

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

The background of the image is a detailed architectural drawing or blueprint, featuring various geometric shapes, lines, and numerical measurements. Overlaid on this background are several objects: three rolled-up blueprints in the upper left, a large metal ring with a central hole in the lower center, and a pair of compasses in the lower right. The entire scene is bathed in a cool, blue-toned light, creating a professional and technical atmosphere.

Машина – устройство, создаваемое человеком для изучения и использования законов природы с целью облегчения физического и умственного труда, увеличения его производительности путем частичной или полной замены в трудовых и физиологических функциях человека.

Иными словами, **машина** – устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека.

С точки зрения выполняемых машинами функций машины можно разделить на следующие классы:

- Энергетические машины;
- Рабочие машины (транспортные и технологические);
- Контрольно-управляющие машины;
- Логические машины;
- Кибернетические машины.

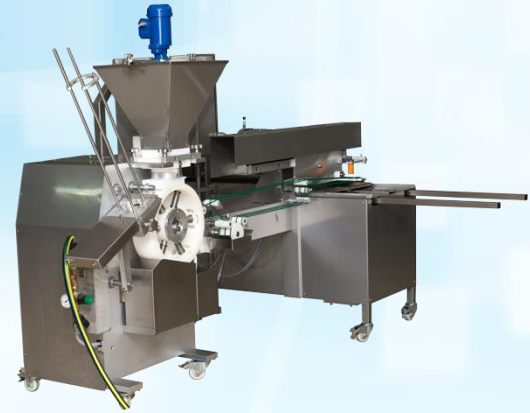
Примерами энергетических машин являются: электрические двигатели, двигатели внутреннего сгорания, турбины и т. д.



К транспортным машинам относятся: локомотивы, автомобили, тракторы, лифты, транспортеры и т. д.



К технологическим принадлежат: станки, текстильные машины, машины сельского хозяйства, металлургические, полиграфические, пищевые и другие машины.



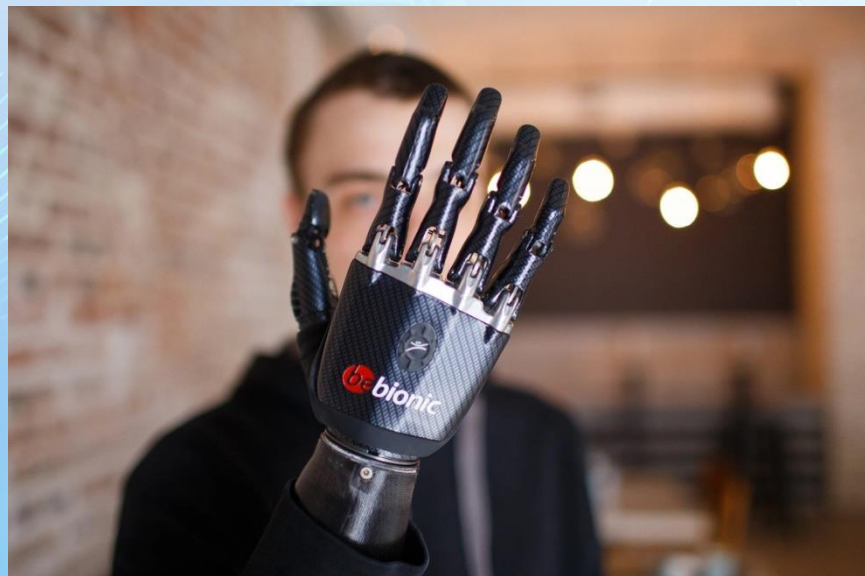
К *контрольно-управляющим* машинам относятся различные регуляторы и системы автоматического регулирования рабочих процессов, приборы контроля и измерений параметров этих процессов и т. д. В некоторых случаях стало целесообразным создание специальных машин для управления и контроля процессами. Так, например, для автоматизации контроля размеров поршневых колец, пальцев, шариков для шарикоподшипников и многих других объектов стали создаваться контрольно-измерительные машины, которые производят не только обмер деталей, но и их сортировку по размерам и другим показателям. В современные автоматические линии встраиваются различные контрольно-измерительные машины и приборы, которые не только контролируют процесс, но и управляют им, сигнализируя и автоматически корректируя этот процесс, в процессе работы автоматических линий и систем.



