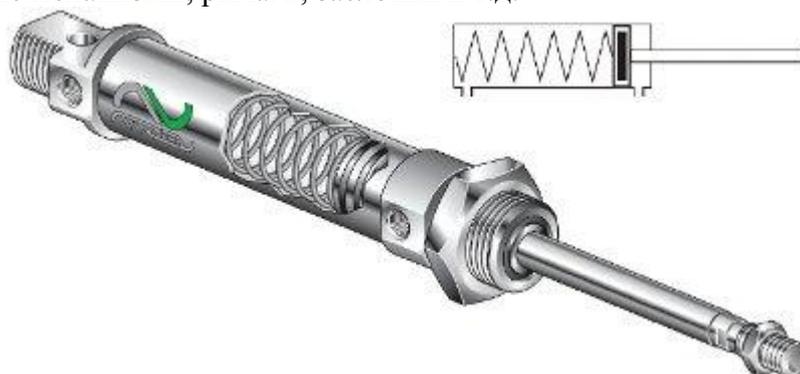
В состав системы пневмопривода могут входить самые различные пневмодвигатели: пневмоцилиндры, мембранные (или диафрагменные) исполнительные механизмы, поворотные пневмодвигатели, многооборотные пневмомоторы. Кроме того, в системы входят устройства управления их движением (пневмораспределители, дроссели с обратными клапанами, редукционные клапаны), кондиционеры (фильтры-влагоотделители, маслораспылители, обеспечивающие смазку подвижных частей пневмоаппаратуры, глушители шума); запорные органы (вентили); пневмолинии (трубопроводы и соединения).

**Пневматические цилиндры** используются для преобразования энергии сжатого воздуха в линейное или круговое перемещение.

В зависимости от серии и конструкции цилиндра, некоторые элементы могут отсутствовать или добавляться новые.

### Принцип действия

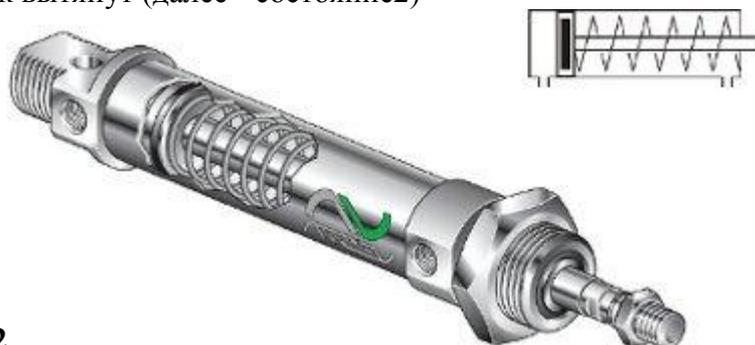
При подаче давления в одно из соединений, поток сжатого воздуха начинает давить на поверхность поршня, вызывая его перемещение внутри прибора до крайнего положения. Поршень тянет за собой шток. К штоку возможно присоединять различные исполнительные механизмы, рычаги, заслонки и т.д.



**Состояние 1**

Таким образом, посредством подачи воздуха в пневмоцилиндр, осуществляется механическое воздействие на исполнительный механизм. Любой стандартный цилиндр имеет 2 рабочих состояния

- : - шток втянут (далее - состояние 1)
- - шток вытянут (далее - состояние2)



### Состояние 2

Переход цилиндра из одного в другое осуществляется путем подачи либо сброса давления (сжатого воздуха) на одном из соединений.

### Вопросы для самопроверки:

1. Каким образом происходит передача движения в пневмоприводе?

2. Дайте определение понятию «пневмопривод»?
3. Перечислите основные элементы пневматических систем?
4. Опишите работу пневмоцилиндра.
5. Как классифицируют пневмоцилиндры по принципу действия.
6. Достоинства и недостатки пневмопривода.
7. Сферы применения пневмопривода.

#### **Практическое занятие № 4** **ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ:** **ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ**

Задачи:

1. Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
2. Подготовиться к семинару.
3. Ответить на контрольные вопросы.

#### **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ**

Электропривод является технической системой, служащей для преобразования электрической энергии в механическую, которая необходима для осуществления различных технологических процессов в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте, и других областях жизнедеятельности человека. Большинство рабочих машин, агрегатов, технологических линий и комплексов приводится в движение электрическим приводом.

Однако функции электропривода не ограничиваются только преобразованием энергии - они существенно шире. Каждая рабочая машина нуждается в управлении, нужно включать и выключать двигатели, приводящие в движение рабочие органы машины, изменять скорость и усилие на рабочих органах в соответствии с условиями ведения технологического процесса, осуществлять необходимые защиты и блокировки, обеспечивающие безаварийную работу машин.

В тех случаях, когда рабочая машина или технологический комплекс имеет несколько рабочих органов, каждый из которых приводится в движение своим электроприводом, в задачу управления входит согласование движений рабочих органов в соответствии с требованиями технологического процесса.

Управление рабочей машиной может осуществляться оператором вручную или автоматически посредством устройств автоматического или программного управления. Даже если рабочие машины управляются вручную, ряд функций управления обычно автоматизирован для облегчения работы оператора и более точного выполнения технологического процесса.

Вторую функцию электропривода можно определить, как управление движением исполнительных органов рабочей машины, причем это управление может осуществляться вручную с элементами автоматики или автоматически.

Итак, современный электрический привод представляет собой техническую систему, предназначенную для приведения в движение рабочего органа машины и управления ее технологическим процессом.

Сочетание двух функций электропривода: преобразование электрической энергии в механическую и управление параметрами механической энергии (мощность, усилие, крутящий момент, скорость, ускорение, путь и угол перемещения) с целью рационального выполнения технологического процесса, выполняемого рабочей машиной, определяет назначение и роль электропривода в машинном производстве.

Рассмотрим некоторые примеры электроприводов и выполняемых ими функций.

На рис. 1.1 показана электрическая схема электропривода вентилятора, служащего для обмена воздуха в помещении. Преобразование электрической энергии в механическую, необходимую для приведения рабочего колеса вентилятора во вращение, осуществляется асинхронным двигателем М. Однако состав электропривода вентилятора не ограничивается только двигателем. Чтобы вентиляторная установка могла работать, двигатель

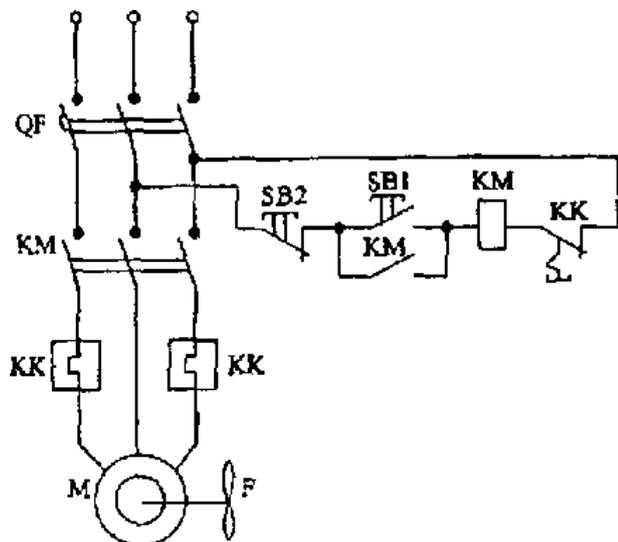


Рис.1. Схема электропривода вентилятора

нужно включать и отключать. Эта функция управления реализуется с помощью магнитного пускателя КМ и кнопок управления. При нажатии кнопки SB1 «пуск» катушка пускателя получает питание, и пускатель замыкает свои главные контакты, подключая двигатель к сети. Своим нормально открытым (н.о.) блок-контактом КМ пускатель шунтирует кнопку «пуск», вследствие чего после отпускания кнопки пускатель остается включенным. Отключение двигателя производится нажатием кнопки «стоп» SB2, разрывающей цепь катушки пускателя.

Схема, показанная на рис. 1, содержит также защитные устройства: защиту от токов короткого замыкания (к.з.) в проводниках или в обмотке статора двигателя. Эта защита обеспечивается автоматическим выключателем QF, имеющим максимальный расцепитель. Защита двигателя от перегрузок реализуется посредством тепловых реле КК, входящих в состав магнитного пускателя.

### Структура электропривода

Электропривод - это техническая система, предназначенная для приведения в движение рабочих органов машины и целенаправленного управления рабочими процессами, состоящая из электродвигательного, передаточного, преобразовательного и информационно-управляющего устройств.

Электродвигательное устройство - это электрический двигатель, преобразующий электрическую энергию в механическую - электромеханический преобразователь энергии. Двигатели могут быть различными по виду создаваемого ими движения: вращательного, линейного, шагового, вибрационные и др. Большинство используемых электродвигателей - это машины вращательного движения. Для передачи движения от электродвигателя к рабочему органу машины служит механическое передаточное устройство: редуктор, трансмиссия, ременная передача, канатная передача, кривошипно-шатунный механизм, передача винт-гайка и др. Передаточный механизм характеризуется коэффициентом передачи, представляющим собой отношение скорости на входе к скорости на выходе механизма. В некоторых рабочих машинах (например, насосы, вентиляторы,) механическое передаточное устройство, как правило, отсутствует.

Преобразовательное устройство - это преобразователь электрической энергии. Эти устройства применяются в регулируемом электроприводе для целенаправленного и экономичного изменения параметров движения электропривода: скорости, развиваемого момента и др. К электрическим преобразовательным устройствам относятся управляемые выпрямители, преобразователи частоты и другие. В нерегулируемых электроприводах преобразовательное устройство, как правило, отсутствует.

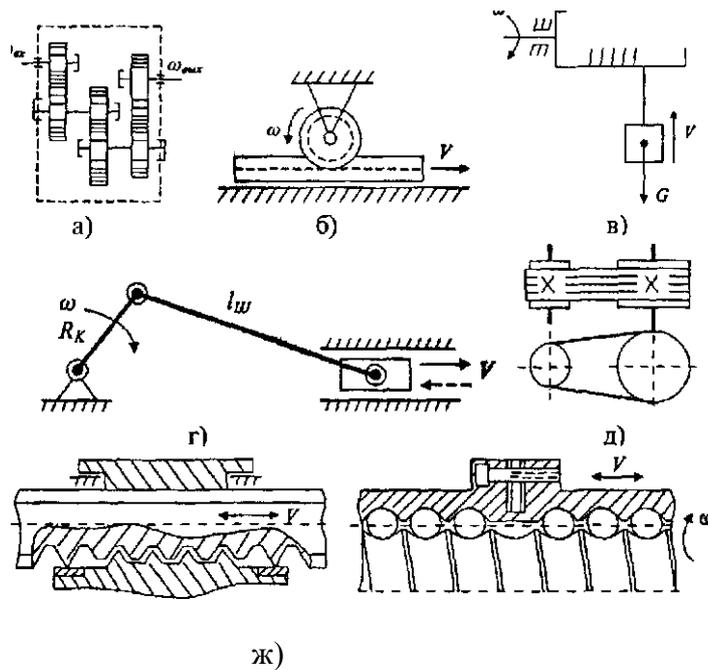


Рис.2 Механические передаточные устройства: а - редуктор; б - зубчато-реечная передача; в - барабанно-канатная передача; г - кривошипно-шатунный механизм; д - ременная передача; е - винтовая передача; ж - шарико-винтовая передача

Электрическое преобразовательное устройство обычно представляет собой преобразователь, выполненный на силовых полупроводниковых приборах: неуправляемых (диоды) и управляемых (тиристоры, запираемые тиристоры, биполярные транзисторы с изолированным входом - IGBT, и другие).

Электродвигательное, передаточное и преобразовательное устройства образуют силовой канал электропривода (см. рис.3) содержащий электрическую часть (сеть, преобразователь электрической энергии, электродвигатель) и механическую часть (подвижный элемент, например, ротор и вал электродвигателя, механическая передача, рабочий орган машины).

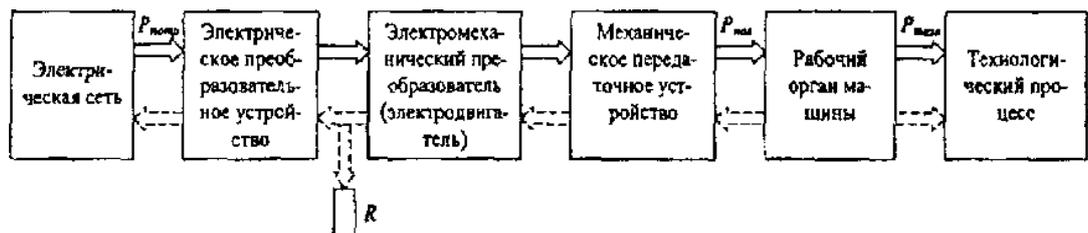


Рис. 3. Структура силового канала электропривода

При работе электропривода в двигательном режиме электрическая энергия, поступающая из сети, преобразуется электродвигателем в механическую энергию, которая передается рабочему органу машины и расходуется на выполнение технологического процесса.

### Классификация электроприводов

Электроприводы, используемые в различных технологических установках, разнообразны по своим функциональным возможностям, схемному и конструктивному исполнению, степени автоматизации, что связано с большим разнообразием рабочих машин. Классификация электроприводов по отдельным признакам дана в таблице 1.

Электроприводы бывают индивидуальными и групповыми. Если каждый рабочий орган машины приводится в действие своим электроприводом, то он называется индивиду-

дуальным. Такой привод может быть однодвигательным, либо многодвигательным. При групповом электроприводе один двигатель приводит в движение несколько рабочих органов. При этом усложняется кинематическая цепь рабочей машины и затрудняется управление рабочими органами, т.к. для отдельного управления рабочими органами необходимо применять специальные механические устройства: управляемые муфты, коробки передач, фрикционы и др. По мере развития техники групповой электропривод все больше вытесняется индивидуальным.

Таблица 1

Классификация автоматизированных электроприводов

Классификационный признак	Классификационные градации
По числу рабочих органов, приводимых электроприводом	1. Индивидуальный 2. Многодвигательный 3. Групповой
По виду движения электродвигателя	1. Вращательного движения 2. Линейный 3. Многокоординатного движения
По способу соединения двигателя с рабочим органом	1. Редукторный 2. Безредукторный 3. Конструктивно-интегрированный
По регулируемости	1. Нерегулируемый 2. Регулируемый
По основному контролируемому параметру	1. Регулируемый по моменту 2. Регулируемый по скорости 3. Регулируемый по положению
По виду управления	1. С ручным управлением 2. С полуавтоматическим управлением 3. С замкнутой САР скорости с ручным заданием или с заданием от системы управления технологическим процессом 4. С замкнутой САР положения, обеспечивающей точное позиционирование 5. С программным управлением 6. Следящий

Для высокоточных механизмов и для машин, работающих в динамичных режимах, стремятся исключать механические передачи между валом двигателя и рабочим органом. Такие электроприводы называют *безредукторными*. При этом, однако, возрастают габариты и масса приводного двигателя, поскольку эти параметры при одной и той же мощности двигателя примерно обратно пропорциональны номинальной скорости двигателя.

В последние годы стремятся конструктивно объединить рабочий орган с приводным электродвигателем. Примерами таких конструктивно-интегрированных электроприводов являются мотор-колеса (для транспортных средств) и др.

Новым направлением в технике является создание электромеханических модулей, включающих в себя рабочий орган, электромеханическое устройство (двигатель) с системой его регулирования и микропроцессорное управляющее устройство. Такие модули, получившие название мехатронных, применяются в роботах и станках с числовым программным управлением.

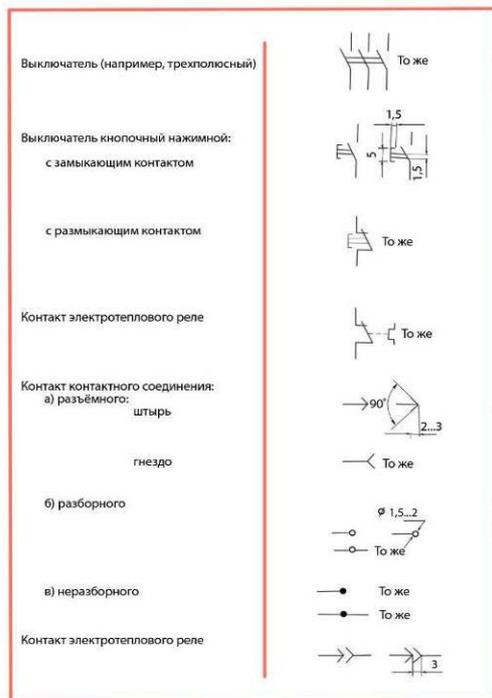
Понятие регулируемый электропривод включает в себя выполнение следующих функций:

- установка требуемой скорости в пределах заданного диапазона;
- стабилизация установленного значения скорости с заданной точностью при возмущающих воздействиях, например, изменении нагрузки на валу двигателя;
- регулирование момента, развиваемого двигателем в двигательном и тормозном режимах, и ускорения (замедления) привода;
- формирование требуемого характера изменения скорости во времени  $a \Rightarrow f(t)$  с заданной точностью.

Современной тенденцией является все более широкое использование регулируемых электроприводов.

Если положение рабочего органа должно изменяться в соответствии с заданием, характер которого заранее неизвестен, то функцией электропривода в этом случае является слежение и отработка этого задания с необходимой точностью. Такой электропривод называется следящим.

### **Обозначение коммутационных устройств и контактных соединений на электрических схемах**



### Вопросы для самопроверки

1. Что отражают механические характеристики двигателя и рабочей машины?
2. Как, используя механические характеристики двигателя и рабочей машины, определить скорость установившегося режима работы машины?
3. Что такое жесткость механических характеристик, что она определяет?
4. Как классифицируются электроприводы по виду движения электродвигателя?
5. Приведите классификацию электроприводов по виду управления?
6. Выполнение каких функций определяет понятие регулируемого электропривода?

**Практическое занятие № 5**  
**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ (ЭЛЕКТРОННЫЕ (РАДИО) АППАРАТЫ).**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Электронные аппараты
2. Радиоаппараты
3. Радиоуправление
4. Электронное управление: сферы применения.
5. Принцип работы электронных аппаратов.

**Практическое занятие № 6**

**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ (ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ).**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Аппараты фотоэлектронные.
2. Устройство фотоэлектронных аппаратов.
3. Принцип работы.
4. Сфера применения фотоэлектронных устройств.

**Практическое занятие № 7**

**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ( МАГНИТНЫЙ ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ)**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Магнитный принцип работы.
2. Достоинства и недостатки механизмов с магнитным принципом работы
3. Сферы применения устройств с магнитным принципом работы.

**Практическое занятие № 8**

**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ (ТЕРМИЧЕСКИЙ)**

Вопросы для подготовки к семинару:

- 1 Термический принцип работы.
- 2 Сферы применения устройств с термическим принципом работы.
- 3 Достоинства и недостатки термического принципа работы.

**Практическое занятие № 9**

**ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ ( ОПТИЧЕСКИЙ)**

Вопросы для подготовки к семинару:

- 1 Оптический принцип работы.
- 2 Сферы применения устройств с оптическим принципом работы.
- 3 Достоинства и недостатки оптического способа работы.

## Практическое занятие № 10

### ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ (АКУСТИЧЕСКИЙ)

Вопросы для подготовки к семинару:

- 1 Акустический принцип работы.
- 2 Сферы применения устройств с акустическим принципом работы.
- 3 Достоинства и недостатки акустического принципа работы.

## Практическое занятие № 11

### РЫЧАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ. КУЛАЧКОВЫЕ МЕХАНИЗМЫ.

#### Цель и задачи практического занятия

Изучить принцип работы механизмов, научиться выбирать и составлять структурные схемы, применять механизмы в дизайн-проектах

#### Теоретическая часть

Проектирование механизмов представляет собой сложную комплексную проблему, решение которой разбивается на несколько этапов.

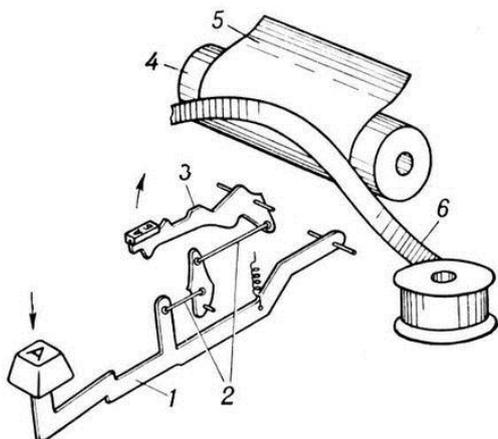
Первым этапом проектирования является выбор кинематической схемы механизма, которая бы обеспечивала требуемый вид движения и его закон.

Ко второму этапу проектирования относится разработка конструкторских форм механизма, обеспечивающих его прочность и долговечность.

Третьим этапом проектирования является разработка технологических и технико-экономических показателей проектируемого механизма.

В теории механизмов в основном рассматриваются и решаются задачи первого этапа проектирования, с помощью которых разрабатываются кинематические схемы механизмов, воспроизводящих требуемый закон движения.

Проектирование механизма начинается с выбора структурной схемы. Ее выбирают из справочных материалов или разрабатывают на основе анализа видов движения, которые должны быть реализованы. Этот этап проектирования называется структурным синтезом.



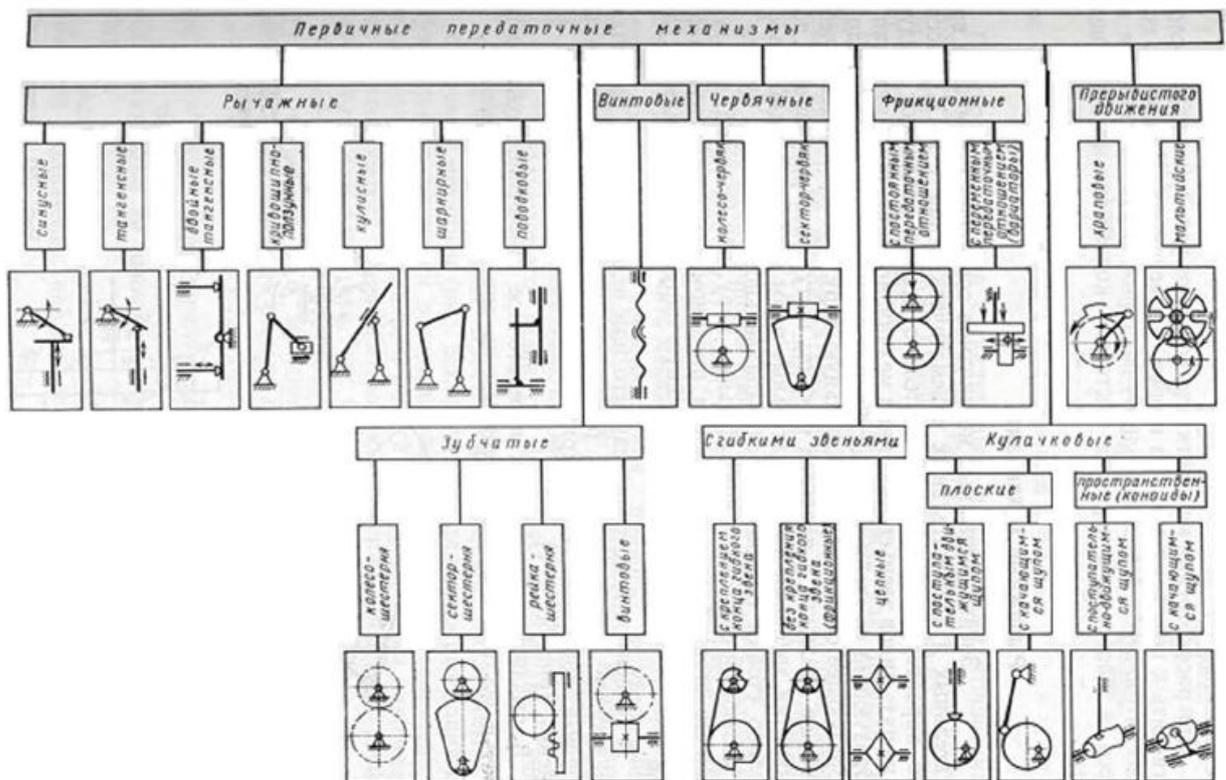
Если имеется несколько структурных схем различных механизмов, пригодных для реализации требуемых параметров, то из них следует выбрать наиболее подходящую. Разработчик должен, хотя бы в первом приближении, оценить кинематические, силовые, точностные и другие характеристики механизма, что заранее сделать достаточно трудно. На практике выбор структурной схемы производится чаще всего на основе предшествующего опыта, знаний или интуиции проектировщика. При огромном многообразии схем одних только рычажных механизмов такой эвристический подход к их выбору оправдан. Однако

далеко не всегда проектировщик выбирает удачную структурную схему, о чем свидетельствуют конструкции некоторых существующих механизмов, применяемых в машинах и приборах. Вопрос о рациональном выборе структуры проектируемого механизма сравнительно сложен, поскольку он трудно поддается формализации.

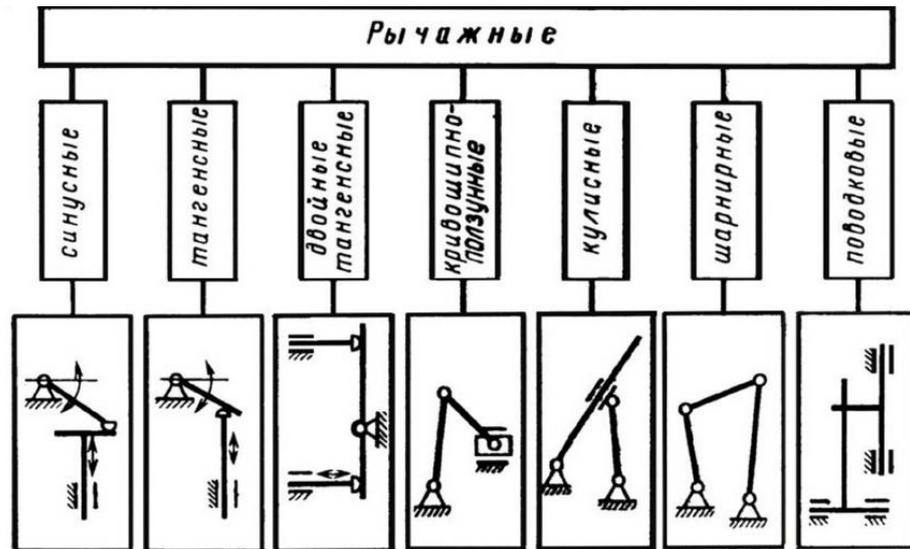
После выбора структурной схемы механизма определяют геометрические размеры звеньев. При этом учитываются в основном кинематические функции, которые должен реализовать механизм. Этот этап проектирования называют этапом кинематического синтеза механизма, в рамках которого определяют относительные размеры звеньев, т. е. отношение геометрических размеров звеньев к размеру одного из них. Относительные геометрические размеры звеньев называют геометрическими параметрами механизма.

Структурный и геометрический синтез позволяет получить кинематическую схему механизма, отвечающую требованиям, предъявляемым к проектируемому механизму. Таким образом, задача проектирования механизма является сложной, многопараметрической, причем число исходных параметров механизма, как правило, больше числа исходных данных, поэтому частью параметров приходится варьировать.

### Виды механизмов



## РЫЧАЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ



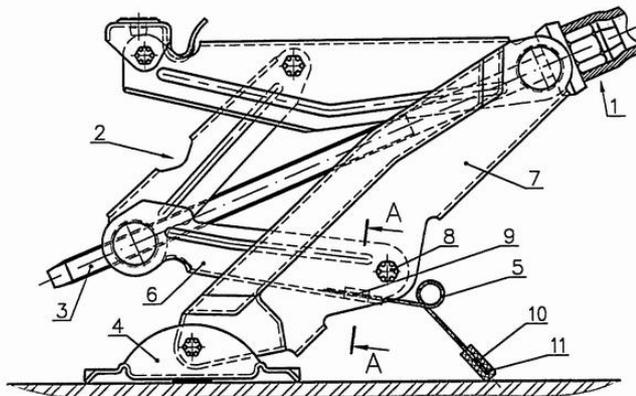
### Классификация рычажных механизмов

По принципу использования рычажные механизмы делятся на следующие группы.

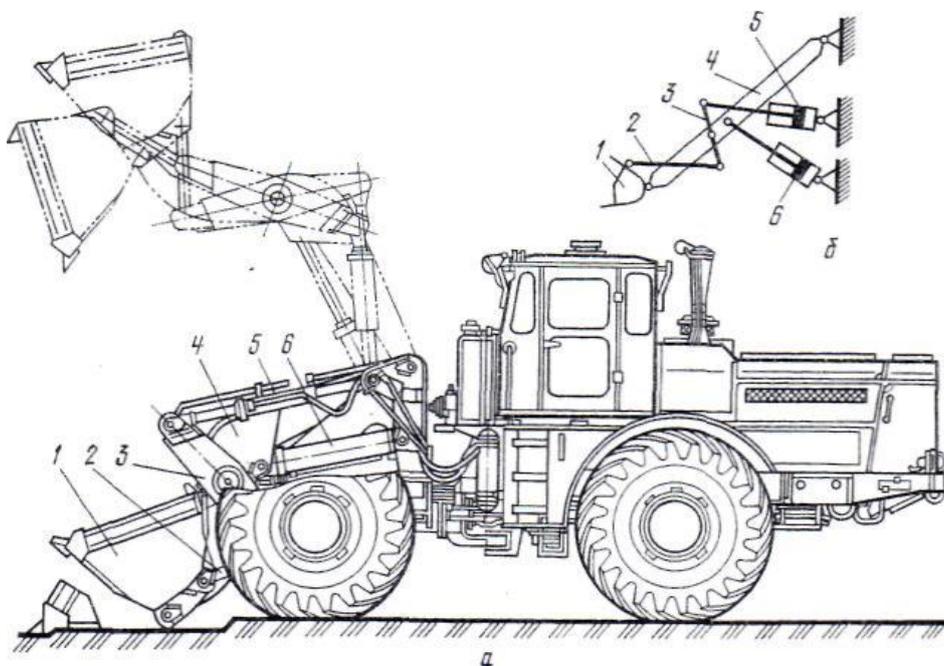
1. Передаточные механизмы, реализующие заданную функциональную зависимость между положениями входного и выходного звеньев механизма или между их перемещениями.
2. Направляющие механизмы, в которых точка на звене, совершающем сложное движение, перемещается при движении механизма по заданной траектории.

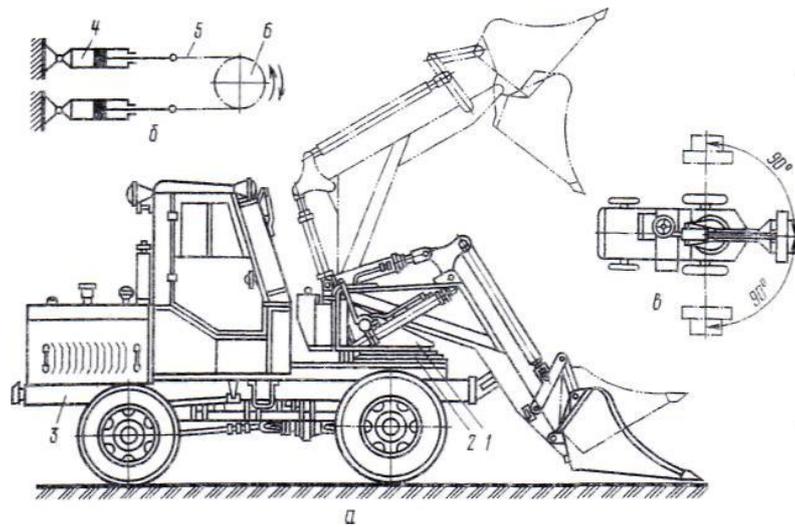
Решение указанных задач синтеза рычажных механизмов с низшими парами может вестись как графическими, так и аналитическими методами. Выбор метода в значительной мере зависит от тех условий, которые поставлены при проектировании (в частности, точность). Графические методы нагляднее и проще с точки зрения, но недостаточно точны. В последнее время достаточно развиты и широко используются аналитические методы с использованием ЭВМ.

### Применение рычажных механизмов ДОМКРАТ ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ



# РЫЧАЖНЫЕ МЕХАНИЗМ ПОДЪЕМА ДВЕРИ





## ПРИМЕНЕНИЕ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ В ТЕХНИКЕ



## ПРИМЕНЕНИЕ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ В КОНСТРУКЦИИ МЕХАНИЗМА СТЕКЛОПОДЪЕМНИКОВ

### Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируются рычажные механизмы?
2. Область применения рычажных механизмов?
3. Что позволяет получить структурный и геометрический синтез механизма?

## **Кулачковые механизмы**

### **Назначение и область применения**

#### **Кулачковые механизмы:**

Кулачковым называется трехзвенный механизм с высшей кинематической парой входное звено которого называется кулачком, а выходное - толкателем (или коромыслом). Часто для замены в высшей паре трения скольжения трением качения и уменьшения износа, как кулачка, так и толкателя, в схему механизма включают дополнительное звено - ролик и вращательную кинематическую пару. Подвижность в этой кинематической паре не изменяет передаточных функций механизма и является местной подвижностью.

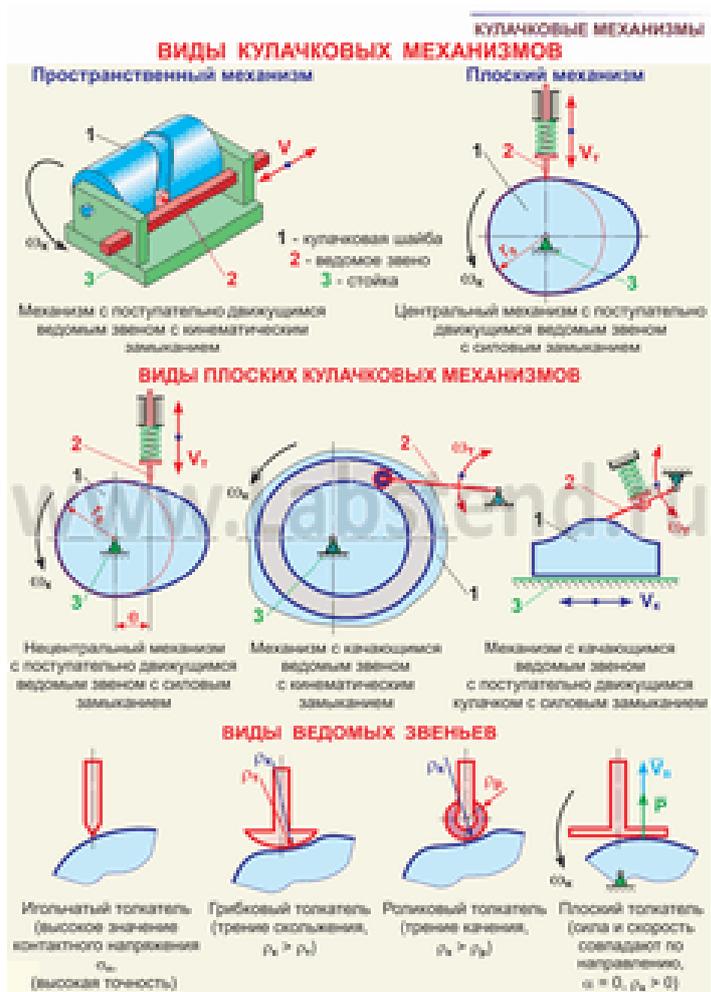
#### **Назначение и область применения:**

Кулачковые механизмы предназначены для преобразования вращательного или поступательного движения кулачка в возвратно-вращательное или возвратно-поступательное движение толкателя. При этом в механизме с двумя подвижными звеньями можно реализовать преобразование движения по сложному закону. Важным преимуществом кулачковых механизмов является возможность обеспечения точных выстоев выходного звена. Это преимущество определило их широкое применение в простейших устройствах цикловой автоматики и в механических счетно-решающих устройствах (арифмометры, календарные механизмы). Кулачковые механизмы можно разделить на две группы. Механизмы первой обеспечивают перемещение толкателя по заданному закону движения. Механизмы второй группы обеспечивают только заданное максимальное перемещение выходного звена - ход толкателя. При этом закон, по которому осуществляется это перемещение, выбирается из набора типовых законов движения в зависимости от условий эксплуатации и технологии изготовления.

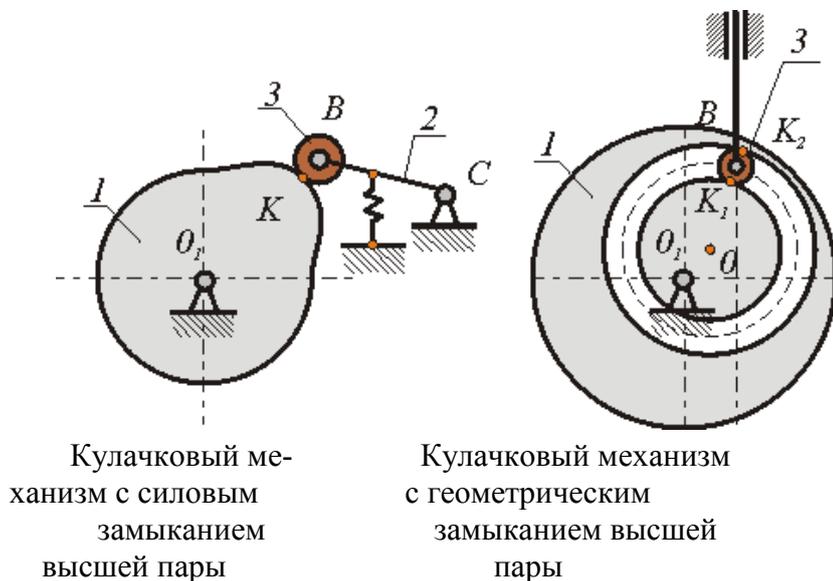
#### **. Классификация кулачковых механизмов.**

Кулачковые механизмы классифицируются по следующим признакам:

- по расположению звеньев в пространстве
  - пространственные
  - плоские
- по движению кулачка
  - вращательное
  - поступательное
  - винтовое
- по движению выходного звена
  - возвратно-поступательное ( с толкателем)
  - возвратно-вращательное ( с коромыслом)
- по наличию ролика
  - с роликом
  - без ролика
- по виду кулачка
  - дисковый (плоский)
  - цилиндрический
  - коноид (сложный пространственный)
- по форме рабочей поверхности выходного звена
  - плоская
  - заостренная
  - цилиндрическая
  - сферическая
  - эвольвентная
- по способу замыкания элементов высшей пары
  - силовое
  - геометрическое



При силовом замыкании удаление толкателя осуществляется воздействием контактной поверхности кулачка на толкатель (ведущее звено - кулачок, ведомое - толкатель). Движение толкателя при сближении осуществляется за счет силы упругости пружины или силы веса толкателя, при этом кулачок не является ведущим звеном. При геометрическом замыкании движение толкателя при удалении осуществляется воздействием наружной рабочей поверхности кулачка на толкатель, при сближении - воздействием внутренней рабочей поверхности кулачка на толкатель. На обеих фазах движения кулачок - ведущее звено, толкатель - ведомое.



### **Вопросы для самоконтроля**

1. Назначение кулачкового механизма?
2. Область применения кулачкового механизма?
3. Классификация кулачковых механизмов?
4. Основные параметры кулачкового механизма
5. Какой кулачек называют пространственным?

## **Практическое занятие № 12**

## ФРИКЦИОННЫЕ ПЕРЕДАЧИ

Фрикционная передача — механическая передача, служащая для передачи вращательного движения (или для преобразования вращательного движения в поступательное) между валами с помощью сил трения, возникающих между катками, цилиндрами или конусами, насаженными на валы и прижимаемыми один к другому.

Фрикционные передачи состоят из двух катков (рис. 1): ведущего 1 и ведомого 2, которые прижимаются один к другому силой  $F_r$  (на рисунке — пружиной), так что сила трения  $F_f$  в месте контакта катков достаточна для передаваемой окружной силы  $F_t$ .

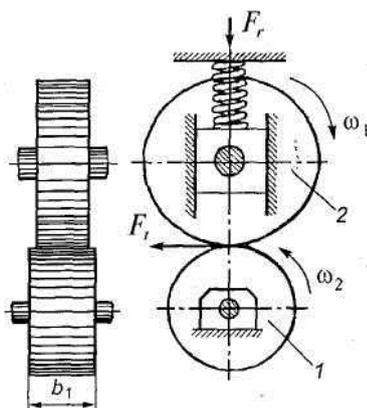


Рис.1. Цилиндрическая фрикционная передача: 1 — ведущий каток; 2 — ведомый каток

Условие работоспособности передачи:

$$F_f \geq F_t \quad (1)$$

Нарушение условия (1) приводит к буксованию и быстрому износу катков. Для того чтобы передать заданное окружное усилие  $F_t$ , фрикционные катки надо прижать друг к другу усилием  $F_r$  так, чтобы возникающая при этом сила трения  $F_f$  была бы больше силы  $F_t$ . на величину коэффициента запаса сцепления  $\beta$ , который принимают равным  $\beta = 1,25 \dots 2,0$ .

Значения коэффициента трения между катками в среднем:

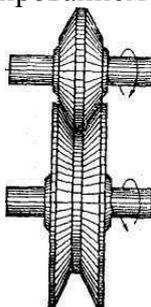
- сталь или чугун по коже или ферродо насухо  $f = 0,3$ ;
- то же в масле  $f = 0,1$ ;
- сталь или чугун по стали или чугуну насухо  $f = 0,15$ ;
- то же в масле  $f = 0,07$ .

Подставив эти значения в уравнение, можно убедиться в том, что усилие прижатия фрикционных катков во много раз превышает передаваемое окружное усилие.

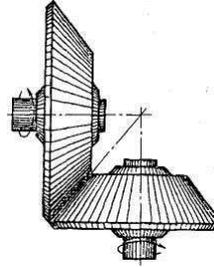
*Фрикционные передачи классифицируют по следующим признакам:*

1. По назначению:

- с нерегулируемым передаточным числом (рис. 1-3);
- с бесступенчатым (плавным) регулированием передаточного числа (вариаторы).



**Рис.2. Цилиндрическая фрикционная передача с катками клинчатой формы**



**Рис.3. Коническая фрикционная передача**

2. По взаимному расположению осей валов:
  - цилиндрические или конусные с параллельными осями (рис.1, 2);
  - конические с пересекающимися осями (рис.3).
3. В зависимости от условий работы:
  - открытые (работают всухую);
  - закрытые (работают в масляной ванне).

В открытых фрикционных передачах коэффициент трения  $f$  выше, прижимное усилие катков  $F_n$  меньше. В закрытых фрикционных передачах масляная ванна обеспечивает хороший отвод тепла, делает скольжение менее опасным, увеличивает долговечность передачи.

4. По принципу действия:

- нереверсивные;
- реверсивные.

5. Различают также передачи с постоянным или автоматическим регулируемым прижатием катков, с промежуточным (паразитным) фрикционным элементом или без него.

*Достоинства фрикционных передач:*

- простота конструкции и обслуживания;
- плавность передачи движения и регулирования скорости и бесшумность работы;
- большие кинематические возможности (преобразование вращательного движения в поступательное, бесступенчатое изменение скорости, возможность реверсирования на ходу, включение и выключение передачи на ходу без остановки);

- за счет возможностей пробуксовки передача обладает предохранительными свойствами. Однако после пробуксовки передача, как правило, резко ухудшает свои качества - появляются лыски на катках, неравномерно срабатываются фрикционные поверхности и т.д. Поэтому использовать пробуксовку как предохранительное средство не рекомендуется;

- отсутствие мёртвого хода при реверсе передачи;
- равномерность вращения, что удобно для приборов;
- возможность бесступенчатого регулирования передаточного числа, причем на ходу, без остановки передачи.

*Недостатки:*

- непостоянство передаточного числа из-за проскальзывания;
- незначительная передаваемая мощность (открытые передачи - до 10-20 кВт; закрытые - до 200-300 кВт);
- для открытых передач сравнительно низкий КПД;
- большое и неравномерное изнашивание катков при буксовании;
- необходимость применения опор валов специальной конструкции с прижимными устройствами (это делает передачу громоздкой);
- для силовых открытых передач незначительная окружная скорость ( $v \leq 7 - 10$  м/с);

- Большие нагрузки на валы и подшипники от прижимной силы  $F_t$ , что увеличивает их размеры и делает передачу громоздкой. Этот недостаток ограничивает величину передаваемой мощности;

- большие потери на трение.

*Материалы катков фрикционных передач.*

К материалам трущихся поверхностей катков предъявляют следующие требования: высокие износостойкость, хорошей теплопроводностью, поверхностная прочность, коэффициент трения  $f$  (во избежание больших сил сжатия), модуль упругости  $E$  (чтобы площадь контакта, а значит и потери на трение были малы), влагостойкость и во время работы не засаливаться.

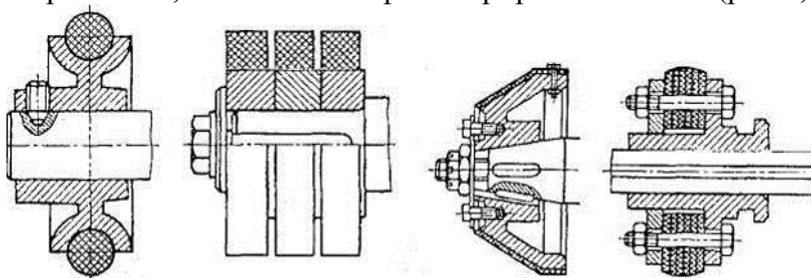
Применяют следующие сочетания материалов.

1. Для быстроходных закрытых силовых передач — закаленная сталь по закаленной стали (стали ШХ15, 40ХН, 18ХГТ и др.). Такое сочетание обеспечивает наибольшую компактность передачи, но требует более точного изготовления и малых параметров шероховатости поверхностей.

2. Для открытых тихоходных силовых передач — чугун по чугуну (СЧ15; СЧ20; СЧ25 и др.) или чугун по стали. Чаще применяют чугун по стали, что обеспечивает меньший шум при работе передачи.

3. Для малонагруженных открытых передач, не требующих большой долговечности, — текстолит, гетинакс или фибра по стали или по чугуну.

Такое сочетание материалов позволяет уменьшить требования к качеству обработки контактирующих поверхностей, так как они хорошо прирабатываются (рис.4, в).



а) б) в) г)

**Рис.4. Материалы трущихся поверхностей катков: а, б — резина; в — фибра; г — кожа**

4. Для передачи незначительных вращательных моментов — кожа, резина, прорезиненная ткань, ферродо, пластмасса по стали или чугуну. Один из катков изготавливают из стали или чугуна (чаще ведомый), а второй покрывают одним из перечисленных неметаллических материалов (рис.4, а, б, г).

Разработаны специальные фрикционные пластмассы с асбестовым и целлюлозным наполнителем, коэффициент трения которых достигает 0,5.

Более надёжны передачи, у которых ведущий каток твёрже, чем ведомый, т.к. тогда при пробуксовке не образуются лыски.

Применяются обрешиненные катки, однако их коэффициент трения падает с ростом влажности воздуха.

Для крупных передач применяют прессованный асбест, прорезиненную ткань и кожу.

### **Вопросы для самоконтроля**

- За счёт каких сил передают движение фрикционные передачи?
- Каковы достоинства и недостатки фрикционных передач?
- Каковы основные виды поломок фрикционных передач?

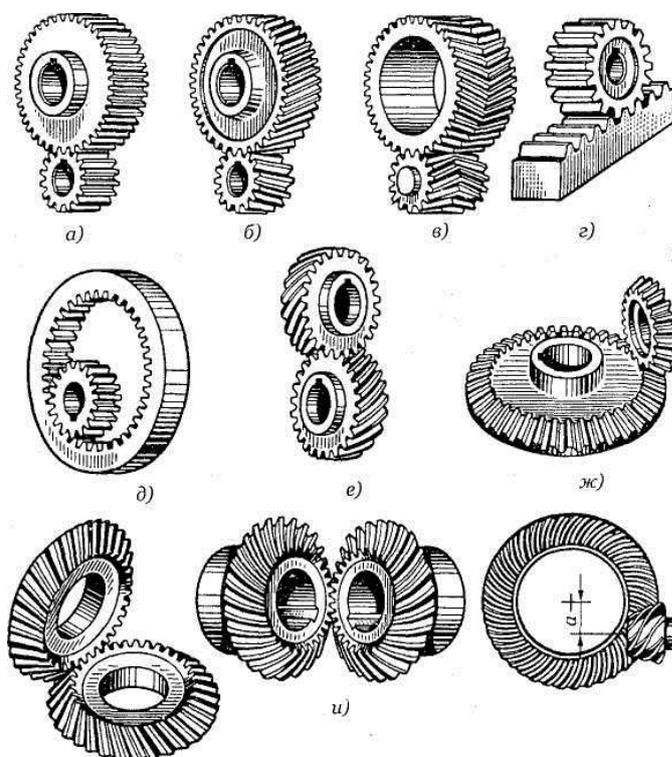
- Чем отличаются фрикционные вариаторы от коробок скоростей? Области их применения?
- Какие материалы применяются для фрикционных передач?
- Какие устройства называют вариаторами? Их назначение.

