

## Лекция № 1

### Общие понятия о деталях машин.

Основные требования к машинам, узлам и деталям. Знакомство с понятиями: деталь, узел, механизм, машина. Критерии работоспособности. Пути повышения надежности и долговечности деталей машин.

**Машиной** называют устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов, движения или для накопления и переработки информации с целью повышения производительности, замены или облегчения физического и умственного труда человека.

Машины делят в основном на две большие группы: машины-двигатели и рабочие машины. **Машины-двигатели** – энергетические машины, предназначенные для преобразования энергии любого вида в энергию движения исполнительных органов рабочих машин. К таким машинам относят электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, паровые машины и т.д. **Рабочие машины** предназначены для облегчения и замены физического труда человека по изменению формы, свойств, состояния, размера и положения обрабатываемых материалов, для перемещения различных грузов, а также для облегчения и замены его логической деятельности при выполнении расчетных операций и операций контроля и управления производственными процессами. К таким машинам относят всевозможные станки для обработки материалов, дорожные, сельскохозяйственные и транспортные машины, подъемные краны, транспортеры, вычислительные машины, устройства робототехники: манипуляторы, автооператоры, промышленные роботы и др.

В зависимости от способа управления движением машин различают: машины ручного управления, полуавтоматического и автоматического действия.

Многочисленные разновидности машин отличаются осуществляемыми с их помощью производственными процессами. Их сходство определяется наличием в машинах механизмов, предназначенных для передачи и преобразования движения.

**Механизмом** называют совокупность взаимосвязанных звеньев, допускающую их относительное движение и предназначенную для преобразования движения одного или нескольких звеньев в требуемые движения остальных звеньев. **Звено механизма** – одна или несколько жестко соединенных деталей. Различают входные и выходные звенья механизма. **Входное звено** – звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев. **Выходное звено** – звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм. В каждой паре совместно работающих звеньев в направлении силового потока различают **ведущие** и **ведомые** звенья.

Соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающих относительное движение, называют **кинематической парой**, например винт и гайка, зубчатая передача, шарнир и т.д. По функциональному признаку кинема-

тические пары могут быть вращательными, поступательными, винтовыми и т.д.

Все машины и механизмы состоят из деталей и узлов.

**Деталь** – изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Детали могут быть простыми (шпонка, болт, гайка и т.д.) или сложными (корпус редуктора, станина станка, коленчатый вал и т.д.). Детали (частично или полностью) объединяют в узлы.

**Узел** представляет собой законченную сборочную единицу, состоящую из ряда деталей, имеющих общее функциональное назначение (подшипник качения, муфта, редуктор и т.д.).

Анализируя конструкции различных машин, их узлов и деталей, не трудно заметить, что многие типы деталей и узлов встречаются почти во всех машинах с одними и теми же функциональными назначениями, например болты, валы, механические передачи, подшипники, муфты и др. Эти детали (узлы) называют деталями **общего назначения**; их теорию, расчет и конструирование изучают в курсе «Детали машин». Все другие детали (узлы), применяющиеся только в одном или нескольких типах машин (шпиндели станков, коленчатые валы, поршни, шатуны, канаты и т.п.), относят к **деталям специального назначения** и изучают в соответствующих специальных курсах.

Детали общего назначения применяют в машиностроении в очень больших количествах (в одном автомобиле более пяти тысяч деталей, в самолете – более миллиона, в стране ежегодно изготавливают миллионы зубчатых колес), поэтому любое усовершенствование методов расчета, правил и норм конструирования этих деталей позволяет уменьшить затраты материала, повысить долговечность, дает большой экономический эффект.

Все детали и узлы общего назначения делят на три основные группы: соединительные детали и соединения (сварные, резьбовые, шпоночные и др.); передачи вращательного движения (ременные, зубчатые, червячные и др.); детали и узлы, обслуживающие передачи (валы, подшипники, муфты и др.).

### ***ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МАШИНАМ И ИХ ДЕТАЛЯМ***

В соответствии с современными направлениями развития машиностроения, к проектируемым машинам предъявляются следующие основные требования: высокая производительность и надежность; удобство и безопасность обслуживания, экономичность в изготовлении и эксплуатации; небольшие габариты; низкая металлоемкость (масса) и энергоемкость; технологичность; максимальная взаимозаменяемость и унификация узлов и деталей; транспортability; соблюдение правил технической эстетики.