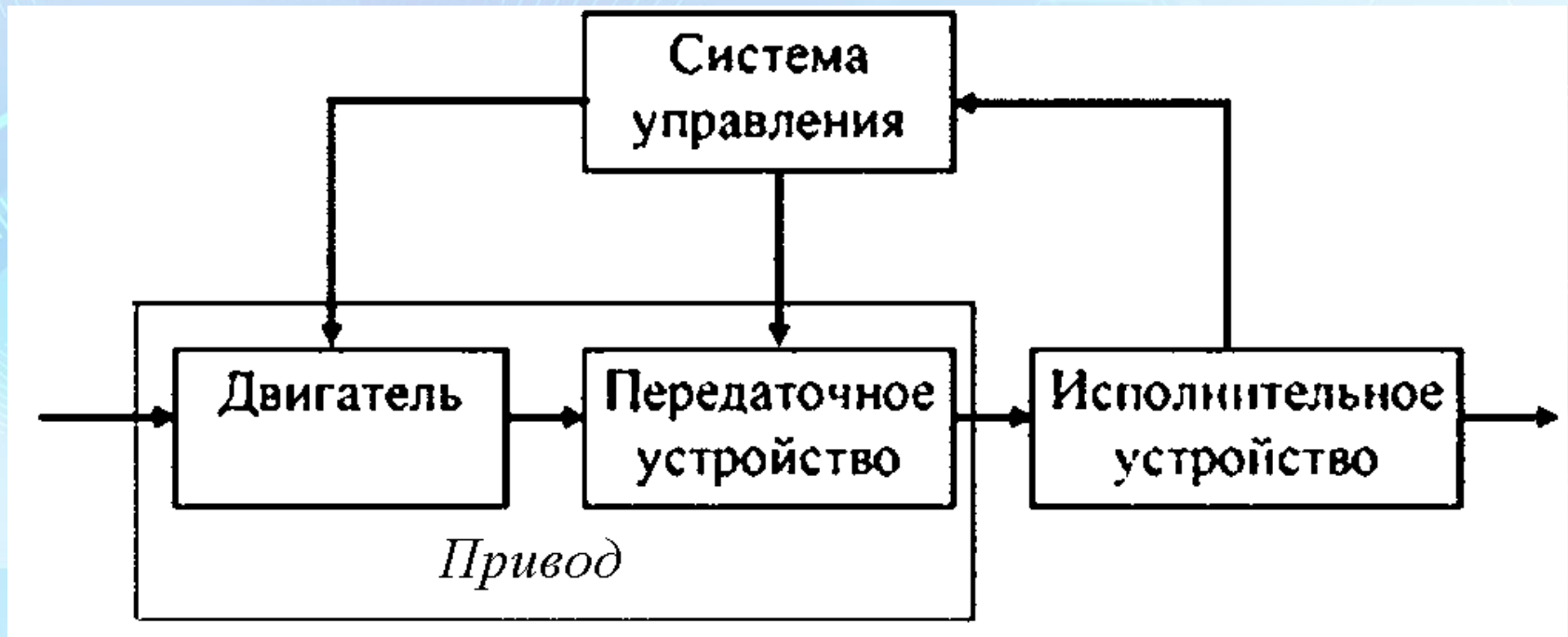
Широкое развитие как для управления и контроля над процессами, так и для замены умственного труда человека получили *логические машины*. К этим машинам относятся счетно-решающие машины, машины, моделирующие различные процессы, информационные машины и др.



Кибернетические машины способны заменять некоторые физиологические функции человека. Примерами таких машин является: машины, опознающие тот или иной образ, например буквы, а, следовательно, способные как бы читать; машины, воспроизводящие человеческую речь по заданным акустическим спектрам; машины, выполняющие различные движения по устной команде человека; машины, заменяющие отдельные органы человека (сердце, почки, конечности и т. д.) в условиях медицинской, операционной или биологической, исследовательской практики или в случаях, связанных с органическими нарушениями нормальной физиологии человека.

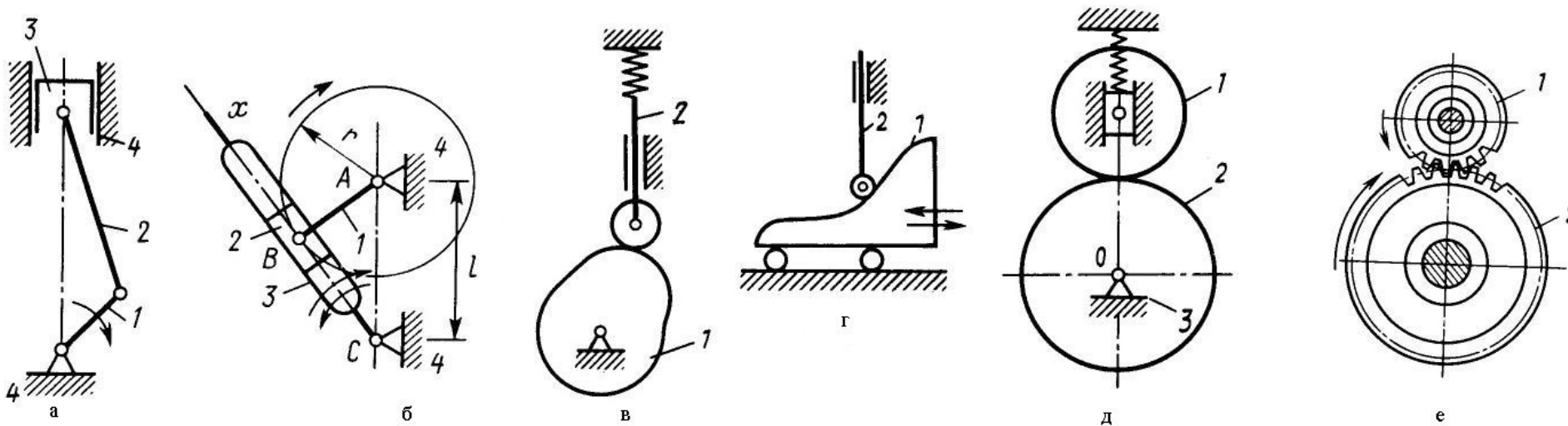


Развитое машинное устройство, состоящее из двигателя, передаточных механизмов и рабочей машины и в некоторых случаях контрольно-управляющих и счетно-решающих устройств, называется *машинным агрегатом*.