## Практическое занятия № 13 Зубчатые (цилиндрические, винтовые, конические) механизмы

### Зубчатые передачи

#### *Общие сведения и классификация зубчатых передач*

Механизм, в котором два подвижных звена являются зубчатыми колесами, образующими с неподвижным звеном вращательную или поступательную пару, называют зубчатой передачей (рис. 1).



**Рис. 1. Виды зубчатых передач: а, б, в — цилиндрические зубчатые передачи с внешним зацеплением; г — реечная передача; д — цилиндрическая передача с внутренним зацеплением; е — зубчатая винтовая передача; ж, з, и — конические зубчатые передачи; к — гипоидная передача**

В большинстве случаев зубчатая передача служит для передачи вращательного движения. В некоторых механизмах эту передачу применяют для преобразования вращательного движения в поступательное (или наоборот, см. рис. 1, г).

Зубчатые передачи — наиболее распространенный тип передач в современном машиностроении и приборостроении; их применяют в широких диапазонах скоростей (до 100 м/с), мощностей (до десятков тысяч киловатт).

*Основные достоинства зубчатых передач по сравнению с другими передачами:*

- технологичность, постоянство передаточного числа;
- высокая нагрузочная способность;
- высокий КПД (до 0,97-0,99 для одной пары колес);

- малые габаритные размеры по сравнению с другими видами передач при равных условиях;
- большая надежность в работе, простота обслуживания;
- сравнительно малые нагрузки на валы и опоры.

*К недостаткам зубчатых передач* следует отнести:

- невозможность бесступенчатого изменения передаточного числа;
- высокие требования к точности изготовления и монтажа;
- шум при больших скоростях; плохие амортизирующие свойства;
- громоздкость при больших расстояниях между осями ведущего и ведомого валов;
- потребность в специальном оборудовании и инструменте для нарезания зубьев;
- зубчатая передача не предохраняет машину от возможных опасных перегрузок.

*Зубчатые передачи и колеса классифицируют по следующим признакам* (см. рис. 1):

- по взаимному расположению осей колес — с параллельными осями (цилиндрические, см. рис. 1, *а—д*), с пересекающимися осями (конические, см. рис. 1, *ж—и*), со скрещивающимися осями (винтовые, см. рис. 1, *е, к*);
- по расположению зубьев относительно образующих колес — прямозубые, косозубые, шевронные и с криволинейным зубом;
- по конструктивному оформлению — открытые и закрытые;
- по окружной скорости — тихоходные (до 3 м/с), для средних скоростей (3—15 м/с), быстроходные (св. 15 м/с);
- по числу ступеней — одно- и многоступенчатые;
- по расположению зубьев в передаче и колесах — внешнее, внутреннее (см. рис. 1, *д*) и реечное зацепление (см. рис. 1, *г*);
- по форме профиля зуба — с эвольвентными, круговыми;
- по точности зацепления. Стандартом предусмотрено 12 степеней точности. Практически передачи общего машиностроения изготавливают от шестой до десятой степени точности. Передачи, изготовленные по шестой степени точности, используют для наиболее ответственных случаев.

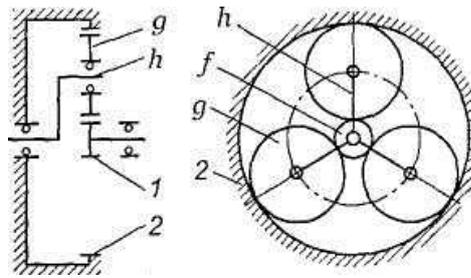
Из перечисленных выше зубчатых передач наибольшее распространение получили *цилиндрические прямозубые и косозубые* передачи, как наиболее простые в изготовлении и эксплуатации.

Преимущественное распространение получили передачи с зубьями эвольвентного профиля, которые изготавливаются массовым методом обкатки на зубофрезерных или зубодолбежных станках. Достоинство эвольвентного зацепления состоит в том, что оно мало чувствительно к колебанию межцентрового расстояния.

### ***Планетарные зубчатые передачи. Устройство передачи и расчет на прочность***

*Передачи, имеющие зубчатые или фрикционные колеса с перемещающимися осями, называют планетарными.* Эти подвижные колёса подобно планетам Солнечной системы вращаются вокруг своих осей и одновременно перемещаются вместе с осями, совершая плоское движение, называются они сателлитами (лат. *satellitum* – спутник). Подвижные колёса катятся по центральным колёсам (их иногда называют солнечными колёсами), имея с ними внешнее, а с корончатым колесом внутреннее зацепление. Оси сателлитов закреплены в водиле и вращаются вместе с ним вокруг центральной оси.

Наиболее распространена зубчатая одnorядная планетарная передача (рис.2). Она состоит из центрального колеса *1* с наружными зубьями, неподвижного (центрального) колеса *2* с внутренними зубьями и водила на котором закреплены оси планетарных колес *g* (или сателлитов).



**Рис. 2. Планетарная передача**

Водило вместе с сателлитами вращается вокруг центральной оси, а сателлиты обкатываются по центральным колесам и вращаются вокруг своих осей, совершая движения, подобные движению планет. При неподвижном колесе 2 движение передается от колеса 1 к водилу  $h$  или наоборот.

*Планетарную передачу, совершаемую подвижными звеньями (оба центральных колеса и водило), называют дифференциалом.* С помощью дифференциала одно движение можно разложить на два или два движения сложить в одно: от колеса 2 движение можно передавать одновременно колесу 1 и водилу  $h$  или от колес 1 и 2 к водилу  $g$  и т. д. Планетарную передачу успешно применяют в транспортном машиностроении, станкостроении, приборостроении.

*Достоинства и недостатки планетарных передач.*

*Основное достоинство* — широкие кинематические возможности, позволяющие использовать передачу в качестве редуктора коробки скоростей, передаточное число в которой изменяется путем поочередного торможения различных звеньев, и как дифференциальный механизм.

- Планетарный принцип позволяет получать большие передаточные числа (до тысячи и больше) без применения многоступенчатых передач.

- Эти передачи компактные и имеют малую массу. Переход от простых передач к планетарным позволяет во многих случаях снизить их массу в 4 раза и более.

- Сателлиты в планетарной передаче расположены симметрично, а это снижает нагрузки на опоры (силы в передаче взаимно уравновешиваются), что приводит к снижению потерь и упрощает конструкцию опор.

- Эти передачи работают с меньшим шумом, чем обычные зубчатые и имеют более лёгкое управление и регулирование скорости;

- Имеют малый шум вследствие замыкания сил в механизме.

*Основные недостатки:* повышенные требования к точности изготовления и монтажа (для обеспечения сборки планетарных передач необходимо соблюдать условие соосности (совпадение геометрических центров колёс); условие сборки (сумма зубьев центральных колёс кратна числу сателлитов) и соседства (вершины зубьев сателлитов не соприкасаются друг с другом); резкое снижение КПД передачи с увеличением передаточного отношения.

### **Вопросы для самопроверки**

- Каковы основные достоинства и недостатки зубчатых передач по сравнению с другими передачами?

- По каким признакам классифицируют зубчатые передачи?

- Чем отличается закрытая передача от открытой?

- Перечислите достоинства зубчатой передачи по сравнению с фрикционной передачей.

- Почему в зубчатых передачах сохраняется постоянным передаточное отношение?

- Что такое эвольвента окружности и какими свойствами, полезными для зубчатых зацеплений, она обладает?
- Какие окружности называют начальными, какие делительными?
- Что называется шагом, модулем и углом зацепления?
- Что такое исходный профиль рейки эвольвентного зацепления?
- В чем сущность основной теоремы зацепления?
- Что такое эвольвента окружности и какими свойствами она обладает?
- Почему эвольвентное зацепление имеет преимущественное применение?
- Что называют полюсом зацепления, линией зацепления и углом зацепления?

## **Практическое занятие № 14**

## ЧЕРВЯЧНЫЕ ПЕРЕДАЧИ

*Общие сведения, устройство передачи, материалы, область применения, достоинства и недостатки*

Червячная передача (рис. 1) — механизм для передачи вращения между валами посредством винта (червяка 1) и сопряженного с ним червячного колеса 2.

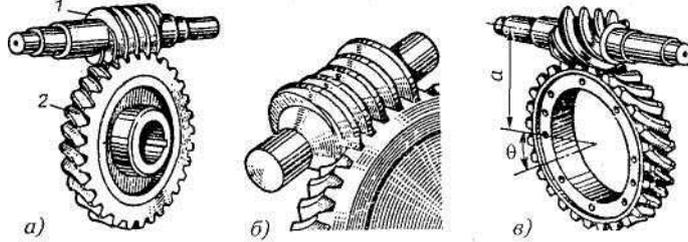


Рис. 1. Червячные передачи: 1 — червяк; 2 — червячное колесо

Геометрические оси валов при этом скрещиваются под углом  $90^\circ$ . Ведущим элементом здесь обычно является червяк (как правило, это винт с трапецидальной резьбой), ведомым — червячное колесо с зубьями особой формы, получаемыми в результате взаимного огибания с витками червяка. При вращении червяка вокруг своей оси его витки перемещаются вдоль образующей своей цилиндрической поверхности и приводят во вращательное движение червячное колесо. Для увеличения длины контактных линий в зацеплении с червяком зубья червячного колеса имеют дугообразную форму.

Червячные передачи относят к передачам зацеплением. Червячная передача — это зубчато-винтовая передача, движение в которой осуществляют по принципу винтовой пары, которой, как известно, присуще повышенное скольжение.

Различают два вида червячных передач: цилиндрические (с цилиндрическими червяками, см. рис. 1, а, в); глобоидные (с глобоидными червяками, см. рис. 1, б).

Червячную передачу, у червяка и колеса которой делительные и начальные поверхности цилиндрические, называют цилиндрической червячной передачей.

В зависимости от направления линии витка червяка червячные передачи бывают с правым (предпочтительнее для применения) и левым направлением линии витка.

В зависимости от формы профиля витка различают:

- архимедов червяк (ZA) (рис. 2, а) — цилиндрический червяк, торцовый профиль витка которого является архимедовой спиралью. Этот червяк подобен винту с трапецидальной резьбой;

- эвольвентный червяк (ZI) (рис. 2, б); имеет эвольвентный профиль витка в его торцовом сечении (как у косозубого колеса);

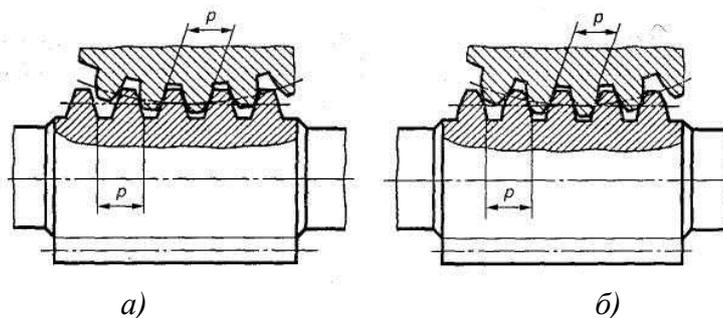


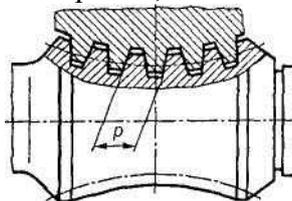
Рис. 2. Конструкции цилиндрических червяков: а — архимедов; б — эвольвентный

- конволютный червяк (ZN); торцовый профиль витка является удлиненной или укороченной эвольвентой. В конволютном червяке режущий инструмент (или наждачный

круг) установлен вдоль оси спирали зуба; это удобно при массовом производстве червяков, так как позволяет производить одновременную шлифовку двух сторон профиля зубьев.

По числу витков червяки делят на однозаходные и многозаходные, по направлению витка — левые или правые. Наиболее распространено правое направление с числом витков червяка  $Z_1$ , зависящим от передаточного числа  $u$ ;  $Z_1$  выбирают так, чтобы обеспечить число зубьев колеса  $z_2$ :  $Z_1 u > z_{2\min}$ .

*Червячную передачу, показанную на рис. 4, называют глобоидной.*



**Рис. 4**

Витки ее червяка расположены на глобоидной (торовой) поверхности. Эта передача появилась сравнительно недавно, имеет повышенную нагрузочную способность (в 1,5—2 раза больше, чем у обычных червячных передач), так как линия контакта в глобоидных передачах располагается благоприятно, что улучшает условия для образования масляных клиньев, и в зацеплении находится большее число зубьев колеса и витков червяка.

Глобоидные передачи требуют повышенной точности изготовления и монтажа, искусственного охлаждения. Эти передачи применяют реже, чем цилиндрические.

#### *Материалы червячной передачи.*

Материалы в червячной передаче должны иметь в сочетании низкий коэффициент трения, обладать повышенной износостойкостью и пониженной склонностью к заеданию. Обычно это разнородные материалы.

Червяки изготавливают в основном из сталей марок 40, 45, 50 (реже из сталей 35, Ст5) с закалкой до HRC 45-55; 15X, 20X, 40X, 40XН, 12XНЗ, 18ХГТ с цементацией и закалкой до HRC 58—63.

Червячные колеса (или их венцы) изготавливают только из антифрикционных сплавов.

При скоростях скольжения до 2 м/с и больших диаметрах колес для их изготовления можно использовать чугуны марок СЧ15, СЧ20, СЧ25; до 6 м/с — применяют алюминий-железистые бронзы БрА9Ж4 (при этом червяк должен иметь твердость не менее HRC 45), до 25 м/с и длительной работе без перерыва применяют оловянистую бронзу БрОЮФ, оловянно-никелевую бронзу БрОНФ.

Зубчатые венцы червячных колес изготавливают преимущественно из бронзы, реже из латуни или чугуна, причем выбор марки материала зависит от скорости скольжения  $v_s$ .

Материалы венцов червячных колес по мере убывания антизадириных и антифрикционных свойств и рекомендуемым для применения скоростям скольжения можно условно свести к трем группам.

Группа I. Оловянные бронзы (марок БрО10Ф1, БрО10Н1Ф1 и др.), применяют при высоких скоростях скольжения ( $v_s = 5...25$  м/с). Обладают хорошими антизадириными свойствами, но имеют невысокую прочность.

Группа II. Безоловянные бронзы и латуни применяют при средних скоростях скольжения ( $v_s$  до 3...5 м/с). Чаще других применяют алюминиевую бронзу марки БрА9ЖЗЛ. Эта бронза имеет высокую механическую прочность, но обладает пониженными антизадириными свойствами, поэтому ее применяют в паре с закаленными ( $H > 45$  HRC<sub>3</sub>) шлифованными и полированными червяками.

Группа Ш. Серые чугуны марок СЧ15, СЧ20 применяют при малых скоростях скольжения ( $v_s < 2...3$  м/с).

*Передаточное число червячной передачи*  $u$  определяют из условия, что за каждый оборот червяка колесо поворачивается на число зубьев, равное числу витков червяка,

$$u = z_2 / z_1, \quad (1)$$

где  $z_2$  — число зубьев колеса червячной передачи;  $z_1$  — число витков червяка.

*Достоинства червячных передач:*

- возможность получения больших передаточных чисел (одной парой — от 8 до 100, а в кинематических передачах — до 1000);
- плавность и бесшумность работы;
- возможность выполнения самотормозящей передачи (ручные грузоподъемные тали);
- демпфирующие свойства снижают уровень вибрации машин;
- возможность получения точных и малых перемещений;
- компактность и сравнительно небольшая масса конструкции передачи.

*Недостатки:*

- в отличие от эвольвентных зацеплений, где преобладает контактное качество, виток червяка скользит по зубу колеса. Следовательно, червячные передачи имеют "по определению" один фундаментальный недостаток: высокое трение в зацеплении;
- сравнительно невысокий КПД (0,7—0,92), в самотормозящих передачах — до 0,5 вследствие больших потерь мощности на трение в зацеплении;
- сильный нагрев передачи при длительной работе вследствие потерь мощности на трение, который вызывает значительное выделение тепла, которое необходимо отводить от стенок корпуса. Это обстоятельство ограничивает мощность практически применяемых передач пределом 10-20 кВт, зато для малых мощностей эти передачи нашли самое широкое применение;
- необходимость применения для колеса дорогих антифрикционных материалов;
- повышенное изнашивание и заедание;
- необходимость регулировки зацепления.

Кроме того, помимо достоинств и недостатков, червячные передачи имеют важное свойство: *движение передаётся только от червяка к колесу*, а не наоборот. Никакой вращающий момент, приложенный к колесу, не заставит вращаться червяк. Именно поэтому червячные передачи находят применение в подъёмных механизмах, например, в лифтах. Там электродвигатель соединён с червяком, а трос пассажирской кабины намотан на вал червячного колеса во избежание самопроизвольного опускания или падения.

Это свойство не надо путать с реверсивностью механизма. Ведь направление вращения червяка может быть любым, приводя либо к подъёму, либо к спуску той же лифтовой кабины.

Червячные передачи применяют в механизмах деления и подачи зуборезных станков, продольно-фрезерных станков, глубоко расточных станков, грузоподъемных и тяговых лебедках, талях, механизмах подъема грузов, стрел и поворота автомобильных и железнодорожных кранов, экскаваторах, лифтах, троллейбусах и других машинах.

Червячные передачи во избежание их перегрева предпочтительно использовать в приводах периодического, а не непрерывного действия.

Работоспособность червячной передачи ограничивается:

- 1) стойкостью рабочих поверхностей зубьев;
- 2) изгибной прочностью зубьев;

3) предельной допустимой температурой масла или корпуса;

4) прочностью и жесткостью червяка.

В червячной паре менее прочным элементом является зуб колеса, для которого возможны все виды разрушений и повреждений, встречающиеся в зубчатых передачах.

***Вопросы для самопроверки***

- В чём заключается принцип конструкции червячной передачи?

- Каковы достоинства и недостатки червячных передач?

- Какое свойство червячной передачи отличает её от других передач?

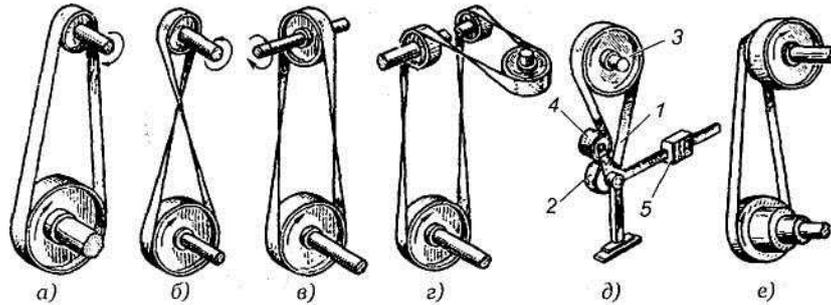
- Почему червячные передачи не рекомендуют применять при больших мощностях?

- Как осуществляют модификацию зацепления в червячных передачах?

- Каковы материалы и виды термообработки для деталей червячных передач?

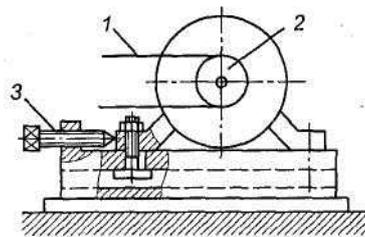
## Практическое занятие № 15 МЕХАНИЗМЫ С ГИБКИМИ ЗВЕНЬЯМИ (РЕМЕННЫЕ, ЦЕПНЫЕ) МЕХАНИЗМЫ Ременные передачи

Ременная передача относится к передачам *трением с гибкой связью* и может применяться для передачи движения между валами, находящимися на значительном расстоянии один от другого. Она состоит (рис.1) из двух шкивов (ведущего, ведомого) и охватывающего их ремня. Ведущий шкив силами трения, возникающими на поверхности контакта шкива с ремнем вследствие его натяжения, приводит ремень в движение. Ремень в свою очередь заставляет вращаться ведомый шкив. Таким образом, мощность передается с ведущего шкива на ведомый.



**Рис.1. Виды ременных передач: а — открытая передача; б — перекрестная передача; в — полуперекрестная передача (со скрещивающимися валами); г — угловая передача (с направляющим роликом); д — передача с нажимным роликом; е — передача со ступенчатым шкивом**

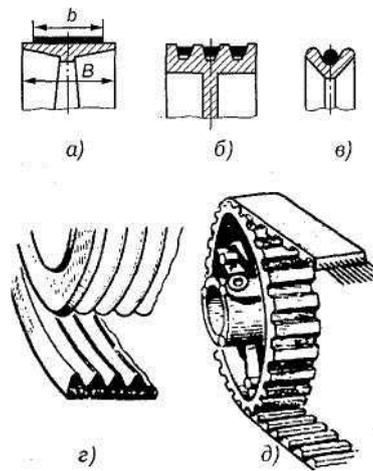
Для нормальной работы передачи необходимо предварительное натяжение ремня, обеспечивающее возникновение сил трения на участках контакта (ремень—шкив). Оно осуществляется: 1) вследствие упругости ремня — укорочением его при сшивке, передвижением одного вала или с помощью нажимного ролика; 2) под действием силы тяжести качающейся системы мы или силы пружины; 3) автоматически, в результате реактивного момента, возникающего на статоре двигателя; 4) с применением специальных натяжных устройств (рис.1, д и рис.2).



**Рис.2. Регулировка натяжения ремня перемещением двигателя: 1 — ремень; 2 — шкив; 3 — натяжное устройство**

*Классификация.* Ременные передачи классифицируют по следующим признакам.

1. По форме сечения ремня:
  - плоскоремные (рис.3, а);
  - клиноремные (рис.3, б);
  - круглоремные (рис.3, в);
  - с зубчатыми ремнями (рис.3, д);
  - с поликлиновыми ремнями (рис.3, з).



**Рис.3. Типы ремней ременных передач: а — плоский ремень; б — клиновым ремнем; в — круглым ремнем; г — поликлиновым ремнем; д — зубчатым ремнем**

2. По взаимному расположению осей валов:
  - с параллельными осями (см. рис.1, а, б);
  - с пересекающимися осями — угловые (см. рис.1, г);
  - со скрещивающимися осями (см. рис.1, в).
3. По направлению вращения шкива:
  - с одинаковым направлением (открытые и полуоткрытые) (см. рис.1, а);
  - с противоположными направлениями (перекрестные) (см. рис.1, б).
4. По способу создания натяжения ремня:
  - простые (см. рис.1, а);
  - с натяжным роликом (см. рис.1, д);
  - с натяжным устройством (см. рис.2).
5. По конструкции шкивов:
  - с однорядными шкивами (см. рис.1, а—д);
  - со ступенчатыми шкивами (см. рис.1, е).

*Область применения.* Ремни должны обладать достаточно высокой прочностью при действии переменных нагрузок, иметь высокий коэффициент трения при движении по шкиву и высокую износостойкость. Ременные передачи применяются для привода агрегатов от электродвигателей малой и средней мощности; для привода от маломощных двигателей внутреннего сгорания. Наибольшее распространение в машиностроении находят клиноременные передачи (в станках, автотранспортных двигателях и т. п.). Эти передачи широко используют при малых межосевых расстояниях и вертикальных осях шкивов, а также при передаче вращения несколькими шкивами. При необходимости обеспечения ременной передачи постоянного передаточного числа и хорошей тяговой способности рекомендуется устанавливать зубчатые ремни. При этом не требуется большего начального натяжения ремней; опоры могут быть неподвижными. Плоскоременные передачи применяются как простейшие, с минимальными напряжениями изгиба. Плоские ремни имеют прямоугольное сечение, применяются в машинах, которые должны быть устойчивы к вибрациям (например, высокоточные станки). Плоскоременные передачи в настоящее время применяют сравнительно редко (они вытесняются клиноременными). Теоретически тяговая способность клинового ремня при том же усилии натяжения в 3 раза больше, чем у плоского. Однако относительная прочность клинового ремня по сравнению с плоским несколько меньше (в нем меньше слоев армирующей ткани), поэтому практически тяговая способность клинового ремня приблизительно в два раза выше, чем у плоского. Это свидетельство в пользу клиновых ремней послужило основанием для их широкого распростра-

нения, в особенности в последнее время. Клиновые ремни могут передавать вращение на несколько валов одновременно, допускают  $u_{\max} = 8 - 10$  без натяжного ролика.

Круглоремненные передачи (как силовые) в машиностроении не применяются. Их используют в основном для маломощных устройств в приборостроении и бытовых механизмах (магнитофоны, радиолы, швейные машины и т. д.).

Передаваемая мощность силовых ременных передач практически достигает 50 кВт, хотя известны плоскоремненные передачи мощностью и 1500 кВт. Скорость ремня  $v = 5 - 30$  м/с (в сверхскоростных передачах  $v = 100$  м/с). В механических приводах ременная передача используется чаще всего как понижающая передача.

*Достоинства:*

- возможность расположения ведущего и ведомого шкивов на больших расстояниях (более 15 метров) (что важно, например, для сельскохозяйственного машиностроения);
- плавность хода, бесшумность, обусловленные эластичностью ремня;
- малая чувствительность к толчкам и ударам, а также к перегрузкам, способность пробуксовывать;
- возможность работы с большими угловыми скоростями;
- предохранение механизмов от резких колебаний нагрузки вследствие упругости ремня;
- возможность работы при высоких оборотах;
- простота конструкции и дешевизна.

*Недостатки:*

- непостоянство передаточного числа вследствие проскальзывания ремней;
- постепенное вытягивание ремней, их недолговечность;
- необходимость постоянного ухода (установка и натяжение ремней, их перешивка и замена при обрыве и т. п.);
- сравнительно большие габаритные размеры передачи;
- высокие нагрузки на валы и опоры из-за натяжения ремня;
- опасность попадания масла на ремень;
- малая долговечность при больших скоростях (в пределах от 1000 до 5000 ч);
- необходимость натяжного устройства.

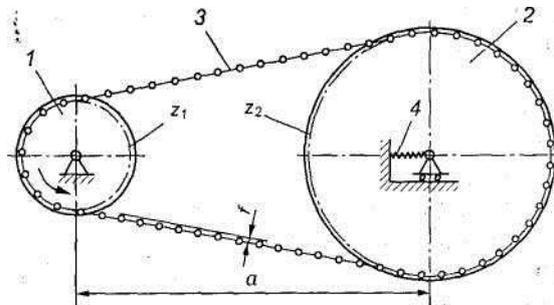
### **Вопросы для самопроверки**

- Ременные передачи — принцип действия, типы ремней? Какие ремни наиболее распространены?
- Преимущества и недостатки ременных передач, области их применения?
- Какой деталью выделяются ременные передачи среди фрикционных?
- Какие силы действуют в ремне?
- Силы в ветвях ремня. Как их рассчитывают?
- Напряжения в ремне. Как их определяют?
- Какие напряжения и как влияют на работоспособность передачи и долговечность ремня?
- Какие виды скольжения наблюдаются в ременной передаче?
- Как получают кривые скольжения и КПД ременных передач и как они используются при расчете допускаемой нагрузки?
- Какие нагрузки действуют на опоры валов колёс ременной передачи?
- Какие существуют способы поддержания натяжения ремней?
- Какие виды ременных передач различают по форме поперечного сечения ремня?
- Какими достоинствами и недостатками обладают ременные передачи по сравнению с другими видами передач?

## Цепные передачи.

### Общие сведения

Передачу механической энергии между параллельными валами, осуществляемую с помощью двух колес — звездочек 1 и 2 и охватывающей их цепи 3, называют цепной передачей (рис. 1). Служат для передачи вращения между удаленными друг от друга параллельными валами.



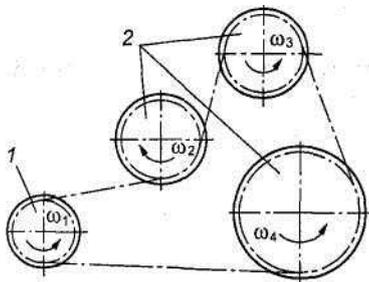
**Рис.1.** Цепная передача: 1 — ведущая звездочка; 2 — ведомая звездочка; 3 — цепь; 4 — натяжное устройство

Цепная передача, как и ременная, принадлежит к числу передач с гибкой связью. Гибким звеном в этом случае является цепь, входящая в зацепление с зубьями звездочек. Цепь состоит из соединенных шарнирами звеньев, которые обеспечивают подвижность или «гибкость» цепи. Зацепление обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с ременной передачей.

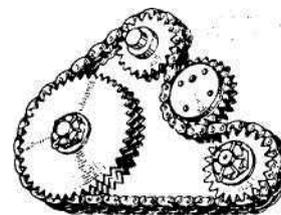
Цепную передачу можно классифицировать как передачу зацеплением с гибкой связью (ременная — трением с гибкой связью). Зацепление позволяет обойтись без предварительного натяжения цепи. В конструкции цепных передач для компенсации удлинения цепи при вытяжке и обеспечения эксплуатационной стрелы провисания  $f$  ведомой ветви иногда предусматривают специальные натяжные устройства (см. рис.1). Кроме перечисленных основных элементов, цепные передачи включают смазочные устройства и ограждения.

Угол обхвата звездочки цепью не имеет такого решающего значения, как угол обхвата шкива ремнем в ременной передаче.

Цепные передачи можно использовать как при больших, так и при малых межосевых расстояниях. Они могут передавать мощность от одного ведущего звена 1 нескольким звездочкам 2 (рис.2).



**Рис.2.** Схема многозвенной передачи: 1 — ведущая звездочка; 2 — три ведомых звездочки



**Рис.3.** Многозвенная передача

### **Классификация**

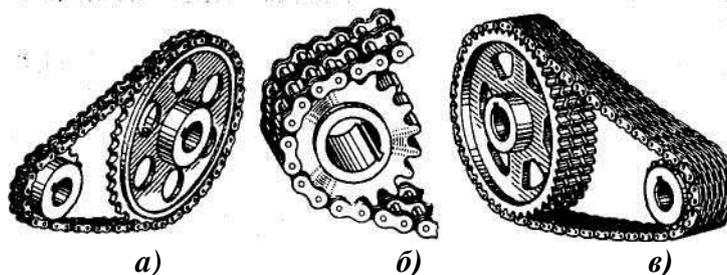
Цепные передачи разделяют по следующим основным признакам:

По типу цепей: с роликовыми (рис.4, *а*); с втулочными (рис.4, *б*); с зубчатыми (рис.4, *в*).

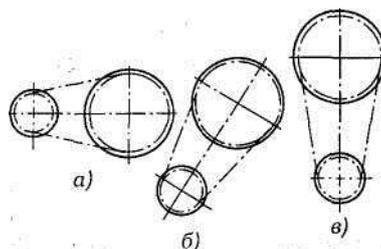
По числу рядов роликовые цепи делят на однорядные (см. рис.4, *а*) и многорядные (например, двухрядные, см. рис.4, *б*).

По числу ведомых звездочек: нормальные двухзвенные (см. рис.1, 4, 5); специальные — многозвенные (см. рис. 2, 3).

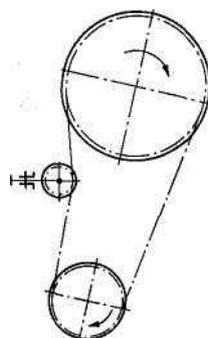
По расположению звездочек: горизонтальные (рис.5, *а*); наклонные (рис.5, *б*); вертикальные (рис.5, *в*).



**Рис. 4. Типы цепных передач: *а* — с роликовой цепью; *б* — с втулочной цепью; *в* — с зубчатой цепью**



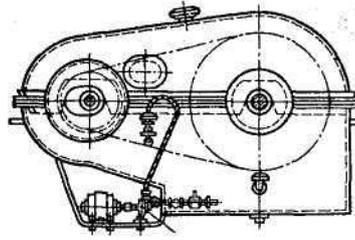
**Рис. 5. Виды цепных передач: *а* — горизонтальная; *б* — наклонная; *в* — вертикальная**



**Рис. 6. Цепная передача с натяжным роликом**

5. По способу регулирования провисания цепи: с натяжным устройством (см. рис. 1); с натяжной звездочкой (роликом, рис.6).

6. По конструктивному исполнению: открытые (см. рис.3), закрытые (рис.7).



**Рис.7. Установка с цепной передачей**

***Достоинства и недостатки***

*Достоинства:*

- большая прочность стальной цепи по сравнению с ремнем позволяет передать цепью большие нагрузки с постоянным передаточным числом и при значительно меньшем межосевом расстоянии (передача более компактна);
- возможность передачи движения одной цепью нескольким звездочкам;
- по сравнению с зубчатыми передачами — возможность передачи вращательного движения на большие расстояния (до 7 м);
- меньшая, чем в ременных передачах, нагрузка на валы;
- сравнительно высокий КПД ( $\eta_{\max} \gg 0,9 \div 0,98$ );
- отсутствие скольжения;
- малые силы, действующие на валы, так как нет необходимости в большом начальном натяжении;
- возможность легкой замены цепи.

*Недостатки:*

- сравнительно высокая стоимость цепей;
- невозможность использования передачи при реверсировании без остановки;
- передачи требуют установки на картерах;
- сложность подвода смазочного материала к шарнирам цепи;
- скорость движения цепи, особенно при малых числах зубьев звездочек, не постоянна, что вызывает колебания передаточного отношения. Основной причиной этого недостатка является то, что цепь состоит из отдельных звеньев и располагается на звездочке не по окружности, а по многоугольнику. В связи с этим скорость цепи при равномерном вращении звездочки не постоянна.

- повышенный шум, особенно на высоких скоростях, вследствие удара звена цепи при входе в зацепление и дополнительные динамические нагрузки из-за многогранности звездочек; Со скоростью  $v''_ц = v_з \sin \alpha$  связаны поперечные колебания ветвей цепи. В момент входа в зацепление шарнира *B* с зубом *C* вертикальные составляющие их скоростей  $v''_ц$  и  $v''_з$ , направлены навстречу друг другу, соприкосновение шарнира с зубом сопровождается ударом. Последовательные удары являются причиной шума передачи и разрушения шарниров цепи и зубьев звездочек. Для ограничения вредного влияния ударов выработаны рекомендации по выбору шага цепи в зависимости от частоты вращения ведущей звездочки.

- они работают в условиях отсутствия жидкостного трения в шарнирах и, следовательно, с неизбежным их износом, существенным при плохом смазывании и попадании пыли и грязи. За один пробег в каждом шарнире совершаются четыре поворота: два на ведущей и два на ведомой звездочках. Эти повороты вызывают износ втулок и валиков шарниров. Износ цепи и зубьев звездочек связан и с перемещением шарниров по профилю зуба в процессе зацепления. Это приводит к вытягиванию цепи, для устранения последствий которого требуется применение натяжных устройств. Для уменьшения износа необходимо следить за удовлетворительной смазкой шарниров.

- они требуют более высокой точности установки валов, чем клиноременные передачи, во избежание соскакивания цепи со звездочки и более сложного ухода — смазывания, регулировки.

### ***Область применения***

Современные цепные передачи могут передавать большие мощности (до 5 тыс. кВт) при сравнительно высоких скоростях (до 25—30 м/с). Цепные передачи применяют: а) при средних межосевых расстояниях, при которых зубчатые передачи требуют промежуточных ступеней или паразитных зубчатых колес, не вызываемых необходимостью получения нужного передаточного отношения; б) при жестких требованиях к габаритам или в) при необходимости работы без проскальзывания (препятствующего применению клиноременных передач).

Цепные передачи широко распространены в транспортирующих устройствах (конвейерах, элеваторах, мотоциклах, велосипедах), в приводах станков и сельскохозяйственных машин, в химическом, горнорудном и нефтепромышленном машиностроении.

Кроме цепных приводов, в машиностроении применяют цепные устройства, т.е. цепные передачи с рабочими органами (ковшами, скребками) в транспортерах, элеваторах, экскаваторах и других машинах.

Наибольшее применение получили цепные передачи мощностью до 120 кВт при окружных скоростях до 15 м/с.

### ***Вопросы для самопроверки***

- Кратко опишите устройство цепной передачи.
  - Перечислите по пунктам признаки классификации, характеризующие конструктивные особенности, связанные с цепями и со звездочками.
  - Укажите основные достоинства и недостатки цепной передачи по сравнению с другими известными Вам видами передач.
  - Каковы достоинства и недостатки цепных передач по сравнению с ременными?
- Где применяют цепные передачи?
- Какова конструкция роликовой и втулочной цепей?
  - В каких случаях применяют многорядные роликовые цепи?
  - Какие достоинства цепной передачи обеспечивают ей широкое применение и в каких областях?
  - Какие типы цепей наиболее распространены?
  - Почему в велосипеде применяется цепная передача? Какую другую передачу можно использовать для этой цели?
  - Сформулируйте определение цепного вариатора.
  - В чем достоинства и недостатки цепных передач по сравнению с ременными?
  - С чем связаны неравномерность хода цепной передачи, удары шарниров цепи по зубьям звездочки и колебания ветвей цепи?
  - От чего зависит интенсивность износа шарниров цепи?
-

## Практическое занятие № 16 МЕХАНИЗМЫ ДВИЖЕНИЯ С ОСТАНОВКАМИ

В автоматически и полуавтоматически действующих машинах встречается необходимость периодически сообщать движение ведомым звеньям с последующей полной остановкой, время которой может быть заданным.

### - храповые;

Храповой механизм с ведущей собачкой и стойкой 4 служит для преобразования возвратно-вращательного движения коромысла 1 с собачкой 2 в прерывистое вращательное движение (в одном направлении) храпового колеса 3. Собачка 5 с пружиной 6 не дают колесу вращаться в обратную сторону. Высшая пара образована собачкой и храповым колесом. Механизм может иметь входное звено и с возвратно-поступательным движением.

Храповый механизм применяют в качестве задерживающего устройства – напр., в грузоподъемных машинах (зубчатое колесо соединено с барабаном лебедки, и собачка удерживает барабан от обратного раскручивания под тяжестью поднимаемого груза). Храповый механизм используется в часах с пружинным заводом (при заводе часов он предотвращает самопроизвольное раскручивание заводной пружины).

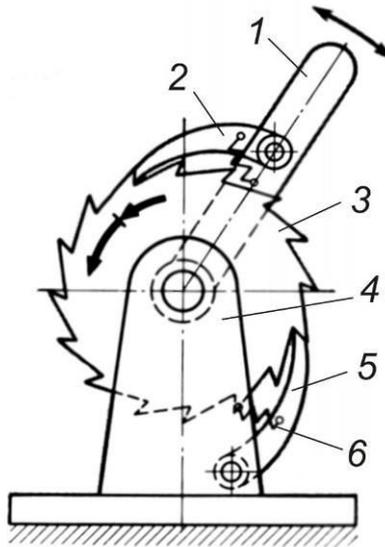


Рис.1. Храповой механизм

### - мальтийские;

Преобразует непрерывное вращение входного звена - кривошипа 1 в прерывистое (с остановками) вращение выходного звена - креста 2. Механизм имеет стойку 3 и высшую пару, образованную цевкой кривошипа и пазом креста.

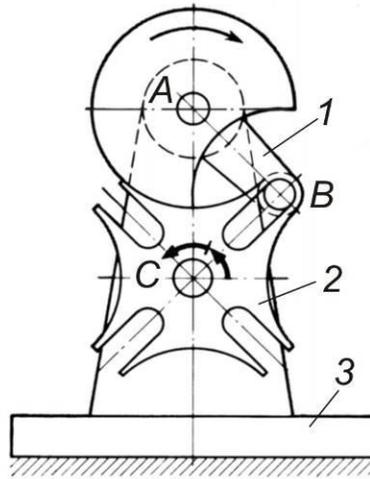
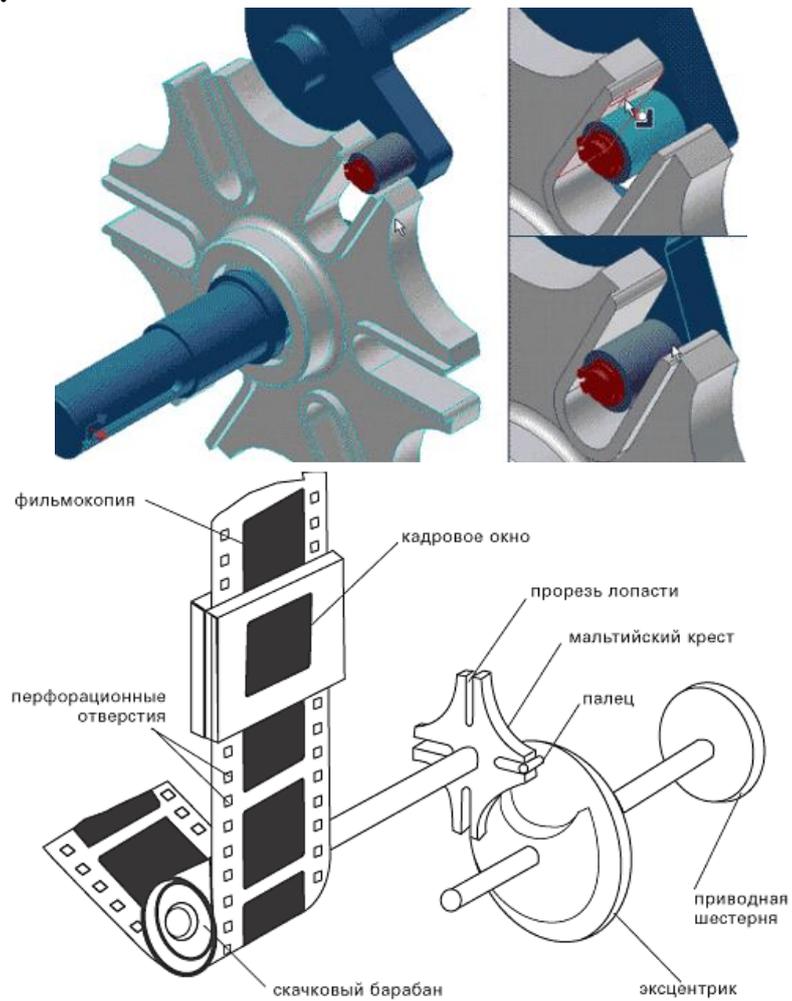


Рис. 2 Мальтийский механизм

Мальтийские и храповые механизмы широко применяются в станках и приборах.  
**- звездчатые.**



**Использование мальтийского механизма в кинопроекторе**

## РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ

### Осевое растяжение - сжатие

#### Продольные силы в поперечных сечениях

Под *растяжением (сжатием)* понимают такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях стержня возникают только продольные силы  $N$ , а прочие силовые факторы равны нулю.

Рассмотрим однородный прямолинейный стержень длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $A$ , на двух концах которого приложены две равные по величине и противоположно направленные центральные продольные силы  $P$  (рис. 2, а).

**Продольная сила** – внутреннее усилие, равное сумме проекций всех внешних сил, взятых с одной стороны от сечения, на ось стержня. Примем следующее **правило знаков для продольной силы**: растягивающая продольная сила положительна, сжимающая – отрицательна (рис. 1).

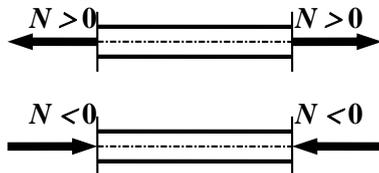


Рис.1

Поместим начало плоской системы координат  $uz$  в центре тяжести левого сечения, а ось  $z$  направим вдоль продольной оси стержня.

Для определения величин внутренних усилий воспользуемся методом сечений. Задавая некоторое сечение на расстоянии  $z$  ( $0 \leq z \leq l$ ) от начала системы координат и рассматривая равновесие левой относительно заданного сечения части стержня (рис. 2, б), приходим к следующему уравнению:

$$\sum z = -P + N_z = 0,$$

откуда следует, что

$$N_z = P.$$

Следовательно, продольная сила в сечении численно равна сумме проекций на ось стержня всех сил, расположенных по одну сторону сечения

$$N_z = \sum_{отс} P(z) \quad (1)$$

#### Напряжение в поперечных сечениях стержня

Нормальная сила  $N$  приложена в центре тяжести сечения, является равнодействующей внутренних сил в сечении и, в соответствии с этим, определяется следующим образом:

$$N = \int_A \sigma dA.$$

Но из этой формулы нельзя найти закон распределения нормальных  $\sigma$  напряжений в поперечных сечениях стержня. Для этого обратимся к анализу характера его деформирования.

Если на боковую поверхность этого стержня нанести прямоугольную сетку (рис. 2.2, б), то после нагружения поперечные линии  $a-a$ ,  $b-b$  и т.д. переместятся параллельно самим себе, откуда следует, что все поверхностные продольные волокна удлинятся одинаково. Если предположить также, что и внутренние волокна работают таким же образом, то можно сделать вывод о том, что поперечные сечения в центрально растянутом стержне

смещаются параллельно начальным положениям, что соответствует *гипотезе плоских сечений (гипотезе Бернулли)*.

Значит, все продольные волокна стержня находятся в одинаковых условиях, а следовательно, нормальные напряжения во всех точках поперечного сечения должны быть также одинаковы и равны

$$\sigma = \frac{N}{A}, \quad (2)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения стержня.

В сечениях, близких к месту приложения внешних сил, гипотеза Бернулли нарушается: сечения искривляются, и напряжения в них распределяются неравномерно. По мере удаления от сечений, в которых приложены силы, напряжения выравниваются, и в сечениях, удаленных от места приложения сил на расстояние, равное наибольшему из размеров поперечного сечения, напряжения можно считать распределенными по сечению равномерно. Это положение, называемое *принципом Сен-Венана*, позволяет при определении напряжений в сечениях, достаточно удаленных от мест приложения внешних сил, не учитывать способ их приложения, заменяя систему внешних сил статически эквивалентной системой. Например, экспериментально установлено, что во всех трех случаях нагружения стержня (рис. 5, а) значения напряжений в сечениях, удаленных от крайних сечений на расстояние не менее высоты сечения  $h$ , одинаковы:  $\sigma = N/A$  (рис. 5, б), а в сечениях, близких к местам приложения внешних сил, распределения напряжений по сечению существенно различны (рис. 5, в).

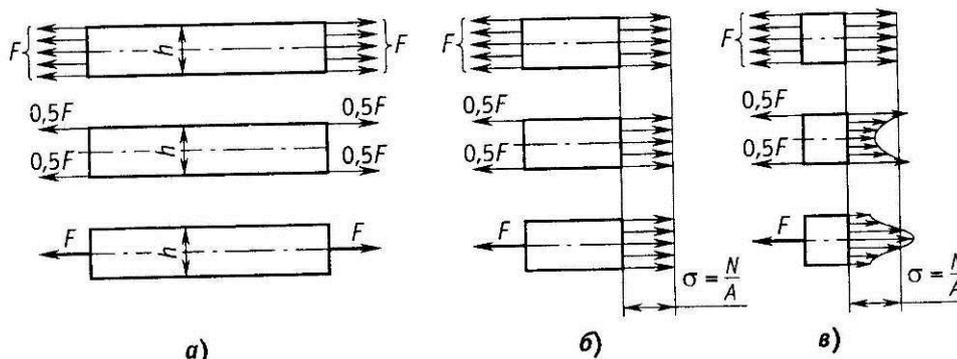


Рис.5

Высказанное предположение о равномерном распределении нормальных напряжений в поперечном сечении справедливо для участков, достаточно удаленных от мест: резкого изменения площади поперечного сечения (рис. 2, в); скачкообразного изменения внешних нагрузок; скачкообразного изменения физико-механических характеристик конструкций.

Нормальные напряжения при сжатии определяют также, как и при растяжении, но считают отрицательными.

Следует помнить, что длинные (тонкие) стержни, нагруженные сжимающими силами, могут потерять устойчивость.

В инженерных сооружениях встречаются растянутые или сжатые элементы, имеющие отверстия. В сечениях с отверстием определяют осредненные нормальные напряжения по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A_{нт}}, \quad (2.3)$$

где  $A_{нт} = A - A_{осл}$  – площадь поперечного сечения нетто;  $A$  – площадь поперечного сечения брутто;  $A_{осл}$  – площадь его ослабления.

### Деформации и перемещения. Закон Гука

Рассмотрим однородный стержень с одним концом, жестко заделанным, и другим - свободным, к которому приложена центральная продольная сила  $P$  (рис. 2.8). До нагружения стержня его длина равнялась  $l$  - после нагружения она стала равной  $l + \Delta l$  (рис. 2.8). Величину  $\Delta l$  называют *абсолютным удлинением* стержня.