Машина должна быть проста в обслуживании и не требовать частого и сложного ремонта. Удобство обслуживания существенно влияет на надежность машин, производительность и качество труда. Неудобное расположение органов управления и контрольных приборов, повышенные усилия на рукоятках, шум и вибрации, плохое освещение и обзор, сложность управления и прочее приводят к быстрой утомляемости рабочего с возможными аварий-

ными ситуациями. Всякая машина должна полностью удовлетворять требованиям техники безопасности.

**Работоспособность** – состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами, установленными нормативно-технической документацией. Основные критерии работоспособности деталей машин: прочность, жесткость, износостойкость, теплостойкость, виброустойчивость.

**Прочность** – главный критерий работоспособности для большинства деталей. Прочность – способность детали сопротивляться разрушению или возникновению пластичных деформаций под действием приложенных к ней нагрузок. Различают разрушение деталей вследствие потери статической прочности или потери сопротивления усталости. Потеря статической прочности происходит тогда, когда значение рабочих напряжений превышает предел текучести  $\sigma_T$  для пластичных материалов или предел прочности  $\sigma_B$  для хрупких материалов. Это связано обычно со случайными перегрузками, не учтенными при расчетах, или со скрытыми дефектами деталей (раковины, трещины и т.п.). Потеря сопротивления усталости происходит в результате длительного действия переменных напряжений, превышающих предел выносливости материала, например  $\sigma_{-1}$ .

Основы расчета на статическую прочность изучают в разделе «Сопротивление материалов». Общие методы расчетов на статическую прочность, а также расчеты на сопротивление усталости и контактную прочность здесь рассматривают в применении к конкретным деталям, уделяя особое внимание выбору расчетных схем и значений коэффициентов запаса прочности или допускаемых напряжений.

**Жесткость** – способность деталей сопротивляться упругим деформациям, изменению их формы и размеров под действием нагрузок. Жесткость наряду с прочностью является основным критерием расчета многих деталей (валов передач, станин станков и т.п.). Недостаточная жесткость (чрезмерная упругая деформация), например, вала может сказаться на правильности функционирования и прочности связанных с ним деталей зубчатых передач, подшипников, муфт и др.

Расчеты на жесткость предусматривают ограничение упругих деформаций деталей в пределах норм, установленных опытом эксплуатации машин.

**Износостойкость** – сопротивление трущихся деталей изнашиванию. Износ приводит к постепенному изменению размеров, формы и состояния поверхности детали вследствие изнашивания, т.е. разрушения ее поверхностного слоя при трении. При этом уменьшается прочность деталей, увеличиваются зазоры в подшипниках, в направляющих, в зубчатых зацеплениях и т.п. Увеличение зазоров вызывает дополнительные динамические нагрузки в соединениях, снижает мощность, КПД, надежность, точность и т.п. Характерным признаком повышенного износа является возрастание шума при работе машины.

Следует отметить, что из-за износа выходит из строя 80...90% деталей подвижных соединений машин. Это значительно увеличивает стоимость экс-

плуатации, вызывая необходимость проведения периодических ремонтных работ. Для многих типов машин за весь период их эксплуатации затраты на ремонт и техническое обслуживание в связи с изнашиванием в несколько раз превышают стоимость новой машины.

**Теплостойкость** – способность конструкции сохранять работоспособность в пределах заданных температур в течение заданного срока службы. Перегрев деталей во время работы уменьшает их прочность и жесткость; снижает защитную способность масляного слоя, что повышает износ деталей или вызывает их заедание; уменьшает зазоры в сопряженных деталях, что приводит к заклиниванию и поломке. Для установления нормального температурного режима механизма производится тепловой расчет, основанный на составлении теплового баланса.  $Q_{\text{в}} = Q_{\text{отв}}$ , где  $Q_{\text{в}}$  – количество выделившегося тепла в единицу времени,  $Q_{\text{отв}}$  – количество отведенного тепла в единицу времени.

**Виброустойчивость.** Вибрации вызывают дополнительные переменные напряжения и, как правило, приводят к усталостному разрушению деталей, увеличению шума или снижению качества работы машин. Например, вибрации в металлорежущих станках снижают точность обработки и ухудшают качество поверхности обрабатываемых деталей. Особенно опасными являются резонансные колебания. В связи с повышением скоростей движения машины опасность вибраций возрастает, поэтому расчеты на колебания приобретают все большее значение.