Механическая система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел, называется механизмом.

Механизмы, входящие в состав машины, весьма разнообразны. Одни из них представляют собою сочетания только твердых тел. Другие имеют в своем составе гидравлические, пневматические, электрические и другие устройства.



С точки зрения их функционального назначения механизмы машины обыкновенно делятся на следующие виды:

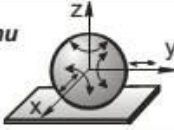
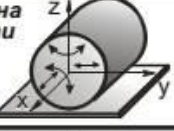
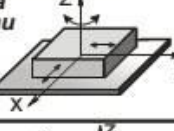
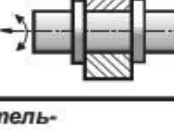
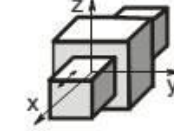
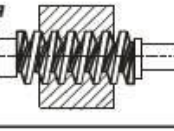
- а) Механизмы двигателей и преобразователей.
- б) Передаточные механизмы.
- в) Исполнительные механизмы.
- г) Механизмы управления, контроля и регулирования.
- д) Механизмы подачи, транспортировки питания и сортировки обрабатываемых сред и объектов.
- е) Механизмы автоматического счета, взвешивания и упаковки готовой продукции.

Всякий механизм состоит из отдельных деталей (тел). В стационарных механизмах одни детали являются неподвижными, другие детали движутся относительно них. В подвижных механизмах, как, например, в двигателе самолета или автомобиля, за неподвижные детали условно принимаются детали, неизменно связанные с корпусом самолета или автомобиля. Согласно этому в кривошипном двигателе во всех случаях к неподвижным деталям относятся корпус двигателя, подшипник коренного вала и другие детали; подвижными деталями считаются: коренной вал, поршни, золотниковое или клапанное устройство и т. д. Каждая подвижная деталь или группа деталей, образующая одну жесткую подвижную систему тел, носит название *подвижного звена механизма*. Таким образом, например, шатун двигателя является одним подвижным звеном, хотя шатун может состоять из нескольких деталей: тела шатуна, крышек, шатунных подшипников, болтов, стягивающих эти крышки, и т. д. Но он все же будет одним подвижным звеном, ибо все детали, из которых шатун состоит, будучи соединены, образуют одну жесткую систему тел, не имеющих движения друг относительно друга. Детали, образующие одно звено, иногда не имеют жесткой связи между собою (например, лента конвейера с деталями, ею переносимыми); тогда признаком того, что они относятся к одному звену, служит отсутствие движения их относительно друг друга и, следовательно, возможность введения между ними жесткой связи без изменения кинематики.

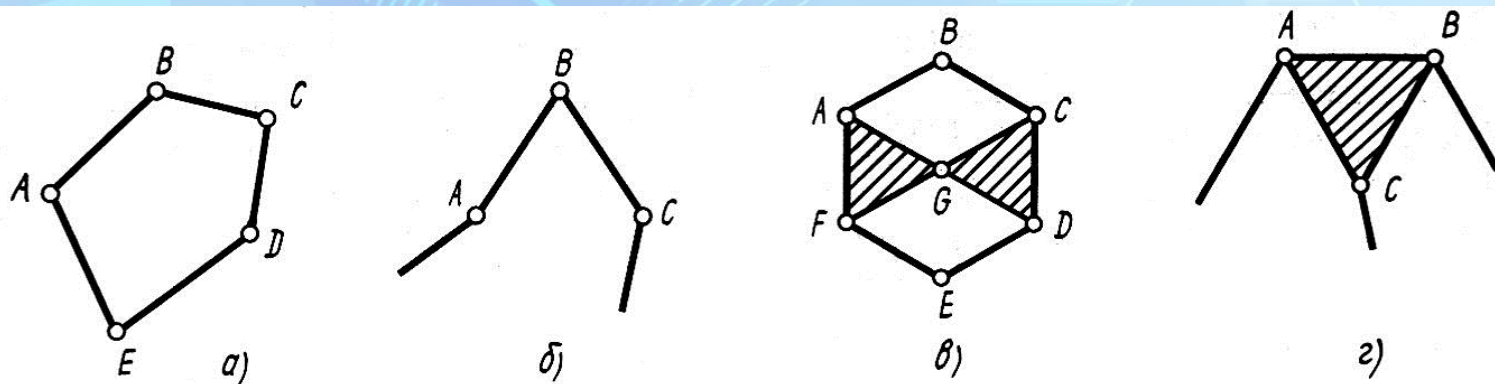
Все неподвижные детали образуют одну жесткую неподвижную систему тел, называемую *неподвижным звеном* или *стойкой*. Так, например, корпус двигателя, подшипники коренного вала и т. п. образуют в совокупности одно неподвижное звено, или стойку.