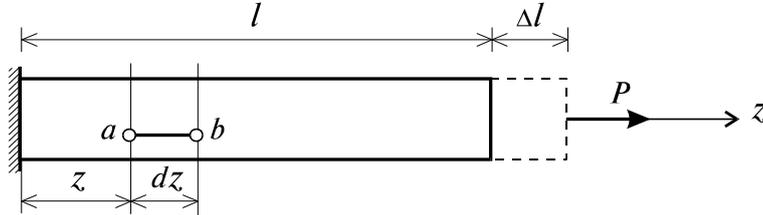


Рис. 6

Если в нагруженном стержне напряженное состояние является однородным, т.е. все участки стержня находятся в одинаковых условиях, деформация  $\varepsilon$  остается одной и той же по длине стержня и равной

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (4)$$

Если же по длине стержня возникает неоднородное напряженное состояние, то для определения его абсолютного удлинения необходимо рассмотреть бесконечно малый элемент длиной  $dz$  (рис. 2.8). При растяжении он увеличит свою длину на величину  $\Delta dz$  и его деформация составит:

$$\varepsilon = \frac{\Delta dz}{dz} \quad (5)$$

В пределах малых деформаций при простом растяжении или сжатии закон Гука записывается в следующем виде (*нормальные напряжения в поперечном сечении прямо пропорциональны относительной линейной деформации  $\varepsilon$* ):

$$\sigma = E\varepsilon \quad (6)$$

Величина  $E$  представляет собой коэффициент пропорциональности, называемый модулем упругости материала первого рода (модуль продольной упругости). Его величина постоянна для каждого материала. Он характеризует жесткость материала, т.е. способность сопротивляться деформированию под действием внешней нагрузки.

**Перейдем к анализу деформаций в растянутом стержне.** Наблюдения показывают, что его удлинение в продольном направлении сопровождается пропорциональным уменьшением поперечных размеров стержня (рис. 7).

Если обозначить:

$$\varepsilon_{\text{прод}} = \frac{\Delta l}{l}; \quad \varepsilon_{\text{попер}} = \frac{\Delta a}{a}; \quad \mu = \frac{\varepsilon_{\text{попер}}}{\varepsilon_{\text{прод}}},$$

то, как показывают эксперименты,  $\mu = \text{const}$  для данного материала и является безразмерным *коэффициентом Пуассона*. Величина  $\mu$  является важной характеристикой материала и определяется экспериментально. Для реальных материалов  $\mu$  принимает значения 0,1...0,45.

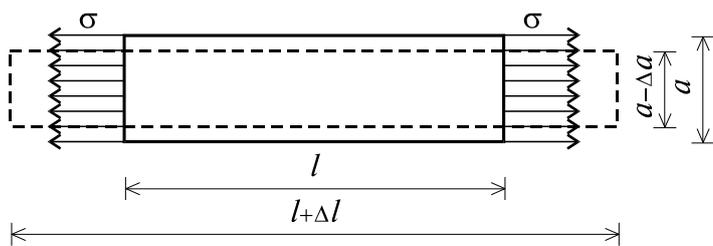


Рис. 7

### Расчеты на прочность и жесткость при растяжении (сжатии)

Основной задачей расчета конструкции является обеспечение ее безопасной эксплуатации. Важнейшим условием, обеспечивающим безопасную эксплуатацию конструкции, является условие прочности. Существуют различные методы обеспечения прочности конструкций. Мы чаще всего будем пользоваться одним из этих методов – расчетом по допускаемым напряжениям. Согласно этому методу для конструкций, работающих на растяжение-сжатие, условие прочности, составленное для опасного сечения, можно записать в таком виде:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A} \leq [\sigma] = \sigma_{adm} \quad (13)$$

где  $\sigma_{\max}$  – максимальное напряжение в конструкции;  $[\sigma]$  – характеристика материала, называемая **допускаемым напряжением**.

Допускаемое напряжение находится по формуле

$$[\sigma] = \sigma_{\text{пред}} / n \quad (14)$$

где  $\sigma_{\text{пред}}$  – предельное напряжение, при достижении которого в стержне наступает **предельное состояние материала**: появляются пластические деформации, если материал стержня – пластичный, или происходит разрушение, если стержень выполнен из хрупкого материала;  $n$  – нормируемый коэффициент запаса прочности.

Условие прочности в зависимости от цели поставленной задачи позволяет выполнять расчеты на прочность двух видов: проектный и проверочный. Для спроектированного стержня можно также определять допускаемую нагрузку.

**Проектный расчет** выполняют с целью определения размеров поперечных сечений элемента конструкции при известных рабочих нагрузках и материале (допускаемых напряжений). Площадь поперечного сечения определяют из выражения

$$A \geq \frac{N_{\max}}{[\sigma]} \quad (17)$$

Форма сечения стержня не влияет на его прочность при растяжении (сжатии). Форму сечения стержня необходимо знать только для определения размеров сечения при известном значении площади.

Зная площадь сечения и его форму, находят размеры сечения.

**Проверочный расчет** выполняют для спроектированной конструкции с целью проверки ее прочности. При проверочном расчете должны быть известны площадь опасного сечения, нагрузка и материал (допускаемое напряжение). Проверочный расчет выполняют по формуле (13).

**Определение допускаемой нагрузки** для спроектированного элемента конструкции, размеры поперечного сечения которого и материал (допускаемые напряжения) известны. Условие прочности в этом случае записывают в виде

$$[N] \leq [\sigma]A \quad (18)$$

Зная значение  $[N]$ , определяют допускаемую нагрузку  $[P]$ .

Таблица 1

Элементы конструкции	$\gamma_c$
Колонны общественных зданий и опор водонапорных башен	0,95
Элементы стержневых конструкций покрытий и перекрытий:	
а) сжатых при расчетах на устойчивость	0,95
б) растянутых в сварных конструкциях	0,95
Сплошные составные балки, колонны, несущие статическую нагрузку и выполненные с помощью болтовых соединений, при расчетах на прочность	1,1
Сечения прокатных и сварных элементов, несущих статическую нагрузку, при расчетах на прочность	1,1
Сжатые элементы из одиночных уголков, прикрепляемые одной полкой	0,75

*Примечание:* В случаях, не оговоренных в настоящих нормах, в формулах следует принимать  $\gamma_c = 1$ .

Для хрупких строительных материалов условия прочности принимают вид:

при растяжении:  $\sigma_t \leq \sigma_{adm,t}$ ,  $\sigma_{adm,t} = \sigma_{ut} / n_t$ ;

при сжатии:  $\sigma_c \leq \sigma_{adm,c}$ ,  $\sigma_{adm,c} = \sigma_{uc} / n_c$ , (20)

где  $\sigma_{adm,t}$  и  $\sigma_{adm,c}$  – допускаемые напряжения при растяжении и сжатии;  $n_t$  и  $n_c$  – нормативные коэффициенты запаса прочности по отношению к пределу прочности ( $n_t, n_c > 1$ ).

Для центрально сжатых бетонных элементов формула (20) записывается в виде:

$$\sigma_c = \frac{N}{A_b} \leq \alpha R_b, \quad (21)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, принимаемый для бетона тяжелого, мелкозернистого и легкого равным 1,00; для ячеистого автоклавного – 0,85; для ячеистого неавтоклавного – 0,75.

В некоторых случаях работоспособность элемента конструкции определяется не только его прочностью, но и *жесткостью*, т.е. способностью элемента воспринимать нагрузки без недопустимых упругих деформаций. При расчетах на жесткость определяют максимальные перемещения сечений и сопоставляют их с допускаемыми перемещениями.

Условие жесткости, ограничивающее изменение длины элемента, имеет следующий общий вид:

$$\Delta l \leq [\Delta l],$$

где  $\Delta l$  – изменение размеров детали;

$[\Delta l]$  – допускаемая величина этого изменения.

### **Расчеты статически определимых стержней**

**Статически определимый стержень** – это стержень, который можно рассчитать, используя только уравнения равновесия (уравнения статики).

В любой науке, которая называется «точной» и в которой используются аналитические методы описания состояний и явлений, не обойтись без моделей. В нашем случае при решении различных задач мы каждый раз будем выбирать для рассматриваемого объекта расчетную схему.

**Расчетная схема** – это упрощенная схема конструкции или ее элементов, освобожденная от несущественных в данной задаче особенностей. При этом расчетная схема должна отражать все наиболее существенное для характера работы данной конструкции и не содержать второстепенных факторов, мало влияющих на результаты ее расчета. Построение и обоснование расчетной схемы – ответственный этап проектирования и расчета конструкции.

Перейдем к рассмотрению конкретных примеров.

**Пример 1.**

Чугунная труба-стойка высотой  $H = l = 3\text{ м}$  с наружным диаметром  $D = 25\text{ см}$  и внутренним диаметром  $d = 20\text{ см}$  нагружена сжимающей силой  $F = 50\text{ т}$ , модуль упругости чугуна  $E = 1 \cdot 10^5\text{ МПа}$ . Найти напряжение  $\sigma_z$  в поперечном сечении колонны, абсолютное  $\Delta l$  и относительное укорочения  $\epsilon_z$ .

**Решение.**

Как уже говорилось выше, решение задачи начинается с выбора расчетной схемы. В данном случае стойка изображается как вертикальный стержень длиной  $H = l = 3\text{ м}$ , жестко закрепленный в нижней части (условное изображение фундамента или земли). К верхней части стержня приложена сосредоточенная сжимающая сила (направление к стержню).

При этом линия действия силы должна совпадать с осью стержня. Кроме того, рядом необходимо изобразить поперечное сечение стойки с указанием основных размеров. В данном примере – это кольцо. Расчетная схема для решения задачи изображена на рис. 8,

а.

Далее строим эпюру продольной силы и определяем максимальное внутреннее усилие, возникающее в колонне. Поскольку внешняя нагрузка постоянна по высоте, то возникает только одна сжимающая продольная сила  $N^{max} = -F = -50\text{ т} = -500\text{ кН}$ .

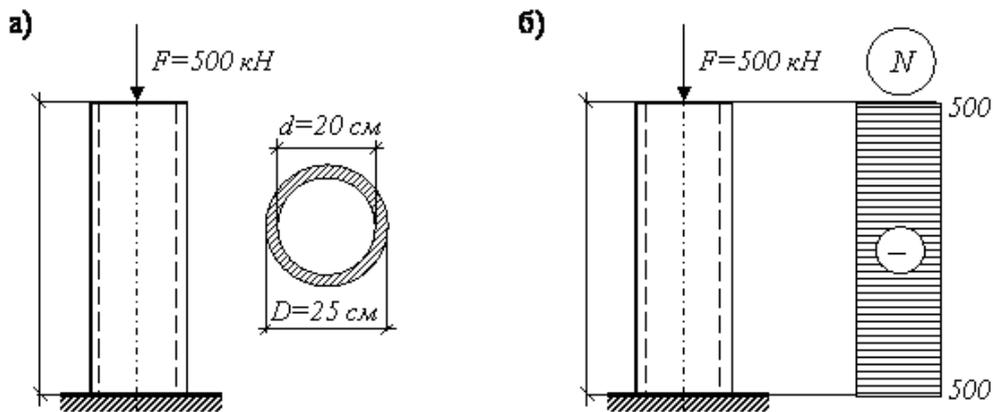


Рис. 8.

Максимальное нормальное напряжение  $\sigma_z^{max} [\text{МПа}]$  определяется по формуле:

$$\sigma_z^{max} = \frac{N^{max}}{A},$$

где  $A [\text{м}^2]$  – площадь трубы:

$$A = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot 10^{-4} (25^2 - 20^2)}{4} = 176,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

тогда:

$$\sigma_z^{max} = \frac{500 \cdot 10^{-3} \text{ МН}}{176,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 28,3 \text{ МПа}.$$

Абсолютное и относительное укорочения стойки определяем по формулам:

$$\Delta l = \frac{Nl}{EA} = -\frac{500 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot 3 \text{ м}}{1 \cdot 10^5 \text{ МПа} \cdot 176,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = -8,5 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = -\frac{8,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}}{3 \text{ м}} = -2,8 \cdot 10^{-4}.$$

Знак "минус" обозначает уменьшение размера (укорочение).

### Пример 2.

Стальной стержень круглого сечения растягивается усилием  $F = 10 \text{ т}$ . Относительное удлинение не должно превышать  $l/2000$ , а напряжение  $-1200 \text{ кг} / \text{см}^2$ . Найти наименьший диаметр, удовлетворяющий этим условиям, если модуль упругости стали  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ .

#### Решение.

Как и ранее, решение задачи начинается с изображения расчетной схемы и построения эпюра продольных сил (рис. 9).

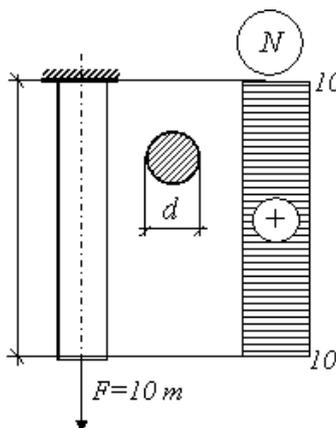


Рис.9

По условию задачи напряжение не должно превышать  $1200 \text{ кг} / \text{см}^2$ , в связи с чем данная величина может быть принята за расчетное сопротивление материала стойки на растяжение, то есть  $R_{расст} = 1200 \text{ кг} / \text{см}^2 = 120 \text{ МПа}$ . По аналогии заданное относительное удлинение можно принять за предельно допустимое для данной стойки, то есть  $[\varepsilon] = l/2000$ . В результате необходимо подобрать диаметр стойки, удовлетворяющий условию прочности и условию жесткости.

Продольное растягивающее усилие равно по величине внешней нагрузке, действующей на стержень  $N = 10 \text{ т} = 0,1 \text{ МН}$

Требуемая площадь поперечного сечения колонны из условия прочности будет определяться выражением:

$$A_{тр} = \frac{N}{R_{расст}} = \frac{0,1 \text{ МН}}{120 \text{ МПа}} = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Зная требуемую площадь, выразим необходимый из условия прочности диаметр:

$$A_{mp} = \frac{\pi d_{mp}^2}{4}, \Rightarrow d_{mp} = \sqrt{\frac{4A_{mp}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{3,14}} = 0,032 \text{ м} = 3,2 \text{ см.}$$

Условие жесткости при центральном растяжении-сжатии:

$$\varepsilon^{max} \leq [\varepsilon]$$

$$\frac{\Delta l^{max}}{l} \leq \frac{1}{2000}, \quad \frac{N}{EA} \leq \frac{1}{2000},$$

$$\frac{N}{EA} \leq \frac{1}{2000}.$$

Выражаем из предельного неравенства требуемую из условия жесткости площадь поперечного сечения:

$$A_{mp} = \frac{2000N}{E} = \frac{2000 \cdot 0,1 \text{ МН}}{2 \cdot 10^5 \text{ МПа}} = 100 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 = 0,001 \text{ м}^2.$$

Диаметр стойки из условия жесткости определим по формуле:

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{4A_{mp}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001 \text{ м}^2}{3,14}} = 0,036 \text{ м} = 3,6 \text{ см.}$$

Окончательно принимаем из двух диаметров большой,  $d = 3,6 \text{ см.}$

### Вопросы для самопроверки

- Что называется стержнем?
- Какой вид нагружения стержня называют осевым растяжением (сжатием)?
- Какие внутренние силовые факторы возникают в сечении бруса при растяжении и сжатии?
- Как распределяются по сечению силы упругости при растяжении и сжатии? (Использовать гипотезу плоских сечений.)
- Как вычисляется значение продольной силы в произвольном поперечном сечении стержня?
- Какого характера напряжения возникают в поперечном сечении при растяжении и сжатии: нормальные или касательные?
- Как распределены нормальные напряжения в поперечных сечениях центрально-растянутого или центрально-сжатого стержня и по какой формуле они определяются?
- Получите формулу нормальных напряжений при растяжении-сжатии? Какие предпосылки используются при выводе этой формулы?
- Как записывается условие прочности бруса при растяжении (сжатии)? Какие виды задач решаются с помощью условия прочности?
- В каких единицах измеряется напряжение?
- Как изменится величина напряжения, если площадь поперечного сечения возрастет в 4 раза?
- Как назначаются знаки продольной силы и нормального напряжения?
- Как связаны гипотеза плоских сечений (гипотеза Бернулли) и закон распределения нормальных напряжений в поперечном сечении растянутого (сжатого) стержня?
- Раскройте понятие эпюр продольных сил, нормальных напряжений и перемещений. Для чего они строятся?
- Что показывает эпюра продольной силы?
- Что представляют собой эпюры внутренних силовых факторов? С какой целью их строят?

- Опишите технику построения эпюры продольных сил в брус, нагруженном несколькими сосредоточенными силами по оси бруса?
- Как вычислить значение продольной силы в произвольном поперечном сечении бруса?
- Как вычислить напряжения в поперечном сечении бруса при растяжении и сжатии? Как они распределены по поперечному сечению?
- Как определяют абсолютное удлинение ступенчатого бруса, нагруженного несколькими силами?
- Как определяется удлинение призматического бруса от собственного веса?
- Какое влияние оказывает собственный вес стержня при проектировании сооружения?
- Что понимается под брусом равного сопротивления?
- Запишите формулы для определения удлинения бруса. Что характеризует произведение  $AE$  и как оно называется?
- Какие деформации бруса называются абсолютными и какие относительными?
- Что называется удлинением стержня (абсолютной продольной деформацией)? Что такое относительная продольная деформация? Каковы размерности абсолютной и относительной продольных деформаций?
- Опишите технику определения продольных и поперечных деформаций бруса при растяжении-сжатии?
- Стальной стержень длиной 1,5 м вытянулся под нагрузкой на 3 мм. Чему равно относительное удлинение? Чему равно относительное сужение? ( $\mu = 0,25$ )
- Что характеризует модуль упругости материала? Какова единица измерения модуля упругости?
- Что называется модулем упругости  $E$ ? Как влияет величина  $E$  на деформации стержня?
- Что называется жесткостью поперечного сечения стержня при растяжении (сжатии)?
- Относительные деформации и перемещения.
- Что понимается под жесткостью при растяжении или сжатии стержня?
- Принципы расчета на жесткость.
- Типы задач при расчетах на жесткость.
- Примеры влияния жесткости на работоспособность конструкции.
- Сформулируйте закон Гука. Напишите формулы для абсолютной и относительной продольных деформаций стержня.
- Что происходит с поперечными размерами стержня при его растяжении (сжатии)?
- Что характеризует коэффициент поперечной деформации?
- Что такое коэффициент Пуассона? В каких пределах он изменяется?
- Как определяется коэффициент Пуассона?
- Какая разница между статически определимой и статически неопределимой стержневой системой?
- Какие системы называют статически неопределимыми? Как установить степень статической неопределимости системы?
- В какой последовательности рассчитывают статически неопределимые системы?
- Сколько уравнений статики нужно составить для системы сил, лежащих на одной прямой?
- Сколько уравнений статики нужно составить для системы сил, расположенных как угодно в плоскости, но сходящихся в одной точке?
- Сколько уравнений статики нужно составить для системы сил, расположенных как угодно в плоскости и не сходящихся в одной точке?
- Какое влияние оказывает на стержневую статически неопределимую систему изменение температуры?

- Как учитываются в статически неопределимых стержневых системах монтажные напряжения?

- Как ведется расчет статически неопределимых систем по методу разрушающих нагрузок?

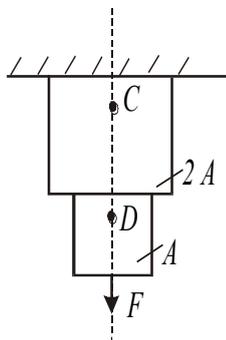
- Объясните метод расчета статически неопределимых стержневых систем по предельному состоянию?

- Во сколько раз (примерно) поперечная деформация меньше продольной при осевом растяжении (сжатии) стальных стержней?

- Укажите деформированное состояние стержня, нагруженного осевой силой, если его поперечные размеры увеличились?

- 1) стержень растянут;
- 2) стержень сжат.

- На рисунке изображён стержень, находящийся под действием растягивающей силы.



Большие напряжения возникнут в точке

- 1)  $C$ ;
- 2)  $D$ ?

- Выберите формулу закона Гука при растяжении (сжатии)?

- 1)  $\tau = G\gamma$ ;
- 2)  $\sigma = E\varepsilon$ ;
- 3)  $\varepsilon = \sigma E$ ;
- 4)  $E = \sigma\varepsilon$ .

- Какие внутренние усилия возникают при растяжении (сжатии)?

- 1) поперечная сила,
- 2) продольная сила.

- Что связывает закон Гука при растяжении (сжатии)?

- 1) продольную и поперечную силу,
- 2) напряжение и деформацию.

### СДВИГ

**Сдвигом** называют деформацию, представляющую собой искажение первоначально прямого угла малого элемента бруса (рис.1) под действием касательных напряжений  $\tau$ . Развитие этой деформации приводит к разрушению, называемому *срезом* или, применительно к древесине, *скалыванием*. Примером сдвига является резка полосы ножницами. На сдвиг работают жесткие соединения конструкций – сварные, заклепочные и так далее.

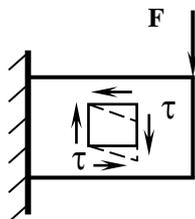


Рис. 1

Деформация сдвига оценивается взаимным смещением  $\Delta$  граней 1 – 1 и 2 – 2 малого элемента (рис. 2), называемым *абсолютным сдвигом* и более полно – *относительным сдвигом* (углом сдвига)  $\gamma$

$$\frac{\Delta}{a} = \operatorname{tg} \gamma \approx \gamma, \quad (1)$$

являющимся безразмерной величиной.

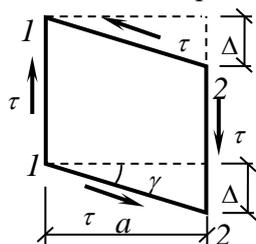


Рис. 2

В предположении равномерного распределения касательных напряжений по сечению площадью  $A$ , они определяются по формуле

$$\tau = \frac{Q}{A}, \quad (2)$$

где  $Q$  – поперечная сила в данном сечении.

Условие прочности записывается по минимальной площади среза  $S_{\min}$ , отражающей минимальное число соединяющих элементов (заклепок, болтов, штифтов и т.д.) или минимальную длину сварного шва.

$$\tau_{\max} = \frac{Q}{A_{\min}} \leq [\tau]$$

На практике целый ряд деталей и элементов конструкций работает в таких условиях, что внешние силы стремятся их разрушить именно путем сдвига.

В соответствии с этим при проверке прочности таких элементов на первый план выступают касательные напряжения. Простейшими примерами подобных деталей являются болтовые и заклепочные соединения.

Для изучения работы заклепок рассмотрим простейший пример заклепочного соединения (рис.3). Шесть заклепок, расположенных в два ряда, соединяют два листа внахлестку. Под действием сил  $P$  эти листы стремятся сдвинуться один по другому, чему препятствуют заклепки, на которые и будет передаваться действие сил  $P$ ).

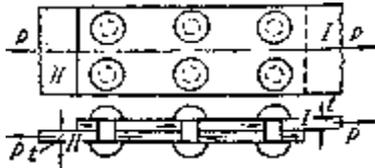


Рис.3.

Силы  $P_1$  стремятся перерезать заклепку по плоскости  $mk$  раздела обоих листов.

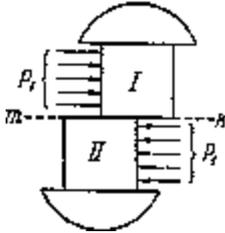


Рис.4.

### Задачи на сдвиг

Задачи на сдвиг встречаются не только при расчете заклепочных и болтовых соединений. Имеются и другие элементы конструкций, испытывающие деформацию сдвига, и поэтому при их расчете необходимо всякий раз удовлетворять условию прочности на срез

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F}{A_s} \leq R_s \gamma_c \quad (9)$$

и условию прочности на смятие

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{A_p} \leq R_p \gamma_c \quad (10)$$

Например, при расчете соединения деревянных элементов в качестве условия применяется условие прочности на скалывание вдоль волокон

$$\tau = \frac{F}{A_{\text{ск}}} \leq R_{\text{ск}} \gamma_c \quad (11)$$

где  $R_{\text{ск}}$  – расчетное сопротивление скалыванию.

Условие прочности на смятие в деревянных конструкциях вдоль волокон имеет вид соотношения (10).

### Пример.

Обосновать соотношение между диаметром  $d$  и высотой головки  $h$  болта (рис. 11), если  $[\tau] = 0,6[\sigma]$ .

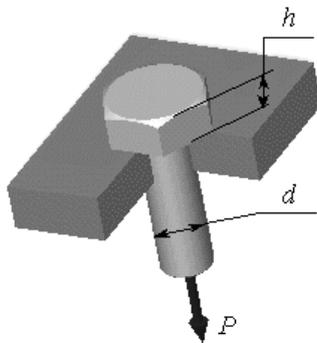


Рис. 5

Решение.

Срез головки болта происходит по цилиндрической поверхности  $F_{cp} = \pi dh$ .

Условие прочности на срез имеет вид:

$$\tau = \frac{Q}{F_{cp}} = \frac{P}{\pi dh} \leq [\tau]$$

Условие прочности на растяжение стержня болта имеет вид:

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{4 \cdot P}{\pi d^2} \leq [\sigma]$$

Предельное отношение касательных и нормальных напряжений определяет искомое соотношение между высотой головки болта и его диаметром:

$$\frac{\tau}{\sigma} = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot \pi \cdot d \cdot h} = \frac{d}{4 \cdot h} = \frac{[\tau]}{[\sigma]} = 0,6 \quad ; \quad \frac{d}{h} = 2,4$$

### **Вопросы для самопроверки**

- Какой вид нагружения называется кручением?
- При каком нагружении возникает кручение бруса (вала)?
- Какой силовой фактор вызывает закручивание бруса?
- Что такое крутящий момент?
- Что называется валом?
- Как называется напряженное состояние, возникающее при кручении круглого бруса (вала)?
- Какие деформации возникают при кручении?
- Какие гипотезы выполняются при деформации кручения?
- Изменяются ли длина и диаметр вала после скручивания?
- Какие внутренние силовые факторы возникают при кручении?
- Что такое рациональное расположение колес на валу?
- Вывести формулу для определения напряжений в поперечном сечении скручиваемого круглого бруса.
- Вывести формулы для определения относительного и полного угла закручивания круглого бруса.
- Какая теоретическая зависимость существует между внешним крутящим моментом, поступающим на вал, и передаваемой мощностью?
- Как вычисляется скручивающий момент, передаваемый шкивом, по заданной мощности и числу оборотов в минуту?
- Как вычисляют значение крутящего момента в поперечном сечении вала?
- Что такое эпюра крутящего момента и как она строится?
- Для чего строится эпюра крутящих моментов?
- Опишите технику построения эпюры крутящих моментов?
- Какие предпосылки используются в теории кручения круговых брусьев?
- Перечислите гипотезы, принимаемые в теории кручения прямого вала круглого поперечного сечения.
- Какие напряжения возникают в поперечном сечении круглого вала при кручении и как они направлены?
- По какой формуле определяется касательное напряжение при кручении?
- Напишите формулу для определения напряжений в поперечном сечении скручиваемого круглого вала.
- Получите формулу касательных напряжений при кручении кругового бруса? Охарактеризуйте эпюру напряжений? Каким выражением определяются наибольшие касательные напряжения, как записывается условие прочности при кручении?

- Как распределяется касательное напряжение при кручении? Чему равно напряжение в центре круглого поперечного сечения?
  - Какое напряженное состояние возникает в каждой точке круглого вала при кручении?
  - Напишите формулу для расчета напряжения в любой точке поперечного сечения?
  - Напишите формулу для расчета напряжения на поверхности вала при кручении?
- Как изменится напряжение, если диаметр вала увеличится в два раза?
- Почему для деталей, работающих на кручение, выбирают круглое поперечное сечение?
  - В чем заключается расчет на прочность при кручении?
  - В чем заключается расчет на жесткость при кручении?
  - Напишите формулу для определения относительного и полного угла закручивания круглого вала.
  - Почему при одинаковой прочности и жесткости вал кольцевого поперечного сечения легче, чем вал сплошного круглого сечения?
  - Как разрушаются при кручении стержни из пластического материала? Как объяснить такой тип разрушения?
  - Как разрушаются при кручении стержни из хрупкого материала? Как объясняется такой тип разрушения?
  - Охарактеризуйте особенности деформации брусьев не кругового сечения. В чем сущность гидродинамической аналогии?
  - Как вычислить потенциальную энергию деформации, накапливаемую валом при кручении?
  - Почему нельзя для бруса некруглого поперечного сечения вывести методами сопротивления материалов формулу для определения напряжения и угла закручивания?
  - Какой из брусьев тонкостенного сечения имеет большее сопротивление кручению: с замкнутым или незамкнутым профилем?
  - Какие допущения положены в основу вывода формулы для касательных напряжений, возникающих в поперечном сечении вала при кручении?
  - Какое напряженное состояние возникает в каждой точке бруса круглого сечения при кручении?
  - В каких точках бруса круглого сечения возникают наибольшее касательное напряжение? Как их вычисляют?
  - Что такое полярный момент инерции? Какой физический смысл имеет эта величина? В каких единицах измеряется?
  - По каким формулам вычисляют полярные моменты инерции и сопротивления для круглого и кольцевого сечения?
  - Что такое полярный момент сопротивления сечения бруса ( $W_p$ )? Получите выражение  $W_p$  для кругового сечения?
  - Напишите выражение  $W_p$  для кольцевого сечения? Почему его нельзя вычислять как разность моментов сопротивления наружного и внутреннего кругов?
  - Вычислите полярный момент сопротивления сечения круглого сплошного вала  $d=30$  мм?
  - Как распределяются касательные напряжения по поперечному сечению вала?
  - Как проявляется закон парности касательное напряжение при кручении?
  - Как определяется диаметр вала из условия прочности?
  - Как определяется диаметр вала из условия жесткости?
  - Как изменится напряжение в сечении, если диаметр вала уменьшить в два раза?

- Проведены расчеты вала на прочность и жесткость. Получено: диаметр вала из расчета на прочность 65 мм, диаметр вала из расчета на жесткость 70 мм. Каким должен быть вал?
- Как изменится угол закручивания вала, если крутящий момент увеличить в 4 раза, а диаметр уменьшить в 2 раза?
- Как определяется потенциальная энергия при кручении?
- Что называется жесткостью сечения при кручении?
- Что называется полярным моментом сопротивления, в каких единицах он выражается и чему равен (для круга и кольца)?
- Чем объясняется, что вал кольцевого сечения при кручении экономичнее вала сплошного сечения?
- Чему равны наибольшие касательные напряжения и наибольшие главные напряжения в скручиваемом вале круглого сечения? В каких точках они возникают?
- Как разрушаются при кручении стальные чугунные и деревянные валы? Как объяснить характер разрушения для каждого из этих материалов?
- Чему равна потенциальная энергия деформации кручения вала круглого сечения? Запишите соответствующую формулу.
- Как производится расчет вала на прочность при кручении?
- Как выбираются допускаемые напряжения при расчете на кручение?
- Как производится расчет вала на жесткость при кручении?
- Охарактеризуйте расчет статически неопределимых валов.
- Как формулируется закон Гука при сдвиге?
- Какой физический смысл у модуля упругости?
- Чему равен модуль упругости материала при кручении для стали? В каких единицах он измеряется?
- Что представляет собой деформация сдвига?
- Как обозначается деформация при сдвиге?
- Укажите единицы измерения напряжений сдвига и смятия и модуля упругости.
- Какой вид напряженного состояния называют чистым сдвигом?
- Что понимается под абсолютным сдвигом?
- Определите понятие относительного сдвига?
- Как записывается условие прочности при сдвиге?
- Какие внутренние силовые факторы возникают при сдвиге?
- Какая связь между углом сдвига и углом закручивания?
- Сформулируйте закон парности касательных напряжений?
- Что такое срез?
- Что такое смятие?
- Какие допущения проложены в основу практических расчетов элементов конструкции на срез и смятие?
- Опишите процесс разрушения при срезе?
- Чем отличается деформация сдвига от деформации среза?
- Как определяется потенциальная энергия при сдвиге?
- Как выбирается допускаемое напряжение при сдвиге?
- Что понимается под деформацией смятия?
- В чем заключается явление смятия и в каких местах оно наблюдается?
- Как записывается условие прочности на срез и на смятие?
- Как находится площадь смятия при соприкосновении цилиндрических поверхностей?
- Как определяется расчетная величина площади на срез и на смятие при болтовых соединениях листовых элементов внахлестку и с помощью накладок?
- Какие виды деформации испытывает нагруженное заклепочное соединение?

- Как учесть количество деталей, использованных для передачи нагрузки при расчетах на сдвиг и смятие?

- Почему при расчете на смятие цилиндрических деталей вместо боковой цилиндрической поверхности подставляют плоскость, проходящую через диаметр?

- Чем отличается расчет на прочность при сдвиге односрезной заклепки от двухсрезной?

- Какие виды сварных швов используются на практике?

- Как рассчитывается сварной шов встык?

- Как рассчитывается сварной шов внакладку?

- Какие напряжения возникают в сечении витка цилиндрической винтовой пружины, нагруженной осевой силой? Как они определяются?

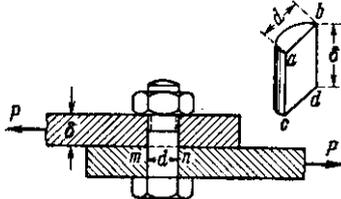
- Как вычислить осадку цилиндрической винтовой пружины?

- Из каких сталей изготавливаются пружины с малым шагом?

- На какую деформацию ведется расчет пружин с малым шагом?

- Как ведется конструктивный расчет пружины?

- Какие виды деформаций испытывает данное соединение?



1) Растяжение и изгиб;

2) Сдвиг и смятие;

3) Изгиб и кручение;

4) Растяжение и сдвиг.

- Какая из приведённых ниже формул является математическим выражением закона Гука при сдвиге?

1)  $\tau = G\gamma$ ;

2)  $\gamma = G\tau$ ;

3)  $\tau = GE$ ;

4)  $\sigma = G\gamma$ .

- Условие жёсткости круглого вала при кручении имеет вид:

1)  $\varphi = \frac{Tl}{GJ_p} \leq \varphi_{adm}$  ;

2)  $\varphi = \frac{M_z}{GJ_p} \leq \varphi_{adm}$  ;

3)  $\varphi = \frac{l}{G} \leq \varphi_{adm}$  ;

4)  $T = \varphi \frac{l}{GJ_p} \leq \varphi_{adm}$  .

- Какие внутренние усилия возникают при сдвиге?

1) Поперечная сила,

2) продольная сила,

3) изгибающий момент.

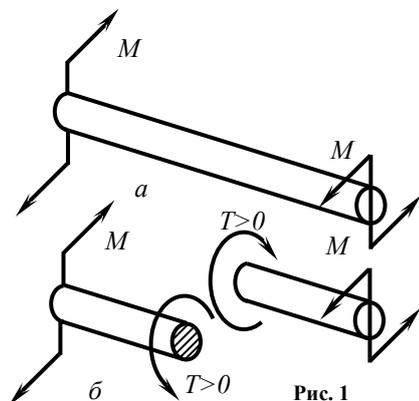
## Практическое занятие № 19

### КРУЧЕНИЕ

#### Задачи:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом
2. Освоить методику расчета при деформации кручения
3. Ответить на вопросы

**Кручением** называют деформацию, возникающую при действии на стержень пары сил, расположенной в плоскости, перпендикулярной к его оси (1).



Стержни круглого или кольцевого сечения, работающие на кручение, называют **валами**. При расчете валов обычно бывает известна мощность, передаваемая на вал, а величины внешних скручивающих моментов, подлежат определению. Внешние скручивающие моменты, как правило, передаются на вал в местах посадки на него шкивов, зубчатых колес и т.п.

Пусть вал вращается с постоянной скоростью  $n$  об/мин. и передает мощность  $N$  Нм/с. Угловая скорость вращения вала равна  $\omega = \pi n / 30$  (рад/сек), а передаваемая мощность  $N = T\omega$ .

Скручивающий момент равен  $T = 30N / \pi n$ .

Если мощность задана в киловаттах, то величина скручивающего момента определяется по формуле

$$T = \frac{30570N}{\pi n}$$

#### Построение эпюр крутящих моментов

Зная величины внешних скручивающих моментов и используя метод сечений, мы можем определить крутящие моменты, возникающие в поперечных сечениях вала. Крутящий момент  $M_k$  в сечении вала численно равен алгебраической сумме внешних скручивающих моментов, действующих по одну сторону от сечения, при этом могут рассматриваться как левая, так и правая отсеченные части вала.

Примем правило знаков для крутящего момента: его положительное направление соответствует повороту сечения по ходу часовой стрелки, если смотреть на сечение со стороны внешней нормали (рис. 2).

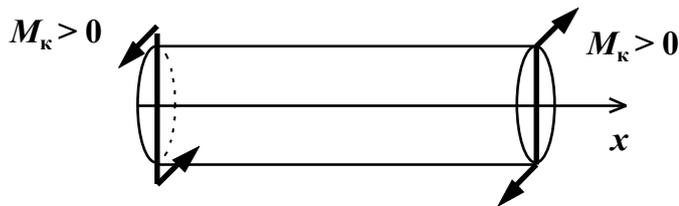


Рис.2

При наличии распределенной моментной нагрузки  $m$  (рис.3) крутящие моменты  $M_K$  связаны дифференциальной зависимостью

$$dM_K / dz = \pm m, \quad (1)$$

из которой вытекает следующая формула:

$$M_K = M_{K_0} \pm mz, \quad (2)$$

где  $M_{K_0}$  – крутящий момент в начале участка.

Согласно формуле (2) на участках с равномерно распределенной нагрузкой  $m$  крутящий момент изменяется по линейному закону. При отсутствии погонной нагрузки ( $m = 0$ ) крутящий момент сохраняет постоянное значение ( $M_K = M_{K_0} = \text{const}$ ). В сечениях, где к валу приложены сосредоточенные скручивающие моменты, на эпюре  $M_K$  возникают скачки, направленные вверх, если моменты направлены против часовой стрелки, либо вниз – при обратном направлении моментов.

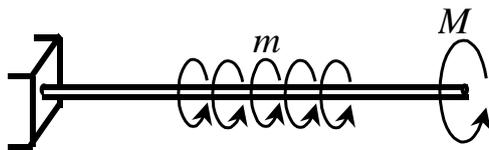


Рис. 3

### **Напряжения в поперечном сечении**

Опыты показывают, что если на поверхности бруса круглого сечения нанести прямоугольную сетку, а на торцевой поверхности нанести радиальные линии (рис.5.5), то после деформации кручение окажется что:

- все образующие поворачиваются на один и тот же угол  $\gamma$ , а прямоугольники, нанесенные на поверхности, превращаются в параллелограммы;
- торцевые сечения остаются круглыми, плоскими, расстояния между ними не меняются;
- каждое сечение поворачивается относительно другого на некоторый угол  $\varphi$ , называемый углом закручивания;
- радиальные линии на торцевой поверхности остаются прямыми.

На основании этих наблюдений можно заключить, что может быть принята гипотеза Бернулли (гипотеза плоских сечений), а в вале возникают условия чистого сдвига, в поперечных сечениях действуют только касательные напряжения, нормальные напряжения равны нулю.

Рассмотрим поперечное сечение вала, расположенное на некотором расстоянии  $z$  от торцевого, где  $M_K = T$  (рис.5). На элементарной площадке  $dF$  будет действовать элементарная сила  $\tau dF$ , момент которой относительно оси вала равен  $(\tau dF)\rho$ . Крутящий момент  $M_K$ , в сечении равен

$$M_K = \int_F \rho \tau dF. \quad (3)$$

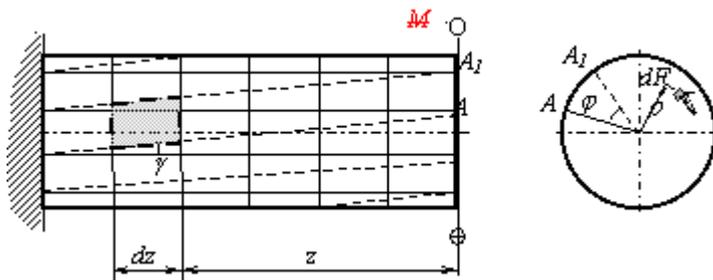


Рис.5

Для того чтобы проинтегрировать это выражение необходимо знать закон распределения напряжений в сечении. Выделим из вала элементарное кольцо длиной  $dz$  и толщиной  $d\rho$  (рис.6).

Правый торец элемента повернется относительно левого на угол  $d\varphi$ , образуя  $CB$  повернется на угол  $\gamma$  и займет положение  $CB_1$ . Угол  $\gamma$  - относительный сдвиг. Из треугольника  $OBV_1$  найдем:

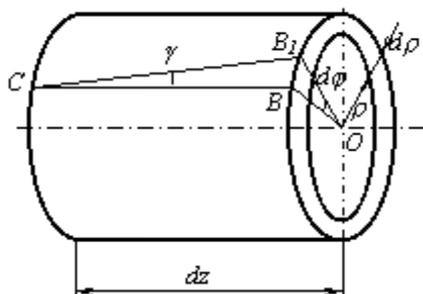


Рис.6

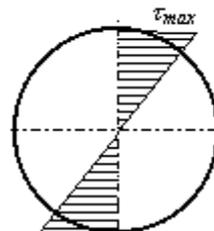


Рис.7

Величина отношения полярного момента инерции к радиусу вала называется моментом сопротивления сечения при кручении или полярным моментом сопротивления

$$W_p = \frac{J_p}{R}$$

Максимальные касательные напряжения равны

$$\tau_{\max} = \frac{M_x}{W_p}$$

Для сплошного круглого сечения

$$W_p = \frac{\pi R^3}{2} = \frac{\pi D^3}{16}$$

Для кольцевого сечения

$$W_p = \frac{\pi R^3}{2} (1 - c^4) = \frac{\pi D^3}{16} (1 - c^4)$$

где  $c = d/D$ .

**Условие прочности при кручении вала круглого и кольцевого сечения**

Условие прочности при кручении с учетом принятых обозначений формулируется следующим образом: **максимальные касательные напряжения, возникающие в опасном сечении вала, не должны превышать допускаемых напряжений** и записывается в виде

$$\tau_{\max} = \frac{|M_x|_{\max}}{W_{\rho}} \leq [\tau] \quad , (6)$$

где  $[\tau]$  берется либо на основании опытных данных, либо (при отсутствии нужных опытных характеристик) по теориям прочности, соответствующим материалу.

Характер разрушения зависит от способности материала вала сопротивляться воздействию нормальных и касательных напряжений. В соответствии с этим, допускаемые касательные напряжения принимаются равным  $[\tau] = [\sigma_p]$  - для хрупких материалов и  $[\tau] = (0,5 \dots 0,6)[\sigma]$  - для пластичных материалов.

### **Рациональная форма сечения вала**

Анализируя эпюру касательных напряжений можно отметить, что наибольшие напряжения возникают на поверхности вала, в центральной части они значительно меньше и на продольной оси равны нулю. Следовательно, в сплошном валу материал, находящийся в центральной части в значительной степени недогружен, его вклад в прочность вала мал. Поэтому рациональным для валов считается кольцевое сечение.

### **Деформации при кручении и условие жесткости вала**

$$\varphi = \frac{M_x l}{GJ_{\rho}}$$

где  $GJ_{\rho}$  - жесткость вала при кручении.

Угол закручивания, приходящийся на единицу длины, называют относительным углом закручивания

$$\theta = \frac{\varphi}{l} = \frac{M_x}{GJ_{\rho}} = \frac{d\varphi}{dz}$$

Для обеспечения требуемой жесткости вала необходимо, чтобы наибольший относительный угол закручивания не превосходил допускаемого:

$$\theta = \frac{M_x}{GJ_{\rho}} \leq [\theta]$$

Эта формула выражает условие жесткости вала при кручении. Обычно принимается  $[\theta] = 0,5^{\circ}$  на 1 м длины вала.

### **Расчеты на прочность и жесткость валов круглого и кольцевого сечений**

При расчетах на прочность при кручении (также как и при растяжении) могут решаться три задачи:

- а) проверочный расчет – проверить, выдержит ли вал приложенную нагрузку;
- б) проектировочный расчет - определить размеры вала из условия его прочности;
- в) расчет по несущей способности - определить максимально допустимый крутящий момент.

- При проверочном расчете на прочность рекомендуется следующий порядок расчета валов при кручении:

- 1) по схеме вала и действующим на него скручивающим моментам строят эпюру внутренних крутящих моментов по отдельным участкам;
- 2) выбирают материал для рассчитываемого вала и определяют для этого материала допускаемое напряжение, например по формуле (9),  $[\tau] = [\sigma]/2$ ;
- 3) для участка вала с максимальным по модулю значением крутящего момента записывают условие прочности при кручении

$$\tau_{\max} = \frac{|M_z|_{\max}}{W_\rho} \leq [\tau]$$

- Проектировочный расчет проводится, исходя из условия прочности на основе следующего соотношения:

$$W_\rho \geq \frac{M_z}{[\tau]}$$

Для сплошного круглого сечения  $W_\rho = \pi \cdot d^3 / 16$ , отсюда можем записать выражение для определения диаметра вала из условия его прочности:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_z}{\pi \cdot [\tau]}}$$

Для кольцевого сечения

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16 M_{\text{к max}}}{\pi [\tau] (1 - c^4)}}$$

Определив размеры вала из условия прочности, проверяют вал на жесткость.

Условие жесткости требует, чтобы максимальный относительный угол закручивания  $\theta_{\max}$ , был меньше или в предельном случае равен допускаемому углу закручивания единицы длины вала, т.е.

$$\theta = \frac{T}{GI_\rho} \leq \theta_{\text{adm}}, \left[ \frac{\text{рад}}{\text{м}} \right]. \quad (11)$$

### Пример.

Подобрать диаметр сплошного вала, передающего мощность  $N=450$  л.с. при частоте вращения  $n=300$  об/мин. Угол закручивания не должен превышать одного градуса на 2 метра длины вала;  $[\tau]=40$  МПа,  $G=8 \cdot 10^4$  МПа.

### Решение.

Крутящий момент определяем из уравнения

$$M_{\text{вр}} = 7160 \frac{N}{n} = 7160 \frac{450}{300} = 10740 \text{ Нм.}$$

Диаметр вала по условию прочности определяется из уравнения

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16 M_{\text{вр}}}{\pi \cdot [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 10740}{\pi \cdot 40 \cdot 10^6}} = 0,111 \text{ м}$$

Диаметр вала по условию жесткости определяется из уравнения

$$D \geq \sqrt[4]{\frac{32 M_{\text{вр}}}{\pi \cdot [\varphi_0] \cdot G}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 10740}{\pi \cdot \frac{1}{2 \cdot 57,2} \cdot 8 \cdot 10^{10}}} = 0,112 \text{ м}$$

Выбираем больший размер 0,112 м.

### Пример.

Имеются два равнопрочных вала из одного материала, одинаковой длины, передающих одинаковый крутящий момент; один из них сплошной, а другой полый с коэффициентом полости  $\alpha = 0,8$ . Во сколько раз сплошной вал тяжелее полого?

### Решение.

Равнопрочными валами из одинакового материала считаются такие валы, у которых при одинаковых крутящих моментах, возникают одинаковые максимальные касательные напряжения, то есть

$$\frac{M_{\kappa}}{W_{\rho}^{\text{спл}}} = \frac{M_{\kappa}}{W_{\rho}^{\text{пол}}}$$

Условие равной прочности переходит в условие равенства моментов сопротивления:

$$W_{\rho}^{\text{спл}} = W_{\rho}^{\text{пол}}$$

Откуда получаем:

$$\frac{\pi D_{\text{спл}}^3}{16} = \frac{\pi D_{\text{пол}}^3}{16} \cdot (1 - \alpha^4), \quad \frac{D_{\text{спл}}}{D_{\text{пол}}} = \sqrt[3]{(1 - \alpha^4)}$$

Отношение весов двух валов равно отношению площадей их поперечных сечений:

$$Q^{\text{спл}} : Q^{\text{пол}} = F^{\text{спл}} : F^{\text{пол}} = \frac{\pi D_{\text{спл}}^2}{4} : \frac{\pi D_{\text{пол}}^2}{4} \cdot (1 - \alpha^2)$$

Подставляя в это уравнение отношение диаметров из условия равной прочности, получим

$$\frac{Q^{\text{спл}}}{Q^{\text{пол}}} = \frac{(1 - \alpha^4)^{2/3}}{(1 - \alpha^2)} = 1.955$$

Как показывает этот результат, полый вал, будучи одинаковым по прочности, вдвое легче сплошного. Это объясняется тем, что в силу линейного закона распределения касательных напряжений по радиусу вала, внутренние слои относительно мало нагружены.

### Пример.

Найти мощность в квт, передаваемую валом, если диаметр сплошного вала

$d = 0,15 \text{ м}$ , число оборотов вала в минуту  $n = 120$ , модуль сдвига

$G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа} = 8 \cdot 10^{10} \text{ Па}$  и угол закручивания участка вала длиной 7,5 м равен 1/15 радиан.