### ***ПОНЯТИЕ О НАДЕЖНОСТИ МАШИН***

Соблюдение указанных критериев работоспособности обеспечивает надежность конструкции в течение заданного срока службы. Надежность – свойство детали или машины в целом выполнять заданные функции с сохранением эксплуатационных показателей в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки. Для стационарного двигателя наработка выражается в часах, для автомобиля – в километрах пробега, для трактора – в гектарах обработанной земли и т.п. Надежность можно определить для машины в целом или для отдельных ее узлов и деталей.

В результате неисправностей машин и их деталей возникают нарушения эксплуатационных показателей, вызывающие частичную или полную потерю их работоспособности. Событие, связанное с нарушением работоспособности машины (детали), называется отказом (как правило, невозстановливаемым). Расчет надежности базируется на статистических данных об отказах машины (детали) при эксплуатации, проведении специальных испытаний и т.п.

Основным показателем надежности является вероятность безотказной работы  $P_t$  (или коэффициент надежности), т.е. вероятность того, что в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки отказ машины (детали) не возникает. Вероятность безотказной работы машины (детали) до момента времени или конца наработки определяют по формуле

$$P_{(t)} \approx 1 - N_{(t)} / N,$$

где  $N_{(t)}$  – число машин (деталей), отказавших к моменту времени или концу наработки  $t$ ;  $N$  – число машин (деталей), подвергнутых испытанию. Так, например, если  $N = 300$  и  $N_{(t)} = 27$ , то надежность безотказной работы

$$P_{(t)} \approx 1 - 27/300 = 0.91.$$

Коэффициент надежности машины в целом равен произведению коэффициентов надежности составляющих элементов, входящих в состав машины:

$$P_{(t)} = P_{1(t)} \cdot P_{2(t)} \cdot \dots \cdot P_{n(t)}.$$

Из формулы следует, что надежность машины всегда меньше надежности самого ненадежного элемента и падает с увеличением числа элементов.

Надежность является одним из основных показателей качества машины. По надежности машины можно судить о качестве проектно-конструкторских работ, производства и эксплуатации.

### ***ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДЕТАЛЕЙ МАШИН***

В соответствии с указанными критериями работоспособности производят расчеты деталей машин, основываясь на методах сопротивления материалов. Но условия работы деталей машин бывают столь разнообразными и сложными, что их не всегда удастся проанализировать и учесть при расчетах. Поэтому в разделе деталей машин, кроме расчетов по формулам сопротивления материалов, применяют расчеты по приближенным формулам, а в некоторых случаях и по эмпирическим зависимостям. При этом расчеты становятся приближенными.

Погрешности приближенных расчетов существенно снижаются при использовании опыта проектирования и эксплуатации аналогичных конструкций. В результате обобщения предшествующего опыта вырабатывают нормы и рекомендации, например нормы допускаемых напряжений или коэффициентов запаса прочности, рекомендации по выбору материалов и пр. Эти нормы и рекомендации в приложении к расчету конкретных деталей приведены в соответствующих разделах. Здесь отметим, что неточности расчетов на прочность компенсируют в основном за счет коэффициентов запаса прочности.

Применяют два вида расчетов деталей машин: проектировочный и проверочный.

**Проектировочный расчет** выполняют в процессе разработки конструкции детали (машины) с целью определения ее требуемых размеров. В ряде случаев размеры деталей принимают конструктивно или руководствуясь практическими рекомендациями. Проектировочные расчеты основаны на ряде допущений и выполняются по допускаемым напряжениям как предварительные, так как на этой стадии проектирования практически невозможно учесть все факторы, влияющие на прочность деталей (концентрация напряжений и т. д.).

**Проверочный расчет** – уточненный, выполняют по рабочему чертежу сконструированной детали, когда известны ее форма и размеры, концентраторы напряжений и др. Проверочные расчеты выполняют в целях проверки соблюдения условия  $\sigma \leq [\sigma]$  ( $\tau \leq [\tau]$ ) или  $S \geq [S]$  или определения допускаемой

нагрузки, долговечности, температуры, устойчивости, прогибов и пр., где  $\sigma$  ( $\tau$ ) – соответственно расчетные нормальные (касательные) напряжения;  $S$ ,  $[S]$  – расчетный и допускаемый коэффициенты запаса прочности.