Таким образом, в любом механизме мы имеем *одно неподвижное звено* и *одно или несколько подвижных звеньев*.

Соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее относительное движение, называется кинематической парой.

Схематическое изображение кинематических пар	Условное изображение по ГОСТ ЕСКД	Число связей S	Степень свободы W	Класс кинематической пары	Структурная формула
Шар на плоскости 		1	5	1 Пятиподвижная	ВВВ-ПП
Цилиндр на плоскости 		2	4	2 Четырехподвижная	ВВ-ПП
Призма на плоскости 		3	3	3 Трехподвижная	В-ПП
Сферический шарнир 		3	3	3 Трехподвижная	ВВВ
Цилиндрическая пара 		4	2	4 Двухподвижная	В-П
Вращательная пара 		5	1	5 Одноподвижная	В
Поступательная пара 		5	1	5 Одноподвижная	П
Винтовая пара 		5	1	5 Одноподвижная	(В) (П)

Связанная система звеньев, образующих между собой кинематические пары, называется кинематической цепью. Таким образом, коленчатый вал двигателя образует с неподвижным подшипником одну кинематическую пару. Шатун с коленчатым валом образует вторую кинематическую пару, поршень с шатуном третью, поршень и цилиндр четвертую, а совокупность этих кинематических пар составляет кинематическую цепь. Отсюда следует, что в основе всякого механизма лежит кинематическая цепь. Но не всякую кинематическую цепь можно назвать механизмом. Механизм предназначен для осуществления заранее заданных закономерных движений. Поэтому только та кинематическая цепь будет механизмом, звенья которой осуществляют целесообразные движения, вытекающие из инженерных производственных задач, для выполнения которых сконструирован механизм.



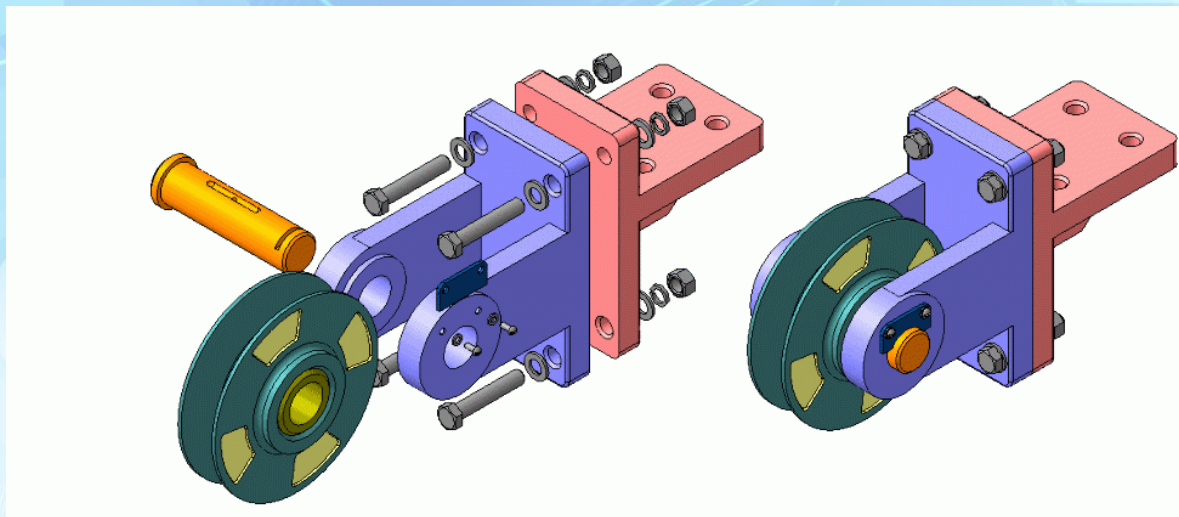
Кинематические цепи:

a — замкнутая простая; *б* — разомкнутая простая; *в* — замкнутая сложная;
г — разомкнутая сложная

Деталь — изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций



Сборочная единица (узел) — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями.



В дальнейшем для краткости собственно детали, элементы их соединений, а также сборочные единицы, выполняющие в машине простейшие функции, будем называть *детальями машин*.

Различают детали машин общего и специального назначения.

К деталям машин общего назначения относятся: элементы разъемных и неразъемных соединений; части передач трением и зацеплением; валы и оси, муфты, подшипники; пружины, корпусные детали. Являясь частями самых различных машин, детали машин одного вида выполняют одинаковые функции; это позволяет выделить их изучение в самостоятельную отрасль науки — детали машин.

К деталям машин специального назначения относятся детали, встречающиеся только в отдельных видах машин. К ним, например, относятся такие детали, как поршень, клапан, шпиндель, лемех и т. п. Проектирование этих деталей изучается в соответствующих специальных дисциплинах — «Подъемно-транспортные машины», «Металлорежущие станки», «Сельскохозяйственные машины» и т. д.