### Решение.

Из формулы

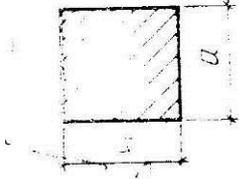
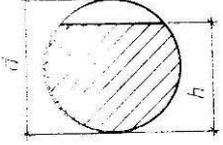
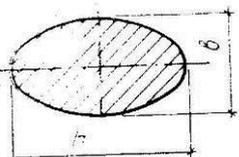
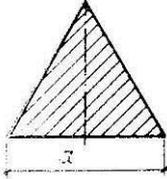
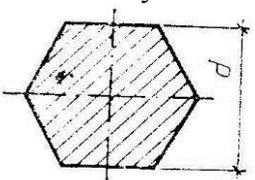
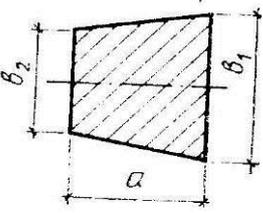
$$M_{\text{кр}} = \frac{GI_{\rho} \varphi}{l} = \frac{G \frac{\pi d^4}{32} \varphi}{l} = \frac{8 \cdot 10^{10} \cdot \pi \cdot 0,15^4}{32 \cdot 7,5 \cdot 15} = 35320 \text{ Нм}$$

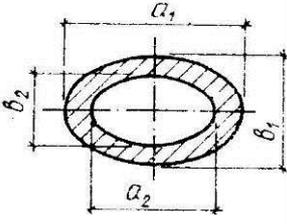
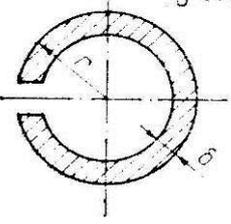
Определим передаваемую мощность

$$K = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9736} = \frac{35320 \cdot 120}{9736} = 435 \text{ квт}$$

Таблица 2. Геометрические характеристики жесткости и прочности для некоторых сечений при кручении прямого бруса

Форма поперечного сечения	Момент инерции при кручении $I_{\kappa}$	Момент сопротивления при кручении $W_{\kappa}$	Наибольшие касательные напряжения $\tau_{\text{max}} = M_z / W_{\kappa}$
Квадрат	$I_{\kappa} = 0,14a^4$	$W_{\kappa} = 0,208a^3$	В серединах сторон $\tau_{\text{max}} = M_z / 0,208a^3$ В углах $\tau = 0$

Форма поперечного сечения	Момент инерции при кручении $I_{\kappa}$	Момент сопротивления при кручении $W_{\kappa}$	Наибольшие касательные напряжения $\tau_{\max} = M_z/W_{\kappa}$
			
Круг с лыской  $h/d > 0,5$	$I_{\kappa} = \frac{d^4}{16} \left( 2,6 \frac{h}{d} - 1 \right)$	$W_{\kappa} = \frac{d^3 (2,6h/d - 1)}{8(0,3h/d + 0,7)}$	В середине плоского среза $\tau_{\max} = M_z/W_{\kappa}$
Эллипс  $h/b > 1$	$I_{\kappa} = \frac{16A^4}{\pi^3 b h (b^2 + h^2)}$	$W_{\kappa} = \frac{\pi d^2 h}{16}$	В конце малой полуоси $\tau_{\max} = M_z/W_{\kappa}$ большой $\tau = b \tau_{\max}/h$
Равносторонний треугольник 	$I_{\kappa} = \frac{\sqrt{3}a^4}{80}$	$W_{\kappa} = \frac{a^3}{20}$	В серединах сторон $\tau_{\max} = 20M_z/a^3$ в углах $\tau = 0$
Правильный шести- или восьмиугольник 	$I_{\kappa} = kd^2 A$ (для шестиугольника $k = 0,133$ , для восьмиугольника $k = 0,130$ )	$W_{\kappa} = k' d A$ (для шестиугольника $k' = 0,127$ , для восьмиугольника $k' = 0,223$ )	В серединах сторон $\tau_{\max} = M_z/k' d A$ в углах $\tau = 0$
Форма клина  $a > 4b_1$	$I_{\kappa} = \frac{a(b_1^4 - b_2^4)}{12(b_1 - b_2)} - 0,105(b_1^4 + b_2^4)$	$W_{\kappa} = \frac{a(b_1^4 - b_2^4)}{12b_1(b_1 - b_2)} - \frac{0,105(b_1^4 + b_2^4)}{b_1}$	В точках длинных сторон ближе к широкому основанию $\tau_{\max} = M_z/W_{\kappa}$
Полое эллиптическое сечение	$I_{\kappa} = \frac{\pi m^3 b_1^4 (1 - \alpha^4)}{16(m^2 + 1)}$	$W_{\kappa} = \frac{\pi m b_1^3 (1 - \alpha^4)}{16}$	В конце малой полуоси

Форма поперечного сечения	Момент инерции при кручении $I_k$	Момент сопротивления при кручении $W_k$	Наибольшие касательные напряжения $\tau_{\max} = M_z/W_k$
	$m = a_1/b_1 = a_2/b_2 \quad (m > 1);$ $\alpha = a_2/a_1 = b_2/b_1 \quad (\alpha < 1)$		$\tau_{\max} = M_z/W_k,$ <p>большой</p> $\tau = \tau_{\max}/m,$ <p>при малой толщине <math>\delta</math></p> $\tau_{\max} = M_z/2A\delta \text{ (равномерно по сечению)}$
<p>Незамкнутое кольцевое сечение <math>\delta \ll r</math></p>  <p><math>\delta \ll r</math></p>	$I_k = \frac{2\pi r \delta^3}{3}$	$W_k = \frac{(2\pi r \delta)^2}{6\pi r + 1,8\delta}$	<p>В точках внутреннего и наружного сечения</p> $\tau_{\max} = \frac{M_z(6\pi r + 1,8\delta)}{(2\pi r \delta)^2}$

### Вопросы для самопроверки:

- Какие внутренние усилия возникают при кручении?
  - Поперечная сила,
  - продольная сила,
  - изгибающий момент,
  - крутящий момент.
- Порядок расчета при деформации кручения?

### Практическое занятие № 21

#### РАСЧЕТ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ПРИБОРОВ

##### Некоторые виды деталей и узлов.

##### Неразъемные соединения

(сварные, паяные, клеевые, заклепочные соединения и соединения с натягом).

#### Теоретическая часть

##### Соединения деталей машин

Взаимодействие деталей между собой называют связями. Эти связи делятся на подвижные (шарниры, зубчатые зацепления, подшипники, ременные и цепные передачи) и неподвижные (заклепочные, сварные и другие). Неподвижные связи в технике называют соединениями. Соединения состоят из соединительных деталей и прилегающих частей со-

единяемых деталей, форма которых подчинена задаче соединения. В отдельных конструкциях специальные соединительные детали могут отсутствовать.

Соединения по признаку возможности разборки делят на разъемные и неразъемные.

*Разъемными* называют соединения, которые разъединяются без повреждения деталей. К ним относятся резьбовые, шпоночные, зубчатые и профильные соединения. Основным расчетом соединений является расчет на прочность. Расчет на прочность является основным критерием для расчета всех соединений. При этом необходимо стремиться к тому, чтобы прочность соединяемых и соединительных деталей была одинаковой.

*Неразъемными* называют соединения, разъединение которых невозможно без разрушения соединяемых деталей или соединяющего материала. К ним относят заклепочные, сварные, клеевые, паяные соединения, а также соединения с натягом.

Выбор типа соединения определяет инженер

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Что такое разъемные соединения?
2. Что такое неразъемные соединения?
3. Примеры разъемных соединений.
4. Приведите примеры неразъемных соединений.

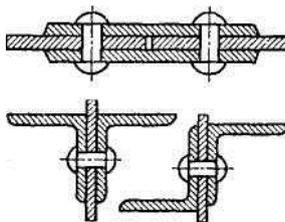
### **Практическое занятие № 22 НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ**

#### **Заклёпочные соединения**

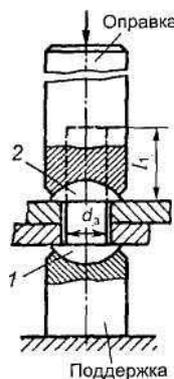
Заклепочные соединения состоят из двух или нескольких листов или деталей, соединяемых (склепываемых) в неразъемную конструкцию с помощью заклепок (рис. 1).

Заклепкой называют круглый стержень, имеющий сформированную закладную головку 1 на одном конце и формируемую в процессе клепки замыкающую головку 2 на другом его конце. При этом детали сильно сжимаются, образуя прочное, неподвижное неразъемное соединение. Форма и размеры заклепок регламентированы стандартом (рис. 2).

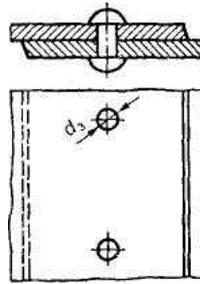
Заклепочным швом называют соединение, осуществляемое группой заклепок (рис. 3).



**Рис. 1. Заклепочные соединения**



**Рис. 2. Формирование заклепочного шва**



**Рис. 3. Однорядное заклепочное соединение**

Отверстия под заклепки в деталях продавливают или сверлят. При продавливании образуются мелкие трещины по периферии отверстий. Трещины могут быть причиной разрушения заклепочного шва во время работы. Продавленные отверстия применяют в малоответственных конструкциях. Сверление – процесс малопроизводительный и дорогой. Сверленные отверстия применяют в конструкциях, где требуется высокая надежность. При больших диаметрах отверстий практикуют продавливание с последующим рассверливанием.

Каждая заклепка имеет свою зону действия  $D$ , на которую распространяется деформация сжатия в стыке деталей. Если зоны действия соседних заклепок пересекаются, то соединение будет плотным. Вследствие пластических деформаций в процессе клепки стержни заклепок заполняют отверстия и заклепки стягивают соединяемые детали. В результате относительному сдвигу склепанных деталей оказывают сопротивление как стержни заклепок, так и силы трения, возникающие на поверхности стыка.

Для обеспечения плотности шва иногда выполняют чеканку (пластическое деформирование листов, например, пневматическими молотками) вокруг заклепок и по кромкам листов.

Заклепки поставляются как готовые изделия.

*Заклепочное соединение получают следующим способом.*

В отверстия соединяемых деталей вставляют заклепки (см. рис. 2). Под закладную головку  $1$  устанавливают инструмент-поддержку. Специальной клепальной машиной или вручную (ударами молотка, кувалды) выступающий конец заклепки ( $l_1 \approx 1,5d_3$ ) осаживают обжимкой в замыкающую головку  $2$ . Для стальных заклепок с  $d_3 \leq 12$  мм производят клепку в холодную, то же относится к заклепкам из цветных металлов и сплавов; с  $d_3 \geq 12$  мм с нагревом заклепки до светло-красного каления ( $1000—1100$  °С). Этот способ обеспечивает более высокое качество заклепочного шва, так как заклепки укорачиваются при остывании и стягивают детали, создавая на стыке их поверхностей большие силы трения, препятствующие относительному сдвигу деталей при действии нагрузки

Диаметры отверстий под заклепки  $d_{отв}$  выбирают по стандарту в зависимости от диаметра заклепки. Для холодной клепки можно рекомендовать

$$d_{отв} = d_3 + 0,05d_3,$$

для горячей клепки

$$d_{отв} = d_3 + 0,1d_3,$$

где  $d_3$  — диаметр устанавливаемой заклепки.

*Достоинства и недостатки заклепочных соединений по сравнению с другими видами неразъемных соединений.*

*Достоинства:*

- высокая надежность соединения;
- удобство контроля качества клепки;
- повышенная сопротивляемость ударным и вибрационным нагрузкам;
- возможность соединения деталей из трудносвариваемых металлов, например из алюминия;

- не дают температурных деформаций;
- детали при разборке не разрушаются.

*Недостатки:*

- высокая стоимость, так как процесс получения заклепочного шва состоит из большого числа операций (разметка, продавливание или сверление отверстий, нагрев заклепок, их закладка, клепка) и требует применения дорогостоящего оборудования (станки, прессы, клепальные машины).

- повышенный расход материала для этого соединения (из-за ослабления соединяемых деталей отверстиями под заклепки требуется увеличение их толщины, применение накладок и т. п.);

- детали ослаблены отверстиями;
- высокий шум и ударные нагрузки при изготовлении;
- невозможность соединения деталей сложной конфигурации.

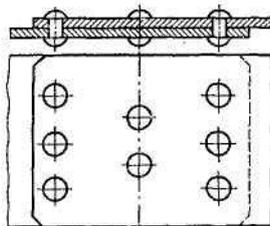
*Область применения.*

В настоящее время в связи с бурным развитием сварки заклепочные соединения имеют ограниченное применение (в конструкциях, для которых методы сварки и склеивания еще недостаточно разработаны или мало эффективны, а также в соединениях, работающих при больших вибрационных или ударных нагрузках при высоких требованиях к надежности соединения). Также в соединениях окончательно обработанных деталей, в которых применение сварки недопустимо из-за их коробления при нагреве. Большой объем клепально-сборочных работ производится при изготовлении летательных аппаратов. Некоторые самолеты имеют более миллиона заклепок. Заклепочные соединения находят применение в подъемно-транспортных машинах, в строительстве железнодорожных мостов, котлостроении и т. п.

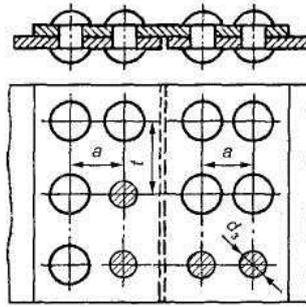
*Классификация.*

Заклепочные швы классифицируют:

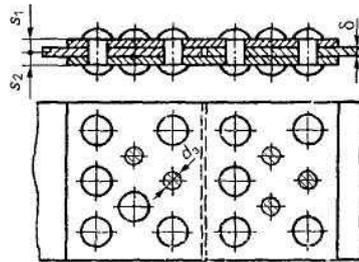
- по назначению — прочные швы (мостовые и крановые фермы, самолеты и т. д.), обеспечивающие прочность соединения, прочноплотные (в котлах и резервуарах с высоким давлением), плотные (в резервуарах с небольшим внутренним давлением), обеспечивающие прочность и герметичность;
- по взаимному расположению склепываемых деталей - швы встык с одной или двумя накладками (см. рис. 2) и швы внахлестку (см. рис. 2);
- по числу рядов (для швов встык число рядов учитывается по одну сторону стыка) — однорядные (см. рис. 3) и многорядные (рис. 4);
- по расположению заклепок в рядах — параллельные (рис. 5) и шахматные (рис. 6) швы;
- по условиям работы (по числу плоскостей среза) — односрезные швы — с одной плоскостью среза в каждой заклепке (см. рис. 3, 5) и многосрезные — с несколькими плоскостями среза каждой заклепки (двухсрезные — см. рис. 1; 5).



**Рис. 4. Многорядное заклепочное соединение**



**Рис.5. Многорядное заклепочное соединение с параллельным расположением заклепок**

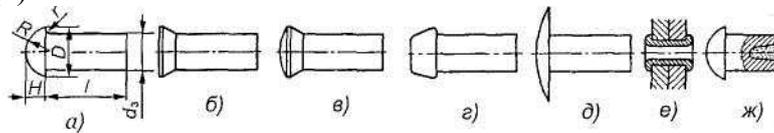


**Рис.6. Многорядное заклепочное соединение с шахматным расположением заклепок**

*Основные типы заклепок.*

Выбор формы закладной головки зависит от назначения заклепочного шва. В швах, требующих большой прочности и плотности, применяют заклепки с *полукруглой головкой* ГОСТ 10299-80, 14797-85 (рис. 7, а). *Заклепки с потайной или полупотайной головкой* ГОСТ 10300-80, 14798-85 (рис. 7, б, в) используют в том случае, когда выступающие закладные головки заклепок мешают перемещению каких-либо деталей или в случае больших гидродинамических и аэродинамических сопротивлений (в судостроении и самолетостроении). *Заклепки с бочкообразной головкой* (рис. 7, г) применяют там, где они омываются горячими газами, в топках парового котла и т. п.; в процессе эксплуатации головки обгорают и приобретают полукруглую форму, сохраняя необходимую прочность.

*Заклепки с широкой головкой* (рис. 7, д) применяют для соединения тонколистовых (до 1,5 мм) материалов, *трубчатые заклепки* ГОСТ 12638-80, 12640-80 (рис. 7, е) — в слабонагруженных металлических соединениях, а также в соединениях неметаллических материалов (фибра и др.).



**Рис.7. Основные типы заклепок**

В случае невозможности образования замыкающей головки обычными способами (в труднодоступных — «узких» местах) применяют *взрывные заклепки*.

Заклепки изготовляют на высадочных автоматах холодным или горячим способом.

*Материалы.*

В качестве склепываемых материалов могут быть углеродистые и легированные стали, цветные металлы и их сплавы, неметаллические материалы, применяемые в общем машиностроении. Заклепки изготовляют из низкоуглеродистых сталей Ст2, Ст3, Ст2кп, Ст3кп, 10, 15, Юкп, 15кп, легированной стали 12Х18Н9Т, меди М3, латуни ЛТ63, алюминиевых сплавов АД1, Д18, АМг5 и др.

К материалу заклепки предъявляются *требования*:

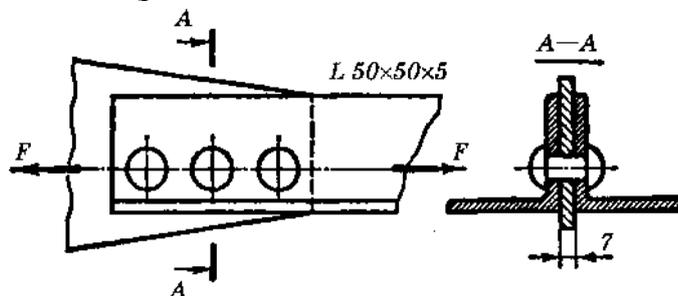
1. Высокая пластичность для облегчения процесса клепки.
2. Одинаковый коэффициент температурного расширения с материалом деталей во избежание дополнительных температурных напряжений в соединении при колебаниях температуры.
3. Однородность с материалом склепываемых деталей для предотвращения появления гальванических токов, сильно разрушающих соединения.

Для стальных деталей применяют только стальные заклепки, для дюралюминиевых – алюминиевые, для медных – медные.

### **Рекомендации по конструированию заклепочных швов**

Заклепки в шве располагают так, чтобы ослабление соединяемых деталей отверстиями было наименьшим.

Во избежание возникновения изгиба соединяемых деталей заклепки по возможности располагают на оси, проходящей через центр тяжести склепываемых деталей или симметрично относительно этой оси (рис.8).



**Рис.8**

Не рекомендуется в одном шве применять заклепки разных диаметров.

Для предотвращения поворота соединяемых деталей относительно друг друга число заклепок в шве принимают не менее двух, то есть  $z > 1$ .

Следует симметрично располагать плоскости среза относительно линии действия сил, чтобы избежать отрыва головок.

При выборе материала для заклепок необходимо стремиться к тому, чтобы температурные коэффициенты линейного расширения заклепок и соединяемых деталей были равными или близкими.

Особую опасность представляет сочетание разнородных материалов, которые способны образовать гальванические пары. Гальванические токи быстро разрушают соединение.

### **Сварные соединения**

*Сварка — это технологический процесс получения неразъемного соединения металлических или неметаллических деталей с применением нагрева (до пластического или расплавленного состояния), выполненного таким образом, чтобы место соединения по механическим свойствам и своему составу по возможности не отличалось от основного материала детали.*

Основные виды электросварки — *дуговая, газовая и контактная.*

Дуговая сварка - наиболее распространенный вид. Применяется везде, где есть источники электроэнергии.

Разновидности дуговой сварки:

- *ручная сварка*; этот метод сварки отличается низкой производительностью, но легко доступен для применения;

- *полуавтоматическая сварка* под слоем флюса; применяется для конструкций с короткими прерывистыми швами;

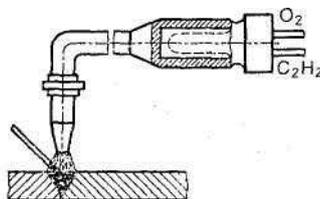
- *автоматическая сварка* под слоем флюса; этот метод сварки высокопроизводителен и экономичен, дает хорошее качество шва, применяется в крупносерийном и массовом производстве.

*Газовая сварка* применяется в основном там, где нет источников электроэнергии, например, при ремонте в полевых условиях.

*Контактная сварка* применяется в серийном и массовом производстве при нахлесточном соединении тонкого листового металла (точечная, роликовая) или при стыковом соединении круглого и полосового (стыковая сварка).

При соединении деталей с помощью сварки плавлением к расплавляемой области подводят присадочный материал, который заполняет свариваемое место (рис. 1). Затвердевший после сварки металл, соединяющий сваренные детали, *называют сварным швом*.

При контактной сварке (сварка давлением) присадочный материал не применяют. Контактная сварка основана на использовании тепла, выделяющегося в месте соприкосновения свариваемых деталей (например, при прохождении через них электрического тока). Сварка производится с применением механического давления, под действием которого детали, предварительно нагретые в месте соединения (контакта) до пластического состояния или оплавления, образуют сварной шов.



**Рис. 1. Получение сварного шва газовой сваркой**

*Сварным соединением называют неразъемное соединение деталей с помощью сварных швов*. Если в заклепочном соединении соединяющим элементом является заклепка, то в сварных - расплавленный металл, создающий при остывании неразъемное соединение, то есть такое, которое не может быть разобрано без повреждения деталей. Сварные соединения лучше других приближают составные детали к целым и позволяют изготавливать детали неограниченных размеров. Прочность сварных соединений при статических и ударных нагрузках доведена до прочности деталей из целого металла. Освоена сварка всех конструкционных сталей, включая высоколегированные, цветных сплавов и пластмасс.

Масса сварных конструкций при тех же габаритах значительно меньше клепаных (на 15%). Экономия металла достигается за счет использования полной площади сечения, а также возможности более рационального конструирования (например, применения стыковых соединений в тех случаях, когда при заклепочном соединении приходится применять накладки).

*Достоинства и недостатки сварных соединений по сравнению с заклепочными (или литыми деталями).*

*Достоинства:*

- простота конструкции сварного шва и меньшая трудоемкость в изготовлении, обусловленной сравнительной простотой технологического процесса сварки.

- значительное снижение массы конструкции при тех же габаритах. При замене заклепочных соединений сварными экономия в весе получается за счет отказа от применения различных накладок, необходимых в заклепочных соединениях, а также части веса самих заклепок; при замене литых деталей сварными конструкциями вес их уменьшается за счет более высоких механических свойств прокатного металла.

- возможность соединения деталей любых форм;
- герметичность и плотность соединения;
- бесшумность технологического процесса сварки;

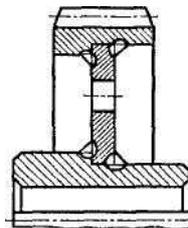
- возможность автоматизации сварочного процесса;
- сварное соединение дешевле заклепочного.
- соединение деталей может выполняться встык без накладок.
- возможность сварки толстых профилей.

*Недостатки:*

- возникновение остаточных напряжений в свариваемых элементах;
- коробление деталей из-за неравномерного нагрева в процессе сварки;
- зависимость качества шва от исполнителя и трудность контроля; применение автоматической сварки устраняет этот недостаток.

- склонность к образованию трещин в местах перехода от шва к цельному металлу вследствие термических напряжений, возникающих при остывании. Трещины особенно опасны при динамических нагрузках (вибрационных и ударных), поэтому в таких случаях сварные швы стараются не применять, заменяя их заклепочными соединениями. Термические напряжения могут быть частично или полностью устранены термообработкой сварного соединения (низкотемпературным отжигом). Термическая обработка исключает также последующее коробление сварных конструкций.

*Область применения.* В настоящее время сварные соединения почти полностью вытеснили заклепочные соединения. Сварка применяется для соединения элементов сосудов, испытывающих давление (резервуары, котлы); для изготовления турбин, доменных печей, мостов, химической аппаратуры; с помощью сварки изготавливают станины, рамы и основания машин, корпуса редукторов, зубчатые колеса (рис.2), шкивы, звездочки, маховики, барабаны и т. д. Сварку широко применяют как способ получения заготовок деталей из проката в мелкосерийном и единичном производстве, а также в ремонтном деле.



**Рис. 2**

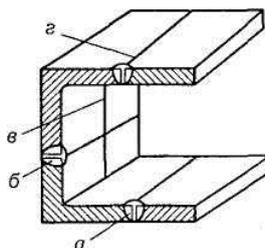
***Классификация и разновидности сварных соединений (швов)***

*Классификация.*

Сварные швы классифицируют по следующим признакам:

- по назначению — прочные (обеспечивают передачу нагрузки с одного элемента на другой); прочно-плотные (обеспечивают передачу нагрузки герметичность соединения — непроницаемость для жидкостей и газов);

- по расположению сварного шва в пространстве (рис. 3) — нижнее (а); вертикальное (в), горизонтальное (б); потолочное (г). При всех прочих равных условиях нижний шов самый прочный, потолочный — наименее прочный (значения прочности указанных выше швов относятся как 1:0,85; 0,9:0,8).



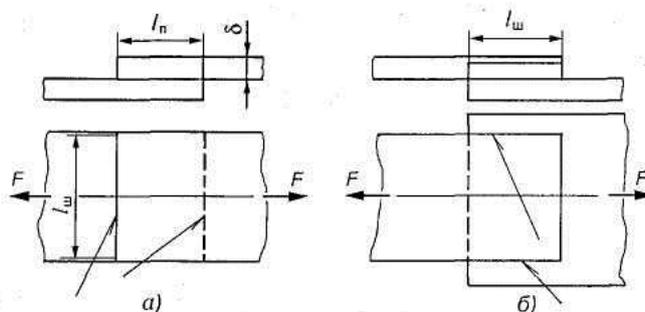
**Рис. 3**

По взаимному расположению свариваемых элементов различают следующие виды соединений

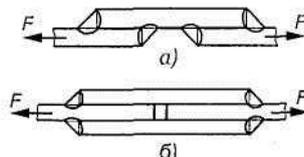
- стыковые (рис.4);
- нахлесточные, лобовые (рис. 5, *а*); фланговые (рис. 5, *б*);
- с накладками (рис. 6);
- тавровые (рис. 7, *а, б*). Свариваемые элементы располагаются во взаимно перпендикулярных плоскостях. Соединение может быть выполнено угловыми (рис.7, *а*) или стыковыми (рис. 7, *б*) швами.
- угловые (рис. 7 *в, г*). Применяются для изготовления тары из листовой стали, ограждений и др. Выполняются угловыми швами. Эти соединения передают малые нагрузки и поэтому не рассчитываются на прочность.



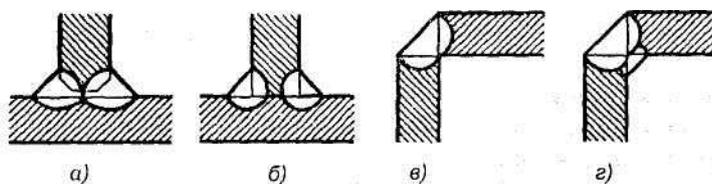
**Рис.4. Стыковое соединение**



**Рис. 5. Нахлесточное соединение: *а* — соединение лобовыми швами; *б* — соединение фланговыми швами**



**Рис. 6. Соединения с накладками**



**Рис. 7. Соединения тавровые и угловые**

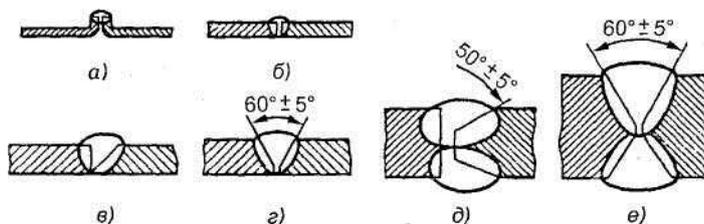
*Стыковые* соединения выполняют так называемыми стыковыми швами, а остальные — угловыми.

*Конструкции стыковых швов.*

Стыковые швы имеют преимущественное распространение вследствие простоты конструкции. В зависимости от толщины свариваемых деталей и обработки кромок стыковые швы делят на следующие типы:

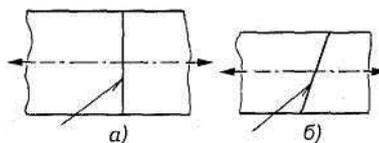
- шов с отбортовкой кромок (рис. 8, *а*) — рекомендуется для тонколистовых материалов ( $\delta < 2$  мм); одна или две кромки деталей отбортовываются;
- односторонний без скоса кромок (рис. 8, *б*) — шов сваривается без обработки кромок листов при их толщине  $\delta < 8$  мм;

- односторонний со скосом одной кромки (рис. 8, в) — обрабатывается только одна кромка деталей толщиной  $\delta < 12$  мм;
- односторонний со скосом двух кромок (рис. 8, з) — применяется при толщине деталей  $\delta < 25$  мм;
- двусторонний с двумя симметричными скосами одной кромки (рис. 8, д) — кромки обрабатываются у одной детали с двух сторон, толщиной  $\delta$  до 40 мм;
- двусторонний с двумя симметричными скосами двух кромок (рис. 8, е) — толщина свариваемых деталей  $\delta \gg 60$  мм.



**Рис. 8. Соединения стыковые: а — с отбортовкой; б — без скоса кромок; в, з, д, е — швы со скосом кромок**

Стыковые швы, показанные на рис.9, а, называют прямыми, на рис.9, б — косыми. Косые стыковые швы применяют для увеличения рабочей длины шва.



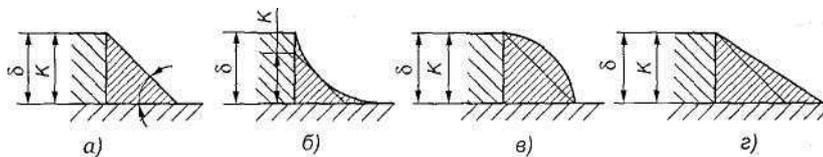
**Рис.9. Стыковые швы: а — прямой; б — косой**

*Конструкция угловых (валиковых) швов.*

Угловые швы применяют в нахлесточных соединениях, в соединениях с накладками, в тавровых и угловых соединениях. По своей прочности они уступают стыковым швам.

*По профилю поперечного сечения угловые швы могут быть:*

- нормальные (рис.10, а); катет шва принимается равным толщине листа ( $K=5$ );
- вогнутые (рис.10, б) с катетом шва  $K=0,85$ ;
- выпуклые (рис.10, в);
- специальные (рис.10, з); их профиль представляет неравнобедренный прямоугольный треугольник (один из катетов  $K=\delta$ ).



**Рис.10. Типы угловых швов: а — нормальный; б — вогнутый; в — выпуклый; з — специальный**

Вогнутые швы применяют в особо ответственных конструкциях при переменных нагрузках, так как вогнутость обеспечивает плавный переход шва в основной металл детали, благодаря чему снижается концентрация напряжений. Вогнутый шов повышает стоимость соединения, так как требует глубокого провара и последующей механической обработки для получения вогнутости, выпуклые - вызывают повышенную концентрацию напряжений. Наиболее приемлем нормальный профиль углового шва. Специальные швы применяют при переменных нагрузках, так как значительно снижает концентрацию напряжений.

По расположению шва относительно действующей нагрузки угловые швы конструктивно разделяют на:

- лобовые, расположенные перпендикулярно к линии действия нагрузки  $F$  (см. рис.5, а); длина лобовых швов не ограничивается;
- фланговые, расположенные параллельно линии действия нагрузки  $F$  (см. рис.5, б); максимальная длина флангового шва принимается  $l_{ш} = (50...60)K$ ;
- комбинированные, состоящие из лобовых и фланговых швов.

*Нахлесточные соединения и соединения с накладками сваривают угловыми швами.*

По своей прочности нахлесточные соединения уступают стыковым. Их применяют, когда по конструктивным соображениям стыковые швы применить невозможно. Соединения с накладками применяют, когда сварные швы не обеспечивают необходимой равнопрочности. В конструкциях, подверженных действию вибрационных и знакопеременных нагрузок, нахлесточные соединения и соединения с накладками применять не рекомендуется (создается значительная концентрация напряжений).

Для обеспечения нормальных условий работы нахлесточных соединений размер перекрытия шва (нахлестку) принимают  $l_n < 48$  (см. рис. 5, а). Длину накладок принимают конструктивно.

*Последовательность проектировочного расчета сварных соединений.*

1. Выбирают конструкцию шва (стыковой, угловой), вид сварки и марку электродов.
2. Определяют допускаемые напряжения для сварного соединения (см. табл.1).
3. По формулам (2), (5), (6) определяют длину шва.
4. При соединении комбинированными швами определяют длину лобовых и фланговых швов.
5. Вычерчивают сварное соединение и уточняют размеры соединяемых деталей.

*Рекомендации по конструированию сварных соединений встык и внахлест*

Из-за дефектов сварки на концах шва принимают минимальную длину шва не менее 30 мм.

В конструкциях, подверженных действию вибрационных знакопеременных нагрузок, соединения внахлест не рекомендуются, так как они создают значительную концентрацию напряжений.

## Практическое занятие № 23

### *Пайка*

Паяные соединения — неразъемные соединения, образуемые силами молекулярного взаимодействия между соединяемыми деталями и присадочным материалом, называемым припоем. Припой-сплав (на основе олова, меди, серебра) или чистый металл, вводимый в расплавленном состоянии в зазор между соединяемыми деталями. Температура плавления припоя ниже температуры плавления материалов деталей. По конструкции паяные соединения подобны сварным (рис. 16, а - в). преимущественное применение имеют соединения внахлестку. Стыковое соединение и соединение втавр применяют при малых нагрузках.

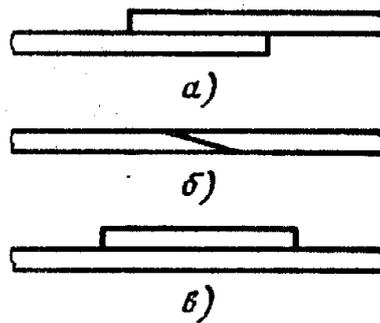


Рис. 1

В отличие от сварки пайка позволяет соединять не только однородные, но и разнородные материалы: черные и цветные металлы, сплавы, керамику, стекло и др.

При пайке поверхности деталей очищают от окислов и обезжиривают с целью получения хорошей смачиваемости поверхности припоем качественного заполнения им зазоров. Нагрев припоя и деталей в зависимости от их размеров осуществляют паяльником, газовой горелкой, электронагревом, в термических печах и др. Для уменьшения вредного влияния окисления поверхности деталей при пайке применяют флюсы (на основе буры, канифоли, хлористого цинка), а также паяют в вакууме или в среде нейтральных газов (аргон). Расплавленный припой растекается по нагретым поверхностям стыка деталей и при охлаждении затвердевает, прочно соединяя детали.

Размер зазора в стыке определяет прочность соединения. При малом зазоре лучше проявляется эффект капиллярного течения припоя, процесс растворения материалов деталей в расплавленном припое распространяется на всю толщину паяного шва (прочность образующегося раствора на 30...60% выше прочности припоя).

Размер зазора принимают 0,03...0,2 мм в зависимости от припоя (легкоплавкий или тугоплавкий) и материала деталей.

Припой с температурой плавления до 400 °С называют легкоплавкими. Наиболее широкое применение имеют оловянные-свинцовые, оловянно-свинцовые сурьмянистые припои (ПОС90, ПОС61). Эти припои не следует применять для соединений, работающих при температуре свыше 100 °С или подверженных действию ударных нагрузок.

Припой с температурой плавления свыше 400 °С называют тугоплавкими (серебряные или на медной основе). Припой на медной основе (ВПр1, ВПр2) отличаются повышенной хрупкостью, их применяют для соединения деталей, нагруженных статической нагрузкой. Серебряные припои (ПСр40, ПСр45) применяют для ответственных соединений. Они устойчивы против коррозии и пригодны для соединения деталей, воспринимающих ударную и вибрационную нагрузки.

Достоинством паяных соединений является возможность соединения разнородных материалов, стойкость против коррозии, возможность соединения тонкостенных деталей, герметичность, малая концентрация напряжений вследствие высокой пластичности припоя. Пайка позволяет получать соединения деталей в скрытых и труднодоступных местах конструкции.

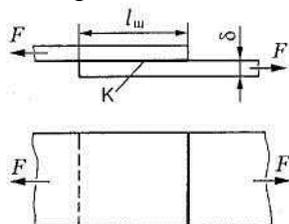
Недостатком пайки по сравнению со сваркой является сравнительно невысокая прочность, необходимость малых и равномерно распределенных зазоров между соединяемыми деталями, что требует их точной механической обработки и качественной сборки, а также предварительной обработки поверхностей перед пайкой.

Применение паяных соединений в машиностроении расширяется в связи с внедрением пластмасс, керамики и высокопрочных сталей, которые плохо свариваются. Пайкой соединяют листы, стержни, трубы и др. Ее широко применяют в автомобилестроении (радиаторы и др.) и самолетостроении (обшивка с сотовым промежуточным заполнением). Пайка является одним из основных видов соединений в радиоэлектронике и приборостроении.

Расчет на прочность паяных соединений производят на сдвиг методами сопротивления материалов. Надо учитывать, что в нахлесточном соединении площадь расчетного сечения равна площади контакта деталей. Для нахлесточных соединений деталей из низкоуглеродистой стали, полученных оловянно-свинцовыми припоями (ПОС40), допускаемое напряжение на сдвиг  $[\tau]_c=60\text{Н/мм}^2$ .

### **Клеевые соединения**

В настоящее время все шире применяют неразъемные соединения металлов и неметаллических материалов, получаемые *склеиванием*. Это соединения деталей неметаллическим веществом посредством поверхностного схватывания и межмолекулярной связи в клеящем слое. Наибольшее применение получили клеевые соединения внахлестку (рис.17), реже — встык. Клеевые соединения позволили расширить диапазон применения в конструкциях машин сочетаний различных неоднородных материалов — стали, чугуна, алюминия, меди, латуни, стекла, пластмасс, резины, кожи и т. д.



**Рис.2. Клеевое соединение внахлестку**

Применение универсальных клеев типа БФ, ВК, МПФ и других (в настоящее время употребляют более ста различных марок клеев) позволяет довести прочность клеевых соединений до 80% по отношению к прочности склеиваемых материалов. Наибольшее применение в машиностроении клеевые соединения, работающие на сдвиг. Оптимальная толщина слоя клея 0,05...0,15 мм.

На прочность клеевых соединений влияют характер нагрузки, конструкция соединения, тип и толщина слоя клея (при увеличении толщины прочность падает), технология склеивания, и время (с течением времени прочность некоторых клеев уменьшается).

#### *Достоинства и недостатки клеевых соединений.*

##### *Достоинства:*

- простота получения неразъемного соединения и низкая стоимость работ по склеиванию;
- возможность получения неразъемного соединения разнородных материалов любых толщин;
- отсутствие коробления получаемых деталей;
- герметичность и коррозионная стойкость соединения;
- возможность соединения очень тонких листовых деталей;
- значительно меньшая, чем при сварке, концентрация напряжений;
- высокое сопротивление усталости;
- малая масса.

##### *Недостатки:*

- сравнительно невысокая прочность;
- неудовлетворительная работа на неравномерный отрыв;
- уменьшение прочности соединения с течением времени («старение»);
- низкая теплостойкость большинства марок клеев.

*Область применения.* Клеевые соединения широко применяют в самолетостроении, при изготовлении режущего инструмента, электро- и радиооборудования, в оптической и деревообрабатывающей промышленности, строительстве, мостостроении. В настоящее

время созданы некоторые марки клеев на основе полимеров, удовлетворительно работающих при температуре до  $1000^{\circ}$ . Клеевыми соединениями создают новые конструкции (сотовые, слоистые), отдельные зубчатые колеса соединяют в общий блок, повышают прочность сопряжения зубчатых венцов со ступицами, ступиц с валами, закрепляют в корпусе неподвижное центральное зубчатое колесо планетарной передачи, наружное кольцо подшипника качения, стопорят резьбовые соединения, крепят пластинки режущего инструмента и др.

### **Соединение деталей с гарантированным натягом (прессовые соединения)**

*Соединение деталей может осуществляться за счет посадки одной детали на другую.*

В посадках (рис. 3, а) обеспечивается зазор в соединении. В этом случае детали легко перемещаются относительно друг друга.

В посадках с натягом (рис. 3, б) в соединении обеспечивается натяг. Такие посадки (на рис. 28 - показаны поля допусков посадок по ГОСТ 25347—82) могут обеспечивать передачу вращающего момента без применения шпонок, клиньев, болтов и т. п.

*Основной задачей расчета соединения с гарантированным натягом является выбор посадки, обеспечивающей передачу заданного вращающего момента.*

Соединения деталей с натягом – это напряженные соединения, в которых натяг создается необходимой разностью посадочных размеров вала и втулки. Для закрепления деталей используют силы упругости предварительно деформированных деталей. Обычно соединение деталей осуществляется по цилиндрическим или (реже) коническим поверхностям, при этом одна деталь охватывает другую, специальные соединительные детали отсутствуют.

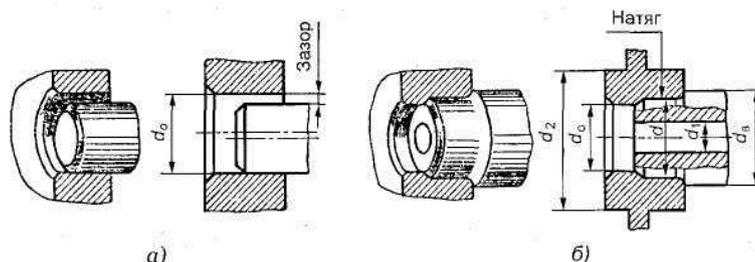
В машиностроении применяют *переходные посадки*, при которых возможно получение как зазора, так и натяга.

*Соединение деталей с гарантированным натягом относится к соединениям, передающим рабочие нагрузки за счет сил трения между валом и отверстием.*

К основным достоинствам цилиндрических соединений с гарантированным натягом относятся: простота конструкции, хорошее центрирование соединяемых деталей, возможность передачи больших нагрузок как статических, так и динамических (ударных). Обычно соединения с гарантированным натягом относят к неразъемным соединениям, однако цилиндрические соединения допускают разборку (распрессовку) и сборку (запрессовку) деталей.

К основным недостаткам цилиндрических соединений с гарантированным натягом относятся: сложность сборки и разборки соединений, возможность уменьшения величины расчетного натяга соединяемых деталей и повреждения их посадочных поверхностей при сборке (запрессовке), требование пониженной шероховатости посадочных поверхностей и высокие требования к точности их изготовления, повышенная концентрация напряжений, большое рассеивание сил сцепления в связи с рассеиванием действительных посадочных размеров в пределах допусков и коэффициентов трения.

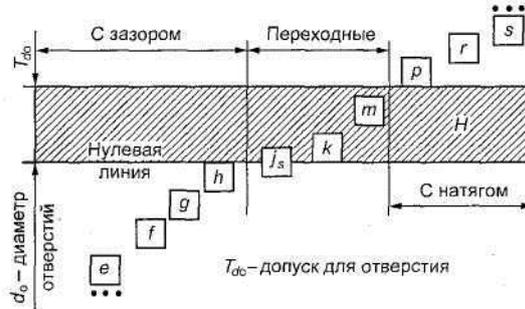
Характерными примерами соединения с натягом могут служить кривошпы, пальцы кривошпов, детали составных коленчатых валов двигателей автомобилей, венцы зубчатых и червячных колес, ступиц колес с валом и т. п.



**Рис. 3. Соединения с гарантированным натягом: а — посадка с зазором; б — посадка с натягом**

*Натягом* называют положительную разность размера вала  $d_B$  и отверстия  $d_o$  до сборки:

$$N = d_B - d_o > 0.$$



**Рис. 4. Схема расположения полей допусков**

При расчете посадок с гарантированным натягом давление  $p$  на сопрягаемые поверхности должно быть таким, чтобы силы трения оказались больше внешних нагрузок и обеспечили неподвижность соединяемых деталей после приложения внешних усилий.

Неподвижность соединения при нагружении соединения осевой силой и вращающим моментом обеспечивается за счет *сил трения*  $F_f$  при условии, что

$$F_f \geq f \sqrt{(10^3 \cdot 2T/d)^2 + F_a^2},$$

где  $f$  - коэффициент сцепления;  $T$  — вращающий момент, Нм;  $d$  — диаметр посадочной поверхности, мм (см. рис. 4, б);  $F_a$  — осевая сила, Н.

Так как в быстровращающихся соединениях давление на посадочной поверхности деталей может быть ослаблено центробежными силами, действующими на детали, то для обеспечения надежности этих соединений давление на контактной поверхности увеличивают с учетом действующих центробежных сил.

При расчетах соединений стальных и чугунных деталей коэффициент сцепления принимают: при сборке с запрессовкой  $f = 0,08$  и при сборке с нагревом, охватывающей детали,  $f = 0,14$ . Если одна из соединяемых деталей стальная или чугунная, а другая — латунная или бронзовая, то рекомендуется принимать  $f = 0,05$ .

Расчетный натяг цилиндрического соединения  $N$  связан с посадочным давлением  $p$  следующей зависимостью, вытекающей из формулы Ляме, вывод которой приведен в курсе сопротивления материалов:

$$N = pd \left( \frac{l_1}{E_1} + \frac{l_2}{E_2} \right),$$

где

$$c_1 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1 \quad \text{и} \quad c_2 = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} - \mu_2$$

Здесь  $d$  — посадочный диаметр;  $d_1$  — диаметр отверстия охватываемой детали (для вала сплошного сечения  $d_1 = 0$ );  $d_2$  — наружный диаметр охватывающей детали;  $E_1$  и  $E_2$  — модули упругости материалов охватываемой и охватывающей деталей;  $\mu_1$  и  $\mu_2$  — коэффициенты Пуассона материалов охватываемой и охватывающей деталей (для стали  $\mu_1 \approx 0,3$ , для чугуна  $\mu_1 \approx 0,25$ , для бронзы  $\mu_1 \approx 0,35$ ).

При сборке соединения неровности контактных поверхностей деталей срезаются и сглаживаются; для компенсации этого действительный натяг соединения  $N_d$  должен быть больше расчетного натяга  $N$ , вычисляемого по формуле (2). Зависимость между  $N_d$  и  $N_p$  определяется формулой

$$N_d = N_p + 1,2(R_{z1} + R_{z2}),$$

где  $R_{z1}$  и  $R_{z2}$  – высоты неровностей профилей по десяти точкам сопрягаемых поверхностей, принимаемые по ГОСТ 2789-73.

По величине  $N_d$  подбирают соответствующую стандартную посадку, у которой для надежности соединения наименьший натяг  $N_{\min}$  должен быть равен  $N_d$  или очень близок к нему.

Соединения с натягом (прессовые соединения) могут быть получены тремя способами:

- запрессовкой, простейший и высокопроизводительный способ, обеспечивающий удобного контроля измерения силы запрессовки, но связанный с опасностью повреждения поверхностей и затрудняющий применение покрытий;

- нагревом охватываемой детали до температуры ниже температуры отпуска – способ, обеспечивающий повышения прочности сцепления более чем в 1,5 раза по сравнению с запрессовкой, так как при запрессовке неровности на контактных поверхностях деталей частично срезаются и сглаживаются, что приводит к ослаблению прочности соединения. Данный метод особенно эффективный при больших длинах соединяемых деталей;

- охлаждением охватываемой детали – способ, преимущественно применяемый для небольших деталей, например втулок, в массивные корпуса деталей, при этом обеспечивается наибольшая прочность сцепления.

Расчет соединения включает определение необходимого натяга для обеспечения прочности сцепления и проверку прочности соединяемых деталей.

При сборке цилиндрического соединения с нагревом охватываемой или охлаждением охватываемой детали необходимая разность температур  $\Delta t$  соединяемых деталей определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{N_{\max} + S}{\alpha d},$$

где  $N_{\max}$  – наибольший натяг выбранной для соединения посадки;

$S$  – зазор, необходимый для сборки соединения, принимаемый обычно равным наименьшему зазору посадки движения;

$\alpha$  – коэффициент линейного расширения нагреваемой или охлаждаемой детали, принимаемый для стали  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$ , для чугуна  $\alpha = 10,5 \cdot 10^{-6}$ , для оловянных бронз  $\alpha = 17 \cdot 10^{-6}$ , для латуни  $\alpha = 18 \cdot 10^{-6}$ , для алюминиевых сплавов  $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}$ ;

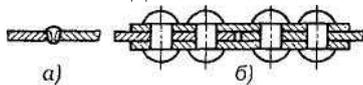
$d$  – номинальный посадочный диаметр.

Нагрев охватываемой детали производится в зависимости от требуемой температуры горячим маслом, в электрической или газовой печи. Охлаждение охватываемой детали производят жидким воздухом или сухим льдом.