Расчетные напряжения (основные размеры детали) определяют из условий прочности:

$$\text{растяжения (сжатия)} \quad \sigma_{p(cж)} = \frac{F}{A} \leq [\sigma_{p(cж)}];$$

$$\text{смятия} \quad \sigma_{см} = \frac{F}{A} \leq [\sigma_{см}];$$

$$\text{среза} \quad \tau_{ср} = \frac{F}{A} \leq [\tau_{ср}];$$

$$\text{изгиба} \quad \sigma_{из} = \frac{M}{W} \leq [\sigma_{из}];$$

$$\text{кручения} \quad \tau_{кр} = \frac{T}{W_p} \leq [\tau_{кр}];$$

из условия контактной прочности:

при начальном касании по линии

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{q}{\rho} \cdot \frac{E}{2\pi(1-\nu^2)}} \leq [\sigma_H];$$

при начальном касании в точке

$$\sigma_H = c \sqrt{\frac{FE^2}{\rho^2}} \leq [\sigma_H],$$

где  $F$  – силы, вызывающие растяжение (сжатие), смятие, срез,  $H$ ;  $M$ ,  $T$  – изгибающий и крутящий моменты,  $H \cdot \text{мм}$ ;  $A$  – площадь растяжения (сжатия), смятия, среза,  $\text{мм}^2$ ;  $W$ ,  $W_p$  – моменты сопротивления сечения при изгибе, кручении,  $\text{мм}^3$ ;  $q$  – удельная нагрузка, приходящаяся на единицу длины контактных линий,  $H/\text{мм}$ ;  $E$  – приведенный модуль упругости контактируемых тел,  $H/\text{мм}^2$ ;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $c$  – коэффициент, зависящий от формы тел качения;  $\rho$  – приведенный радиус кривизны контактируемых тел,  $\text{мм}$ .

В случае сложного напряженного состояния в качестве расчетного принимается некоторое приведенное (эквивалентное) напряжение, полученное на основании одной из теорий прочности, наиболее приемлемой для рассматриваемого напряженного состояния и материала. Например, при совместном действии изгиба и кручения для пластичных материалов

$$\sigma_{эkv} = \sqrt{\sigma_{из}^2 + (\sigma_T/\tau_T)^2 \tau^2} \leq [\sigma].$$

Оценка прочности по значению допускаемых напряжений  $[\sigma]$  удобна, так как на практике для однотипных деталей из данного материала, устоявшейся технологии их изготовления, стабильных условий нагружения разработана система допускаемых напряжений, обобщающая предшествующий опыт эксплуатации машин.

Широкое распространение получил расчет по коэффициентам запаса прочности  $S$ . При этом *выбор допустимых коэффициентов запасов прочности [S] является весьма ответственным этапом расчета*. Заниженное значение запаса прочности приводит к разрушению детали, а завышенное - к неоправданному увеличению массы детали и перерасходу материала. Большое число факторов, влияющих на запас прочности (степень ответственности детали, однородность материала, точность расчетных формул и определения расчетных нагрузок, условия эксплуатации и пр.), создают значительные трудности при выборе значений запасов прочности. Поэтому в каждой отрасли машиностроения, основываясь на собственном опыте, вырабатывают свои нормы запасов прочности для конкретных деталей.

**Общие понятия о проектировании.** Проектирование (расчет и конструирование) базируется на теоретических и экспериментальных данных о нагружении деталей (узлов), свойствах материалов, всестороннем анализе статистического материала, отражающего опыт изготовления и эксплуатации машин данного типа. Проектирование – творческий процесс создания механизма или машины в чертежах. Основные особенности этого процесса состоят в необходимости согласования принимаемых решений с общими и специфическими требованиями, предъявляемыми к конструкциям в соответствии с современными направлениями развития машиностроения, а также с требованиями соответствующих стандартов, регламентирующих термины, определения, условные обозначения, методы расчета, систему измерений, испытаний и т.п.

Главная особенность проектирования – это многовариантность решений для получения оптимальной конструкции, обеспечивающей требуемые характеристики машины при наименьших затратах на ее изготовление и эксплуатацию. Поиски оптимального варианта удобно выполнять с помощью электронно-вычислительных машин (ЭВМ).

В настоящее время в промышленности все шире применяют различные системы автоматизированного проектирования (САПР), которые на основе использования компьютерной техники позволяют повысить производительность труда конструктора более чем в три раза, сократить сроки проектирования примерно на два года при значительном повышении качества выпускаемой продукции.