Для ориентирования в бесконечном многообразии детали машин общего назначения классифицируют на типовые группы по характеру их использования:

- **СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ (СОЕДИНЕНИЯ)** соединяют детали между собой.
- **Детали ПЕРЕДАЧ** передают движение от источника к потребителю.
- **ВАЛЫ и ОСИ** несут на себе вращающиеся детали передач.
- **Детали ОПОР** служат для установки валов и осей.
- **МУФТЫ** соединяют между собой валы и передают вращающий момент.
- **УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ** смягчают вибрацию и удары, накапливают энергию, обеспечивают постоянное сжатие деталей.
- **КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ** организуют внутри себя пространство для размещения всех остальных деталей, обеспечивают их защиту.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ МАШИН

Машины, как и другие изделия, изготавливаются только по проекту, который, в любом случае, является совокупностью графических и текстовых документов. Правила и порядок разработки, оформления и обращения этих документов устанавливается комплексом стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), разработанной в 70-е годы XX в.

Проектирование машин выполняют в несколько стадий, установленных ГОСТ 2.103-68. Для единичного производства это:

- Разработка технического предложения по ГОСТ 2.118-73.
- Разработка эскизного проекта по ГОСТ 2.119-73.
- Разработка технического проекта по ГОСТ 2.120-73.
- Разработка документации для изготовления изделия.
- Корректировка документации по результатам изготовления и испытания изделия.

Приступая к каждому этапу конструирования, как и вообще к любой работе, необходимо чётко обозначить три позиции:

Исходные данные – любые объекты и информация, относящиеся к делу ("что мы имеем?").

Цель – ожидаемые результаты, величины, документы, объекты ("что мы хотим получить?").

Средства достижения цели – методики проектирования, расчётные формулы, инструментальные средства, источники энергии и информации, конструкторские навыки, опыт ("что и как делать?").

Деятельность конструктора-проектировщика обретает смысл только при наличии заказчика – лица или организации, нуждающихся в изделии и финансирующих разработку.

Теоретически заказчик должен составить и выдать разработчику Техническое Задание – документ, в котором грамотно и чётко обозначены все технические, эксплуатационные и экономические параметры будущего изделия. Но, к счастью, этого не происходит, поскольку заказчик поглощён своими ведомственными задачами, а, главное, не имеет достаточных навыков проектирования. Таким образом, инженер не остаётся без работы.

Работа начинается с того, что заказчик и исполнитель совместно составляют (и подписывают) Техническое Задание. При этом исполнитель должен получить максимум информации о потребностях, пожеланиях, технических и финансовых возможностях заказчика, обязательных, предпочтительных и желательных свойствах будущего изделия, особенностях его эксплуатации, условиях ремонта, возможном рынке сбыта.

Тщательный анализ этой информации позволит проектировщику правильно выстроить логическую цепочку "Задание – Цель – Средства" и максимально эффективно выполнить проект.

Разработка **Технического Предложения** начинается с изучения Технического Задания. Выясняются назначение, принцип устройства и способы соединения основных сборочных единиц и деталей. Всё это сопровождается анализом научно-технической информации об аналогичных конструкциях. Выполняются кинематический расчёт, проектировочные расчёты на прочность, жёсткость, износостойкость и по критериям работоспособности. Из каталогов предварительно выбираются все стандартные изделия – подшипники, муфты и т.п. Выполняются первые эскизы, которые постепенно уточняются. Необходимо стремиться к максимальной компактности расположения и удобства монтажа-демонтажа деталей.

На стадии **Эскизного Проекта** выполняются уточнённые и проверочные расчёты деталей, чертежи изделия в основных проекциях, прорабатывается конструкция деталей с целью их максимальной технологичности, выбираются сопряжения деталей, прорабатывается возможность сборки-разборки и регулировки узлов, выбирается система смазки и уплотнения. Эскизный проект должен быть рассмотрен и утверждён, после чего он становится основой для Технического Проекта. При необходимости изготавливаются и испытываются макеты изделия.

Технический Проект должен обязательно содержать чертёж общего вида, ведомость технического проекта и пояснительную записку. Чертёж общего вида по ГОСТ 2.119-73 должен дать сведения о конструкции, взаимодействии основных частей, эксплуатационно-технических характеристиках и принципах работы изделия. Ведомость Технического Проекта и Пояснительная Записка, как и все текстовые документы должны содержать исчерпывающую информацию о конструкции, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия. Они оформляются в строгом соответствии с нормами и правилами ЕСКД (ГОСТ 2.104-68; 2.105-79; 2.106-68).

Таким образом, проект приобретает окончательный вид – чертежей и пояснительной записки с расчётами, называемыми **рабочей документацией**.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ДЕТАЛЯМ МАШИН

Надежность - свойство выполнять заданные функции (сохранять работоспособность) на протяжении необходимого времени (или необходимой наработке – моточасы для двигателя, километраж пробега для автомобиля и др.).

Экономичность – определяется финансовыми затратами на проектирование, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

Технологичность – определяется минимизацией затрат средств, времени и работы на производство, эксплуатацию и ремонт.