### **Вопросы для самопроверки**

- Что понимают под неразъемным соединением?
- Что понимается под сварным соединением и сварным швом?
- Каковы основные виды сварных соединений?
- Чем отличается сварка встык от сварки внахлест?
- Как рассчитываются сварные соединения на прочность?
- Оцените сварное соединение по сравнению с заклепочным?
- Сравните соединение встык и внахлестку, отметьте их достоинства и недостатки?
- В чем преимущества вогнутой формы поперечного сечения углового шва?

- Почему не рекомендуют применять длинные фланговые швы?
- Какие упрощающие допущения принимают при написании формул для расчета прочности угловых швов в различных случаях нагружения?
- Области применения точечной и шовной контактной сварки?
- Какие факторы влияют на прочность сварных соединений?
- Сравните конструктивное оформление сварного и клепаного соединений (см. рис.). Опишите достоинства этого сварного шва.



- Где применяют соединения пайкой и склеиванием? Их преимущества и недостатки по сравнению со сварным?
- На что следует обращать особое внимание при подготовке деталей к склеиванию и пайке?
- Каковы достоинства и недостатки клепаных соединений? Область их применения.
- Как образуется клепаное соединение? Типы клепаных соединений.
- Какие конструкции швов применяют для увеличения коэффициента  $\varphi$  ?
- Как рассчитывают заклепочное соединение?
- Особенности конструкции заклепочных соединений ферм?
- Что такое коэффициент  $\varphi$  прочности клепаного соединения? Какие типы соединений применяют для увеличения коэффициента  $\varphi$  ?
- Почему за расчетный диаметр заклепки принимают диаметр отверстия  $d_0$ .
- Где и когда применяются заклепочные соединения?
- Каковы критерии прочностного расчета заклепок?
- Перечислите достоинства и недостатки заклепочных соединений. Кратко обоснуйте перечисленные недостатки.
- Охарактеризуйте область применения заклепочных соединений.
- Какие требования следует предъявлять к материалам заклепок?
- Каким способом осуществляется посадка с натягом?
- В чем преимущества и недостатки соединений с натягом по сравнению с другими видами соединений?
- Почему соединение температурным деформированием считается более надежным, чем запрессовкой?

## Практическое занятие № 24 РАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

### ***Резьбовые соединения***

*Резьба* – поверхность, образованная при винтовом движении плоского контура по цилиндрической или конической поверхности. Применяется как средство соединения, уплотнения или обеспечения заданных перемещений деталей машин, механизмов, приборов и т. п.

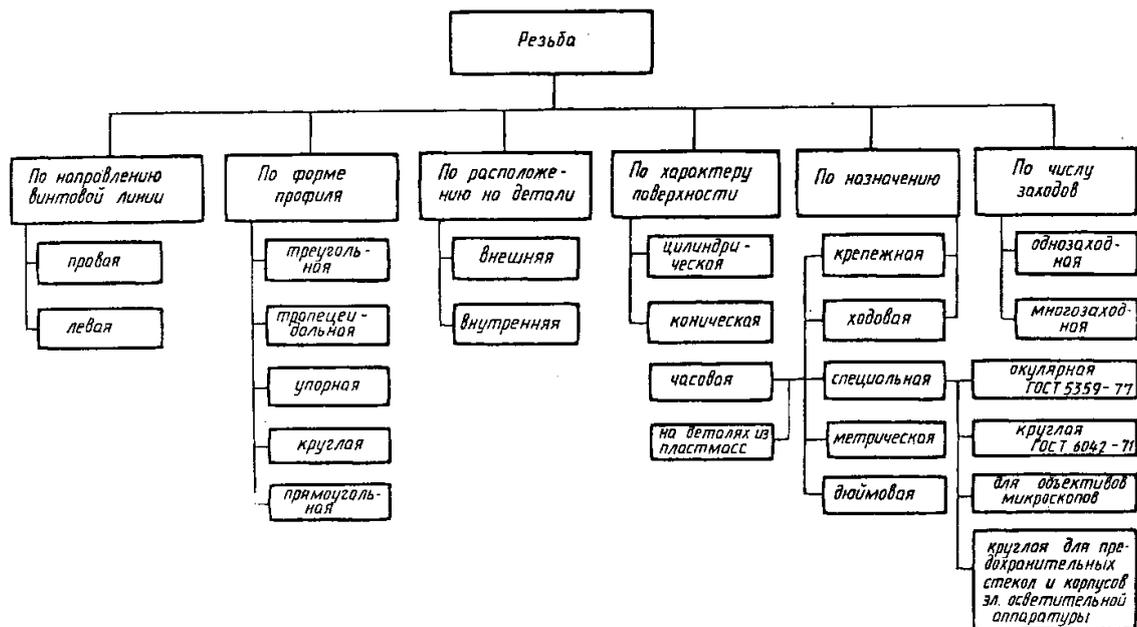


Рис.1

### Основы образования резьбы

В основе образования резьбы лежит принцип получения винтовой линии. Винтовая линия – это пространственная кривая, которая может быть образована точкой, совершающей движение по образующей какой-либо поверхности вращения, при этом сама образующая совершает вращательное движение вокруг оси.

Если в качестве поверхности принять цилиндр, то полученная на его поверхности траектория движения точки называется цилиндрической винтовой линией. Если движение точки по образующей и вращение образующей вокруг оси равномерны, то винтовая цилиндрическая линия является линией постоянного шага. На развертке боковой поверхности цилиндра (рис.2) такая винтовая линия преобразуется в прямую линию.

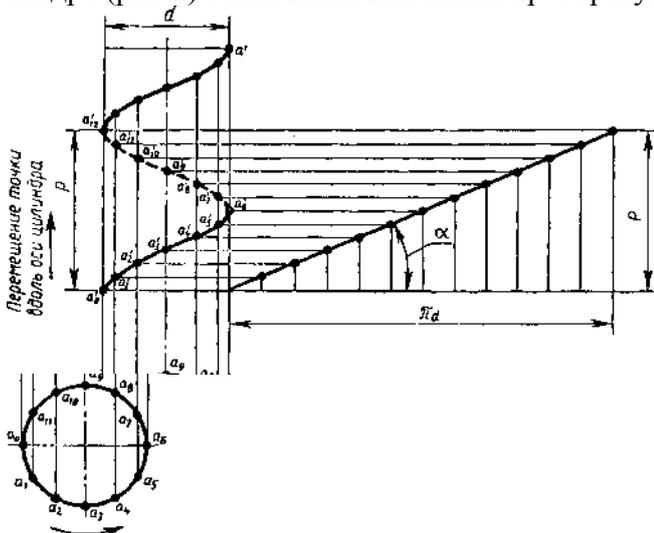


Рис.2

Резьбовые соединения являются наиболее совершенным, а потому массовым видом разъёмных соединений. Применяются в огромном количестве во всех машинах, механизмах, агрегатах и узлах.

### Шпоночные и шлицевые соединения

### **Назначение и краткая характеристика основных типов, достоинства и недостатки, область применения шпоночных соединений**

Шпоночные и шлицевые соединения служат для закрепления на валу (или оси) вращающихся деталей (зубчатых колес, шкивов, муфт и т. п.), а также для передачи вращающего момента от вала 1 к ступице детали 2 или, наоборот, от ступицы к валу (рис. 1 и 2).

Шпоночное соединение образуют вал, шпонка и ступица колеса (шкива, звездочки и др.). Шпонка представляет собой стальной брус, устанавливаемый в пазы вала и ступицы. Она служит для передачи вращающего момента между валом и ступицей. Основные типы шпонок стандартизованы. Шпоночные пазы на валах получают фрезерованием дисковым или концевыми фрезами, в ступицах протягиванием.

*Достоинства шпоночных соединений.*

- простота конструкции, дешевизна и сравнительная легкость монтажа и демонтажа, вследствие чего их широко применяют во всех отраслях машиностроения.

*Недостатки шпоночных соединений.*

- шпоночные пазы ослабляют вал и ступицу насаживаемой на вал детали (из-за этого приходится увеличивать толщину ступицы и диаметр вала). Ослабление вала обусловлено не только уменьшением его сечения, но главное, значительной концентрацией напряжений изгиба и кручения, вызываемой шпоночным пазом.

- шпоночные соединения нарушают центрирование колеса на валу (для этого приходится применять две противоположные шпонки);

- шпоночное соединение трудоемко в изготовлении: при изготовлении паза концевой фрезой требуется ручная пригонка шпонки по пазу; при изготовлении паза дисковой фрезой крепление шпонки в пазу винтами (от возможных осевых смещений);

- трудность обеспечения их взаимозаменяемости (необходимость ручной подгонки шпонок), что ограничивает их применение в крупносерийном и массовом производстве.

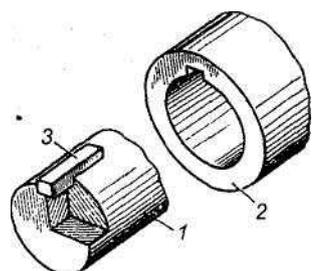
По конструкции шпонки подразделяют на:

- призматические со скругленными торцами исполнение 1 (рис. 3, а, в, и рис. 4) и плоскими торцами исполнение 2 (рис. 3, б, г и рис. 4); с одним плоским, а другим скругленным торцом исполнение 3 (рис. 4); эти шпонки не имеют уклона и их закладывают в паз, выполненный на валу (рис. 3, в, г — шпонки имеют отверстия для их закрепления). Шпонки исполнения 1 рекомендуются для более точных соединений.

Призматические направляющие шпонки с креплением на валу применяют в подвижных соединениях для перемещения ступицы вдоль вала.

Рабочими являются боковые, более узкие грани шпонок высотой  $h$ . Размеры сечения шпонки и глубины пазов принимают в зависимости от диаметра  $d$  вала.

Шпонку запрессовывают в паз вала. Шпонку с плоскими торцами кроме того помещают вблизи деталей (концевых шайб, колец и др.), препятствующих ее возможному осевому перемещению. Призматические шпонки не удерживают детали от осевого смещения вдоль вала. Для фиксации зубчатого колеса от осевого смещения применяют распорные втулки, установочные винты и др.



**Рис. 1. Соединение шпонкой: 1 — вал; 2 — ступица; 3 — шпонка**

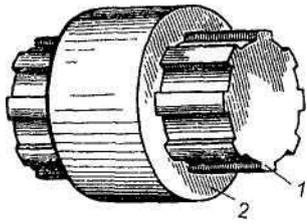


Рис. 2. Зубчатое (шлицевое) соединение: 1 — вал; 2 — ступица колеса

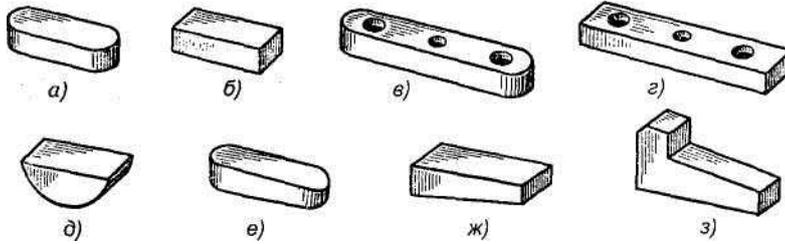


Рис. 3. Конструкции шпонок: а, в — шпонки со скругленными торцами; б, г — шпонки с плоскими торцами; д — сегментная шпонка; е, ж, з — клиновые шпонки

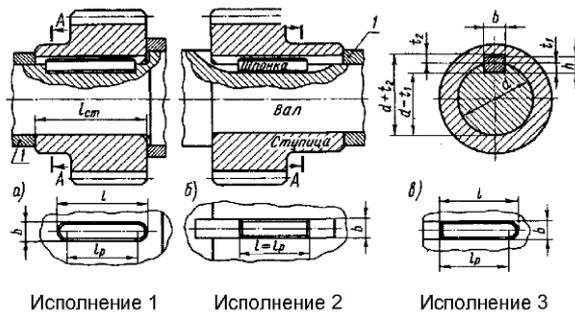


Рис. 4. Соединение призматическими шпонками

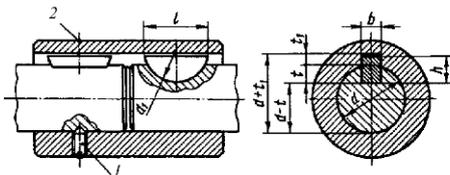


Рис. 5. Соединение сегментной шпонкой: 1 - винт установочный; 2 - кольцо замковое пружинное

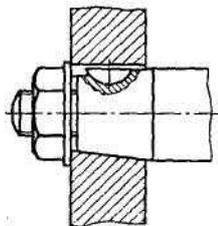
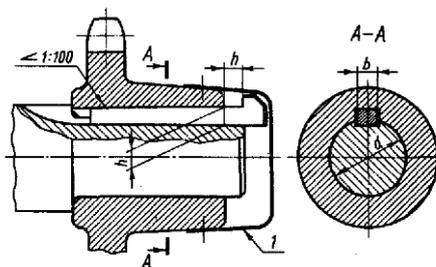


Рис. 6. Соединение сегментной шпонкой



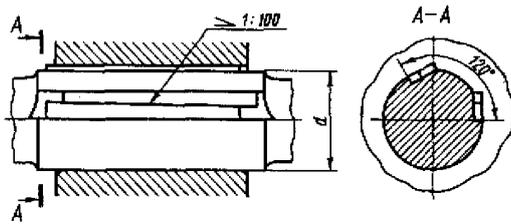
**Рис. 7. Соединение клиновой шпонкой**

- *сегментные* (рис. 3, д и рис. 5 и 6); представляют собой сегментную пластину, заложенную закругленной стороной в паз соответствующей формы, профрезерованный на валу (рис. 51). Сегментные шпонки, как и призматические, работают боковыми гранями. Их применяют при передаче относительно небольших вращающих моментов и часто применяют для конических концов валов. Сегментные шпонки (ГОСТ 24071-80) и пазы для них просты в изготовлении, удобны при монтаже и демонтаже (шпонки свободно вставляют в паз и вынимают). Широко применяют в серийном и массовом производстве;

- *цилиндрические* используют для закрепления деталей на конце вала. Отверстие под шпонку сверлят и обрабатывают разверткой после посадки ступицы на вал. При больших нагрузках ставят две или три цилиндрические шпонки, располагая их под углом  $180^\circ$  или  $120^\circ$ . Цилиндрическую шпонку устанавливают в отверстие с натягом. В некоторых случаях шпонке придают коническую форму.

- *клиновые без головки* (рис. 3, е, ж и рис. 7) и *с головкой* (рис. 3, з); Условия работы этих шпонок одинаковы. Клиновые шпонки имеют форму односкосных самотормозящих клиньев с уклоном 1:100. Такой же уклон имеют и пазы в ступицах. *Головка служит для выбивания шпонки из паза. По нормам безопасности выступающая головка должна иметь ограждение (I на рис. 7).* В этих соединениях ступицу устанавливают на валу с небольшим зазором. Клиновую шпонку забивают в пазы вала и ступицы, в результате на рабочих широких гранях шпонки создаются силы трения, которые могут передавать не только вращающий момент, но и осевую силу. Эти шпонки не требуют стопорения ступицы от продольного перемещения вдоль вала. При забивании клиновой шпонки в соединении возникают распорные радиальные усилия, которые нарушают центрирование детали на валу, вызывая биение. Клиновые шпонки работают широкими гранями. По боковым граням имеется зазор. Соединения клиновыми шпонками применяют в тихоходных передачах. Они хорошо воспринимают ударные и знакопеременные нагрузки.

- *тангенциальные шпонки* (рис.8). Тангенциальная шпонка состоит из двух односкосных клиньев с уклоном 1:100 каждый. Работает узкими боковыми гранями. Клинья вводятся в пазы вала и ступицы ударом; образуют напряженное соединение. Распорная сила между валом и ступицей создается в касательном (тангенциальном) направлении. Применяют для валов диаметром свыше 60 мм при передаче больших вращающих моментов с переменным режимом работы (крепление маховика на валу двигателя внутреннего сгорания и др.). Изготавливаются по стандартам (ГОСТ 24069-80 и 24070-80), охватывающим два вида соединений: шпонки тангенциальные, нормальные для валов диаметром 60 – 1000 мм и усиленные для валов диаметром 100 – 1000 мм. Работают узкими гранями. Вводятся в пазы ударом. Создают напряженное соединение. Натяг между валом и ступицей создается в касательном (тангенциальном) направлении. При реверсивной работе ставят две пары тангенциальных шпонок под углом  $120^\circ$ . В современном производстве имеют ограниченное применение.



**Рис.8. Соединение тангенциальными шпонками**

- специальные шпонки.

*Материал шпонок.* Шпонки призматические, сегментные, клиновые стандартизованы. Стандартные шпонки изготавливают из специального сортамента среднеуглеродистой чистотянутой стали с  $\sigma_s \geq 600 \text{ Н/мм}^2$  чаще всего из сталей 45, Ст6. Для изготовления специальных шпонок применяют легированные стали.

Допускаемые напряжения смятия для шпоночных соединений:

- при стальной ступице  $[\sigma]_{см} = 130...200 \text{ Н/мм}^2$

- при чугунной  $[\sigma]_{см} = 80... 110 \text{ Н/мм}^2$ . Большие значения принимают при постоянной нагрузке, меньшие при переменной и работе с ударами.

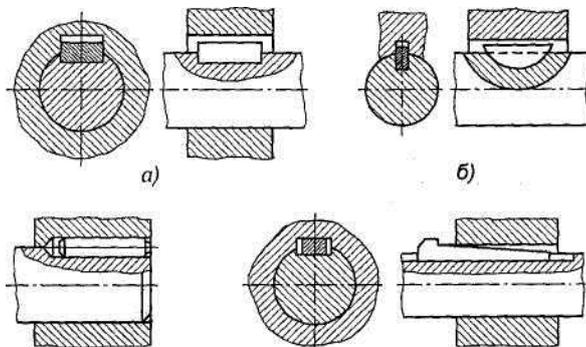
При реверсивной нагрузке  $[\sigma]_{см}$  снижают в 1,5 раза.

Допускаемое напряжение на срез шпонок  $[\tau]_{ср} = 70... 100 \text{ Н/мм}^2$ . Большее значение принимают при постоянной нагрузке.

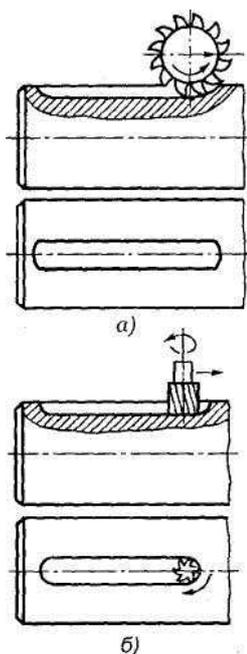
Все основные виды шпоночных соединений можно разделить на две группы: *ненапряженные* и *напряженные*.

К ненапряженным относят соединения с призматическими (рис. 9, а), сегментными (рис. 9, б) и круглыми (рис. 9, в) шпонками. Шпоночные пазы на всех валах выполняют дисковыми (рис. 10, а) или торцовыми (рис. 10, б) фрезами. В этих случаях при сборке соединений в деталях не возникает предварительных напряжений для обеспечения центрирования и исключения контактной коррозии ступицы устанавливают на валы с натягом. В ступицах деталей шпоночные пазы можно получить как на фрезерных, так и на долбежных станках. Размеры пазов определяют расчетным путем с учетом требований стандарта.

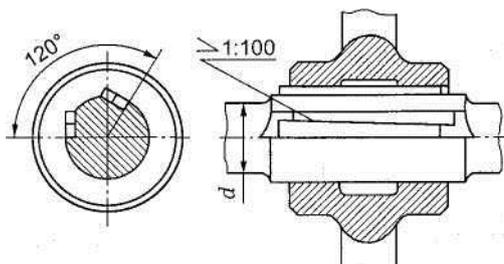
Для *сегментных* шпонок пазы выполняют, как показано на рис. б и 9, б; для *клиновых* — паз на втулке обрабатывают с уклоном, равным углу наклона шпонки (рис. 9, г); для *цилиндрических* — получают сверлением (рис. 9, в).



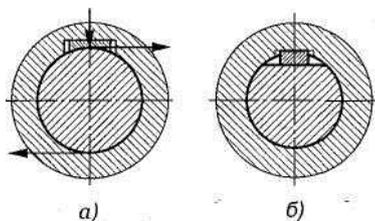
**Рис. 9. Виды шпоночных соединений: а, б, в — ненапряженные соединения; г — напряженные соединения**



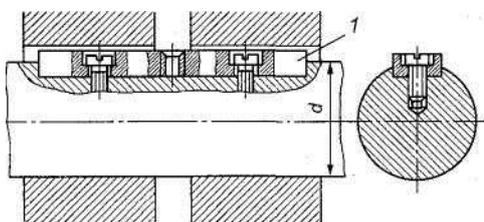
**Рис. 10. Изготовление пазов под установку шпонок**



**Рис. 11**



**Рис. 12. Соединения клиновыми шпонками**



**Рис. 13**

Соединения, в которых применяют клиновые шпонки, относят к напряженным соединениям. В напряженных соединениях клином, вводимым между валом и ступицей, создаются значительные нормальные силы. Эти силы обеспечивают достаточное трение для передачи вращающего момента.

Для создания фрикционной связи между валом и ступицей используют клиновые шпонки, показанные на рис. 3, *e—з* (паз выполняют только во втулке). С нижней стороны шпонку (рис. 12, *a*) обрабатывают в виде вогнутой цилиндрической поверхности с радиу-

сом, равным радиусу вала. Во втулке выполняют уклон. Вращающий момент передается за счет сил трения.

*Клиновые фрикционные шпонки* применяют для передачи незначительного вращающего момента, а также в тех случаях, когда необходимы частые перестановки деталей на валу в осевом направлении.

*Шпонки на лыске* (рис. 3, б) устанавливают в пазу втулки с уклоном 1:100. На валу фрезеруют плоскость (вал с лыской). Такая обработка ослабляет вал значительно меньше, чем прямобочные пазы, однако эта шпонка может передать меньший момент, чем врезная.

*Основное применение имеют ненапряженные соединения.*

### Шлицевые (зубчатые) соединения

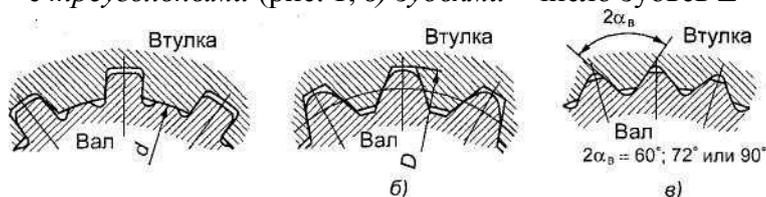
#### Назначение и краткая характеристика основных типов, достоинства и недостатки, область применения шлицевых соединений

Шлицевые соединения можно рассматривать как многошпоночные, в которых шпонки как бы изготовлены заодно с валом. Рабочими поверхностями являются боковые стороны зубьев. В последние годы, в связи с общим повышением напряжений в деталях машин, шлицевые соединения получили самое широкое распространение взамен шпонок. Этому способствует оснащение промышленности специальным оборудованием - шлицефрезерными и протяжными станками. Некоторые авторы называют их зубчатыми соединениями.

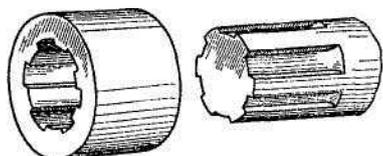
Шлицевые соединения образуются выступами - зубьями на валу,ходящими во впадины соответствующей формы в ступице. Вал и отверстие в ступице обрабатывают так, чтобы боковые поверхности зубьев или участки цилиндрических поверхностей (по внутреннему или наружному диаметру зубьев) плотно прилегали друг к другу. Соответственно различают шлицевые соединения с центрированием по боковым поверхностям зубьев, по внутреннему или наружному диаметру. Центрирование по диаметрам обеспечивает более высокую соосность вала и ступицы, а центрирование по боковым граням обеспечивает более равномерное распределение нагрузки по зубьям. По характеру соединения различают: *неподвижные* - для закрепления детали на валу; *подвижные* - допускающие перемещение детали вдоль вала (например, блока шестерен коробки передач станка).

В зависимости от профиля зубьев различают три основных типа соединений:

- с *прямобочными* (рис. 1, а) зубьями - число зубьев  $Z = 6, 8, 10, 12$ ;
- с *эвольвентными* (рис. 1, б) зубьями - число зубьев  $Z = 12, 16$  и более;
- с *треугольными* (рис. 1, в) зубьями - число зубьев  $Z = 24, 36$  и более.



**Рис. 1. Типы зубчатых (шлицевых) соединений: а — прямобочные зубья; б — эвольвентные зубья; в — треугольные зубья**



**Рис. 2. Прямобочные зубья (шлицы)**

Зубья на валу фрезеруют, а в ступице — протягивают на специальных станках (рис. 2). Число зубьев для прямобочных и эвольвентных соединений 4—20; для треугольных — до 70.

Наибольшее распространение в машиностроении имеют *прямобочные зубчатые соединения*. Их применяют в неподвижных и подвижных соединениях. Стандартом предусмотрены три серии прямобочных зубчатых соединений — легкая, средняя и тяжелая, отличающиеся одна от другой высотой и числом зубьев (чаще применяют соединения с шестью—десятью зубьями).

Зубчатые соединения изготавливают из сталей с временным сопротивлением  $\sigma_g = 500$  МПа.

По сравнению со шпоночными зубчатые соединения *обладают рядом преимуществ*:

1) при одинаковых габаритах опускают передачу больших вращающих моментов за счет большей поверхности контакта;

2) обеспечивают большую усталостную и прочность вала из-за отсутствия шпоночных канавок;

3) обеспечивают лучшее центрирование соединяемых деталей и более точное направление при осевом перемещении. Эти преимущества обусловили его широкое применение в высоконагруженных машинах (станкостроении, авиастроении, автотранспортной промышленности и т.д);

4) усиливают сечение вала за счёт большего момента инерции ребристого сечения по сравнению с круглым. Зубчатый вал можно рассчитывать на прочность так же, как гладкий, диаметр которого равен внутреннему диаметру зубчатого вала.

5) уменьшается число деталей соединения. Зубчатое соединение образуют две детали, шпоночное — три, четыре.

6) обеспечивается высокая надежность при динамических и реверсивных нагрузках, вследствие равномерного распределения нагрузки по зубьям.

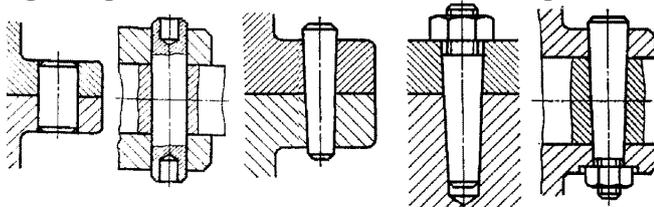
7) уменьшается длина ступицы.

*Недостатки зубчатых соединений*: требуют специального оборудования для изготовления отверстий, более сложная технология изготовления, а следовательно, и более высокая стоимость.

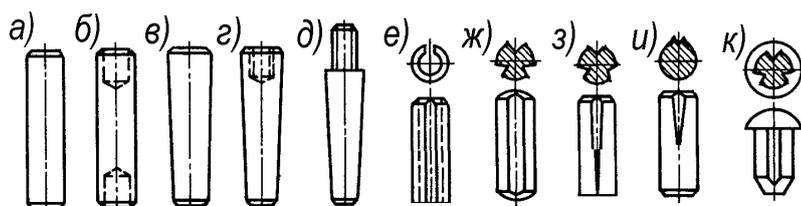
## Практическое занятие № 25

### **Штифтовые и профильные соединения**

*Штифтовые соединения служат для соединения осей и валов с установленными на них деталями при передаче небольших вращающихся моментов*. Образуются совместным сверлением соединяемых деталей и установкой в отверстие с натягом специальных цилиндрических или конических штифтов (рис. 1). Соединения предназначены для точного взаимного фиксирования деталей, а также для передачи небольших нагрузок.



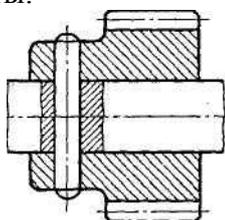
**Рис.1 Штифтовые соединения**



**Рис.2 Конструкции штифтов**

Известны цилиндрические (рис.2, а, б), конические (рис.2, в, г, д), цилиндрические пружинные разрезные (рис.2, е), просечённые цилиндрические, конические и др. (рис.2, ж, з, и, к), простые, забиваемые в отверстия (рис.2, б, в), выбиваемые из сквозных отверстий с другой стороны (гладкие, с насечками и канавками, пружинные, вальцованные из ленты, снабжённые резьбой для закрепления или извлечения (рис.2, д) и т.д. Применяются специальные срезаемые штифты, служащие предохранителями.

По назначению их разделяют на силовые и установочные. На рис. 3 показана установка цилиндрического штифта. В качестве силовых используют конические и фасонные штифты.



**Рис. 3. Соединение цилиндрическим штифтом**

При больших нагрузках ставят два или три штифта (под углом 90 или 120°). При передаче знакопеременной нагрузки эти штифты следует устанавливать так, чтобы исключить их выпадение. Материал штифтов — сталь Ст5, Стб, 40, 35Х и др. Гладкие штифты выполняют из стали 45 и А12, штифты с канавками и пружинные – из пружинной стали.

При закреплении колёс на валу штифты передают как вращающий момент, так и осевое усилие.

*Достоинства штифтовых соединений:*

- простота конструкции;
- простота монтажа-демонтажа;
- точное центрирование деталей благодаря посадке с натягом;
- работа в роли предохранителя, особенно при креплении колёс к валу.

*Недостатком штифтовых соединений* является ослабление соединяемых деталей отверстием.

Подобно заклёпкам штифты работают на срез и смятие. Соответствующие расчёты выполняют обычно как проверочные

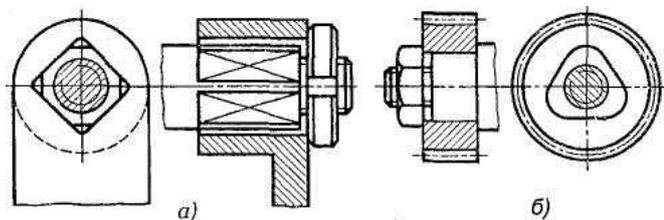
$$\tau_{ср} = \frac{8M_{вр}}{\pi d_{вала}^2 d_{штифта}} \leq [\tau]_{ср},$$

$$\sigma_{см} = \frac{2M_{вр}}{d_{вала} d_{штифта} (D_{ступицы} - d_{вала})} \leq [\sigma]_{см}.$$

Штифты с канавками рассчитывают также, как гладкие, но допускаемые напряжения материала занижают на 50%.

*Профильные соединения относятся к бесшпоночным соединениям.* Соединяемые детали скрепляются между собой посредством взаимного контакта по некруглой поверхности. Простейшим профильным соединением является соединение с валом или с осью, как показано на рис. 4, а. Более совершенными являются профильные соединения с оваль-

ным контуром поперечного сечения. По сравнению со шпоночными и шлицевыми соединениями профильные обеспечивают лучшее центрирование и более высокую прочность, но сложность изготовления профильного отверстия ограничивает их применение. Расчет на прочность профильных соединений сводится в основном к проверке их рабочих поверхностей на смятие.

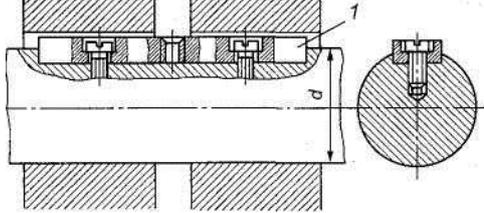


**Рис. 4. Профильные соединения**

#### **Вопросы для самопроверки**

- В чём различие между разъёмными и неразъёмными соединениями?
- В чём состоит принцип конструкции резьбовых соединений?
- Каковы области применения основных типов резьб?
- Каковы достоинства и недостатки резьбовых соединений?
- Для чего необходимо стопорение резьбовых соединений?
- Какие конструкции применяются для стопорения резьбовых соединений?
- Как распределяется нагрузка по виткам при затяжке резьбы?
- В чём различия к требованиям для крепежных и ходовых резьб?
- Каковы основные типы резьб?
- Каковы основные виды резьбовых соединений и их особенности?
- Каковы основные детали резьбовых соединений и их типы?
- Каковы основные способы стопорения резьбовых соединений?
- Как определить осевую силу в резьбовом соединении? Как определить эту силу, если коэффициенты трения неизвестны?
- Каковы основные случаи расчета резьбовых соединений?
- Почему болты, поставленные без зазора, обеспечивают при тех же диаметрах большую несущую способность соединения, чем поставленные с зазором?
- Каково влияние податливости в затянутых болтовых соединениях, нагруженных внешней силой?
- Чем вызвана неравномерность распределения нагрузки по виткам резьбы и как ее уменьшить?
- Как учитывается податливость деталей при расчёте резьбового соединения?
- Какой диаметр резьбы находят из прочностного расчёта?
- Какой диаметр резьбы служит для обозначения резьбы?
- Опишите конструкции, разгружающие болт от восприятия поперечных сил.
- Если рассчитан диаметр болта  $d_1$ , как определяют остальные (какие?) размеры болта? В каком случае применяют проверочный и проектировочный расчеты?
- Опишите работу пружинной шайбы. Предохраняют ли эти шайбы детали от задиров, увеличивают ли опорную поверхность?
- В какой резьбе, в треугольной или трапецеидальной, меньше потери на трение?
- Можно ли применять дюймовую резьбу при проектировании новых машин? Почему? Запишите обозначение этой резьбы на чертеже, если диаметр нарезаемой части винта равен одному дюйму.
- Перечислите резьбы для крепления деталей и для передачи движения.
- По сравнению с трапецеидальной резьбой упорная передает осевую силу (большую или меньшую). Почему?
- Ваше мнение: какой основной недостаток имеют зубчатые соединения?

- Как назвать шпонку 1, показанную на рисунке, ее назначение?

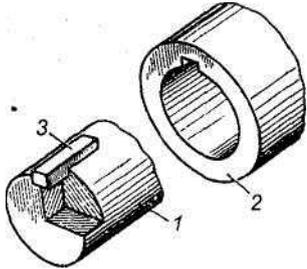


- Какими гранями (боковыми или верхней и нижней) передается вращающий момент врезными призматическими и клиновыми шпонками?

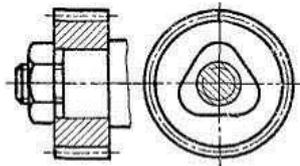
- Дайте определение детали — шпонке.

- Сколько деталей включает шпоночное и сколько — зубчатое соединение?

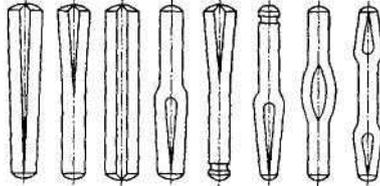
- Как называется деталь 3 на рисунке?



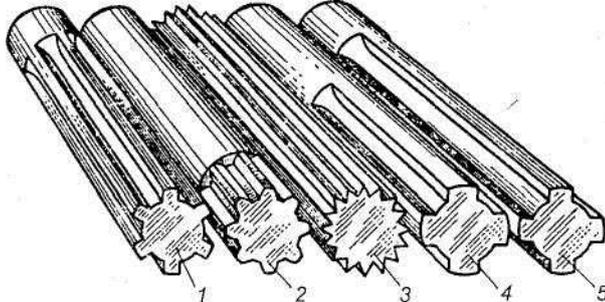
- Как называется соединение, показанное на рисунке? Какой недостаток имеет это соединение?



- Как называются детали, показанные на рисунке?



- Определите по рисунку тип зубьев (шлицев) на валах.



- Какова конструкция и основное назначение штифтовых соединений?

- Каковы виды нагружения и критерии расчёта штифтов?

- Какова конструкция и основное назначение шпоночных соединений?

- Каковы виды нагружения и критерии расчёта шпонок?

- Каковы основные виды шпонок, их достоинства и недостатки?

- Как проводится расчет шпонок на прочность?

- Каковы виды шлицевых соединений и способы их центровки?
- Каковы преимущества и недостатки шпоночных, шлицевых, профильных соединений и шлицевых соединений качения в сравнении друг с другом?
- Как проводится расчет на прочность шлицевых соединений?
- Каковы назначение, виды и методы расчета штифтов?
- Какова конструкция и основное назначение шлицевых соединений?
- Каковы виды нагружения и критерии расчёта шлицов?
- Каково назначение шлицевых соединений? Их разновидности. Какие шлицевые соединения стандартизованы?
- Каким достоинствами обладают шлицевые соединения по сравнению со шпоночными?
- Какими применяют способы центрирования шлицевых прямооточных и эвольвентных соединений? Чем обусловлен выбор способа центрирования?
- В чем преимущества шлицевого соединения по сравнению со шпоночным?
- Критерии работоспособности шлицевых соединений? Почему они изнашиваются и как это учитывают при расчете?
- Каковы основные критерии работоспособности шлицевых соединений? Как устанавливают размеры шлицевых соединений?
- Каково назначение шпоночных соединений? Из разновидности. Материал шпонок. Недостатки шпоночных соединений.
- Почему шпонки рассчитывают по напряжениям смятия, а не среза?
- В каких случаях применяют призматические шпонки? Как получают для них пазы в ступице и на валу?
- Каковы основные критерии работоспособности соединений призматическими и сегментными шпонками? Как устанавливают размеры призматических и сегментных шпонок?
- Почему для разных ступеней одного и того же вала рекомендуют назначать одинаковые по сечению шпонки исходя из ступени меньшего диаметра и располагать их на одной образующей?
- Как выполняют проверочный расчет призматической шпонки?
- Что представляет собой винтовая линия при развертке прямого кругового цилиндра на плоскость?
- Что такое профиль резьбы, шаг резьбы, угол профиля и угол подъема резьбы?
- Классификация, типы и основные требования к соединениям?
- Основные типы резьб и области их применения?
- Основные виды крепежных деталей и способов стопорения?

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 25**

### **Зубчатые (шлицевые соединения)**

#### **Штифтовые соединения.**

#### **Крепежные изделия (болты, шурупы, шпильки).**

#### ***Классификация резьбовых соединений***

*Основные типы резьб, их сравнительная характеристика и область применения.*

Резьбовые (разъемные) соединения выполняют с помощью резьбовых крепежных деталей — болтов (рис.1), винтов, шпилек, резьбовых муфт, стяжек и т. п.

На рис. 1 деталь 1 — резьба цилиндрическая, наружная; деталь 2 — резьба цилиндрическая внутренняя.

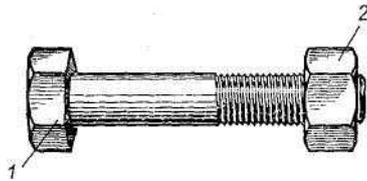
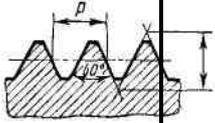
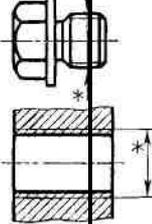
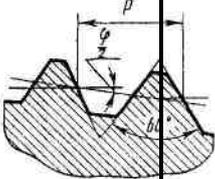
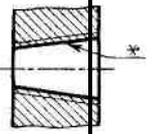
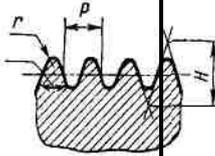
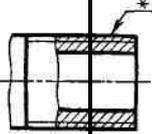
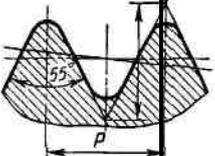
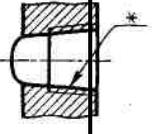
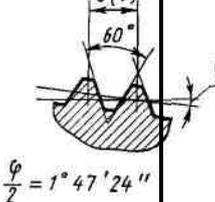
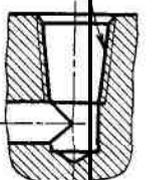
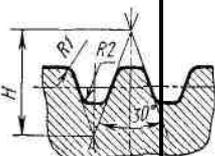
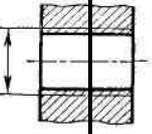
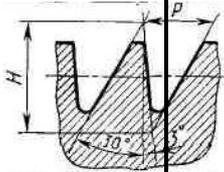
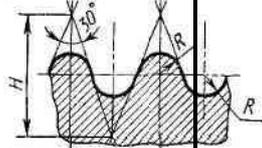
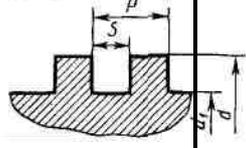
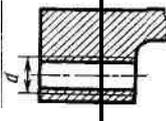


Рис. 1. Болт и гайка

Таблица 1

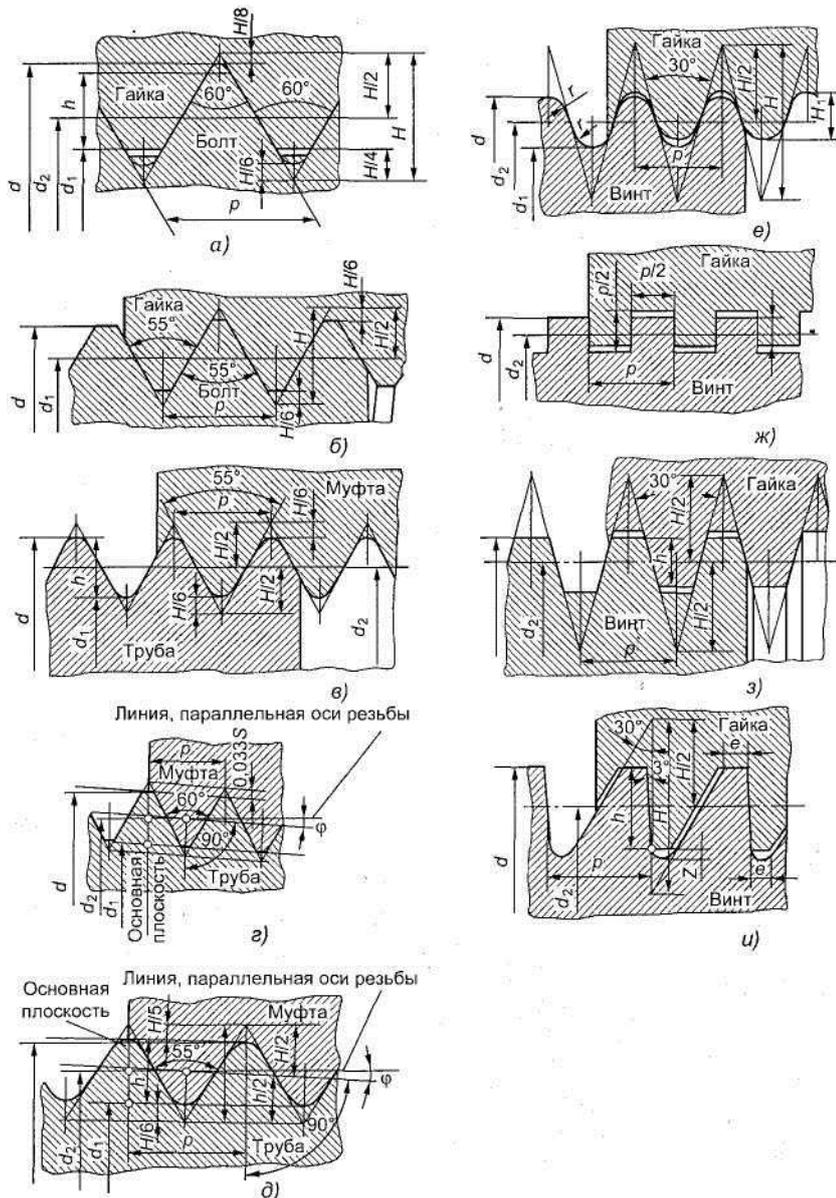
/п	Тип резьбы	Профиль резьбы (некоторые параметры)	Условное изображение резьбы	Стандарт	Примеры обозначения	Примеры обозначения резьбового соединения
	Метрическая			<p>Профиль по ГОСТ 9150-81 (СТ СЭВ 190-75)</p> <p>Основные размеры по ГОСТ 24705-81 (СТ СЭВ 192-75)</p> <p>Диаметры и шаги по ГОСТ 8724-81 (СТ СЭВ 181-75)</p>	<p>M 12 - 6H (наружная резьба)</p> <p>M12 LH - 6H (внутренняя резьба)</p> <p>LH - обозначение левой резьбы</p>	<p>M 12 - 6H / 6g</p>
	Метрическая коническая			<p>ГОСТ 25229-82 (СТ СЭВ 304-76)</p> <p>Устанавливает профиль, диаметры, шаги, основные размеры и допуски</p>	<p>MK 20 x 1,2 MK 20 x 1,2 LH</p>	<p>1. Коническое резьбовое соединение MK 20 x 1,2</p> <p>2. Внутренняя цилиндрическая с наружной конической M / MK 20 x 1,2 ГОСТ 25229-82</p>
	Трубная цилиндрическая			<p>ГОСТ 6357-81 (СТ СЭВ 1157-78)</p>	<p>G 1 1/2 - A G 1 1/2 - B A и B - классы точности G 1 1/2 LH - 40 длина свинчивания</p>	<p>G 1 - A (разный класс точности) G 1 - A (один класс точности) внутренняя трубная цилиндрическая резьба с наружной трубной конической по ГОСТ 6311-81 G / R 1 1/2 - A</p>
	Трубная коническая			<p>ГОСТ 6211-81 (СТ СЭВ 1159-78)</p>	<p>1. Наружная коническая резьба R 1 1/2 2. Внутренняя коническая резьба Rc 1 1/2</p>	<p>1. Трубная коническая резьба Rc / R 1 1/2</p>
	Коническая шпильмовая	 <p><math>\frac{\phi}{2} = 1^\circ 47' 24''</math></p>		<p>ГОСТ 6111-5</p>	<p>K 1/2 "</p> <p>ГОСТ 6111-52</p>	
	Трапецевидная			<p>ГОСТ 24737-81 (СТ СЭВ 818-78) Однозаходная резьба Профиль по ГОСТ 9401-81</p>	<p>Tg 32 x 3 LH - 7e Tg 32 x LH - 7H Многозаходная Tg 20 x 4 (P4) LH - 6H ход / шаг / левая резьба</p>	<p>Tg 32 x 3 LH - 6H/7g Многозаходная Tg 20 x 4 (P2) - 6H/6e</p>

	Упорная			ГОСТ 10177-82 (СТ СЭВ 1181-79)	580 x 10 - 7h 580 x 10 LH - 7h Многозаходная 580 x 10 (p1) LH - 7h ход / шаг	580 x 10 4H/7g
	Круглая			ГОСТ 13556-88	Кр. 12 x 2,54 ГОСТ (Предусмотрен только этот размер) По СТ СЭВ 107-76 Rd 16 Rd 40 LH	Кр. 12 x 2,54 ГОСТ Rd 16 Rd 40 LH
	Прямая угловая					

*Геометрические параметры резьбы.*

Основными параметрами резьбы являются (рис. 2): форма и размер профиля;  $d$  – наружный диаметр;  $d_1$  – внутренний диаметр (номинальные значения  $d$  и  $d_1$  одинаковы для винта и гайки, зазоры во впадинах образуются за счет предельных отклонений размеров диаметров);  $d_2$  – средний диаметр (диаметр воображаемого цилиндра, образующая которого пересекает резьбу в таком месте, где ширина выступа равна ширине канавки);  $h$  – рабочая высота профиля, по которой соприкасаются боковые стороны резьб винта и гайки;  $p$  – шаг резьбы (расстояние между одноименными сторонами соседних профилей, измеренное в направлении оси резьбы);  $p_h$  – ход винта для многозаходных резьб, равный произведению шага на число заходов;  $\alpha$  – угол профиля;  $\psi$  – угол подъема (угол подъема развертки винтовой линии по среднему диаметру), который определяется как

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{p_1}{\pi d_2}$$



**Рис.2. Профили резьб: а — метрическая; б — дюймовая; в — трубная цилиндрическая;**

**г — метрическая коническая; д — трубная коническая; е — круглая; ж — прямоугольная;**

**з — трапецидальная; и — упорная**

По шагу резьбы разделяются на основные и мелкие. Мелкие резьбы для тех же диаметров имеют меньший шаг того же профиля, что и в основной резьбе. Применение мелких резьб меньше ослабляет сечение деталей и благодаря меньшему углу спирали нарезки лучше предохраняет соединение против самоотвинчивания.

Для диаметров свыше 20 мм уже обычно применяются мелкие резьбы.

Пример обозначения резьбы:

M16x2 - основная; M16x1,5 - мелкая.

Здесь: М - метрическая; 16 - номинальный (наружной) диаметр резьбы в мм; 2 и 1,5 - шаг резьбы в мм.

По назначению резьбы делятся на крепежные, крепежно-уплотняющие и резьбы для передачи движения.

К крепежным резьбам относят метрическую (рис. 2, *a*), дюймовую (рис. 2, *б*) и специальную (часовую).

Крепежно-уплотняющие резьбы используют в резьбовых изделиях, предназначенных как для скрепления деталей, так и для создания герметичности. К ним относятся резьбы: трубная цилиндрическая (см. рис. 2, *в*), трубная коническая (см. рис. 2, *д*), коническая дюймовая, круглая (см. рис. 2, *е*).

Резьбы для передачи движения, применяемые в передачах винт-гайка: прямоугольная, трапецидальная, упорная (см. рис. 2, *ж—и*).

Основные типы профилей резьбы, показанных на рис. 2: *a* — треугольный; *з* — трапецидальный; *и* — упорный; *е* — круглый; *ж* — прямоугольный.

*Метрическая резьба является основной крепежной резьбой.*

Метрическая резьба (см. табл.1) является основным типом крепежной резьбы. Профиль резьбы установлен ГОСТ 9150–81 и представляет собой равносторонний треугольник с углом профиля  $\alpha = 60^\circ$ . Профиль резьбы на стержне отличается от профиля резьбы в отверстии величиной притупления его вершин и впадин. Основными параметрами метрической резьбы являются: номинальный диаметр –  $d(D)$  и шаг резьбы –  $P$ , устанавливаемые ГОСТ 8724–81 в миллиметрах.

Метрические резьбы бывают с крупным и мелким шагом (табл. 2). По ГОСТ 8724–81 каждому номинальному размеру резьбы с крупным шагом соответствует несколько мелких шагов. Резьбы с мелким шагом применяются в тонкостенных соединениях для увеличения их герметичности, для осуществления регулировки в приборах точной механики и оптики, с целью увеличения сопротивляемости деталей самоотвинчиванию. В случае, если диаметры и шаги резьб не могут удовлетворить функциональным и конструктивным требованиям, введен СТ СЭВ 183–75 «Резьба метрическая для приборостроения». Если одному диаметру соответствует несколько значений шагов, то в первую очередь применяются большие шаги. Диаметры и шаги резьб, указанные в скобках, по возможности не применяются.

В случае применения конической метрической (см. табл.1) резьбы с конусностью 1:16 профиль резьбы, диаметры, шаги и основные размеры установлены ГОСТ 25229–82. При соединении наружной конической резьбы с внутренней цилиндрической по ГОСТ 9150–81 должно обеспечиваться ввинчивание наружной конической резьбы на глубину не менее 0,8.

**Таблица 2. Метрическая резьба (размеры, мм)**

	Резьба с крупным шагом			С мелким шагом			
	$P$	$d_1$	$d_2$	$d_1$	$d_2$	$h$	
6	1	4,918	0,350	0,75	0,188	0,513	
8	1,25	6,647	0,188	1	0,918	0,350	
10	1,5	8,376	0,026	0,25	0,647	0,188	
12	1,75		0,106	0,863	0,647	1,188	
14)	2	11,835	2,701	0,5	1	2,376	3,026
16	2	13,835	4,701	0,5	1	4,376	7,026
	2,5	15,294			1		

18)			6,376	,5	6,376	-7,026
0	2	2,5	17,294		1	1
			8,376	,5	8,376	9,026
22)	0	2,5	19,294		1	2
			0,376	,5	0,376	1,026
4	2	3	20,752		2	2
			2,051		1,835	2,701
27)	0	3	23,752		2	2
			5,051		7,835	8,701

*Примечание.* В таблице приняты следующие обозначения:  $d$  — наружный диаметр резьбы (болта);

$p$  — шаг резьбы;  $d_1$  — внутренний диаметр наружной резьбы;  $d_2$  — средний диаметр наружной резьбы.

*Дюймовая резьба* (см. рис. 1, б) относится к крепежной резьбе.

В настоящее время не существует стандарт, регламентирующий основные размеры дюймовой резьбы. Ранее существовавший ОСТ НКТП 1260 отменен, и применение дюймовой резьбы в новых разработках не допускается. В СНГ ее применяют только для резьбовых деталей старых, а также импортных машин (США и др.). Дюймовая резьба характеризуется тем, что имеет треугольный профиль с углом  $\alpha = 55^\circ$ , а диаметр измеряется в дюймах, шаг — числом ниток резьбы на длине в 1".

Эта резьба была стандартизована для наружных диаметров  $d = 3/16'' - 4''$  и числом ниток на 1" от 28 до 3. При обозначении дюймовой резьбы наружный диаметр указывают в дюймах.

*Трубную цилиндрическую* (рис.6,в) резьбу используют как крепежно-уплотняющую. В соответствии с ГОСТ 6367–81 трубная цилиндрическая резьба имеет профиль дюймовой резьбы, т.е. равнобедренный треугольник с углом при вершине, равным  $55^\circ$  (см. табл.1). Для лучшего уплотнения резьбу выполняют с закругленным треугольным профилем без зазоров по выступам и впадинам. Условное обозначение резьбы дается по внутреннему диаметру (в дюймах) трубы, на которой она нарезана.

Резьба стандартизована для диаметров от  $1/16''$  до 6" при числе шагов  $z$  от 28 до 11. Номинальный размер резьбы условно отнесен к внутреннему диаметру трубы (к величине условного прохода). Так, резьба с номинальным диаметром 1 мм имеет диаметр условного прохода 25 мм, а наружный диаметр 33,249 мм.

Трубную резьбу применяют для соединения труб, а также тонкостенных деталей цилиндрической формы.

*Трубную коническую* (рис.1,д) резьбу используют как крепежно-уплотняющую.

Параметры и размеры трубной конической резьбы определены ГОСТ 6211–81, в соответствии с которым профиль резьбы соответствует профилю дюймовой резьбы (см. табл.1.2.1). Резьба стандартизована для диаметров от  $1/16''$  до 6" (в основной плоскости размеры резьбы соответствуют размерам трубной цилиндрической резьбы).

Нарезаются резьбы на конусе с углом конусности  $\varphi/2 = 1^\circ 47' 24''$  (как и для метрической конической резьбы), что соответствует конусности 1:16.

Конические резьбы обеспечивают герметичность соединения резьбовых деталей без специальных уплотнений. Применяется резьба для резьбовых соединений топливных, масляных, водяных и воздушных трубопроводов машин и станков. Для возможности свертывания конических резьб с цилиндрическими, биссектриса угла профиля конусной резьбы по ГОСТ перпендикулярна оси.

*Прямоугольная резьба* (см. рис.1, ж) относится к резьбам для передачи движений под нагрузкой; имеет прямоугольный или квадратный профиль; диаметр и шаг измеряют в миллиметрах. Прямоугольная резьба не стандартизована и применяется сравнительно редко, так как наряду с преимуществами, заключающимися в более высоком коэффициенте полезного действия, чем у трапецидальной резьбы, она менее прочна и сложнее в производстве. Ее заменяют трапецидальной — более удобной в изготовлении. Применяется при изготовлении винтов, домкратов и ходовых винтов.

*Трапецидальную резьбу* (см. рис.1, з) широко применяют в передачах винт-гайка. Она имеет симметричный трапецидальный профиль с углом профиля  $\alpha = 30^\circ$ . (см. табл.1). Для червяков червячных передач угол профиля  $\alpha = 40^\circ$ . Основные размеры диаметров и шагов трапецидальной однозаходной резьбы для диаметров от 10 до 640 мм устанавливают ГОСТ 9481–81. По сравнению с прямоугольной трапецидальная резьба при одних и тех же габаритах имеет большую прочность, более технологична в изготовлении. Трапецидальная резьба применяется для преобразования вращательного движения в поступательное при значительных нагрузках и может быть одно- и многозаходной (ГОСТ 24738–81 и 24739–81), а также правой и левой. Трапецидальная резьба при использовании гайки, разъемной по осевой плоскости (например, у ходовых винтов станков), позволяет выбирать зазоры путем радиального сближения половин гайки при ее изнашивании.

Размеры некоторых трапецидальных резьб приведены в табл. 3. При обозначении указывают тип, наружный диаметр и шаг резьбы в миллиметрах.

**Таблица 3. Трапецидальная резьба (размеры, мм)**

$d$	$P$	$d_2$	$d_1$	$d$	$P$	$d_2$	$d_1$	
16	2 4	15	13,5	50	3	48,5	46,5	
		14	11,5			8	46	41
						12	44	37
20	2 4	19	17,5	(55)	3	53,5	51,5	
		18	15,5			8	51	46
						12	49	42
26	3	25	23,5	60	3	58,3	56,5	
	5	23,5	20			8	56	51
	8	22	17			12	54	47
32	3	30,5	28,5	(70)	4	68	65,5	
	6	29	25			10	65	59
	10	27	21			16	62	53

*Упорную резьбу* (см. рис. 6, и) применяют в нажимных винтах с большой односторонней осевой нагрузкой. Упорная резьба, стандартизованная ГОСТ 24737–81, имеет профиль неравнобокой трапеции, одна из сторон которой наклонена к вертикали под углом  $3^\circ$ , т.е. рабочая сторона профиля, а другая – под углом  $30^\circ$  (см. табл.1). Форма профиля и значение диаметров шагов для упорной однозаходной резьбы устанавливает ГОСТ 10177–82. Резьба стандартизована для диаметров от 10 до 600 мм с шагом от 2 до 24 мм и применяется при больших односторонних усилиях, действующих в осевом направлении.

Закругление (см. размер  $e$ , рис. 1, и) повышает прочность винта. Условное обозначение упорной резьбы для наружного диаметра 80 мм и шага 16 мм — S 80 x 16, т. е. аналогично обозначению трапецидальной резьбы.

*Круглая резьба.* Круглая резьба стандартизована. Профиль круглой резьбы образован дугами, связанными между собой участками прямой линии. Угол между сторонами профиля  $\alpha = 30^\circ$  (см. табл.1). Резьба применяется ограниченно: для водопроводной арма-

туры, в отдельных случаях для крюков подъемных кранов, а также в условиях воздействия агрессивной среды.

*Резьбовые соединения имеют ряд существенных достоинств:*

- высокая надёжность;
- удобство сборки-разборки;
- простота конструкции;
- дешевизна (вследствие стандартизации);
- технологичность;
- возможность регулировки силы сжатия.

*Недостатки резьбовых соединений:*

- концентрация напряжений во впадинах резьбы;
- низкая вибрационная стойкость (самоотвинчивание при вибрации).

*Резьбы могут быть изготовлены:*

- нарезанием слесарным инструментом — метчиками, плашками (как вручную, так и на станках). Для нарезания наружной резьбы используют различные резцы, плашки, резьбовые гребенки и фрезы, а для внутренней резьбы — метчики. Этот метод применяют в индивидуальном производстве и при ремонтных работах;

- нарезанием резцом на токарно-винторезном станке или на специальных болтонарезных станках;

- фрезерованием на специальных резьбофрезерных станках. Применяют для нарезки винтов больших диаметров с повышенными требованиями к точности резьбы (ходовые и грузовые винты, резьбы на валах и т. д.);

- накаткой на специальных резьбонакатных станках. Этим высокопроизводительным и дешевым способом изготавливают большинство резьб стандартных крепежных деталей (болты, винты и т. д.). Накатка существенно упрочняет резьбовые детали;

- отливкой чугуновых, пластмассовых, стеклянных деталей и деталей из цветных сплавов;

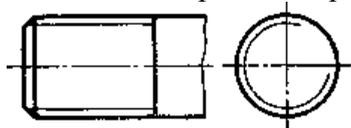
- выдавливанием для тонкостенных деталей (например, из латуни).

### **Условное изображение резьбы. ГОСТ 2.311–68**

Построение винтовой поверхности на чертеже — длительный и сложный процесс, поэтому на чертежах изделий резьба изображается условно, в соответствии с ГОСТ 2.311–68. Винтовую линию заменяют двумя линиями — сплошной основной и сплошной тонкой.

Резьбы подразделяются по расположению на поверхности детали на наружную и внутреннюю.

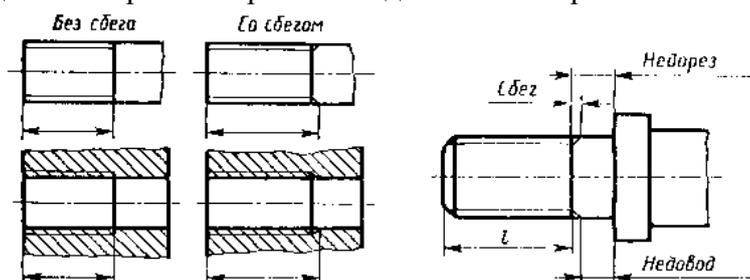
*Условное изображение резьбы на стержне.*



**Рис.2**

Наружная резьба на стержне (рис.2) изображается сплошными основными линиями по наружному диаметру и сплошными тонкими — по внутреннему диаметру, а на изображениях, полученных проецированием на плоскость, перпендикулярную оси стержня, тонкую линию проводят на 3/4 окружности, причем эта линия может быть разомкнута в любом месте (не допускается начинать сплошную тонкую линию и заканчивать ее на осевой линии). Расстояние между тонкой линией и сплошной основной не должно быть меньше 0,8 мм и больше шага резьбы, а фаска на этом виде не изображается. Границу резьбы нано-

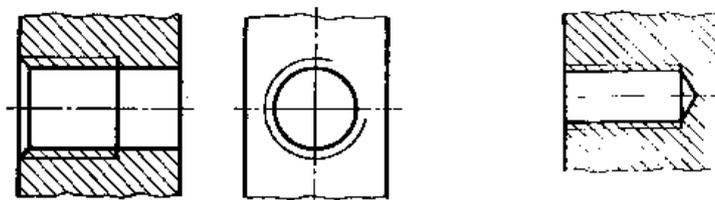
сят в конце полного профиля резьбы (до начала сбега) сплошной основной линией, если она видна. Сбег резьбы при необходимости изображают сплошной тонкой линией.



**Рис.3**

Из технологических соображений на части детали (стержня) может быть осуществлен недоход резьбы. Суммарно недоход резьбы и сбег представляют собой недоход резьбы (ГОСТ 10548–80). Размер длины резьбы указывается, как правило, без сбега.

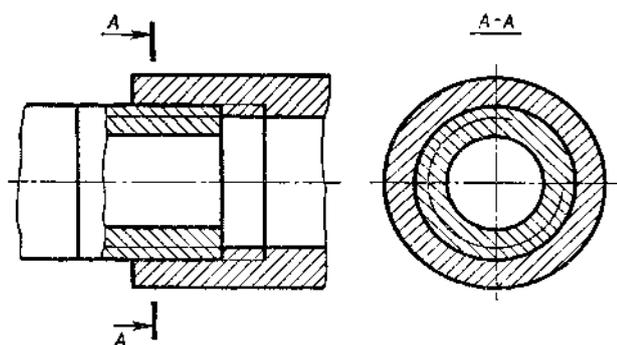
*Условное изображение резьбы в отверстии*



**Рис.4**

Внутренняя резьба – изображается сплошной основной линией по внутреннему диаметру и сплошной тонкой – по наружному. Если при изображении глухого отверстия, конец резьбы располагается близко к его дну, то допускается изображать резьбу до конца отверстия. Резьбу с нестандартным профилем следует изображать.

*Условное изображение резьбы в сборе.*



**Рис.5**

На разрезах резьбового соединения в изображении на плоскости, параллельной его оси в отверстии, показывают только ту часть резьбы, которая не закрыта резьбой стержня.

Штриховку в разрезах и сечениях проводят до сплошной основной линии, т.е. до наружного диаметра наружной резьбы и внутреннего диаметра внутренней.

**Таблица 4. Условное изображение резьб**

Тип резьбы	Условное обозначение типа резьбы	Размеры, указываемые на чертеже	Обозначение резьбы на чертежах			
			на изображениях в плоскости, параллельной оси резьбы		на изображениях в плоскости, перпендикулярной оси резьбы	
			на стержне	В отверстии	на стержне	В отверстии
Метрическая с крупным шагом ГОСТ 9150-81	<i>M</i>	Наружный диаметр (мм)				
Метрическая с мелким шагом ГОСТ 9150-81	<i>M</i>	Наружный диаметр и шаг резьбы (мм)				
Тrapeцидальная однозаходная ГОСТ 9484-81 (СТ СЭВ 146-78)	<i>Tr</i>	Наружный диаметр и шаг резьбы (мм)				
Трубная цилиндрическая ГОСТ 6357-81 (СТ СЭВ 1157-78)	<i>G</i>	Условное обозначение в дюймах				
Коническая дюймовая ГОСТ 6111-52	<i>K</i>	Условное обозначение в дюймах				
Трубная коническая ГОСТ 6211-81 (СТ СЭВ 1159-78): наружная и внутренняя	<i>R</i> <i>Rc</i>	Условное обозначение в дюймах				

Для обозначения резьб пользуются стандартами на отдельные типы резьб. Для всех резьб, кроме конических и трубной цилиндрической, обозначения относятся к наружному диаметру и проставляются над размерной линией, на ее продолжении или на полке линии-выноски. Обозначения конических резьб и трубной цилиндрической наносят только на полке линии-выноски.

Резьбу на чертеже условно обозначают в соответствии со стандартами на изображение, диаметры, шаги и т. д.

Метрическая резьба обозначается в соответствии с ГОСТ 9150–81.

*Метрическая резьба* подразделяется на резьбу с крупным шагом, обозначаемой буквой *M* с указанием номинального диаметра цилиндрической поверхности, на которой резьба выполнена, например *M12*, и резьбу с мелким шагом, обозначаемой указанием номинального диаметра, шага резьбы и поля допуска, например *M24×2–6g* или *M12×1–6H*.

При обозначении левой резьбы после условного обозначения ставят *ЛН*.

Многозаходные резьбы обозначаются, например трех-заходная, *M24×3(P1)ЛН*, где *M* – тип резьбы, 24 – номинальный диаметр, 3 – ход резьбы, *P1* – шаг резьбы. Приведенные обозначения левой и многозаходной резьб могут быть отнесены ко всем метрическим резьбам.

*Метрическая коническая резьба* обозначается в соответствии с ГОСТ 25229–82. В обозначение резьбы включаются буквы *МК*. Применяются соединения внутренней цилиндрической резьбы с резьбой наружной конической. Размеры элементов профиля конической и цилиндрической резьб принимаются по ГОСТ 9150–81. Соединение такого типа должно обеспечивать ввинчивание конической резьбы на глубину не менее  $0,8l$  (где  $l$  – длина резьбы без сбега). Обозначение внутренней цилиндрической резьбы состоит из номинального диаметра, шага и номера стандарта (например: *M20×1,5 ГОСТ 25229–82*).

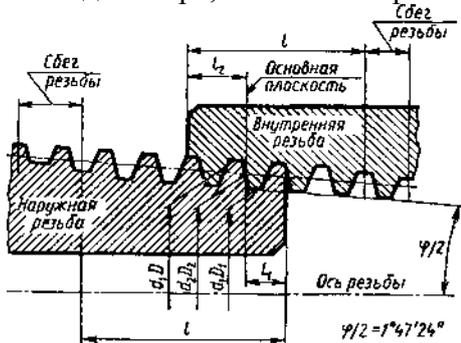


Рис.6

Соединение внутренней цилиндрической резьбы с наружной конической (рис.6) обозначается дробью *M/МК*, номинальным диаметром, шагом и номером стандарта: *M/МК 20×1,5ЛН ГОСТ 25229–82*. При отсутствии особых требований к плотности соединений такого рода или при применении уплотнений для достижения герметичности таких соединений номер стандарта в обозначении соединений опускается, например: *M/МК 20×1,5 ЛН*.

Поле допуска среднего диаметра внутренней цилиндрической резьбы должно соответствовать *6H* по ГОСТ 16093–81, а предельное отклонение внутреннего диаметра и среза впадин внутренней цилиндрической резьбы принимается в пределах: верхнее предельное отклонение  $(+0,12) \dots (+0,15)$ , а нижнее предельное отклонение равняется 0.

*Трубная цилиндрическая резьба*. Условное обозначение резьбы состоит из буквы *G*, обозначения размера резьбы, класса точности среднего диаметра (*A* или *B*). Для левой резьбы применяется условное обозначение *ЛН*. Например, *G1<sup>1/2</sup>ЛН–В–40* длина свинчивания, указываемая при необходимости.

Соединение внутренней трубной цилиндрической резьбы класса точности А с наружной трубной конической резьбой по ГОСТ 6211–81 обозначается следующим образом: например, G/R<sub>p</sub>–1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>–А.

При обозначении посадок в числителе указывается класс точности внутренней резьбы, а в знаменателе — наружной. Например: G 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>–А/В.

*Трубная коническая резьба.* В обозначение резьбы входят буквы: R – для конической наружной резьбы, R<sub>c</sub> – для конической внутренней резьбы, R<sub>p</sub> – для цилиндрической внутренней резьбы и обозначение размера резьбы. Для левой резьбы добавляются буквы LH. Условный размер резьбы, а также ее диаметры, измеренные в основной плоскости, соответствуют параметрам трубной цилиндрической резьбы, имеющей тот же условный размер. Поэтому детали с трубной конической резьбой достаточно часто применяются в соединениях с деталями с трубной цилиндрической резьбой, что обеспечивает достаточно высокую герметичность соединений. Резьбовые соединения обозначаются в виде дроби, в числителе которой указывается буквенное обозначение внутренней резьбы, а в знаменателе – наружной. Пример обозначения:

$\frac{G}{R} 1 \frac{1}{2} - A$  - внутренняя трубная цилиндрическая резьба класса точности А по ГОСТ 6357–81.

*Трапецеидальная резьба.* Условное обозначение трапецеидальной резьбы состоит из букв Tr, номинального диаметра, хода P<sub>n</sub> и шага P. Например: Tr20×4LH–8H, где LH – обозначение левой резьбы, 8H – основное отклонение резьбы.

При необходимости вслед за основным отклонением резьбы указывается длина свинчивания L (в мм). Например: Tr40×6–8g–85; 85 – длина свинчивания.

*Резьба упорная.* Обозначение резьбы состоит из буквы S, номинального диаметра, шага и основного отклонения S80×10–8H.

Для левой резьбы после условного обозначения резьбы указывают буквы LH.

Для многозаходной резьбы вводят дополнительно значение хода совместно с буквой P и значение шага. Так, двухзаходная резьба с шагом 10 мм обозначается S80×2(P10).

*Прямоугольная резьба* не стандартизована. При изображении прямоугольной резьбы рекомендуется вычерчивать местный разрез, на котором проставляют необходимые размеры.

*Специальные резьбы.* Если резьба имеет стандартный профиль, но отличается от соответствующей стандартной резьбы диаметром или шагом, то резьба называется специальной. В этом случае к обозначению резьбы добавляется надпись Sp, а в обозначении резьбы указываются размеры наружного диаметра и шага резьбы, например: Sp.M19×1Д. Резьба с нестандартным профилем изображается так, как это представлено в п.9 табл.1, с нанесением размеров, необходимых для изготовления резьбы.

Технологические элементы резьбы

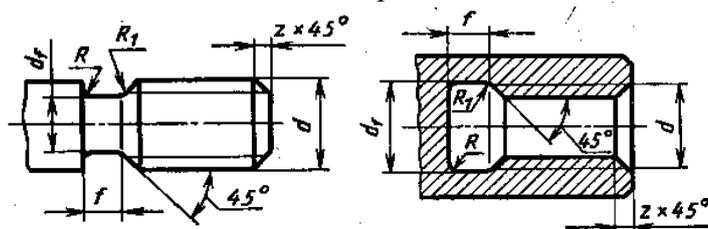
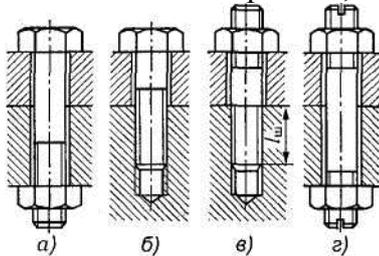


Рис.7

## Конструкции резьбовых деталей и применяемые материалы

Основные резьбовые крепежные детали — болты, винты, шпильки, гайки, а также шайбы и устройства, предохраняющие резьбовые соединения от самоотвинчивания, гаечные ключи.

**Болтом** (см. рис. 9, а) называется резьбовое изделие цилиндрической (или конической) формы, снабженное на одном конце головкой, а на другом резьбой, на которую навинчивается *гайка*. На рис. 14, б показан винт.



**Рис. 9. Типы резьбовых соединений: а — болтовое; б — соединение винтом; в, г — соединение шпилькой**

Резьбовое изделие цилиндрической формы, снабженное на одном конце головкой, а на другом резьбой (гайкой служит деталь), называется *винтом*.

Болтами (рис. 9, а) крепляют детали не очень большой толщины. Отверстия в соединяемых деталях выполняют несколько большего диаметра, чтобы можно было легко вставить болт, не повредив резьбы. С торца головку болта обтачивают на конус (снимают фаску), чтобы срезать вершины углов призмы, которые могут создавать затруднения при захватывании ключом. Болт требует для размещения гайки много места что увеличивает габариты и вес конструкции. Зато, при обрыве он легко заменяется.

Винт может иметь головку разной формы, в частности и шестигранную. Винт ввертывается в корпус и поэтому требует мало места для размещения, что сокращает размеры и вес конструкции. Однако, при сборке, резьба в корпусе (в особенности чугунном или алюминиевом) может быть повреждена. При обрыве трудно извлечь оставшуюся в резьбе часть винта.

Резьбу у болтов накатывают или нарезают на заготовках, полученных горячей высадкой из прутка. Болты также изготавливают из фасонного прутка (шестигранного или другого профиля) на токарно-винторезных станках или автоматах.

Болты и винты находят широкое применение во всех отраслях машиностроения для получения разъемных соединений. Они стандартизованы.

**Конструктивные формы болтов и винтов.** По форме головки болты и винты бывают с шестигранной головкой (рис. 9, а), квадратной (рис. 9, б), цилиндрической (рис. 9, в), полукруглой (рис. 9, г), потайной (рис. 9, д) с углублением под шестигранный ключ (рис. 9, е) или специальную отвертку (рис. 9, ж). Имеются и другие конструкции головок.

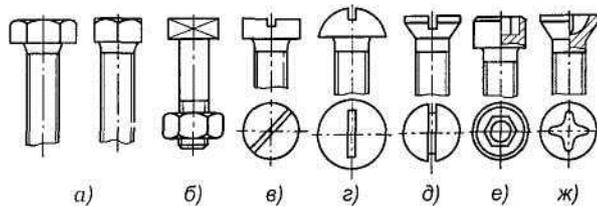
Болты, как правило, имеют головку, захватываемую снаружи инструментом — гаечным ключом, рис. 9, а, б, винты — специальным торцовым ключом (рис. 9, в—ж) и с головками, препятствующими провороту винта.

**Головки винтов с наружным захватом.** Обеспечивают наибольшую силу затяжки, но при этом требуется больше места для захвата ключом. Широкое распространение получила шестигранная головка (рис. 9, а, б), для которой требуется поворот гаечного ключа на 1/6 оборота до перехвата за следующие грани (при условии, что ключ не переворачивается). Для уменьшенной шестигранной головки нужно меньше места для размещения. Это позволяет снизить массу конструкции. В условиях частого завинчивания и отвинчивают и при наличии свободного пространства для поворота ключа применяют квадратные головки, которые при тех же габаритах имеют более широкие грани.

**Головки с торцовым захватом.** Можно размещать в углублениях, что улучшает внешний вид, уменьшает габариты и создает удобства обслуживания машины. В зависи-

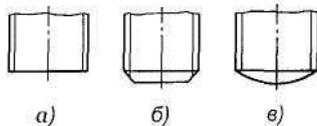
мости от формы применяемого инструмента такие головки выполняют: с внутренним шестигранником (см. рис. 9,е). шлицем под обычную отвертку (см. рис.9,в) или с крестовым шлицем под специальную отвертку (см. рис.9, ж). Винты с внутренним шестигранником обслуживаются простым ключом в виде изогнутого под прямым углом прутка шестигранного профиля. Широкое применение винтов с внутренним шестигранником объясняется тем, что прочность граней шестигранного отверстия меньше прочности стержня винта, и его невозможно оборвать при затяжке, а процесс затяжки легко поддается автоматизации. Головки винтов для завинчивания отверткой (см. рис. 9,е) могут быть цилиндрическими, полукруглыми, потайными или полупотайными. Головки с крестовым шлицем (см. рис.9,ж) более совершенны, так как такой шлиц лучше сопротивляется обмятию.

*Головки, препятствующие провороту.* Подразделяют на головки специальной формы, закладываемые в гнезда, или головки с двумя параллельными рабочими гранями, закладываемые в пазы, и круглые головки с усиком, вызывающие обмятие детали.



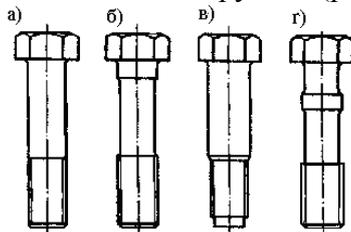
**Рис. 9. Виды болтов и винтов**

Концы болтов и винтов выполняют плоскими (рис. 10, а), с конической фаской (рис. 16, б) или сферическими (рис. 16, в).



**Рис. 10. Конструктивные элементы болтов, винтов и шпилек**

В зависимости от формы стержня болты и винты бывают с *нормальным стержнем* (рис. 11,а); с *подголовком* (рис.11,б); с точно обработанным *утолщенным стержнем* для постановки без зазора в отверстие из-под развертки (рис.11, в); со *стержнем уменьшенного диаметра* ненарезанной части для повышения упругой податливости и выносливости при динамических нагрузках (рис.11, г).



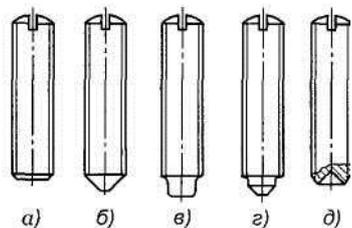
**Рис. 11. Формы стержня болтов и винтов**

В зависимости от точности изготовления болты и винты выполняют *нормальной и повышенной точности*.

В зависимости от назначения болты и винты бывают *общего назначения, установочные и специальные*.

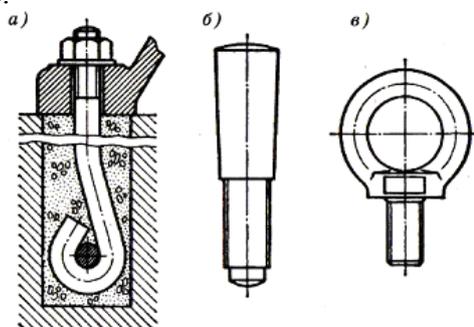
*Винты, показанные на рис. 12, называются установочными.* Их применяют для фиксации положения деталей и предотвращения их сдвига, например, при соединении двух валов с помощью втулки и шпонок, осевая фиксация втулки относительно вала осуществляется с помощью установочных винтов. Винты с плоским торцом (рис. 12, а)

можно применять при малой толщине деталей; с коническим (рис. 12, б) и ступенчатыми (рис. 12, в, з) — для деталей, имеющих предварительное засверливание. Установочные винты изготавливаются небольшой длины с резьбой по всей длине. Винты с засверленным концом (рис. 18, д) используют совместно с шариком).



**Рис. 12. Установочные винты**

К специальным болтам относятся фундаментные (рис.13, а), болты конусные для отверстий из – под развертки (рис. 13, б), грузовые винты (рым-болты, рис. 13, в) и многие другие.



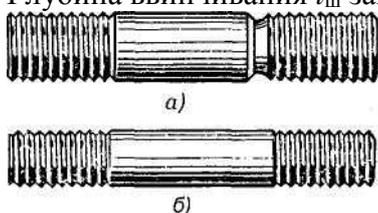
**Рис.13. Примеры специальных болтов**

**Шпильки.** На рис. 9, в, з показана шпилька. Шпильки применяют, когда по конструктивным особенностям соединений установить болт или винт нельзя и когда по условию эксплуатации требуется частая разборка и сборка соединения деталей, одна из которых имеет большую толщину. Применение винтов в этом случае привело бы к преждевременному износу резьбы детали при многократном отвинчивании и завинчивании. При динамических нагрузках прочность шпилек выше, чем прочность болтов. Шпильку ввинчивают в деталь при помощи гайки, навинченной поверх другой гайки или при помощи специального шпильковерта.

Шпилька — резьбовое изделие цилиндрической формы, имеющее с обоих концов резьбы, один конец которой (головка) ввинчивается в деталь, для чего имеет с этой стороны тугую нарезку, а на другой навинчивается гайка. Резьбовое изделие, показанное на рис. 14, з, можно назвать болтом-шпилькой.

При разборке свинчивается только гайка и тугая резьба в корпусе не повреждается. Шпильки рекомендуется применять при чугунных или алюминиевых корпусах.

Шпильки делят на два типа по ГОСТ 11765-81: с проточкой (рис. 15, а); без проточки, со сбегом резьбы на посадочном конце (рис. 15, б). Один конец шпильки ввинчивается в тело детали до отказа с затяжкой на сбеги резьбы (шпилька ввинчивается, например, с помощью двух гаек, рис. 25, а). Диаметр резьбы на обоих концах шпильки, как правило, одинаков. Глубина ввинчивания  $l_{ш}$  зависит от материала детали, определяется по табл. 5.



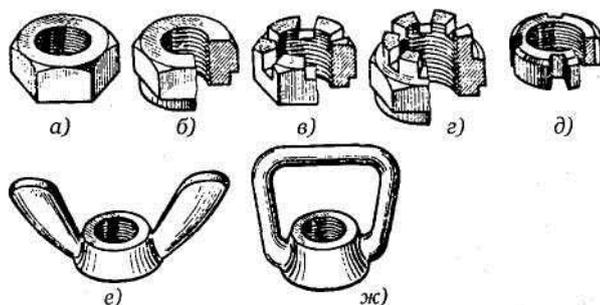
**Рис. 15. Конструкции шпилек**

**Таблица 5. Минимальная относительная длина заворачивания  $l_{\text{ш}}$  в корпус шпилек (винтов), изготовленных из различных материалов**

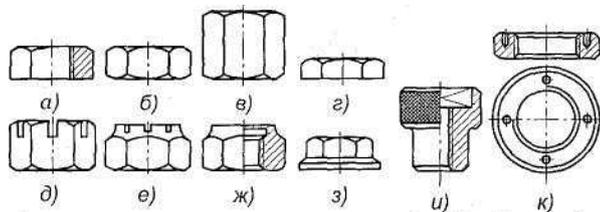
$\sigma_{\text{с}}$ стальной шпильки (винта), МПа	$l_w/d$ при материале корпуса ( $\sigma_{\text{с}}$ , МПа)				
	С таль (300-400)	Дю- ралюминий (360-400)	Бр онза (250-200)	Ч угун (180-250)	С илумин (160-200)
400-500	0,8-0,9	0,9	1,2	1,3-1,4	1,4-2,0
900-1000	1,6-2,0	2,0	1,8	1,8-2,2	2,0-2,5

*Гайки.* Болты и шпильки снабжены гайками.

Гайки имеют различную форму. Наиболее распространены шестигранные гайки. На рис. 16 показаны шестигранные гайки, применяемые в машиностроении: *а* — с одной фаской; *б* — с одной фаской и проточкой; *в* — прорезные; *г* — корончатые. У корончатых гаек для установки стопорных шплинтов выполнены прорезы. Имеются и другие конструктивные разновидности шестигранных гаек. В зависимости от высоты шестигранные гайки бывают нормальные, высокие и низкие. Высокие гайки применяют при частых разборках и сборках для уменьшения износа резьбы. Прорезные и корончатые гайки также выполняют высокими. В зависимости от точности изготовления шестигранные гайки, аналогично болтам, бывают нормальной и повышенной точности. Для крепления подшипников качения, рулевого устройства в велосипедах, мотоциклах и других машинах применяют круглые гайки со шлицами (рис. 16, *д*). При частом отвинчивании и заворачивании с небольшой силой затяжки применяют гайки-барашки (рис. 16, *е, ж*).



**Рис. 16. Конструктивные формы гаек**

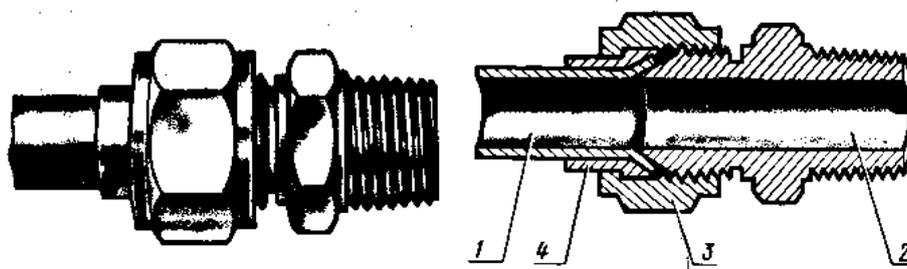


**Рис. 17. Гайки**

На рис. 17: *в* — шестигранная гайка с двумя фасками для больших осевых нагрузок; *г* — шестигранная гайка с одной фаской для незначительных осевых нагрузок; *ж* — шестигранная гайка с глухим резьбовым отверстием; *з* — шестигранная гайка с буртиком; *и* — круглая гайка с накаткой и углублением под ключ; *к* — круглая гайка с отверстиями на торце под ключ.

*Резьбовое соединение нестандартными деталями.* Помимо резьбовых соединений, осуществляемых при помощи стандартных крепежных деталей, находят широкое применение резьбовые соединения, в которых резьба выполняется непосредственно на деталях, входящих в соединение.

На рис.18 представлено соединение трубы 1 со штуцером 2, осуществляемое при помощи накидной гайки 3 и втулки 4, прижимающей коническую развальцованную часть трубы к штуцеру.



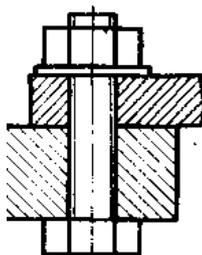
**Рис.18**

*Материалы резьбовых деталей.* При выборе материала для резьбовых деталей учитывают величину и характер нагрузки (статическая или переменная), условия работы (температуру, коррозию и т. д.), способ изготовления.

Стандартные крепежные изделия общего назначения изготавливают из углеродистых сталей типа сталь 10 — сталь 35. Эти стали, позволяют изготовить большие партии болтов, винтов, гаек методом холодной высадки с последующей накаткой резьбы. Легированные стали 35Х, 30ХГСА применяют для высоконагруженных деталей при переменных и ударных нагрузках. Механические свойства крепежных изделий определяются как материалом, так и технологией изготовления. Стандартом предусмотрено изготовление стальных болтов, винтов и шпилек 12 классов прочности от 3,6 до 14,9. Первое число, умноженное на 100, указывает минимальное значение временного сопротивления (МПа), а произведение первого на второе и на 10 — предел текучести (МПа). Например, классу прочности 5.8 соответствует  $\sigma_s = 500$  МПа и  $\sigma_T = 400$  МПа. Декоративные винты и гайки выполняются из цветных металлов и пластмасс. Выбор материалов, как и всех параметров резьбовых соединений, определяется расчётом на прочность.

*Изображение на чертежах разъемных соединений.* ГОСТ 2.315-68 предусматривает упрощенные и условные изображения крепежных деталей. Резьба показывается по всей длине стержня крепежной резьбовой детали. Фаски, скругления, а также зазоры между стержнем детали и отверстием не изображаются. На видах, полученных проецированием на плоскость, перпендикулярную оси резьбы, резьба на стержне изображается одной окружностью, соответствующей наружному диаметру резьбы. На этих же видах не изображаются шайбы, примененные в соединении.

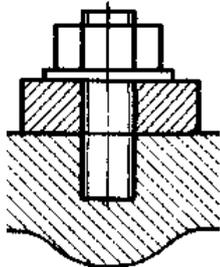
*Соединение болтом упрощенное. ГОСТ 2.315-68*



**Рис.19**

При изображении болтовых соединений размеры болта, гайки и шайбы берутся по соответствующим ГОСТам. На учебных сборочных чертежах, с целью экономии времени, болт, гайку и шайбу рекомендуется вычерчивать не по всем размерам, взятым из ГОСТа, а только по его диаметру и длине стержня. Остальные размеры обычно определяются по условным соотношениям элементов болта и гайки в зависимости от диаметра резьбы.

*Соединение шпилькой упрощенное. ГОСТ 2.315–68*



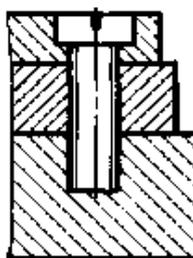
**Рис.20**

При вычерчивании на сборочных чертежах шпилечного соединения рекомендуется, как при болтовом соединении, пользоваться условными соотношениями между диаметром резьбы  $d$  и размерами элементов гайки и шайбы.

Длину  $l_1$  ввинчиваемого (посадочного) конца шпильки выбирают в зависимости от материала детали.

*Соединение винтом упрощенное. ГОСТ 2.315–68*

В винтовом соединении (рис.26), как и в шпилечном, резьбовая часть винта ввинчивается в резьбовое отверстие детали. Граница резьбы винта должна быть несколько выше линии разреза деталей. Верхние детали в отверстиях резьбы не имеют. Между этими отверстиями и винтами должны быть зазоры.

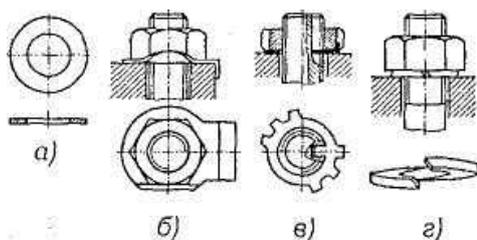


**Рис.21**

*Шайбы.* Под гайки, головки болтов и винтов, как правило, устанавливают шайбы.

*Назначение шайб* — увеличение опорной поверхности и предохранение деталей от задиров.

Для стопорения (контровки) служат специальные шайбы. Наибольшее распространение в машиностроении получили шайбы круглые (рис. 22, *а*). Первые изготавливают штамповкой, вторые обрабатывают на токарных станках. Толщина шайбы и наружный диаметр зависят от диаметра резьбового изделия. Шайбу плоскую квадратную или особой формы (рис.22, *б*) применяют для стопорения гайки; круглую лепестковую (рис. 22, *в*) — для стопорения круглых гаек со шлицами; круглую пружинную (рис. 22, *г*) — для стопорения любых гаек. Шайбы пружинные изготавливаются из Ст.65Г с термообработкой, отгибные пластины и проволока для завязывания - из Ст.1.

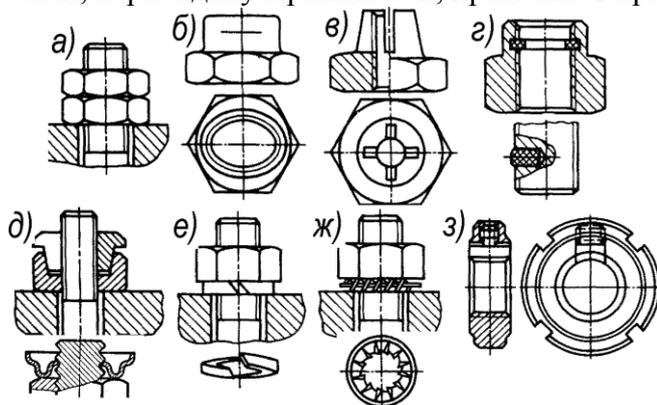


**Рис.22. Шайбы**

*Гаечные замки. Во избежание самоотвинчивания гаек, винтов применяют особые устройства, называемые гаечными замками.*

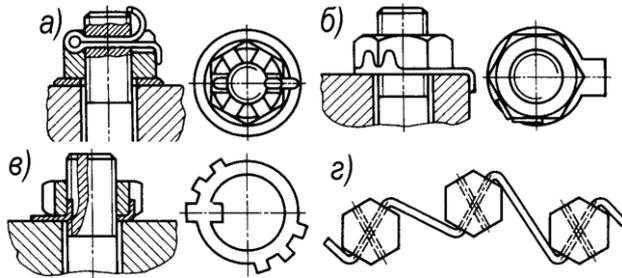
Существует очень много способов стопорения (контровки) или предохранения гаек от самоотвинчивания. Самоотвинчивание разрушает соединения и может привести к аварии. Предохранение от самоотвинчивания важно для повышения надежности резьбовых соединений и совершенно необходимо при вибрациях, переменных и ударных нагрузках. Вибрации понижают трение и нарушают условие самоторможения в резьбе.

1. Стопорение дополнительным трением (рис.28), за счёт создания дополнительных сил трения, сохраняющихся при снятии с винта внешней нагрузки (контргайка, воспринимающая основную осевую нагрузку, и ослабляющая силу трения и затяжки в резьбе основной гайки, необходима взаимная затяжка гаек; самоконтрящиеся гайки с радиальным натягом резьбы после нарезания резьбы и пластического обжатия специальной шейки гайки на эллипс; самоконтрящиеся гайки с несколькими радиальными прорезями; гайки с полиамидными кольцами без резьбы, которая нарезается винтом при завинчивании, обеспечивают большие силы трения, в винте применяют полиамидную пробку; контргайка цапгового типа (сверху) при навинчивании обжимается на конической поверхности; арочного типа (снизу) при навинчивании разгибается и расклинивает резьбу; пружинные шайбы, усиливающие трение в резьбе; пружинные шайбы с несколькими отогнутыми усиками; специальные винты через медную или свинцовую прокладку или деформированием гайки с прорезями, перпендикулярными оси, применяют при спокойных нагрузках.



**Рис. 23. Стопорение за счёт дополнительной силы трения**

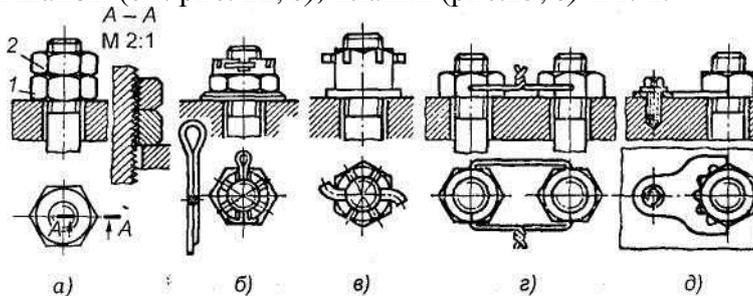
2. Стопорение специальными запирающими элементами (рис.24), полностью исключаями самопроизвольный проворот гайки (шплинты ГОСТ 397-79 сгибаемые из проволоки полукруглого сечения плоскими сторонами внутрь, их выпадению препятствуют петля и разогнутые концы; шайбы с лапками ГОСТ 3693/95-52, одна из которых отгибается по грани гайки, а другая по грани детали, стопорение такими шайбами, как и шплинтами, весьма надёжно и широко распространено; шайбы с лапками ГОСТ 11872-80 стопорят гайки со шлицами при регулировке подшипников качения на валу, внутренний носик отгибается в канавку винта, а наружные лапки – в шлицы гайки; обвязка головок болтов проволокой через отверстия в групповых соединениях с натяжением проволоки в сторону затяжки болтов.



**Рис. 24. Стопорение запирающими элементами**

3. И, наконец, стопорение может выполняться также пластическим деформированием или приваркой после затяжки.

Выше описаны некоторые конструкции гаечных замков (см. рис. 22, б— г). При установке контргайки 2 (рис. 25, а) создается дополнительное натяжение и трение в резьбе, поэтому самоотвинчивание гайки 1 затрудняется. При установке пружинной шайбы (см. рис. 25, г) самоотвинчивание исключается за счет упругости шайбы. Кроме того, упругость этой шайбы значительно уменьшает вибрации гайки. При установке шплинта (рис. 25, б, в) или при обвязке группы болтов проволокой (рис. 25, д) гайка жестко соединяется со стержнем болта (шпильки). Иногда гайки жестко соединяют с деталью с помощью специальной шайбы (см. рис. 22, б), планки (рис. 25, е) и т. п.



**Рис. 25. Конструкции гаечных замков**

### ***Порядок проектирования резьбовых соединений***

1. Материал болта или шпильки выбирают в зависимости от условий работы.
2. Определяют внешние действующие нагрузки.
3. Задают величину коэффициента  $\chi = 0,2 - 0,3$ .
4. Определяют усилие затяжки и величину расчетной нагрузки.
5. Определяют внутренний диаметр болта (шпильки) и округляют до стандартного значения.

6. Выполняют проверочный расчет, где определяют податливость болта и деталей и величину  $\chi$ . Если полученное  $\chi$  близко к выбранному, то расчет заканчивают, если разница значительная, то расчет повторяют с новым значением  $\chi$ .

**Практическое занятие № 25**  
**Валы и оси. Расчет на прочность, жесткость.**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Вал.
2. Ось
3. Расчет валов и осей на прочность.
4. Расчет на жесткость.

**Практическое занятие № 26**  
**Опоры.**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Подшипники скольжения
2. Опоры на центрах
3. Подшипники качения.
4. Направляющие.
5. Смазка опор и направляющих
6. Уплотнения

**Практическое занятие № 27**  
**Муфты.**  
**Упругие элементы (пружины).**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Муфты
2. Упругие элементы
3. Пружины

**Практическое занятие № 28**  
**Редукторы**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Редукторы
2. Расчет редукторов

**Практическое занятие № 29**  
**Стандартные детали**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Стандартные детали
2. Расчет стандартных деталей

**Практическое занятие № 30**  
**Кнопки, рукоятки, таблички для приборов.**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Кнопки

2. Рукоятки
3. Таблички для приборов

**Практическое занятие № 31**  
**Условные знаки на приборах**

Вопросы для подготовки к семинару:

1. Условные знаки на приборах
2. Условные знаки - стандарты

**6 семестр**  
**Практическое занятие № 32**  
**ТИПОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИЙ**

Задачи:

1. Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
2. Подготовиться к семинару.
3. Ответить на контрольные вопросы.

***Теоретическая часть***

**Классификация механизмов и конструкций. Основные типы конструкций**

Знание типологии конструкций необходимо для ориентации проектировщика относительно места новой разработки в ряду подобных, позволяет избежать ошибок принципиального плана и открывает возможность решения некоторых сложных задач по аналогии - на основе использования опыта поколений проектировщиков.

Как классифицировать конструкции? Исследователи предлагают самые разные принципы деления на классы, типы и т.д. Различают конструкции и по материалу и технологии изготовления: деревянные конструкции, гнутоклееные; или детали литые, прессованные, штампованные.

**Основные типы конструкций, пространственная структура.**

**- с пространственной схемой (монолитные и решетчатые)**

Монолитные конструкции – практически «бесшовные». Обладают надежностью, долговечностью.

Решетчатые конструкции — фермы, мачты, башни — изготовляют преимущественно из прокатных элементов; гнутые и сварные профили используют в меньшей степени. К решетчатым конструкциям относят также арматуру железобетона — сетки, плоские и пространственные каркасы.

**- с обособленным объемом (каркасные, кожух, корпус, футляр)**

Каркас выполняет несущие функции.



**Рис. 1. Каркас**

Кожух обычно выполняется из железа или дерева. Служит для изоляции машин, их частей или частей заводского оборудования. Часто служит для защиты от внешнего воздействия.

Чехол - крышка или оболочка из материи или другого материала, сделанная по форме какого-либо предмета и защищающая его от порчи, загрязнения и т. п.

**- смешанного типа**

**Специфические типы конструкций - консольные, трансформирующиеся (кинетические), модульные (агрегатно-блочные, вариантно-комбинаторные), мобильные и др.**

Балка, у которой только одна сторона жестко соединена с опорой, называется консольной, для просто **консолью**.

В строительной практике широко распространены отдельно стоящие опоры с консолями, используемые при изготовлении конструкций навесов и козырьков. На практике консольный козырек на опорах часто прикрепляется в верхней части к стене здания с помощью оттяжки. Иногда для обеспечения устойчивости консольных конструкций используют подкосы. Сочетание консоли с подкосами имеет место в конструкциях трибун. Подкос, который противодействует опрокидыванию козырька, часто служит и для устройства зрительных мест. Роль подкоса, удерживающего консольную конструкцию, может выполнять другая консоль, которая имеет вынос в противоположном направлении по отношению к первой.

**Трансформация** – преобразование, превращение, изменение вида, формы, каких-либо существенных форм.

Основная цель трансформации зданий и сооружений: обеспечение их приспособляемости (адаптации) к изменяющимся условиям эксплуатации и требованиям к архитектурно-планировочной организации

Преимущества трансформирующихся конструкций:

- совмещение в единой конструкции составляющих основ ограждения пространства: стены, перекрытия, кровли.
- повышение надёжности создаваемой конструкции за счёт её подвижности и формы, что позволит воспринимать нагрузки разного типа.
- способность конструкции принимать разнообразные формы, не теряя своей прочности.

**Модульность.** Основными целями модульного (МК) и базового (БК) принципов конструирования новой техники является улучшение эксплуатационных свойств, сокращение сроков разработки и постановки на производство, создание условий для организации специализированных производств составных частей изделий.

Сущность МК состоит в создании изделий на основе специально разработанной ограниченной номенклатуры модульных составных частей путем их различной компоновки по выбранным компоновочным схемам. Создание новой техники путем МК основано на рациональной унификации присоединительных размеров и главных параметров модульных составных частей и обеспечении их функциональной и конструктивной совместимости.

Предпосылками использования МК и БК при разработке новой техники служат: наличие однотипных составных частей в изделиях ряда; принадлежность составных частей соответствующим типоразмерным рядам; возможность подчинения габаритов, присоединительных размеров составных частей установленному проектному модулю.

Основным принципом построения модульных конструкций является системный подход, при котором совокупность изделий, предназначенных для решения определенных задач, рассматривается как сложная система, состоящая из ряда функциональных подсистем, общих для всех или большинства изделий.

Каждая такая подсистема может рассматриваться как унифицированная составная часть изделия. В свою очередь подсистема может разбиваться на функционально законченные устройства второго уровня деления и т.д. Таким образом, в общем случае может иметь место многоуровневое МК изделий.

Особенность модульных составных частей заключается в подчинении их габаритов и присоединительных размеров установленному проектному модулю.

Основные принципы построения модульных конструкций изделий:  
преимущество конструктивных и технологических решений;  
многократная конструктивная и технологическая обратимость модульных составных частей;  
совместимость по габаритным, установочным и присоединительным размерам, которые должны соответствовать проектному модулю или быть кратным ему;  
максимально возможная взаимозаменяемость модульных составных частей;  
возможность различной компоновки модульных составных частей между собой с целью получения конструкций изделий различного назначения и структуры.  
Построение модульных конструкций может осуществляться путем:  
комплектования изделий из унифицированных модульных составных частей;  
комбинирования унифицированных модульных составных частей со сборочными единицами специального назначения (оригинальными составными частями);  
последовательного наращивания унифицированных модульных составных частей с целью изменения основных характеристик изделий.  
Конструирование изделий на основе модульного принципа, как правило, осуществляется с применением САПР.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 33

### ТИПЫ КОНСТРУКЦИЙ И СОЕДИНЕНИЙ

Задачи:

1. Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
2. Подготовиться к семинару.
3. Ответить на контрольные вопросы.

Представленная ниже классификация предложена В.В.Нешумовым и группой московских исследователей. В основу положены различия конструкций во взаимосвязи между их элементами - характер расположения, тип взаимодействия и способ соединения, крепления частей, узлов и деталей.

**Разъемные (сборно-разборные) и неразъемные:**

- **Разъемные соединения (резьбовые, шпоночные, шлицевые, штифтовые);**
- **Неразъемные соединения (заклепка, гибка, натяг, пайка, склеивание, заформовка);**

Разъемными называются такие соединения, которые позволяют производить многократную сборку и разборку сборочной единицы без повреждения деталей. К разъемным неподвижным соединениям относятся резьбовые, штифтовые, шпоночные, шлицевые, а также соединения, осуществляемые переходными посадками. Разъемные подвижные соединения имеют подвижные посадки (посадки с зазором) по цилиндрическим, коническим, винтовым и плоским поверхностям.

Неразъемными называются такие соединения, которые могут быть разобраны лишь путем разрушения или недопустимых остаточных деформаций одного из элементов конструкции. Неразъемные неподвижные соединения осуществляются механическим путем (запрессовкой, склеиванием, загибкой, кернением и чеканкой), с помощью сил физико-химического сцепления (сваркой, пайкой и склеиванием) и путем погружения деталей в расплавленный материал (заформовка в литейные формы, в пресс-формы и т. п.)

**Составные (наборные, сварные, клеевые, клепанные) и монолитные (литые);**  
**. Статичные и кинетичные (трансформируемые);**  
**Каркасные (в т.ч. рамные).**

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 34

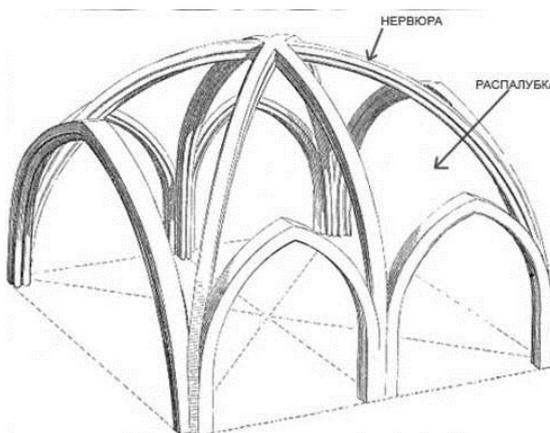
**Оболочковые конструкции (в т.ч. щитовые, панельные, сводчатые и заполненные силовыми пространственными решетками с элементами поперечными - нервюрами, шпангоутами и продольными лонжеронами, стрингерами)**

Задачи:

1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.

2 Подготовиться к семинару.

3 Ответить на контрольные вопросы.



**Шпангоут** - (голл. *spanthout*, от *spannt* — балка, ребро и *hout* — дерево) — основной поперечный элемент силового набора ЛА; обеспечивает форму и жёсткость сечения и передаёт местные сосредоточенные нагрузки на оболочку или др. силовые элементы. Обычно устанавливается перпендикулярно к оси агрегата ЛА или под углом действия сосредоточенной нагрузки, имеет, как правило, форму, соответствующую форме оболочки. Различают Ш. типовые (обеспечивают жёсткость контура) и силовые (служат для передачи сосредоточенных нагрузок).

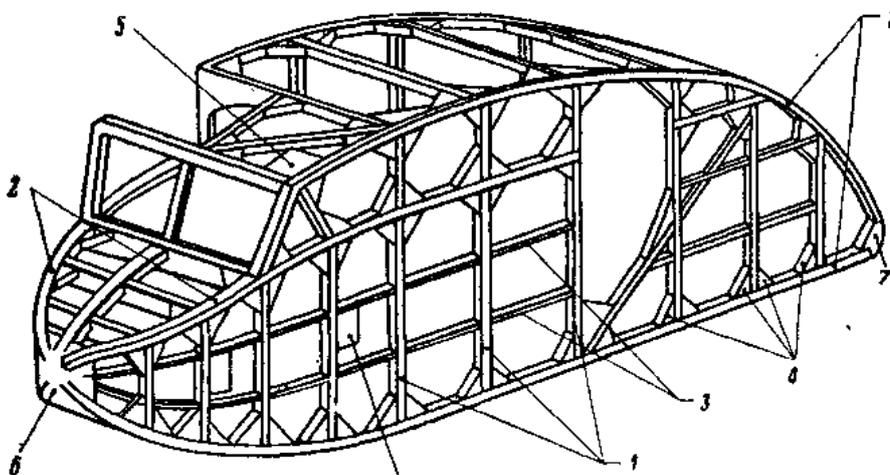
**Типовые Ш.** подразделяются на подкрепляющие (обшивка крепится только к *стрингеру*) и распределяющие (обшивка крепится к шпангоуту и стрингеру); выполняются в виде гнутого обода, соответствующего контуру оболочки.

**СТРИНГЕР** (англ. *stringer*, от *string* - привязывать, скреплять) - прод. элемент конструкции корпуса (каркаса) судна, ЛА, вагона и т. п. в виде листовой или тавровой балки, стенка к-рой перпендикулярна к обшивке корпуса. В *наборе* корпуса судна различают днищевой, скуловой, бортовой и палубный С. Палубным С. называют утолщ. крайний (примыкающий к борту) пояс палубного настила.

**Силовые Ш.** бывают стеночные, форменные, рамные, в виде подковообразных балок и т. д.; размещаются по краям вырезов в обшивке (под двери, люки и т. д.), в местах крепления крыла, шасси, силовой установки, оперения, по торцам грузоотсеков и т. п. Сдвоенные Ш., используемые по разъёмам агрегатов, называются стыковыми; Ш., устанавливаемые на части длины контура оболочки, называются полушпангоутами. Шаг Ш. выбирается на основе расчёта общей жёсткости оболочки. В местах пристыковки основных агрегатов силовой установки, крыла, шасси и оперения шаг Ш. может нарушаться (в этом случае он определяется расстояниями между узлами крепления стыкуемых агрегатов).

Силовая схема Ш. выбирается из условий его нагружения и общей компоновки агрегата. При действии больших сосредоточенных нагрузок в плоскости Ш. предпочтитель-

на схема стеночного Ш. При наличии во внутреннем объёме фюзеляжа силовой установки, грузовой или пассажирской кабины высота Ш. ограничена их размерами, и Ш. может быть выполнен в виде кольца или подковы, работающих, как правило, на изгиб. В гермокабинах высокоресурсных пассажирских самолётов Ш. обеспечивает сохранение формы оболочки и воспринимает часть растягивающей нагрузки от внутреннего избыточного давления.



**Каркас аэросаней**

- 1- Шпангоуты, 2 – Главные стрингеры, 3 – Вспомогательные стрингеры, 4 – Угловые упоры, 5 – Заполнение.

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Понятие оболочковых конструкций.
2. Области применения оболочковых конструкций.

**Оболочковые (в т.ч. щитовые, панельные, сводчатые и заполненные силовыми пространственными решетками с элементами поперечными - нервюрами, шпангоутами и продольными лонжеронами, стрингерами);  
Закрытые, открытые и полукрытые**

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

**Оболочка** - тонкостенная пространственная система, очерченная по криволинейной поверхности. Др. определение - это тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми, называемое толщиной, мало по сравнению с другими размерами. Оболочка способна выдержать самые разнообразные виды нагрузок, обеспечивает изоляцию от окружающей среды, легко обтекается потоком воздуха или жидкости, при этом она самая выгодная в отношении массы.

Примеры: более 200 лет использовался паровой котел, в н.в. - корпус искусственного спутника Земли, железнодорожная цистерна, трубопроводы, резервуары для жидких и газообразных продуктов, элементы сводчатых перекрытий, резиновый мяч или надувной матрас, стакан и т.д. В живой природе: панцирь черепахи, скорлупа яйца, морские раковины, стебли злаковых.

**Закрытые, открытые и полукрытые.**

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 35**

**Автономные, блокированные (в т.ч. встраиваемые)**

**Стационарные, мобильные и портативные (см. плакаты)**

Мобильные и портативные конструкции все шире входят в нашу жизнь. Они легки, удобны для перевозки, хранения.

**Тяжелые (материалоемкие) и облегченные, мало-, средне- и крупногабаритные.**

#### **Задание**

- 1 Изучить основные типы пространственной структуры конструкций.
- 2 Для каждого типа конструкций подобрать изделие изготовленное по этому принципу.
- 3 Произвести описание изделия.
- 4 Выполнить технический рисунок к каждому типу.
- 5 Предложить замену типа конструкции на другую.

#### **Вопросы для самопроверки**

- Какой элемент конструкции называется «стрингер»?
- Какой элемент конструкции называется «шпангоут»?
- Назначение шпангоута?
- Какие конструкции носят название оболочковых?
- Основные принципы построения модульных конструкций изделий?

## БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ. САПР

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

### Теоретическая часть

#### Рациональные приемы конструирования.

Вырабатываются творческой практикой, фиксируют проектный опыт, находятся в постоянном развитии. Некоторые из них тотально применимы, некоторые имеют избирательное применение.

А) Применение проектных модельно-графических средств.

■ графические изображения конструктивных разрезов и сечений несут большой объем информации: о габаритах комплектующих узлов и компоновочной схеме, о структурной сложности объекта и специфике его деталей, о порядке их пространственно-силового взаимодействия и способе крепления, об использованных материалах. Это чертежный способ конструирования, выполняется в масштабе (1:1, 1:2, 1:5, 1:10 и т.д.) с обозначением основных размеров по правилам машиностроительного черчения. Иногда дизайнер дополнительно вводят тональные заливки, т.е. палитра выразительных, модельно-графических средств конструирования у дизайнера несколько шире, чем у инженера.

Б) Вариантный проектный поиск проявляется в рабочих эскизах узлов и деталей.

#### *Некоторые общие приемы конструирования:*

■ определение габаритов конструкции как антропометрически обоснованных (посредством применения соматографических моделей) и рациональное ограничение компоновок и типоразмеров конструкций (в автомобилестроении, мебели, станкостроении, приборостроении).

■ параллельная проектно-графическая разработка ортогоналей ряда объектов как структурных элементов единого комплекса по одной модульной сетке (модульная координата линейно-геометрических параметров конструкций).

■ назначение предельных размеров конструктивных деталей как технологически обусловленных: в соответствии с габаритами гальванованн, сушильных шкафов, монтажных столов, складских стеллажей, дверных проемов).

■ максимальное упрощение геометрии формы функциональных узлов как конструктивных блоков - модулей с целью увеличения их компоновочных, вариантно-комбинаторных возможностей.

■ каркасно-панельное исполнение корпуса (кожуха) крупных конструкций и бескаркасное исполнение малогабаритных конструкций в несущих корпусах (литых, прессованных, цельносварных).

■ оптимизация теплового режима работы конструкций: разработка вентиляционных решеток и каналов, радиаторов охлаждения и систем принудительной вентиляции.

■ конструктивная защита, блокировка энергоопасных зон, изолированная компоновка гидравлической и электрической систем конструкции

■ необходимое и достаточное резервирование конструктивных объемов и рациональное дублирование отдельных функциональных узлов - модулей.

■ скрытый конструктивный крепеж лицевых панелей управления и их структурных элементов, устраняющих из поля зрения человека-оператора «визуальные» шумы.

■ использование малотеплопроводных (дерева, натуральной кожи), гигиенических и мягких отделочных материалов (на поролоновой основе) в оперативно-контактной части конструкций (мебели, пультов, кабин транспортных средств).

### **Общие правила конструирования**

При создании машин следует придерживаться следующих правил:

- подчинять конструирование задаче увеличения экономического эффекта, определяемого в первую очередь полезной отдачей машины, ее долговечностью и эксплуатационными расходами за весь период использования машины;
  - добиваться максимального повышения полезной отдачи путем увеличения производительности машин и объема выполняемых ими операций;
  - добиваться всемерного снижения расходов на эксплуатацию машин уменьшением энергопотребления, стоимости обслуживания и ремонта;
  - максимально увеличивать степень автоматизации машин с целью увеличения производительности, повышения качества продукции и сокращения расходов на труд;
  - увеличивать долговечность машин;
  - предупреждать техническое устаревание машин, обеспечивая их длительную применимость, закладывая высокие исходные параметры, предусматривая резервы развития и совершенствования;
  - закладывать в машины предпосылки интенсификации их использования путем повышения универсальности и надежности;
  - предусматривать возможность создания производных машин на основе базовой;
  - стремиться к сокращению числа типоразмеров машин, добиваясь удовлетворения потребностей народного хозяйства минимальным числом моделей путем рационального выбора их параметров и повышения эксплуатационной гибкости;
  - учитывать ремонтпригодность машин, заменять восстановительные ремонты комплектацией сменными узлами, устранять капитальные ремонты;
  - трущиеся поверхности не располагать на корпусах деталей, выполнять на отдельных, легко заменяемых деталях;
  - выдерживать принцип агрегатности, обеспечивать полную взаимозаменяемость деталей, исключить пригонку деталей по месту;
  - исключать операции регулировки деталей по месту, предусматривать в конструкции элементы, обеспечивающие правильную установку деталей при сборке;
  - обеспечить высокую прочность деталей и машин, не увеличивая массу (рациональные формы деталей, материал повышенной прочности, введение упрочняющей обработки);
  - повышение циклической прочности деталей, придавать деталям рациональные по сопротивлению усталости формы и т.д.;
  - в машины, узлы, работающие при циклических и динамических нагрузках, вводить упругие элементы, смягчающие толчки и колебания нагрузки;
  - придавать высокую жесткость целесообразными способами (применение пустотелых и оболочковых конструкций, рациональное расположение опор и ребер жесткости);
  - увеличивать надежность машин, добиваясь их полной безотказности;
  - делать машины простыми в обслуживании, устранять периодические регулировки, выполнять механизмы в виде самообслуживающихся агрегатов;
  - предупреждать возможность перенапряжения машины в эксплуатации, вводить предохранительные устройства;
  - устранять возможность поломок и аварий в результате неумелого обращения с машиной; максимально автоматизировать управление машиной;

- исключать возможность неправильной сборки, вводить блокировки, допускающие сборку только в нужном положении;
- устранять периодическую смазку, обеспечивать непрерывную автоматическую подачу смазки к трущимся соединениям;
- избегать открытых механизмов и передач, заключать механизмы в закрытые корпуса, предотвращающие проникновение грязи, пыли и влаги;
- обеспечивать надежную страховку резьбовых соединений от самовывинчивания;
- предупреждать коррозию деталей, применять стойкие лакокрасочные и гальванические покрытия, коррозионно-стойкие материалы;
- уменьшать массу машин путем увеличения компактности конструкций, применением рациональных кинематических и силовых схем, устранение невыгодных видов нагружения, замены изгиба растяжением-сжатием, путем применения легких сплавов и неметаллических материалов;
- упрощать конструкцию машин, избегать сложных многодетальных конструкций;
- заменять, где возможно, механизмы с поступательно-возвратным прямолинейным движением более выгодными механизмами с вращательным движением;
- обеспечивать максимальную технологичность деталей, узлов и машины;
- сокращать объем механической обработки, предусматривая изготовление деталей из заготовок с формой, близкой к окончательной форме изделия, заменять механическую обработку более производительными способами обработки без снятия стружки;
- максимальная унификация машины;
- расширять применение стандартных деталей;
- не применять оригинальных деталей и узлов, если можно обойтись стандартными, унифицированными, заимствованными и покупными;
- экономить дорогостоящие и дефицитные материалы;
- детали, ключевые для надежности машины, выполнять из качественных материалов, применять совершенные технологические процессы;
- придавать машине простые и гладкие внешние формы, облегчающие уход за машиной;
- улучшать внешнюю отделку машин;
- делать доступными и удобными для осмотра узлы, нуждающиеся в периодической проверке;
- обеспечивать безопасность персонала, автоматизацию рабочих операций, установка защитных ограждений;
- в машинах-автоматах обеспечивать возможность ручной работы;
- в машинах с электроприводом учитывать возможность неправильного включения двигателя, обеспечивать возможность реверсной работы машины или вводить предохранительные устройства;
- тщательно изучать опыт эксплуатации машин и оперативно вводить в конструкцию исправление дефектов;
- обеспечивать конструктивный задел, подготавливая выпуск новых машин с более высокими показателями на смену устаревшим;
- изучать тенденции развития отраслей народного хозяйства, вести перспективное проектирование;
- все новые узлы и механизмы проверять с помощью экспериментов, моделирования;
- шире использовать опыт смежных, в нужных случаях и отдаленных по профилю отраслей машиностроения.

### **Экономические основы конструирования.**

**Экономичность** конструкций - показатель комплексный, формируется при учете затрат не только производственных (трудозатрат, энергозатрат, стоимости материалов и комплектующих), но и расходов транспортных, пуско-наладочных, эксплуатационных, ремонтных за весь период работы машины. Проектировщик стремится способен находить пути повышения экономической эффективности создаваемых конструкций, их полезной отдачи при снижении производственной себестоимости и эксплуатационных расходов.

*Годовой эффект* от работы машины:

$$Q = Ot - P,$$

От - годовая отдача, руб/год;

P - сумма эксплуатационных расходов, руб/год. Складывается из стоимости расходуемой энергии, материалов и заготовок, инструмента, оплаты труда, технического обслуживания, ремонта, накладных цеховых и заводских расходов, амортизационных расходов.

*Рентабельность*  $q = Ot/P$ .

Величина  $q$  д.б. больше 1, иначе машина будет работать убыточно, смысл ее существования утрачивается.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 37**

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

### **Долговечность.**

Долговечность - общее время, которое машина может отработать на номинальном режиме в условиях нормальной эксплуатации без существенного снижения основных расчетных параметров, при экономически приемлемой суммарной стоимости ремонтов. Т.е. общее число операций, которое машина может произвести до предельного износа. Так, долговечность автотранспорта определяется по предельному суммарному пробегу в километрах, почвообрабатывающих машин - по количеству обрабатываемых гектаров почвы.

Долговечность зависит от правильной конструкции машины (в том числе правильного выбора материала, расчетной прочности), условий и технического уровня эксплуатации (квалифицированный уход, своевременная профилактика, предупреждение перегрузок, коррозии может повысить долговечность).

Срок службы - продолжительность пребывания машины в эксплуатации (в годах) до истощения ее ресурса эксплуатации.

### **Надежность.**

Надежность складывается из следующих признаков: долговечность, безотказность, безаварийность, простота обслуживания, ремонтпригодность, степени тяжести отказов, стоимость работ, необходимых для устранения отказов.

Способы повышения надежности: простота устройства (минимум деталей, узлов и соединений), оптимальность конструктивной схемы, качество конструкционных материалов, сварных швов, отливок, теплостойкость и антикоррозионная стойкость, прочность и жесткость конструкций. В целях повышения жесткости и прочности без увеличения масс применяют рациональные профили и формы, правильные схемы нагружения. Условия правильной эксплуатации должны быть заложены в самой конструкции, системе смазки, автоматизации управления.

### **Стандартизация и взаимозаменяемость.**

Унификация, стандартизация и агрегатирование имеют цель: достижение экономического эффекта и повышение качества промышленной продукции, рациональное сокращение ее номенклатуры и оптимизацию ассортимента; развитие высокотехнологичных специализированных производств комплектующих изделий, сокращение сроков проектирования и производства новой техники, упрощение ее ремонта и достижение взаимозаменяемости деталей.

В России разработана и действует Государственная система стандартизации (ГОСТ 1.0-68 - ГОСТ 1.5-68), состоящая из комплекса взаимоувязанных стандартов, определяющих организацию и методику проведения стандартизации в стране. Установлены государственные стандарты (ГОСТ), отраслевые стандарты (ОСТ), стандарты предприятий (СТП).

**Стандартизация** в технике, машиностроении - регламентирование конструкции и типоразмеров широко применяемых деталей, узлов, агрегатов; стандартизируют типовые для данной отрасли детали и узлы. Государственные стандарты определяют общетехнические требования к выпускаемым изделиям и материалам - к их форме, размерам, типам, видам, маркам, артикулам, ассортименту, сортаменту. Технические условия и нормали различных ведомств и отдельных предприятий обязательны к применению лишь в их пределах. В отличие от стандартов, нормали обязательно предусматривают конструктивные и размерные характеристики деталей, узлов машин.

С нормами и специфическими техническими условиями дизайнер встречается каждый раз в момент ознакомления с проектным заданием, где они обязательно упоминаются. Со стандартами - еще чаще, на каждом проектом шагу: при выборе сортамента конструкционного материала, лакокрасочных покрытий, при применении стандартных соединений (сварных, заклепочных, крепежных, резьбовых, шлицевых, фланцевых и др.), при оформлении чертежей. Стандарты не сковывают творческую инициативу дизайнера, но рационально дисциплинируют проектное мышление, направляя его в русло реализма, технологической и экономической целесообразности.

Массовое и крупносерийное производство осуществляется на основе принципа взаимозаменяемости. **Взаимозаменяемость** - принцип конструирования, производства и эксплуатации изделий, который позволяет независимо изготовленные детали без дополнительной обработки (без пригонки деталей по месту) собирать в машины и приборы и получать готовые изделия с оптимальными значениями эксплуатационных показателей. В широком смысле взаимозаменяемость означает постоянство геометрических, кинематических, механических, электрических, оптических и др. параметров, определяющих качество готовых изделий.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Понятие долговечность.
2. Понятие надежность.
3. Понятие стандартизация.
4. Понятие взаимозаменяемость.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 38**

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

### **Унификация.**

Унификация состоит в многократном применении в конструкции одних и тех же элементов, что способствует сокращению номенклатуры деталей, уменьшению стоимости изготовления, упрощению эксплуатации и ремонта.

*Унификация конструктивных элементов:* резьбовых, шлицевых, щпоночных соединений, фасок, галтелей - позволяет сократить номенклатуру обрабатываемого и мерительного инструмента. *Унификация деталей и узлов* может быть «внутренней» и «внешней». В первом случае унифицируются оригинальные детали и узлы в пределах данного изделия, во втором - заимствуются детали серийно изготавливаемых промышленных изделий, что дает наибольший экономический эффект. Для дизайн-практики характерна реализация принципа «внутренней» унификации конструктивных элементов проектируемого объекта, что позволяет получать оригинальные и выразительные композиционные решения отдельных промышленных изделий и комплексов. В дизайнерском конструировании принципу унификации конструктивных элементов отводится особая, визуально-интегрирующая и стилеобразующая роль. На его основе дизайнеры успешно решают сложные художественно-композиционные, технико-экономические задачи, включая разработку ансамблей и оригинальных, острохарактерных фирменных стилей промышленной продукции. Т.о., специфика дизайнерского конструирования, его отличие от инженерного конструирования наиболее явно проявляется именно в этом плане - в различном профессиональном отношении к проектным возможностям унификации и к выразительным композиционным возможностям технологии, конструкции и ее элементов.

В н.в. существует несколько направлений унификации: секционирование (разделение машины на секции и образование производных машин набором унифицированных секций), метод базового агрегата (присоединение к нему специального оборудования), модифицирование (приспособление машины к иным условиям работы, например, тропическое исполнение, для работы на морском транспорте), агрегатирование и др.

### **Агрегатирование.**

Унификация, нормализация и стандартизация конструктивных элементов создают предпосылки для проектно-производственной реализации прогрессивного принципа агрегатирования. Материальной базой агрегатно-блочного конструирования промышленных изделий становятся изготовленные на специализированных предприятиях и проверенные в эксплуатации комплектующие элементы. Это могут быть геометрически согласованные и размерно совместимые автономные конструктивные узлы, функциональные блоки-модули, секции и детали (унифицированные, типовые, нормализованные, стандартные). Их осмысленная, целенаправленная пространственная компоновка на общей станине в различных сочетаниях и с разным функциональным эффектом способна породить необходимые новые, конструктивно преемственные технические устройства. Этот рациональный подход к техническому структурообразованию нашел широкое применение в различных отраслях промышленности: автомобилестроении, станкостроении, дизайне кинофотоаппаратуры.

### **Моноблочное и модульное конструирование.**

Компактные моноблочные, комбайновые конструкции, интегрирующие в едином конструктиве различные функциональные блоки. При этом сокращаются внутренние коммуникации, снижаются металлоемкость конструкций и расход лакокрасочных материалов, упрочняются конструктивные связи и повышается удобство обслуживания.

Полиблочные, модульные конструкции. Проще ремонтное обслуживание и периодическая модернизация, возможны разнокомплектная поставка, последовательные конструктивные приращения и оперативная пространственная перекомпоновка как адаптация к эксплуатационной среде, а также унификация типоразмеров корпуса и несущего основания разных функциональных модулей.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Понятие унификация
2. Понятие агрегатирование.
3. моноблочное проектирование.
4. модульное конструирование.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 39**

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

#### **Универсализация.**

Позволяет расширить функции машины, увеличить диапазон выполняемых ими операций, расширить номенклатуру обрабатываемых деталей, сократить число объектов производства. Например, универсализации хорошо поддаются сельхозмашины - оснащая навесным или прицепным оборудованием, можно создать многофункциональную машину.

#### **Ряды предпочтительных чисел.**

ГОСТ 8032-84 устанавливает пять рядов предпочтительных чисел со знаменателем прогрессии  $\varphi = \sqrt[n]{10}$ . Степени n приняты 5, 10, 20, 40, 80. Например:

ряд R5: 1; 1.6; 2.5; 4; 6.3; 10

ряд R10: 1; 1.25; 1.6; 2; 2.5; 3.15; 4; 5; 6.3; 8; 10 и т.д.

На базе основных рядов разработаны ряды нормальных линейных размеров (ГОСТ 6636-69), охватывающие линейные размеры в интервале 0,001 - 20000 мм.

Применение стандартных линейных размеров целесообразно для поверхностей, подвергаемых точной механической обработке, для посадочных поверхностей, что способствует стандартизации режущего и мерительного инструмента. На основании нормальных линейных размеров устанавливают ряды диаметров проволоки, прутков, толщины листового проката и др.

#### **Принцип функциональной целесообразности.**

Создаются высокопроизводительные узкоспециализированные или полифункциональные, универсальные машины и механизмы. Бытовые приборы и мебель совмещенных функций. Проектировщик заботится о надежности функционирования, высоком техническом ресурсе, превосходящем прототипы и аналоги по технико-экономическим и эксплуатационным показателям. Практикуется преимущество конструкций, обладающих ресурсами совершенствования, потенциалом развития.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Универсализация.
2. Ряды предпочтительных чисел.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 40**

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

### **Моральное старение.**

Необходимо предупреждать техническое устаревание машин, обеспечивая их длительную применяемость, закладывая высокие исходные параметры, предусматривая резервы развития и последовательного совершенствования.

Форма есть отражение духа времени. Любая форма изделия рано или поздно стареет морально. Предмет не должен морально стареть раньше, чем будут полностью использованы его технические и физические возможности. Сроки службы и назначение у изделий различные, поэтому к проектированию их формы необходимо подходить дифференцированно. Форма изделий, срок службы которых непродолжителен, может в большой степени отражать черты моды, например, в обувной или швейной промышленности. Формы изделий длительного потребления, предназначенные для утилитарных потребностей, должны быть сдержанными и нейтральными, что позволяет им не стареть морально в течение всего времени службы.

### **Критерии качества. Аттестация изделий.**

**Качество продукции** — оценка потребителем степени соответствия её свойств индивидуальным и общественным ожиданиям, обязательным нормам в соответствии с ее назначением.

Для оценки уровня качества продукции используют набор показателей качества, который позволяет оценить существенные для потребителя свойства продукции по некоторому заданному критерию. Свойство является особенностью продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации или потреблении, без оценивания важности этого свойства для потребителя (например, технический уровень продукции).

Для обеспечения высокого качества продукции с низкими издержками в крупномасштабном производстве не достаточно контроля качества, необходимо создание в организации система менеджмента качества.

Аттестация продукции проводится в соответствии с утвержденным "Порядком аттестации промышленной продукции по двум категориям качества" (далее Порядок аттестации).

Порядок аттестации устанавливает единые и обязательные для всех министерств и ведомств правила аттестации продукции по высшей и первой категориям качества.

Аттестации по двум категориям качества подлежат вся выпускаемая предприятиями и организациями промышленная продукция, содержащаяся в классификаторе промышленной и сельскохозяйственной продукции, за исключением той продукции, которая включена министерством - изготовителем в "Перечень продукции, не подлежащей аттестации".

Объектом аттестации является товарная промышленная продукция, как отдельное изделие, материал, вещество, так и их группировка. Если продукция образует установленный стандартом или техническими условиями типоразмерный (параметрический) ряд и выпускается одним предприятием по одному нормативно-техническому документу, то такая продукция аттестуется как один объект по типовому представителю этого ряда, характеризующему качество всех аттестуемых изделий ряда. Необходимым условием является стабильность уровня качества всех членов ряда.

Другим случаем группировки изделий является совокупность различных изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение и выпускаемых одним предприятием в комплектах, наборах и т.д. (например, гарнитур мебельных изделий, набор слесарных инструментов).

**ПЕРВЫЙ КРИТЕРИЙ** - технико-экономический уровень. Для его оценки аттестуемая продукция сравнивается с лучшими отечественными и зарубежными образцами с учетом перспектив развития техники и технологии. Номенклатура показателей качества, при-

нятых для оценки, методы определения их числовых значений и методы оценки выбираются в соответствии с отраслевыми документами.

**ВТОРОЙ КРИТЕРИЙ** - конкурентоспособность на внешнем рынке.

Главными слагаемыми конкурентоспособности продукции на внешнем рынке являются технический уровень и качество изготовления, характеризующие соответствие новейшим мировым научно-техническим достижениям в области конструирования и технологии, наличие патентной чистоты и патентной защиты, а также зарегистрированный товарный знак. Кроме того, необходимым условием конкурентоспособности является соответствие продукции требованиям стандартов стран-импортеров и их фирм, рекомендациям и стандартам ИСО, МЭК, СЭВ.

**ТРЕТИЙ КРИТЕРИЙ** - стабильность показателей качества. Она базируется на высоком техническом уровне производства, строгом соблюдении технологической дисциплины и высокой культуре производства.

Стабильность или уровень качества изготовления продукции оценивается такими показателями, как индекс дефектности, потери от брака, потери от рекламаций и др.

### **Нормализация**

Нормализация и стандартизация предусматривают установление единых норм по величинам измерений отдельных элементов конструкций унифицированных деталей. Под нормализацией следует понимать установление единых норм и требований к видам, размерам и качеству изделий или их отдельных деталей и узлов, а также к методам изготовления и испытания. Нормализация является разновидностью стандартизации и проводится в масштабах отдельных предприятий или отрасли в целом.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Моральное старение.
2. Критерии качества.
3. Нормализация.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 41**

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

### **Материалы и технология.**

Современный дизайнер может обращаться как к традиционным, так и к новым конструкторским **материалам**. Использование того или иного материала определяется спецификой объекта разработки. Например, при проектировании мебели, садово-парковых сооружений дизайнеры часто обращаются к дереву, при разработке городских скамеек, урн, др. элементов «малой архитектуры» - к железобетону и камню, при разработке изделий машино- и приборостроения - к металлу, при разработке радиоаппаратуры - к пластмассам.

Природные свойства материала выражаются в пластичности или жесткости, гибкости или хрупкости, легкости или тяжести, прозрачности и т.д. Одни материалы хорошо работают в конструкциях с большими статическими нагрузками, другие интересны своими весовыми качествами.

Металл («черный» и цветной) - традиционно является основным конструкционным материалом машиностроения и др. отраслей промышленности. Используется в виде ис-

ходных поковок и отливок, прутка и труб различного диаметра, листового проката, профиля широкого ассортимента и гальванических покрытий.

Примеры наиболее распространенного профиля прокатной стали: швеллеры № 5-12 (т.е. размер по наибольшему измерению от 50 до 120 мм), сталь уголовая (равнобокая и неравнобокая), трубы с наружным диаметром от 10 до 100 мм (толщина стенок от 2 до 5,5 мм), труба квадратная со стороной сечения от 12 до 42 мм, толщиной стенок от 0,8 до 3 мм.

Получили распространение сложного сечения (ячеистые, сотовые) профили из легких алюминиево-магниевого и титановых сплавов. Новый конструкционный материал - многослойный металлопласт, выпускаемый в виде сплошных или перфорированных стальных листов, покрытых пластмассовой защитно-декоративной пленкой (полиэтиленом, поливинилхлоридом толщ. 0,2-0,3 мм).

Листовые конструкционные материалы (сталь, дюралюмины, металлопласты, сополимеры, оргстекло) применимы при создании крупных тонкостенных (рамных, коробчатых, оболочковых) конструктивных деталей - менее массивных, но не менее прочных, чем литые. Это - несущие шасси и каркасы, внешние облицовки, панели, щитки, кожухи, емкости, обтекатели и т.п.

Из неметаллических материалов важнейшим конструкционным материалом современной техники стали пластмассы. Они нашли широкое применение в электро- и радиотехнике, приборостроении, автомобилестроении, судостроении и химическом машиностроении, в производстве деталей изделий культурно-бытового назначения.

Многие пластики обладают непревзойденными электроизоляционными свойствами, высокой химической стойкостью и износостойкостью, устойчивостью к атмосферным воздействиям и хорошей теплоизоляционной характеристикой. Они легко окрашиваются в любой цвет, армируются металлом и стекловолокном, быстро формуется: одним нажатием пресса - из гранул, пресс-порошка или вакуумформованием из листа. Большинство пластмасс недороги, производство их рентабельно (сырье - материалы переработки нефти, газа, угля, древесины, сельхозпродуктов и вторсырья). Использование пластмасс в конструкции легкового автомобиля способно снизить его вес на 30%.

Пластмассы различны по свойствам. Например, полиэтилен не поддается склеиванию; фторопласт - не поддается окраске, не растворяется никакими кислотами, выдерживает температуру свыше 300 градусов; текстолиты абсолютно стойки к воздействию масел и бензина, оргстекло (полиметилметакрилат), неокрашенный полистирол, сополимеры стирола и ацетатцеллюлоза обладают высокими оптическими свойствами, пенополистирол в 20 раз легче пробки, полипропиленовые нити прочнее нейлоновых.

Дизайнер должен учитывать и недостатки пластмасс. Как правило, имеют невысокие механические показатели (прочность, жесткость, твердость), недостаточную тепло- и морозостойкость, низкую стабильность свойств (размеров, цвета) - ускоренно стареют под воздействием нагрузок и ультрафиолетовых лучей. К ударопрочным можно отнести лишь капрон, нейлон, стекловолокниты и некоторые марки полистирола. Некоторые пластмассы гигроскопичны и токсичны, что исключает их применение в бытовой посуде и отделке жилых помещений. Литейные и прессформы для пластмасс дорогостоящие, оправдывают себя лишь при крупносерийном и массовом производстве.

Наиболее употребимы:

- нейлон. Капрон и полипропилен (в панелях приборов и кузовах легковых автомобилей, деталях механизмов);

- поликарбонат (корпуса электроинструмента, измерительных приборов, электроарматура);

- полистирол, сополимеры стирола, аминопласт, полиамид (корпусные детали аудиовидеотехники, бытовых приборов, кинофотоаппаратуры, посуда и канцелярские принадлежности);

■ композитные пластики, т.е. усиленные стеклотканью - в несущих конструкциях оболочкового типа, крупногабаритных изделиях штучного или малосерийного производства (кузовах транспортных средств, корпусах легких судов).

Изделия из пластмасс не нуждаются в антикоррозионной защите, необходимость которой столь характерна для изделий из металла. Конструктивно предотвращая коррозию, продлевают срок службы промышленных изделий, стабилизируют их товарный вид. С этой целью применяют коррозионно-стойкие стали, титановые сплавы, гальванические покрытия (хромирование, никелирование), осаждение химических пленок (оксидирование, фосфатирование, эматалирование) или пленок полимерных, т.е. получают слоистый металлопласт, не требующий окраски. Широко применимы защитно-декоративные лакокрасочные покрытия обширной цветовой гаммы, различных фактур и марок. Наиболее употребительны: эмали автомобильные МЛ-12, эмали марок НЦ-11, НЦ - 25, ПФ, ЭП-51, ХВ - 113, МЛ - 158 «шагрень» и металлизированная эмаль МЛ-1198. При выборе учитывают среду эксплуатации нового изделия (водную или иную), климатические условия (северное или тропическое исполнение), наличие или отсутствие условий для горячей сушки окрашенного изделия, прочностные и иные характеристики марки эмали, отраслевые нормы на окраску продукции.

### **Технологичность конструкций:**

#### **- общие правила технологического формообразования;**

Технологический подход к объекту конструирования (сочетаемый с функциональным и типологическим подходами) диктуется необходимостью создать реально осуществимый проект и базируется на знании возможностей конструкционных материалов, формообразующих и сборочных технологий, приемов конструктивной связи, крепления узлов и деталей. Дизайнер должен хорошо знать материалы и процесс изготовления изделия, предвидеть, прогнозировать технологию изготовления. «Отсутствие знаний о технологии и материалах может привести к таким существенным коррективам во время изготовления изделия, которые сведут на нет самые интересные творческие замыслы».

Технологичность конструкции всегда связана с серийностью, масштабом производства. Технологичность - совокупность признаков, обеспечивающих наиболее экономичное, быстрое и производительное изготовление машин с применением прогрессивных методов. Одно из условий правильного конструирования - с самого начала придавать деталям технологически целесообразные формы. Для этого проектировщик должен точно представлять схему сборки, пооперационный маршрут прохождения деталей и сборочных единиц, осознавать специфику необходимой техоснастки: приспособлений, штампов, пресс-форм. Создание высокотехнологичных промышленных изделий предполагает ориентацию на сокращение трудозатрат, экономию производственных площадей, снижение расходов сырья, материалов и энергетических ресурсов. Предпочтение всегда отдается менее трудоемким, ресурсосберегающим, безотходным и экологически чистым технологиям.

Существует разнообразие возможных способов целенаправленной обработки материалов, технологических приемов формирования конструкции. Например, способы формования пластмасс: прессование, литье под давлением (до 200 отливок в минуту), экструзия (непрерывное выдавливание фасонных профилей сквозь форму-решетку); выдувание, штамповка или вакуум-формование разогретого листового термопласта, сварка и склейка, формование (стеклопластика) по модели болвану; механическая обработка на станках. Большая часть этих способов базируется на способности пластмасс размягчаться и принимать нужную форму под давлением и при высокой температуре.

Относительно пластмасс следует помнить:

■ их механическая обработка непродуцительна и не имеет промышленного применения;

■ сварке подлежат лишь термопластичные пластмассы (исключая реактопласты - текстолит, поликорбанат);

- листы оргстекла выпускаются толщиной не более 20 мм;
- учитывать тип и мощность формовочных машин;
- есть пластмасса, не склеивающаяся никаким клеем, т.е. не вступающая во взаимодействие ни с каким хим. веществом (полиэтилен). Полиэтилен, благодаря своим свойствам, нашел широкое применение при производстве тары, упаковки, изготовлении детских игрушек и т.д.

Хорошими литейными свойствами обладают и цветные металлы, чугун, бетон, гипс. Среди литейных технологий - литье металла в песчаные (земляные) формы, оболочковые (песчано-бакелитовые), чугунные или стальные формы (кокильное литье), центробежное литье во вращающиеся формы (для отливки полых деталей), точное литье под давлением и по выплавляемым моделям (из легкоплавких материалов - парафина). Конструирование литых деталей имеет особенности, вот некоторые из них: модель должна беспрепятственно извлекаться из формы, на ее поверхности не должно быть выступов и углублений, расположенных перпендикулярно к направлению выемки. Для облегчения выемки модели из формы поверхности, перпендикулярной к плоскости разъема, придают формовочные (литейные) уклоны. Следует избегать разъема форм по наклонным и ступенчатым поверхностям, осложняющего изготовление форм.

Механически обрабатываемые детали - наиболее трудоемки и трудны в изготовлении. При их разработке надо предусматривать возможность обработки максимального числа поверхностей при одной операции, на одном станке, с одного установа, одним инструментом.

Детали из листового материала, в зависимости от тиража, формы, габаритов, выполняются либо штамповкой (горячей, холодной), давальными работами (на токарном станке), вакуум-формованием, сваркой, гибкой. Общие правила формообразования изделий из листового материала - получение внешнего радиуса его изгиба, равного не менее чем двум толщинам листа; компенсация недостаточной прочности и жесткости тонколистовых конструкций приданием им скорлупчатой или сводчатых форм, выдавливание рельефов, отбортовка, приварка ребер жесткости.

Широко применяется сварка - дуговая ручная и автоматическая, контактная (точечная и шовная), ультразвуковая, лазерная, сварка в струе нейтральных газов (аргона) и т.д. Среди типичных сварных соединений - стыковые, угловые, нахлесточные. Сварка вызывает внутренние напряжения в металле и поводку его в зоне шва, некоторое ослабление и деформацию конструкции. Следует предельно сокращать протяженность шва, обеспечивать удобный подход электродов к нему.

#### **- рациональный выбор баз. Правильная простановка размеров;**

Базирование - это придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат.

**База** - поверхность (или сочетание поверхностей), ось, точка, принадлежащие заготовке или изделию и используемые для базирования.

Базирование необходимо на всех стадиях создания изделия.

Различают базы: конструкторскую, технологическую, измерительную.

**Конструкторская база** - используется для определения положения детали или сборочной единицы в изделии. Конструкторские базы делятся на основные и вспомогательные. Роль баз учитывается при выборе конструкторских форм поверхностей деталей, задании их относительного положения, простановке размеров, задании норм точности. Основная база - база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения ее положения в изделии. Вспомогательная - принадлежит данной детали или сборочной единице и используется для определения положения присоединяемого к ней изделия.

**Технологическая база** - база, используемая для определения положения заготовки или изделия в процессе изготовления или ремонта.

**Измерительная база** - база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

По лишаемым степеням свободы базы делятся на установочную (лишает заготовку или изделие трех степеней свободы), направляющую (лишает двух степеней свободы), опорную (лишает одной степени свободы), двойную направляющую, двойную опорную.

По характеру проявления базы бывают скрытые (база в виде воображаемой плоскости, оси или точки) и явные.

**- допуски и посадки;**

Основные положения системы допусков и посадок, термины и правила образования изложены в СТ СЭВ 145 - 75.

Действительный размер детали отличается от заданного (погрешности изготовления, износ инструмента, погрешности измерительных приборов и т.д.).

Номинальным называется размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит началом отсчета отклонений. Номинальный размер определяется из расчета на прочность или по конструктивным соображениям. Все номинальные размеры округляются в соответствии с нормальным рядом чисел по ГОСТ 6636-69.

Верхнее предельное отклонение - алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами. Нижнее предельное отклонение - алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальными размерами. Допуск - разность между наибольшим и наименьшими предельными размерами.

Точность размеров определяется величиной допуска - в уменьшении допуска точность повышается. Совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров, называется *калитетом*. При выборе класса точности надо учитывать, что с повышением точности увеличивается стоимость изделия.

При соединении двух деталей образуется *посадка*, определяемая разностью их размеров до сборки, т.е. величиной получающихся зазоров или натягов в соединении. Посадка характеризует свободу относительного перемещения соединяемых деталей и степень сопротивления их взаимному смещению. Посадка может быть с зазором, с натягом, переходная (поля допусков перекрываются, возможны как натяги, так и зазоры). Зазор - разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала. Натяг - разность размеров, если размер вала больше размера отверстия. Существует и является обязательной стандартная система допусков и посадок ( для размеров до 0,1 мм ГОСТ 8809-71, свыше 500 до 10000 мм ГОСТ 2689-54 и др.).

Система допусков и посадок включает две равноправные системы - систему отверстия и систему вала. Система отверстия - совокупность посадок, в которых предельные отклонения отверстий одинаковы, а различные посадки достигаются путем изменения предельных отклонений валов. Данная система предпочтительней, т.к. в случае ее применения уменьшается количество специального режущего и измерительного инструмента. Систему вала применяют, если необходимо обеспечить различный характер сопряжений нескольких деталей с гладким валом, для сборки подшипников качения по наружному кольцу.

Например:  $\varnothing 60h14, \varnothing 60 H14$ .

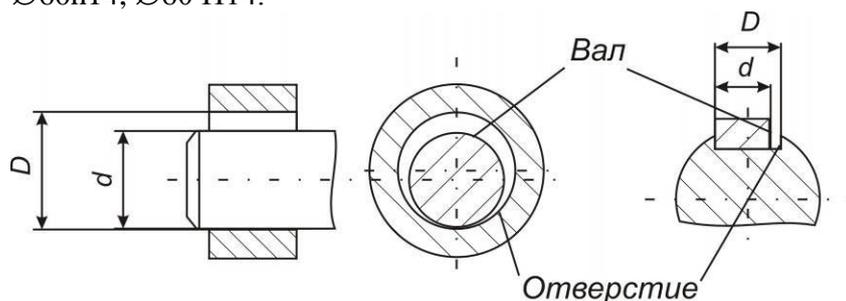


Рис. 1. Охватывающая и охватываемая поверхности



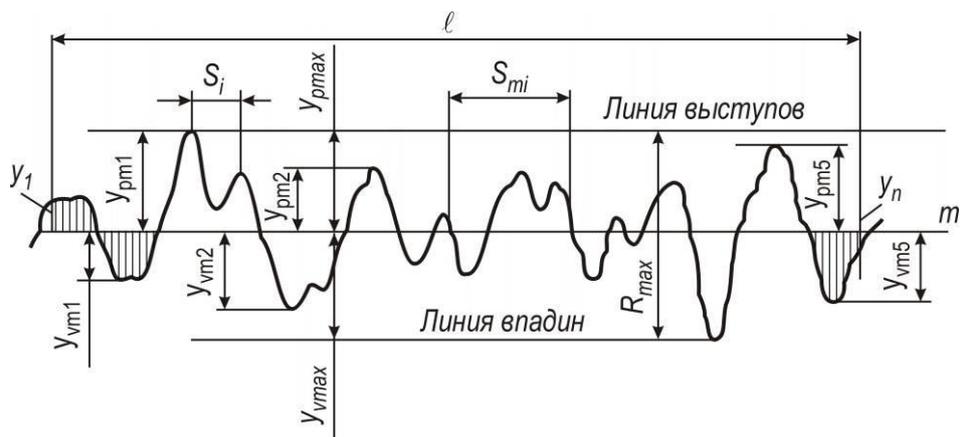


Рис. 3. Профиль шероховатости, его характеристики и параметры

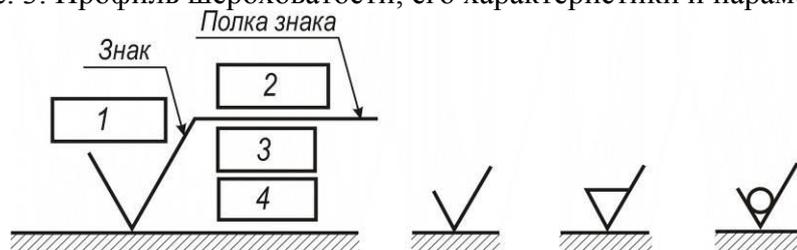


Рис. 4. Структура обозначения шероховатости поверхностей на чертежах

Шероховатость и точность размеров находятся в определенном соответствии. При назначении шероховатости следует пользоваться пособиями.

**- Малая материалоемкость.**

Наибольшее значение масса имеет в транспортном машиностроении, особенно авиации, где каждый лишний килограмм уменьшает полезную грузоподъемность, скорость и дальность действия. Наибольшие возможности экономии заложены в снижении массы изделий массового производства. Уменьшение массы машин означает снижение расхода материала и стоимости изготовления. Конечно, уменьшение массы не является самоцелью, лучше иметь более тяжелую машину, но и более надежную.

Уменьшения материалоемкости добиваются приданием деталям рациональных сечений и форм, целесообразным использованием прочности материалов, применением прочных материалов, рациональных конструктивных схем, устранением излишних запасов прочности, заменой металлов неметаллическими материалами.

**Вопросы для самопроверки:**

1. Технологичность конструкций
2. Базы.
3. Допуски и посадки.
4. Шероховатость.

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 42**

**Задачи:**

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

## **Компактность**

Оптимальная компоновка, прогрессивные кинематические и силовые схемы, новые конструкционные материалы, миниатюризация комплектующих узлов.

Компактность - признак рациональной конструкции, целесообразного использования объема и материала. Компактное и миниатюрное конструктивное решение - не самоцель, а средство. Оно способствует повышению пространственной жесткости и прочности конструкций, экономии материалов и площадей (производственных, складских, эксплуатационных), что позволяет получать конструкции, соразмерные человеку (масштабные), портативные, экономичные и конкурентоспособные.

### **Поиск формы. Форма. Технологическая форма. Автономность формы. Структурность формы**

Формы изделий могут быть сложны и многообразны. Дизайнер должен учитывать композиционные закономерности, связанные с геометрическими закономерностями построения форм. Геометрия формы – это активное начало. Она может разрушить целостность, если с ней не считаться.

Одной из тенденций современного конструирования является стремление к обобщению формы. Иногда стоит идти от макетирования в поиске новой формы.

Процесс поиска формы обычно идет по системе: от схемы к частному, затем от частного к общему. Но форма может и должна оказывать и обратное внимание на конструкцию.

Следует учитывать материалы и технологию изготовления, так как порой технология диктует форму: пример – гончарные изделия.

### **Тектоника**

Необходимо рассмотреть форму с точки зрения того, насколько правдиво отражена в ней тектоника – тектоническая правдивость формы. Легкое в основе должно быть раскрыто в форме как легкое, а тяжелое не должно маскироваться под легкое. Оболоска тонкая и упругая не должна смотреться как монолит.

### **Прочность, Пространственная жесткость.**

#### **Способы повышения жесткости**

Детали и конструкции в процессе эксплуатации подвержены силовому, механическому воздействию. В них под влиянием ударных нагрузок, растяжения или сжатия, изгиба, кручения, комплексном воздействии возникают напряжения. Прочность механическая определяется максимальными нагрузками, которую может выдержать деталь или конструкция при расчетной температуре (с ее увеличением резко снижается прочность материала). Рациональными способами повышения прочности являются: применение выгодных профилей и форм, максимальное использование прочности материалов, по возможности равномерная нагрузка на все элементы конструкции, уменьшение вылета консолей, обеспечение жесткости узла их заделки.

Жесткость определяет работоспособность, надежность и долговечность конструкций в той же мере, что и прочность. **Жесткость** - это способность системы сопротивляться действию внешних нагрузок с наименьшими деформациями, допустимыми без нарушения работоспособности системы. Практическое увеличение жесткости - маневрирование геометрическими параметрами системы:

- оптимизация линейных размеров и пропорций, компактность компоновки;
- построение ажурных конструкций (рам, каркасов, ферм, стропил, стрелы крана) на основе многократного повтора пространственно жестких треугольных силовых связей;

■ целесообразная расстановка опор в конструкциях, работающих на изгиб, рациональное усиление их ребрами, работающими на сжатие, блокирование деформаций введением поперечных и диагональных связей - отбортовок, ребер, выбитых рельефов;

■ усиление конструкций по линиям главных напряжений; моделью системы служит древесный лист, структуру листа, как консольно-ребристой плиты, используют в качестве прототипа;

■ применение выпуклых, развитых по периферии полых тонкостенных - сводчатых, скорлупчатых, яйцевидных, оболочковых, сферических форм, рельефных поверхностей, коробчатых, ячеистых и сотовых конструкций.

#### **Вопросы для самопроверки:**

1. Компактность
2. Тектоника.
3. Прочность.
4. Жесткость конструкции.

### **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 43 РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ, УДОБСТВО МОНТАЖА**

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

**Работоспособность** — это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданную функцию с параметрами, установленными требованиями технической документации. Отказ — это нарушение работоспособности.

Свойство элемента или системы непрерывно сохранять работоспособность при определённых условиях эксплуатации (до первого отказа) называется **безотказностью**. Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Работоспособность — потенциальная возможность индивида выполнять целесообразную деятельность на заданном уровне эффективности в течение определенного времени. Работоспособность зависит от внешних условий деятельности и психофизиологических ресурсов индивида.

**Сохраняемость** — свойство объекта непрерывно сохранять требуемые эксплуатационные показатели в течение (и после) срока хранения и транспортирования.

**Безопасность, охрана труда ( в т.ч. заземление и т.д.).**

Эргономическая проработка, соблюдение медико-санитарных норм. Конструктивно-компоновочно изолируются энергоопасные и механико-травмоопасные зоны, химически-агрессивные среды, токсичные материалы и ионизирующие излучатели. Безопасности, простоте и удобству управления служит повышение степени автоматизации технических структур, визуальная информативность.

Защита от **механического воздействия**: предохранительные (отключаются при отклонении параметра) тормозные, оградительные устройства, средства автоконтроля и сигнализации, знаки безопасности, дистанционное управление. Ограничительные устройства - муфты, штифты, клапаны. Устранить плохое закрепление заготовок, инструмента; острые кромки; использовать кожухи, перегородку для движущихся предметов (механизмов, стружки), устранить возможность случайного срабатывания элементов управления. Вращающиеся детали должны быть закрыты.

### ***Защита от транспортных травм.***

Предупредить травмы: безосколочные многослойные стекла, мягкая обивка деталей интерьера, утапливающиеся или изгибающиеся при ударе рулевые колонки, достаточно большое расстояние от коленей водителя до передней панели. Травмы обычно возникают за счет ударов человека о внутренние элементы интерьера. Реже – из-за вторжения узлов и деталей внутрь салона при деформациях кузова.

Ремни безопасности (обычно – диагонально-поясные 3 точки крепления, хотя разработаны поясные, диагональные, двухплечевые – 4 точки крепления, наиболее безопасен, но его трудно одевать) предложены в 1903 г. Зазор д.б. 20-30 мм. При зазоре более 200 мм ремни не обеспечивают защиту от травм. Усовершенствованные ремни – надувные.

### **САПР.**

**Система автоматизированного проектирования** —автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования, представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Работоспособность.
2. Сохраняемость.
3. Безотказность.
4. Охрана труда.
5. САПР.

### **ЗАДАНИЕ**

- I. Изучить базовые принципы конструирования,
- II. Используя в качестве объекта изделие, разрабатываемое по дисциплине «Проектирование» предложить 3-4 варианта конструкции.
- III. Основываясь на базовых принципах конструирования провести анализ предложенных решений.
- IV. Детально разработать оптимальный вариант.

### **ВОПРОСЫ САМОКОНТРОЛЯ**

- Дайте определение терминам «база», «базирование», «конструкторская база»?
- Сформулируйте понятие «агрегатирование»?
- Что такое взаимозаменяемость?
- Сформулируйте понятие «унификация»?
- Как уменьшить моральное старение изделия?

**Практическое занятие № 44**  
**Основы строительной физики и архитектурные конструкции. Перепланировка.**

- 1 Основы строительной физики и архитектурные конструкции.
- 2 Перепланировка.

## **Практическое занятие № 45**

**Основы конструирования объектов оборудования интерьера. Выполнение фрагмента плана этажа (офиса), выполнение расчетов потребности материалов, необходимых для облицовки стен, устройства перегородок, подвесного потолка и сборного основания пола конкретного помещения.**

- 1 Основы конструирования объектов оборудования интерьера.
- 2 Выполнение фрагмента плана этажа (офиса).
- 3 Выполнение расчетов потребности материалов, необходимых для облицовки стен, устройства перегородок, подвесного потолка и сборного основания пола конкретного помещения.

## Практическое занятие № 46 МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Задачи:

- 1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.
- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

### Основные этапы процесса конструирования.

I. Анализ ТЗ проводится на основании:

- требований к объекту конструирования;
- общих правил конструирования (см. Орлов кн.1, 1977г, стр. 63...67=52).

I.1. Основные требования к объекту конструирования.

Разработка (Проектирование, конструирование) технических объектов связана с конкретными,–

- производственной необходимостью;
- и бытовыми потребностями человека.

Подготовка производства (конструкторская ПП–часть), изготовление и эксплуатация объекта, в свою очередь, происходят в конкретных производственных и эксплуатационных условиях.

Это вносит определенные ограничения в работу конструктора, с которым он всегда должен считаться в процессе конструирования: "обуздывать фантазию".

В противном случае – без учета ограничений, приходится всегда вносить изменения в конструкцию при изготовлении и эксплуатации, а это ⇒ дополнительные затраты труда и материалов.

Перечислим основные требования к объекту, которые должны обеспечивать max. его соответствие конкретным условиям применения:

- соответствие своему назначению и высокая производительность; высокое качество, надежность и ремонтпригодность. Результат выполнения этих требований – обеспечение назначенного (гарантийного) ресурса;

- удобство применения, функциональные свойства, необходимые для выполнения нужных операций; (специализация или универсальность)

- соответствие конструкции объекта условиям изготовления его конкретными технологическими способами, на конкретном производстве в конкретном количестве. (Литье, штамповка, сварка и т.д.; – единичное – серийное – массовое; одно – серия (и) – много).

Это требование диктуется экономической целесообразностью;

- возможность изготовления объекта на конкретной производственной базе предприятия–изготовителя с min–min затратами (конструктор должен учитывать имеющиеся:

- оборудование, инструмент, оснастку для изготовления, сборки и контроля;

- квалификация персонала и состояние технологической дисциплины и т.п.).

- соответствие конкретным условиям технологической подготовки производства (это – материалы, полуфабрикаты, заготовки, ПКИ (ГИЗы) ∈ их наличие и дефицитность).

Основа выполнения этого требования – согласования КД со службами (Предприятиями и организациями), участвующими при изготовлении.

Для выполнения этого требования проводится входной конструкторский, технологический и норма–контроль КД, полученной из др. Организаций и Предприятий.

- соответствие требованиям СТ (ГОСТ, ОСТ, СТП), ТУ, Правил, Инструкций, Норм, так называемые Нормативно–технические материалы, например, – ССБТ; П. без–й эксил ГПК; ПУиБЭ сосудов РД; ПУЭ и т.д. и т.п.

- КД на объект должен соответствовать требованиям ЕСКД.

На что надо обратить внимание, это:

– не давать в чертежах технологических указаний (за исключением – когда технология единственная);

– не забывать указывать все Тех. Требования на изготовление, контроль (измерения) и испытания объекта.

Кроме того в процессе изучения и анализа ТЗ конструктор:

– наводит справки;

– знакомится с литературой;

– изучает чертежи, приложенные к ТЗ, и аналогов;

– уточняет ТТ к объекту и выясняет ограничения (условия, которые обязательно должны быть соблюдены при решении задачи).

Результат I этапа ∈ – уяснение цели конструирования (основного принципа работы объекта);

– Подтверждение того, что эта цель в ТЗ сформулирована правильно.

В противном случае – конструктор обязан обоснованно доказать необходимость корректировки ТЗ: ошибка разработчика ТЗ может привести, как min – к неверному направлению разработки объекта; max – к разработке негодной конструкции.

Этап II – Выявление ТР, целесообразные комбинации которые дают все возможные решения задачи (Рабочие принципы) ⇒ Мыслительный образ объекта.

Содержание:

– Анализ существующих конструкций и принципов их работы – выявление ТР, – это единственный путь:

В КД и действующей конструкции ТР воплощены в определенной совокупности узлов, деталей или их элементов (вспомним пример – Шестерня...), они как бы "теряются" в этой массе. В процессе анализа выявляются ТР, являющиеся основой построения детали, узла или машины в целом.

**ТР – основа для сравнения и оценки разных объектов: всю разработку в целом сравнить трудно, особенно если объект сложный и включает в себя разные узлы и системы (электрические, гидравлические, мех. передачи и др.). Сравнению поддаются ТР, к которым можно применить общий критерий, характеризующий Основной принцип.**

При этом рекомендуется руководствоваться следующими соображениями:

– Следует идти **от необходимого к желаемому, а от желаемого к допустимому.**

Качество конструкции объекта зависит от качества идеи или принципа, использованного в ТР объекта. Следует находить побольше ТР для выбора наилучшего; разрабатывать варианты известных ТР...; стремиться выяснить все необходимые детали, способные повлиять на конструируемый объект.

Оценивать сравнительную важность каждого варианта, чтобы облегчить выбор оптимального или создать компромиссный. Избегать поспешных решений и чрезмерного влияния авторитетных решений. Правильно оценивать результаты расчетов и рационально их использовать.

– Добиваться простоты конструкции. Например, если предполагается ввести новый узел или изменить уже существующий, надо уточнить, нельзя ли вообще обойтись без них.

Избегать сложных, многодетальных конструкций. Не использовать в конструкции объекта элементы (узлы и механизмы), работоспособность которых сомнительна и требует экспериментальной проверки.

NB – Улучшение конструкции по некоторым параметрам за счет ухудшения качества, надежности и безопасности работы ее **недопустимо.**

Требования предъявляемые к конструкции обычно противоречивы. Поэтому, улучшая один параметр объекта, конструктор влияет на др., нередко ухудшая их. Важно оценить эти влияния, принимая компромиссное решение, которое в конкретном случае будет оптимальным.

При оценки требований, предъявляемых к объектам разработки, необходимо учитывать следующее:

- Уменьшение массы объекта вызывает уменьшение прочности и жесткости.
- Компактная, малогабаритная конструкция влечет за собой улучшение условий сборки, обслуживания, регулировки и ремонта.
- Применение дешевых материалов вызывает ухудшение прочности, износостойкости и долговечности.
- Создание простой конструкции объекта накладывает ограничения на технические и технологические возможности его работы.
- Увеличение скорости действия механизма приводит к росту инерционных сил и нагрузок на детали и узлы.
- Разбивка конструкции на модули (узлы) для облегчения организации их сборки (или транспортировки) ведет к уменьшению жесткости конструкции, повышает трудоемкость сборки.
- Создание конструкции для разных режимов работы и разных операций (универсальной) наносит экономический ущерб при эксплуатации объекта на одной операции.

Для нахождения лучшего конструктивного решения конструктор должен создать как можно больше вариантов конструкции, т.к. в каждом варианте возможно решение тех или иных вопросов в разной степени.

Следует заметить, что разработка принципиально различающихся вариантов **дело непростое**. Кроме знания большого объема различных ТР, конструктивных схем и т.д. требуются способности и навыки использования приемов и методов конструирования.

Существуют методы, которые активизируют и направляют творческое мышление на пути создания новых, нешаблонных, нестандартных решений. Конструктору полезно знать эти методы (и учиться использовать их).

Приведем основные:

**Инверсия (сделай наоборот)** – метод получения нового ТР путем отказа от традиционного взгляда на задачу. При этом взгляд на задачу осуществляется обычно с диаметрально противоположной позиции. Если говорить об элементах объекта, то они обычно меняются местами.

Принцип инверсии: –

– С наружи – изнутри;

Вертикально – горизонтально;

Вертикально – вверх дном (вверх ногами);

С лицевой стороны – с обратной стороны;

Поверхность охватывающая – поверхность охватываемая;

Симметрично – асимметрично;

Ведущее – ведомое;

Жидкое – твердое;

Вредное – полезное;

Жесткое – гибкое;

Растяжение – сжатие (Пример ?!).

Элемент на одной детали – Перенести на др. деталь, взаимодействующую с первой; и т.д. и т.п.

Задачи:

1 Познакомиться с теоретическим материалом, изложенным в методических указаниях.

- 2 Подготовиться к семинару.
- 3 Ответить на контрольные вопросы.

**МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ:** метод секционирования; метод изменения линейных размеров; метод базового агрегата; метод инверсии; метод комплексной разработки и иерархизации, методы вариантного поиска конструктивных решений и их наглядного моделирования; упорядоченный поиск и др.

**Аналогия (метод прецедента)** – использование ТР из др. областей науки и техники. Аналогичные решения, используемые для решения инженерных задач, могут быть заимствованы из живой природы как конструкции и элементы биомеханики.

Метод прецедента использует аналогию с ранее разработанными конструкциями.

Аналогия может не только использовать ранее созданные конструкции, но и моделировать разные качества: форму, цвет, звук и т.п.

**Эмпатия** – отождествление личности конструктора с объектом разработки, т.е. элементом или процессом: "вхождение в образ". Этот метод приводит к новому взгляду на задачу.

**Комбинирование** – использование в конструкции в разном порядке и в разных сочетаниях отдельных ТР, процессов, элементов. При этом можно найти новое качество, дополняющий положительный эффект.

Метод комбинирования может применяться по трем схемам объединения элементов:

- новое + новое,
- новое + новое,
- старое + старое.

Комбинации элементов могут быть разного характера: мех. соединение, соединение через промежуточные элементы, дублирование, образования многоступенчатых конструкций и др.

**Компенсация** – уравнивание нежелательных и вредных факторов средствами противоположного действия. Например, часто необходимо компенсировать влияние массы, сил инерции, трения, различные потери... – это осуществляется с помощью компенсаторов (постоянных, регулируемых, автоматических, пружинных и др.).

**Динамизация** – превращение неподвижных и неизменных элементов конструкции в подвижные и изменяемой формы.

**Агрегатирование** – создание множества объектов или их комплексов, способных выполнять различные функции, либо существовать в различных условиях. Достигается путем изменения состава объекта или структуры его составных частей.

Способы агрегатирования:

■ соединение агрегатов с самостоятельным объектом представляющим комплекс (транспортёр с подвесными орудиями);

■ агрегатирование присоединением, когда к базовой составной части могут присоединяться различные зависимые составные части;

■ агрегаты, узлы, детали (например, агрегатные станки; поворотные–делительные столы + силовые узлы: механизм главного движения и механизм подачи);

■ агрегатирование изменением, когда в объекте могут применяться всевозможные варианты составных частей при различной компоновке (например, различные варианты кузова автомобиля на одном шасси...).

**Компаундирование** – состоит с том, что для увеличения производительности параллельно соединяются два технических объекта. Соединение производится различными приемами:

■ объекты устанавливаются независимо параллельно и связываются синхронизирующимися устройствами;

■ ... конструктивно объединяются в один агрегат и т.д.

**Блочное–модульное конструирование** – предусматривает создание изделий на основе модулей и блоков. Модуль – составная часть изделия, состоящая преимущественно из унифицированных или стандартных элементов различного функционального назначения (например, М. С. У.).

**Резервирование (дублирование)** – увеличение числа технических объектов для повышения надежности изделия в целом.

**Мультипликация** – повышение эффективности за счет использования нескольких рабочих органов, выполняющих одни и те же функции (по местам; многодетальная обработка; многоэтажные конструкции; многослойные конструкции и т.п.).

**Метод расчленения** – заключается в мысленном разделении традиционных технических объектов с целью упрощения выполняемых или функций и операций. **Секционирование** предполагает дробление ТО на конструктивно подобные составные части – секции, ячейки, блоки, звенья.

**Ассоциация** – использование свойства психики при появлении одних объектов в определенных условиях вызывать активность других, связанных с первыми. Совпадение определенных признаков разных объектов позволяет найти нехарактерные решения. (Например, мех. манипулятор, имитирующий работу руки...).

**Идеализация** – падение реальных объектов нереальными, неосуществимыми свойствами и изучение их как идеальных (точка, линия, абсолютно твердое (черное) тело и др.). Этот метод позволяет значительно упростить сложные системы, обнаружить существенные связи и применить математические методы исследования.

**Перенос свойств (или метод "фокальных" объектов)** – конструируемый объект помещают в "фокус" внимания и переносят на него свойства или функции нескольких произвольно выбранных объектов.

Совокупность комбинаций найденных ТР – основа для создания конструкции объекта.

Следующий этап (III) – анализ вариантов и выбор оптимального – труднейший и самый ответственный этап конструирования. От результатов его выполнения зависит качество объекта на всех стадиях жизненного цикла.

? – Язык конструктора. –?

? – Источники информации. –?

?? – специальный научно–технический язык терминов.

**Термин** (от лат. terminus – граница, предел) – слово или сочетание слов, употребляемое с оттенком специального значения. Система терминов–терминология.

Конструкторский язык – терминология, при внимательном рассмотрении обнаруживает свою образную первооснову:

ось – палец – вал – вал  $\perp$  муфта

стакан – гильза  $\perp$  патрон

баба – бабка  $\perp$  пиноль

гитара

хвостовик.

Образный смысл терминов помогает глубже понять их содержание [и способствует развитию творческого воображения]. Однако, следует заметить, увлечение образами создает заряд психологической инерции, которая может препятствовать поиску новых ТР. Поэтому при решении конструкторских задач нужна **большая независимость** от конкретных технических средств.

Источники [научно–технической] информации.

Роль технической информации при конструировании огромна.

Конструктор творчески перерабатывает имеющиеся в его распоряжении (арсенале) или заимствованные из технической литературы информацию, существующие ТР, приспособивая их к конкретным условиям.

Чаще всего в структуре разработанного объекта отсутствуют существенно новые ТР (изобретения). Это объясняется тем, что конструкторы, решая например, задачу повышения уровня технического оснащения м/с, на многих предприятиях отрасли занимаются одними и теми же проблемами: Ежедневно происходит повторение одних и тех же конструктивных решений.

Бурный рост объема НТИ: удвоение в течении семи лет (в середине 80–х в нашей стране общее число информационных документов составляло в год  $\geq 10$  млн. Экземпляров), – все больше затрудняет поиск и изучение необходимого.

**Парадокс.** Поэтому – как правило, легче разработать новый объект, чем убедиться, что такое где–то уже существует. (**изобретение велосипеда**).

Результат изучения информации  $\Rightarrow$  обеспечение **Конструктивной преемственности** – использование при разработке предшествующего опыта по профилю специализации и смежных отраслей, введение в конструкцию разрабатываемого объекта всего полезного, что имеется в существующих конструкциях.

Основные источники НТИ:

Техническая литература: Учебники; Справочники конструктора (межотраслевые и отраслевые); Энциклопедии технические ( универсальные и отраслевые); Словари терминологические и разъяснительные; Типажи машин и оборудования и т.п.

Производственно–техническая информация – информация о новейших достижениях научной и производственной практики: Обзоры; Реферативные издания; Экспресс–информация; ИЛ; Бюллетени; Типовые РМ и в том числе изобретения и т.п.

–Н–ТД – ГОСТ, ОСТ, СТП, ТУ, РТМ, ТО и др.;

–Патенто–лицензионная

Анализ вариантов конструкции и выбор оптимального варианта.

II этап заключается в подборе и разработке вариантов, относящихся к объекту и принципу работы.

III этап  $\Rightarrow$  принятие одного, окончательного варианта.

Важно отметить, что принятие конкретного варианта имеет решающее значение на всех стадиях разработки. Оптимальное решение придает направление всей разработке.

Вероятность выбора оптимального варианта... тем выше, чем больше число вариантов, из которых выбирается это решение, и чем выше качество этих вариантов.

Как мы сказали ранее, основа для отбора ТР – требования (ТЗ) к разрабатываемому объекту. Эти требования могут предъявляться к объекту в целом или к его составным частям и функциональным элементам.

Как требования к объекту, так и варианты ТР нередко являются противоречивыми. Противоречивость вариантов может иметь самую различную степень, вплоть до взаимного исключения.

В любом случае выполняется проверка совместимости принимаемых решений по разным частям конструкции и принципам работы конструируемого объекта.

В случаях, когда имеется определенное число вариантов и выбор наилучшего (оптимального) не очевиден, на помощь конструктору приходит метод оптимизации.

Оптимальным решением задачи назначается решение, которое по тем или иным признакам предпочтительнее.

Отсюда следует: чтобы среди большого числа вариантов найти оптимальный, нужна информация о предназначительности различных сочетаний значений показателей характеризующих варианты,– критерий оптимизации.

Задача выбора оптимальных параметров разработки в соответствии с выбранными критериями называется задачей оптимального проектирования (конструирования).

Здесь следует отметить, что под оптимальным проектированием (чаще всего) понимается процесс принятия оптимальных (в некотором смысле) решений с помощью ЭВМ. Эта проблема, связанная с получением оптимального решения из множества допустимых, является общей для всех стадий разработки и во многом определяет технико-экономическую и технологическую эффективность разрабатываемых (конструируемых) объектов.

Рассмотрим некоторые положения теории оптимального проектирования.

Процесс оптимального проектирования включает в себя три основных этапа:

- 1) выбор объективного критерия оптимизации;
- 2) описание целевой функции и множества (области) допустимых решений (математическое моделирование объекта);
- 3) выбор эффективного метода решения задачи и его реализация.

☉ Критерий оптимизации конструируемого объекта служит показателем, который оптимален для данного объекта.

Выбор критерия определяется следующим:

■ критерий–средство, с помощью которого должны сопоставляться конкурирующие варианты конструкции объекта;

■ критерий должен выражать соответствие между целесообразным качеством объекта и реальными процессами конструирования, изготовления и эксплуатации объекта.

Критерий предназначен не для того, чтобы "заменить цель поставленной задачи", а для того, чтобы проверить предпочтительность выбранных вариантов.

Критерий должен быть объективным и оправдывать свое назначение. Для этого он должен обладать рядом свойств:

- быть независимым;
- быть однозначным, т.е. не являться функцией других факторов;
- быть непосредственно связанным с параметром оптимизации;
- быть совместимым с другими факторами, чтобы не нарушать их работу и др.

В качестве критерия оптимизации в зависимости от характера и назначения объекта конструирования могут быть приняты:

- его стоимость;
- конструктивные и точностные показатели;
- масса (вес);
- долговечность (ресурс) и др.

☉ Оптимизация как процесс рационализации элементов конструкции возможна только тогда, когда сформулирована цель.

При решении задач оптимизации математическими методами: математическая зависимость критерия оптимизации от искомых параметров объекта носит название целевой функции.

Название не случайно: оптимизация проводится с целью получения наилучшего значения критерия оптимизации.

$$* Z=Z(X, U) \rightarrow \min, [x_1, \dots, x_n] = X$$

–  $n$  искомых параметров объекта;

–  $U_i(t)$  – неизвестные функции конструирования.

Пространства, в которых изменяются  $X, U$  – назовём пространствами проектирования.

\*– условие  $\min$  функционала, определяющее выбранный критерий – есть критерий оптимальности.

Функционал – ( в вариационном исчислении ) математическое понятие, означающее переменную величину, зависящую от выбора одной или нескольких функций. В общем смысле – оператор, отображающий бесконечно мерное пространство, в множестве действительных или комплексных чисел.

Параметры оптимизации:

В качестве искомым параметров объекта могут служить любые численные значения:

- принцип работы изделия ( н. )
- технические показатели (  $V_{max}$  или  $V_{min}$ ; производительность;  $t^0$ ; М и др.);
- показатели качества (  $Q_u$ ; HRC – поверхности вала и тп.).

Параметры оптимизации должны соответствовать следующим требованиям,–

- поддаваться измерениям с достаточной степенью точности и ограничиваться пределами допусков;
- быть информационными, т.е. всесторонне характеризовать объект;
- иметь физический смысл, т.е. должна быть возможность достижения полезных результатов определенного свойства объекта в соответствующих условиях;
- быть однозначными т.е. максимизировать или минимизировать только одно свойство объекта.

Параметры оптимизации в зависимости от цели, для которых они предназначены, могут быть,–

- пространственно – временными ( длина; время; площадь; объём; скорость; ускорение и т.д. );
- механическими (масса, плотность, сила, момент силы, работа, энергия, мощность, давление и т.д.);
- электромагнитными (количество электричества, плотность тока, удельное сопротивление, магнитный поток и т.д.);
- тепловыми (  $t^0$  количество теплоты, тепловой поток, коэффициент теплообмена и т.д.);
- акустическими ( звуковое давление, интенсивность звука и т.д.);
- качественными (внешний вид, качество поверхности и т.д.).

В задачах оптимизации к критериям оптимальности обычно приходится присоединять ограничения , чтобы сузить пространство проектирования (это не только системы математических уравнений, но и логические выражения типа " если... то... " ).

Основные ограничения для механических конструкций:

- 1) на величину напряжений ( мех. ), налагаемые требованиями надёжности и экономичности ( условия прочности и устойчивости );
- 2) на перемещение элементов, налагаемые требованиями жёсткости, работоспособности действующей НТД ( условия жёсткости );
- 3) условие совместности деформаций: неразрывность элементов конструкции при действии внешних нагрузок;
- 4) функциональные ограничения, связанные с условиями и эксплуатации элементов объекта ( Н, габаритные ограничения, материал, сортамент, крепёж и т.п.)

⌚ Задача о минимуме функционала при заданных ограничениях в общем случае является задачей теории оптимальных систем с определёнными параметрами, описываемой системой дифференциальных и интегральных уравнений. Единого метода решения столь общих задач не существует .

В основном применяются,– аналитические (дифференциальные и вариационные исчисления ) и,– численные методы (линейное, нелинейное и динамическое программирование; метод ветвей и границ.

Эвристическое программирование в системе человек – ЭВМ

I оптимизация по нескольким ( многим ) параметрам при помощи ЭВМ.

II Если удаётся выделить один главный параметр, который достаточно полно характеризует объект оптимизации, применяются методы отличающиеся более простыми вычислительными процедурами.

!!! Решение задач оптимизации математическими методами даёт наилучшие результаты. Однако не всегда возможен выбор математических методов оптимизации с использованием ЭВМ.

Ограничения: **отсутствие СВТ и соответствующих специалистов;** кроме того, **не все задачи оптимизации имеют математическое решение.**

По этому конструктор, работающий на промышленном предприятии, **1**), применяет т.н. вариантное конструирование ( сравнение нескольких вариантов конструкции и выбор варианта с минимумом недостатков ); **2**), выполняет оптимизацию на интуитивном уровне.

Ведь задачи оптимизации приходится решать не только при определении основных параметров объекта, но и по многим второстепенным вопросам.

Любой выбор конструкторского решения формы и размеров элементов объекта – решение оптимизирующей задачи, когда конструктор выбирает оптимальное решение из той совокупности вариантов, которые хранятся в его памяти. Эти варианты удовлетворяют ТЗ на конструкцию, т.е. находятся в допустимой области. Знание конструктором основных критериев и методов конструирования позволяет делать правильные логические выводы. При этом помогает модель конструируемого объекта – мыслительный образ (в воображении конструктора ) или графическое изображение (схема, эскиз ). Модель отражает упрощённую принципиальную схему, которую в процессе конструирования обрастает ИР. Здесь на помощь конструктору приходит " мыслительный эксперимент ": например, проводится "нагружение"образца на основе чего определяется рациональное поперечное сечение, и т.п.

Знание методов оптимизации, опыт работы, способность творчески мыслить позволяют конструктору избежать недостатков и ошибок в конструкции объекта.

#### **Основные параметры.**

При конструировании оптимизацию целесообразно выполнять по следующим (основным) параметрам,–

– 1. Оптимизация нагружения – самый главный параметр, который определяет конструкцию объекта: равнопрочность, оптимальное использование материала, надёжность и т.д.

– 2. Оптимизация материала зависит от конструкции объекта. Применяемый материал может быть различным, но его выбирают по необходимым механико-физическим свойствам, технологичности, стоимости, доступности и т.д.

– 3. Оптимизация надёжности включает в себя показатели качества, коэффициент безопасности, точности и т.д.

– 4. Оптимизация отношений взаимосвязанных величин заключается в оценке следующих характеристик объекта: геометрические размеры (характеристики), кинематические и динамические свойства, масса, упругие свойства и отношения между ними.

Анализ конструкций на технологичность

- выполняется при разработке технического (технорабочего) проекта объекта
- после разработки окончательных технических решений
- для оценки объекта по технологическим параметрам и отработки его на технологичность.

Чтобы улучшить технологичность изделий (для снижения себестоимости) выполняется технологический контроль конструкторской документации по ГОСТ 2.121–73.

Основной субъект, разрабатывающий конструкторскую документацию – чертежи, схемы, текстовые документы и др. – конструктор. Он определяет "лицо" сконструированного объекта: содержание конструкторской документации (КД) и все отраженные в них

технические решения (ТР). За это он несет ответственность, оговоренную в Должностной инструкции, в соответствии с действующим законодательством.

Исходя из этого, в производственной практике наблюдается некоторая переоценка (мягко выражаясь) роли конструктора в создании конструкции объекта.

При этом сложилось антагонистические отношения между конструкторами и технологами: технолог “противник” конструктора, следовательно “ретроград”, тормозящий технический прогресс.

Эта недооценка роли технолога в конструировании объектов не приносила бы вреда, если бы конструктор владел всем объёмом технологических знаний и опыта.

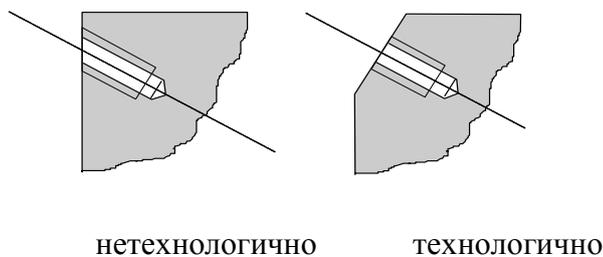
Но – “нельзя объять необъятное”, – поэтому конструкторская документация (КД) – должна быть творчеством не одного исполнителя, а быть результатом совместной плодотворной работы разных специалистов.

И первое, ведущее место в этом процессе занимают технологи.

Качество КД и её технический уровень определяются тем, насколько тесным и плодотворным было это сотрудничество.

Технолог должен совместно с конструктором разрабатывать конструкцию объекта на всех стадиях разработки.

Это реализуется в отработке изделия на технологичность:



## ЗАДАНИЕ

1. Изучить методы конструирования.
2. Ознакомится с техническим заданием.

**Техническое задание.** Предложить 2-3 варианта компоновки основных узлов и художественный образ машины по уборке мусора на внутридомовых территориях.

3. Составить перечень необходимых функциональных условий.
4. Используя методы активизации творческого мышления предложить и изобразить возможные способы их осуществления.
5. Провести анализ и отбор оптимального решения.
6. На основании выбранного решения разработать варианты компоновки механизмов и на их основе художественную концепцию.

## Вопросы для самоконтроля

- По каким параметрам целесообразно выполнять оптимизацию при конструировании изделия?
- Перечислите положения теории оптимального проектирования?
- Перечислите основные требования к объекту, которые должны обеспечивать максимальное его соответствие конкретным условиям применения?

- Опишите методы, которые активизируют и направляют творческое мышление на пути создания новых, нешаблонных, нестандартных решений?

- Как называется метод получения нового технического решения путем отказа от традиционного взгляда на задачу?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основная литература

1. Проектирование и моделирование промышленных изделий: учебник для вузов / С.А. Васин [и др.]. - М.: Машиностроение-1, 2004. - 692 с., ил.
2. Квасов, А.С. Основы художественного конструирования промышленных изделий: учеб.пособие для вузов / А.С.Квасов.— М.: Гардарики, 2006.— 95с.: ил.
3. Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие для вузов / П.Ф.Дунаев,О.П.Леликов.— 11-е изд., перераб.и доп. — М.: Академия, 2008.— 496с.: ил.

### Дополнительная литература

1. Балдин, В.А. Детали машин и основы конструирования.Передачи: учеб.пособие для вузов / В.А.Балдин,В.В.Галевко.— М.: Академкнига, 2006.— 332с.: ил.
2. Скойбеда, А.Т. Детали машин и основы конструирования: учебник для вузов / А.Т.Скойбеда,А.В.Кузьмин,Н.Н.Макейчик;под общ.ред.А.Т.Скойбеда.— 2-е изд.,перераб. — Минск: Вышэйш.шк., 2006. — 560с.: ил
3. Детали машин и основы конструирования.Сборник тестовых заданий для самостоятельной работы студентов: учеб. пособие для вузов / В. Б. Моисеев [и др.]; Пензенский ГУ.— Пенза: Изд-во ПГУ, 2004.— 268 с.: ил.
4. Конструирование: Учеб.пособие для вузов. Ч.1 / С.А.Васин, Н.Н.Бородкин, Л.А.Морозова, В.А.Редько;ТулГУ.— Тула: Изд-во ТулГУ, 2003.— 144с.: ил.
5. Конструирование: Учеб.пособие для вузов. Ч.2 / С.А.Васин, Н.Н.Бородкин, Л.А.Морозова, В.А.Редько;ТулГУ.— Тула: Изд-во ТулГУ, 2003.— 184с.: ил.
6. Шарипов, В.М. Конструирование и расчет тракторов: Учебник для вузов / В.М.Шарипов. — М.: Машиностроение, 2004. — 592с.: ил.
7. Конструирование приборов: лаборатор. практикум / БНТУ, Каф. "Конструирование и производство приборов"; сост. С. Н. Суровой, В. Г. Смирнов, В. Л. Юрчик. — Минск, 2008. — 92 с.: черт.
8. Нехаев, Геннадий Алексеевич. Металлические конструкции в примерах и задачах: учеб. пособие / Г. А. Нехаев, И. А. Захарова. — М.: АСВ, 2010. — 140 с.: ил.—
9. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. / В.И.Анурьев. — Тула, 2007. — 1опт.диск. (CD ROM).
10. Чернилевский, Д.В. Детали машин и основы конструирования: учебник для вузов / Д.В.Чернилевский. — М.: Машиностроение, 2006. — 656с.: ил.
11. Иванов, А.С. Конструируем машины.Шаг за шагом: в 2 ч. Ч.2 / А.С.Иванов.— М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2003.— 392с.: ил.
12. Крайнев, А.Ф. Идеология конструирования / А.Ф.Крайнев. — М.: Машиностроение-1, 2003. — 384с.: ил.

### Периодические издания

1. DOMUS : Contemporary architecture interiors design art .— Milano : A.N.E.S., 2000- .— На итал. и англ.яз. — Основан в 1928г.
2. SALON -interior : Частный интерьер России .— 1997 № 5-6 .— 1998 № 1-7 .— 1999 № 1-9 .— 2000 № 1-11 .— 2001 № 1-11 .— 2002 № 7-11 .— 2003 № 1-11 .— 2004 № 1-11 .— 2005 № 1-11 .— 2006 № 1-11 .— 2007 № 1-11 .— 2008 № 3-5,7-8 .— М. : САЛОН-ПРЕСС, .— 11 раз в год .
3. Ассоциация Международных Автомобильных Перевозчиков. Автомобильный транспорт : ежемесячный иллюстрированный массово-производственный журнал

/ Ассоциация международных автомобильных перевозчиков .— 1962 № 1-5 ,7-11 .— 1963 № 2-12 .— 1967 № 1-12 .— 1968 № 1-12 .— 1969 № 1-3 ,5-12 .— 1970 № 1-12 .— 1971 № 1-12 .— 1972 № 1-12 .— 1973 № 1-12 .— 1974 № 1-12 .— 1975 № 1-12 .— 1976 № 1-4 ,6-12 .— 1977 № 1-12 .— 1978 № 1-12 .— 1979 № 1-9 ,12 .— 1980 № 1-12 .— 1981 № 1-12 .— 1982 № 1-12/прилож. к №11. — 1983 № 1-12 .— 1984 № 1-12 .— 1985 № 1-12 .— 1986 № 1-12 .— 1987 № 1-12 .— 1988 № 1-12 .— 1989 № 1-12 .— 1990 № 1-12 .— 1991 № 1-12 .— 1992 № 1-12 .— 1993 № 1-12 .— 1994 № 2-12 .— 1995 № 1-12 .— 1996 № 1-12 .— 1997 № 1-12 .— 1998 № 1-12 .— 1999 № 1-12 .— 2000 № 1-12 .— 2001 № 1-12 .— 2002 № 1-12 .— 2003 № 1-12 .— 2004 № 1-12 .— 2005 № 1-12 .— 2006 № 1-12 .— 2007 № 1-12 .— 2008 № 1-8 .— М. : Автомобильный транспорт, .— ISSN 0005-2345Безопасность труда в промышленности: Ежемесячный массовый научно-производственный журнал широкого профиля / Госгортехнадзор России .— М. : Недра

4. Дизайн. Материалы. Технологии.— СПб : РосБалт.

5. Интерьер+Дизайн .— 1996 № 1-3 .— 1997 № 1-12 .— 1998 № 1-12 .— 1999 № 1-12 .— 2000 № 1-12 .— 2001 № 1-12 .— 2002 № 1-12 .— 2003 № 1-12 .— 2004 № 1-12 .— 2005 № 1-12 .— 2006 № 1-8,10-12 .— 2007 № 1-12 .— 2008 № 1-9 .— М. : ООО "Издательский дом "ОБА-Пресс", 1996- .— ISSN 1027-8893.Журнал "Автомобильная промышленность"

6. Известия высших учебных заведений / Министерство науки и образования РФ. Приборостроение / Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики .— 1995 № 1-12 .— 1996 № 1-9 .— 1997 № 1-9 .— 1998 № 1-9 .— 1999 № 1-6,8-9 .— 2000 № 1-9 .— 2001 № 1-9 .— 2002 № 1-9 .— 2003 № 1-4,6-12 .— 2004 № 1-12 .— 2005 № 1-13 .— 2006 № 1-12 .— 2007 т.50 №1-12 .— 2008 т.51 №1-2,7-8 (1995-) .— Издается с января 1958г. — ISSN 0021-3454.

7. Изобретатель и рационализатор : независимый журнал изобретателей и рационализаторов .— 1995 № 1-12 .— 1996 № 1-12 .— 2001 № 1-12 .— 2004 № 1-12 .— 2005 № 1-6 .— 2006 № 1-12 .— 2007 № 1-12 .— 2008 № 1-5,7-9 .— М., 1995- .— ISSN 0130-1802.

8. Машиностроитель : производственно-технический журнал .— 1995 № 1-12 .— 1996 № 1-12 .— 1998 № 1-6,8-12 .— 1999 № 1-12 .— 2000 № 1-12 .— 2001 № 1-12 .— 2002 № 1-12 .— 2003 № 1-12 .— 2004 № 1-12 .— 2005 № 1-12 .— 2006 № 1-12 .— 2007 № 1-12 .— 2008 № 1;7-8,2,4 .— М. : Вираж-Центр, 1995- .— ISSN 0025-4568.

9. Моделист-конструктор : научно-технический журнал .— 1995 № 1-12 .— 1996 № 1-12 .— 1997 № 1-12 .— 1998 № 1-12 .— 1999 № 1-12 .— 2000 № 1-11 .— 2001 № 1-12 .— 2002 № 1-12 .— 2003 № 1-12 .— 2004 № 1-12 .— 2005 № 1-12 .— 2006 № 1-12 .— 2007 № 1-12 .— 2008 № 1,4-8 .— М., 1995- .— Издается с 1962г. — ежемесячно .— ISSN 0131-2243.

### **Интернет-ресурсы:**

1. <http://bookfi.org/book/594627> Барташевич А.А., Трофимов С.П. Конструирование мебели. Учебник.

2. <http://www.knigafund.ru/books/114378> : Чернилевский Д.В. Детали машин и основы конструирования. Учебник для вузов.

3. <http://www.bazisoft.ru/content/view/117/126/> Батырева И.М., Бунаков П.Ю. Автоматизация конструирования и технологической подготовки производства мебели. Учебник для вузов.

4. <https://tsutula.bibliotech.ru/Account/OpenID> Тульский государственный университет. Электронно-библиотечная система.

5. [http://library.tsu.tula.ru/ellibraries/all\\_news.htm](http://library.tsu.tula.ru/ellibraries/all_news.htm) Новости электронных библиотек

6. <http://www.bibliorossica.com/index.html> БиблиоРоссика.

7. <http://library.tsu.tula.ru/ellibraries/dl3.htm> Научная библиотека Тульского государственного университета. Электронные библиотеки.