Эстетичность – определяется совершенством форм и качеством обработки поверхностей.

Экологичность – определяется уровнем вредного влияния на окружающую среду, природу и человека .

Для разных технических средств, условий их эксплуатации надежность подразумевает:

безотказность – сохранение работоспособности на протяжении заданного времени;

долговечность – сохранению работоспособности до предельного состояния (при которой дальнейшая эксплуатация невозможна или нецелесообразна) при соответствующих системах ремонта и технического обслуживания;

ремонтпригодность – способность к восстановлению работоспособности на основе предупреждения отказов, выявление и устранение неисправностей при техническом обслуживании и ремонте;

сохранность – обеспечение работоспособности на протяжении и после установленных сроков хранения и транспортирования.

ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Работоспособность - такое состояние технического средства, при котором оно способно выполнять заданные функции, сохраняя значение основных параметров в пределах, оговоренных в нормативно-технической документации.

Работоспособность деталей оценивают по

- *прочности,*
- *износостойкости,*
- *жесткости,*
- *теплостойкости,*
- *вибрационной устойчивости.*

- **Прочность** – это способность сопротивляться разрушению при действии заданной нагрузки. **Этот критерий является наиболее важным.** Самым распространенным методом оценки прочности детали является сравнение расчетных напряжений в опасном сечении либо в опасной точке детали с допускаемыми напряжениями.
- В зависимости от вида деформации напряжения могут быть нормальными, например, при растяжении, сжатии и изгибе, или касательными, например, при срезе и кручении.
- **Условия прочности** по соответствующим напряжениям имеют вид
$$\sigma \leq [\sigma], \tau \leq [\tau],$$
где $[\sigma]$ и $[\tau]$ – допускаемые нормальные и касательные напряжения.

- При статических нагрузках допускаемые нормальные напряжения определяют по формуле

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{[S]},$$

где σ_{lim} – предельное напряжение, при достижении которого происходит разрушение детали;

$[S]$ – коэффициент запаса прочности.

- Для хрупких материалов $\sigma_{lim} = \sigma_B$,
- для пластичных материалов $\sigma_{lim} = \sigma_T$,
где σ_B – предел прочности, σ_T – предел текучести.

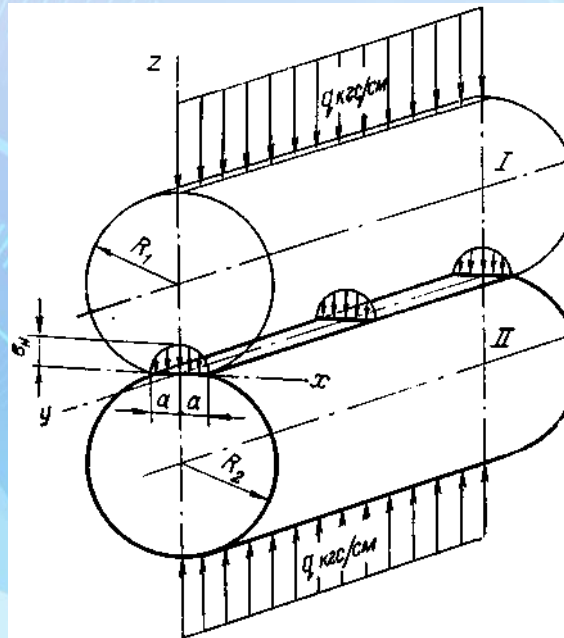
Кроме обычных видов разрушения (поломок) деталей, в практике наблюдаются случаи разрушения их поверхности. Последние связаны с контактными напряжениями.

***Контактные напряжения** возникают в месте соприкосновения двух деталей в тех случаях, когда размеры площадки касания малы по сравнению с размерами деталей (сжатие двух шаров, шара и плоскости, двух цилиндров и т. п.).*

Если величина контактных напряжений больше допускаемой, то на поверхности деталей появляются вмятины, борозды, трещины или мелкие раковины. Подобные повреждения наблюдаются, например, у фрикционных, зубчатых, червячных и цепных передач, а также в подшипниках качения.

При расчете величины контактных напряжений различают два характерных случая:

- а) *первоначальный контакт в точке* (два шара, шар и плоскость и т. п.);
- б) *первоначальный контакт по линии* (два цилиндра с параллельными осями, цилиндр и плоскость и т. п.).



Величину контактных напряжений вычисляют по формуле Герца

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{q}{\rho_{np}} \cdot \frac{E_{np}}{2\pi(1-\mu^2)}},$$

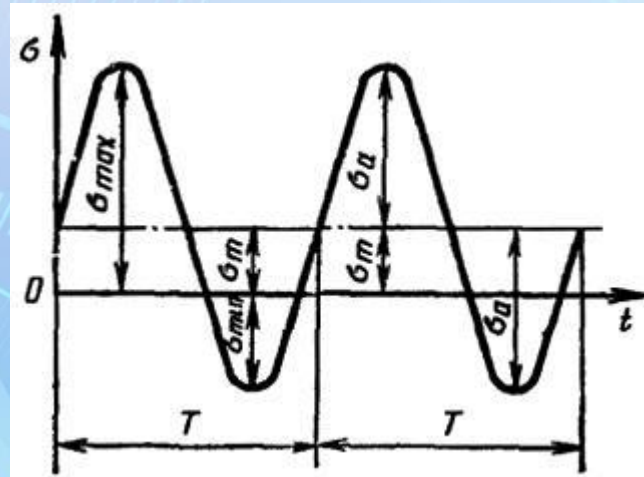
где E_{np}, ρ_{np} - приведенные модуль упругости и радиус кривизны,
 μ - коэффициент Пуассона.

СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТИ

Усталость - процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящий к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению

Сопротивление усталости - свойство материала противостоять усталости

Цикл напряжений - Совокупность последовательных значений напряжений за один период их изменения при регулярном нагружении



Период цикла T - продолжительность одного цикла напряжений

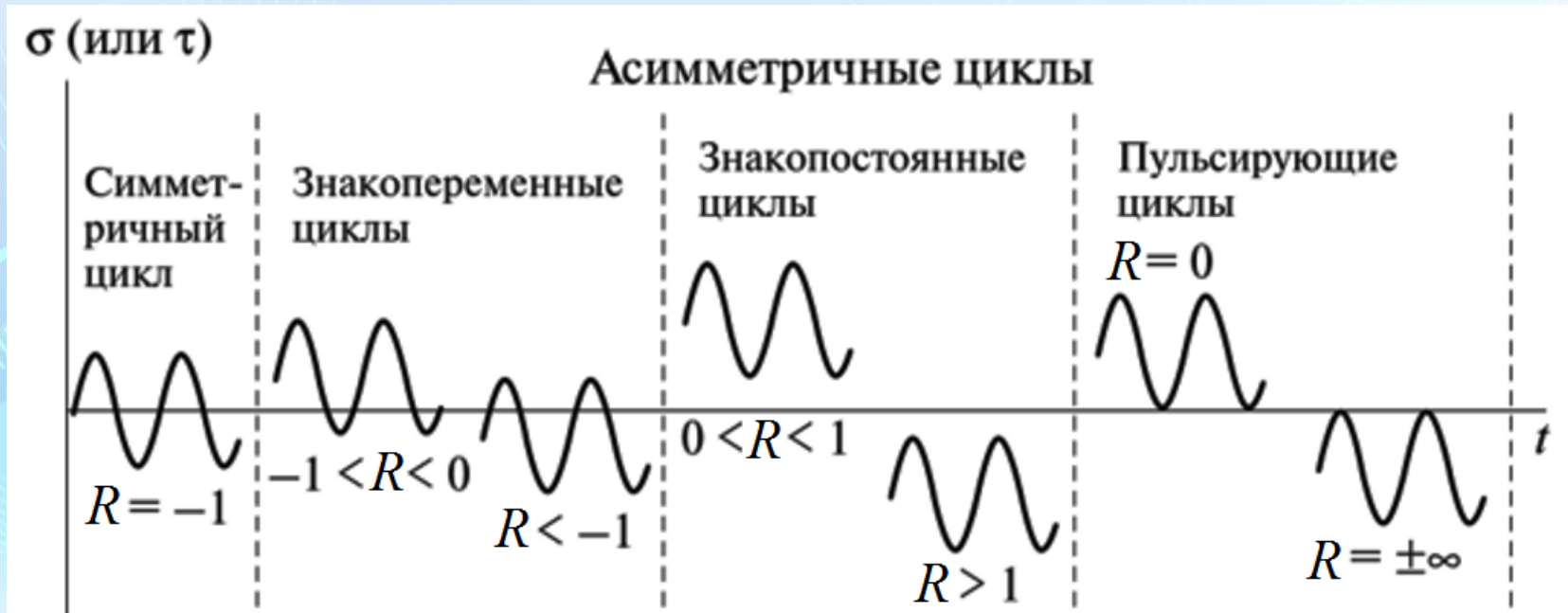
Максимальное напряжение цикла $\sigma_{\max}$ - наибольшее по алгебраическому значению напряжение цикла

Минимальное напряжение цикла $\sigma_{\min}$ - наименьшее по алгебраическому значению напряжение цикла

Среднее напряжение цикла σ_m - постоянная (положительная или отрицательная) составляющая цикла напряжения, равная алгебраической полусумме максимального и минимального напряжений цикла

Амплитуда напряжений цикла σ_a - наибольшее числовое положительное значение переменной составляющей цикла напряжений

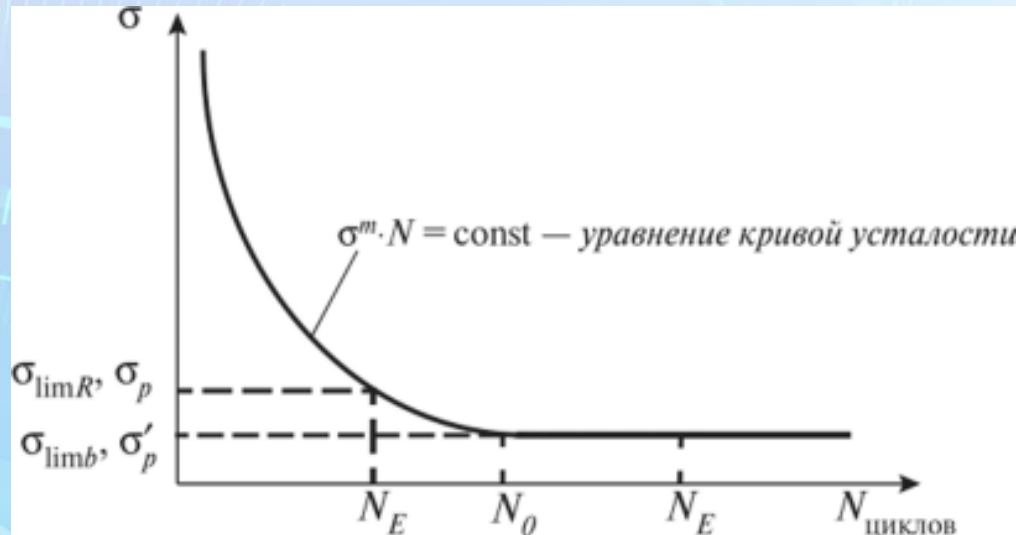
Разновидности циклов напряжений и соответствующие им значения коэффициентов асимметрии



Коэффициент асимметрии цикла напряжений R - отношение минимального напряжения цикла к максимальному

Кривая усталости

Кривая усталости - график, характеризующий зависимость между максимальными напряжениями или амплитудами цикла и циклической долговечностью одинаковых образцов, построенный по параметру среднего напряжения цикла или по параметру коэффициента асимметрии цикла



Предел выносливости - Максимальное по абсолютному значению напряжение цикла, при котором еще не происходит усталостное разрушение до базы испытания.

Предел выносливости при симметричном цикле σ -1 (т-1) - предел выносливости, определенный по результатам испытаний на усталость при симметричном цикле напряжений

Предел выносливости при отнулевом цикле напряжений σ_0 (то) - предел выносливости, определенный по результатам испытаний на усталость при отнулевом цикле напряжений

Жесткость – это способность сопротивляться деформациям при действии заданной нагрузки.

Под деформациями понимаются изменение размеров и формы детали. Жесткость некоторых деталей может определять работоспособность машины либо узла. Так, упругая деформация вала приводит к взаимному перекосу колец подшипников качения, связанных с валом. Для каждого подшипника в ГОСТ дается допускаемое предельное значение угла перекоса колец от нескольких минут до $3...4^\circ$ в зависимости от типа подшипника. Для расчета деформаций в сравнительно простых случаях используют методы сопромата (интеграл Мора или способ Верещагина), в более сложных случаях применяют методы теории упругости.

Условие жесткости

Действительные значения перемещений (линейные и угловые) элементов конструкций, вызванные общей деформацией конструкции, не должны превышать установленные их предельные величины.

$$f \leq [f], \quad \varphi \leq [\varphi].$$

где $[f]$, $[\varphi]$ – допускаемые линейные и угловые перемещения - предельные величины линейных и угловых перемещений, которые устанавливаются по технологическим и эксплуатационным требованиям к конструкциям и их элементам.

Износостойкость – это способность сопротивляться изнашиванию.

Под изнашиванием понимают процесс постепенного изменения размеров детали или узла в результате действия сил трения. При этом увеличиваются зазоры в подшипниках, зубчатых передачах, направляющих, снижаются качественные характеристики машин (точность, мощность, КПД, прочность).

Изнашивание значительно увеличивает стоимость эксплуатации, вызывая необходимость периодического проведения ремонтных работ. Высокая стоимость ремонта обусловлена трудностью его механизации и автоматизации, значительными затратами ручного труда.

В основу расчета на износостойкость положено условие триботехнической надежности:

$$p \leq [p]$$

где p и $[p]$ – расчетное и допускаемое давления на поверхности трущихся деталей.

Теплостойкость – сохранение работоспособности при переменных температурах. Нагрев деталей машин в процессе эксплуатации вызывает *снижение прочности* материала деталей, *ухудшение смазочной способности* масляных пленок и увеличения в связи с этим износа деталей, *изменение зазоров в сопряжениях*. Это может привести к заклиниванию или заеданию, а также снижает точность работы машины.

Для исключения влияния переменных температур на работу машин выполняют их *тепловой расчет* и, в случае необходимости, предусматривают варианты обеспечения заданного температурного режима (например, используют систему естественного или искусственного охлаждения).

Вибрационная устойчивость – способность сопротивляться вибрациям.

Появление вибраций при работе машины вызывает *дополнительные переменные напряжения в деталях и узлах*, что может привести к их усталостному разрушению. Особенно опасны резонансные режимы работы.

Кроме того, вибрации *снижают точность обработки, ухудшают качество обрабатываемой поверхности, сопровождаются увеличением уровня шума* при работе машины.

Для исключения нежелательных вибраций необходимо выполнять *динамические расчеты машин* и использовать специальные конструктивные решения (установка гасителей колебаний).



**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ**