

Лекция 1. Основы проектирования механизмов

1. Основные понятия и определения

Целью курса «Основы конструирования механизмов» является изучение основ конструирования механизмов и машин.

Под *проектированием* понимают процесс составления описания, необходимого для создания в заданных условиях еще не существующего изделия.

Конструирование, в отличие от проектирования предполагает создание конкретной законченной конструкции изделия.

Очевидно, проектирование предшествует конструированию и представляет собой поиск научно-обоснованных, технически осуществимых и экономически целесообразных инженерных решений.

Машиной называют устройство, создаваемое с целью облегчения физического и умственного труда, увеличения его производительности путем частичной или полной замены человека в его трудовых и физиологических функциях. Машина строится на основе одного или нескольких механизмов.

Механизм – система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел.

Тела, составляющие механизм, называют *звеньями*. Звенья могут состоять как из отдельных деталей, так и из сборочных единиц.

Деталь — такая часть машины или механизма, которую изготавливают из материала одной марки без применения сборочных операций. В отличие от детали *узел* представляет собой *сборочную единицу*, состоящую из нескольких деталей, имеющих общее функциональное назначение.

В курсе «ОКМ» изучают детали и узлы *общего назначения*, которые находят применение во всех отраслях машиностроения: болты, пружины, рессоры, зубчатые колеса, валы, подшипниковые узлы, муфты, различные передачи. Существуют также детали *специального назначения*, которые изучают в других специальных курсах.

«ОКМ» имеет тесную связь с другими техническими дисциплинами: теоретической механикой, позволяющей определять действующие на движущуюся деталь силы; теорией механизмов и машин; сопротивлением материалов, дающим основы расчета деталей машин на прочность, жесткость, устойчивость; с материаловедением (рациональный выбор материала); с различными технологическими дисциплинами; с инженерной графикой и др.

На развитие современного курса «ОКМ» большое влияние оказывает быстрый мировой прогресс в машиностроении, который требует все более широкой стандартизации и унификации деталей и узлов механизмов и машин общего назначения.

2. Классификация деталей и узлов

К деталям общего назначения, рассматриваемым в курсе «ОКМ», принято относить:

- крепежные и другие детали резьбовых соединений – винты, гайки, шпильки, рым-болты, шайбы, пробки;
- заклепки различных типов;
- шпонки, штифты, шплинты;
- упругие элементы – витые пружины, тарельчатые элементы, торсионы, полосы рессор;
- вкладыши и детали корпусов подшипников скольжения;
- кольца, сепараторы и тела качения подшипников качения;
- детали подшипниковых узлов – стаканы и крышки;
- детали механизмов передач – шкивы, зубчатые колеса, червяки и червячные колеса, катки, водила, звездочки и др.;
- валы и оси;
- детали корпусов передач – основания, крышки;
- детали муфт;
- фундаментные плиты, станины, детали рам, колонны, кронштейны, стойки, направляющие поступательного движения.

Узлы как сборочные единицы принято делить на простые и сложные, представляющие собой соединения простых узлов. Например, такой узел как подшипник качения является составной частью опорного узла вала, сам опорный узел является частью редуктора, редуктор – частью машинного агрегата и т. д. Метод компоновки промышленных изделий путем последовательного объединения во все более крупные узлы – *агрегатирование* – существенно упрощает процесс конструирования и сборки. Использование преимуществ этого метода становится возможным на определенной стадии развития производства, обеспечивающей высокий уровень его технологичности, стандартизации и взаимозаменяемости деталей.

В курсе «ОКМ» изучают следующие виды узлов:

- различного рода соединения (резьбовые, сварные, и т. д.)
- подшипники скольжения;
- подшипники качения;
- опорные подшипниковые узлы;
- муфты;
- рессоры и составные упругие элементы;
- смазочные и уплотнительные устройства;
- механические передачи;
- приводы машин;
- опорные рамы.

3. Требования к машинам, их деталям и узлам

Основными требованиями к конструкции механизма, машины, узла или детали являются:

- *работоспособность* – способность машины, узла, детали выполнять заданные функции;

- *экономичность* – определяется затратами на производство и эксплуатацию.

- *технологичность*. Данное свойство предполагает минимальные затраты средств, времени и труда на производство и эксплуатацию изделий. Технологичность обеспечивается выбором наиболее простых, удобных в обработке форм поверхности деталей; применением материалов, допускающих безотходную обработку литьем, прессованием, сваркой и др.; высоким уровнем стандартизации и унификации; применением энергосберегающих технологий. Технологичность характеризуется такими показателями, как материалоемкость, энергоемкость, трудоемкость и себестоимость продукции.

- *эстетичность*. Производимые изделия должны пользоваться спросом и быть конкурентоспособными в условиях современного рынка. Наряду с надежностью и технологичностью производства на цену изделия влияет такое его качество, как эстетичность. Эстетичность определяется дизайном изделия – совершенством внешних форм и красивым внешним видом, придаваемым машине, узлу или детали специальной декоративной отделкой: накаткой, полировкой, покраской, лакировкой, воронением, гальваническим покрытием и др. Следует заметить, что эстетическое восприятие той или иной машины весьма субъективно и подвержено влиянию меняющейся технической моды. Тем не менее, рационально спроектированная, изготовленная в условиях современного производства с применением передовых технологий и обладающая наиболее высокими рабочими характеристиками в своем классе машина всегда выглядит красиво.

4. Надежность машин, их узлов и деталей

- *надежность* – свойство изделия сохранять во времени свою *работоспособность*, т. е. выполнять заданные производственные функции. Для оценки надежности машин, а также отдельных узлов и деталей вводят количественный показатель, называемый коэффициентом надежности, представляющий собой вероятность сохранения работоспособности в течение заданного срока службы:

$$P(t) = 1 - \frac{N(t)}{N}.$$

В приведенной формуле параметр t есть время наработки, или ресурс; $N(t)$ – число отказов, т. е. зафиксированных за время t нарушений работоспособности; N – общее число изделий в данной статистической выборке. К примеру,

$P(t) = 0,99$ означает, что к концу наработки следует ожидать, что только 1 из 100 деталей выйдет из строя.

Коэффициент надежности сложного изделия может быть определен по надежности его составных частей (деталей). Здесь принято рассматривать два основных случая соединения: последовательное и параллельное. Под последовательным соединением понимают такое соединение, когда выход из строя одной детали влечет за собой нарушение работоспособности всего изделия. Коэффициент надежности последовательного соединения n деталей определяется формулой

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) \cdot \dots \cdot P_n(t),$$

которая показывает, что надежность всего изделия не может быть выше, чем надежность самой ненадежной из деталей. Чем больше элементов имеет последовательная система, тем ниже ее надежность.

Вывод последней формулы вполне аналогичен выводу формулы для коэффициента полезного действия последовательно соединенных механизмов, который приводится в курсе теории механизмов и машин.

При параллельном соединении отказ одной из деталей не влечет за собой отказ всего изделия, хотя в определенной мере снижает его эксплуатационные характеристики. Выявление конкретной степени, в которой ухудшаются отдельные показатели работы изделия, представляет собой довольно сложную неоднозначную задачу. Коэффициент надежности здесь определить непросто, поскольку его значение зависит как от места отказавшей детали в конструкции изделия, так и от значимости выполняемых ею функций. Тем не менее, можно констатировать, что параллельные схемы соединения обладают более высокой надежностью по сравнению с последовательными.

Для повышения надежности машин и механизмов существуют два пути. Первый из них заключается в тщательной конструкторской проработке проекта в направлении упрощения схемы изделия, уменьшения общего числа деталей и узлов. Вторым путем заключается в повышении надежности отдельных компонентов изделия, что требует широкого использования стандартных деталей, усовершенствования методов их расчета, применения современных конструкционных материалов и технологий изготовления.

Надежность представляет собой сложное, комплексное понятие. Она определяется безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью изделия.

Безотказность – способность изделия сохранять работоспособность в течении некоторой наработки, где под наработкой понимают продолжительность работы изделия или объем выполненной им работы.

Долговечность это способность изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Ремонтпригодность – свойство изделия, заключающееся в его при-

способленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость – способность изделия сохранять работоспособность в процессе хранения и транспортировки. Сохраняемость обеспечивается в процессе конструирования приданием изделию соответствующей жесткости и коррозионной стойкости.

5. Критерии работоспособности и влияющие на них факторы

Работоспособность деталей механизмов и машин определяется следующими основными критериями - *прочность, жесткость, устойчивость, износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость, виброустойчивость*. Исходя из функционального назначения, условий эксплуатации детали или узла, его необходимо рассчитать по одному или нескольким из этих критериев. Например, крепежные детали рассчитывают на прочность, а главный критерий работоспособности ходовых винтов — износостойкость.

Прочность является главным критерием работоспособности для большинства деталей. Условие прочности имеет вид

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

Расчет по допускаемым напряжениям обычно выполняют как *проектировочный*, т. е. предварительный упрощенный расчет для определения требуемых размеров детали.

Сами допускаемые напряжения выбирают либо табличным методом из специальных таблиц, в которых учтен опыт работы аналогичных деталей и узлов, либо дифференциальным методом:

$$[\sigma] = \sigma_{пред} / [S],$$

где $\sigma_{пред}$ для пластичных материалов обычно есть предел текучести σ_T . Для хрупких материалов берут предел прочности σ_B . $[S]$ — допускаемый коэффициент запаса прочности для деталей данного типа, зависит от условий работы, качества обработки, масштаба, концентрации напряжений и др. Его определяют по формулам вида:

$$[S] = [S_1] \cdot [S_2] \cdot [S_3] \cdot \dots$$

Проверочный расчет на прочность – уточненный расчет уже сконструированной детали на основе ее рабочего чертежа, где учтены размеры, обработка, концентраторы ...

$$S = \frac{\sigma_{пред}}{\sigma} \geq [S].$$

Здесь действительный коэффициент запаса прочности сравнивают с допускаемым. В каждой отрасли машиностроения свои нормы запасов прочности для конкретных деталей (корабельную установку с ее деталями нельзя сравнивать с авиационными двигателями той же мощности, где на первый план

выходят соображения веса).

Жесткость – способность детали сопротивляться изменению размеров и формы под действием внешних сил.

Жесткость характеризуется коэффициентом жесткости, определяемым отношением величины нагрузки на деталь к измеренной деформации (удлинение, прогиб, угол перегиба, угол закручивания, ...)

$$c = \frac{\text{нагрузка}}{\text{деформация}}$$

или обратной величиной – коэффициентом податливости

$$\lambda = \frac{\text{деформация}}{\text{нагрузка}}.$$

Для нормальной работы детали необходимо, чтобы её деформации не превышали некоторых допустимых пределов, иначе нарушаются условия нормальной работы сопряженных элементов конструкций. Допускаемые значения деформаций определяются из опыта эксплуатации, а в некоторых случаях регламентируются соответствующими стандартами.

Формально, условие жесткости может быть записано в виде:

$$\text{рассчитанная деформация} \leq [\text{допускаемая деформация}].$$

Износостойкость — критерий работоспособности трущихся ДМ. В результате износа снижается КПД, надежность, долговечность и экономичность ДМ. Существуют различные виды изнашивания: усталостное, абразивное, коррозионно-механическое и др. 85 - 90 % машин выходят из строя из-за износа.

Понизить интенсивность износа возможно улучшением системы смазки и снижением контактных напряжений на трущихся поверхностях, защитой рабочей зоны от попадания грязи и абразивных частиц, обеспечением должного температурного режима, специальной поверхностной термической или химической обработкой материала.

Устойчивость — критерий работоспособности длинных и тонких стержней, пластин и оболочек, подвергающихся определенным видам нагружения (сжатие, внешнее давление, ...) Потеря устойчивости происходит при достижении нагрузкой критического значения. Характер деформации претерпевает резкое качественное изменение: стержни выгибаются, а на пластинах и оболочках образуется характерная система вмятин. Повысить устойчивость деталей удастся увеличением их изгибной жесткости, дополнительным закреплением с помощью промежуточных опор, оребрением поверхности.

Теплостойкостью называют способность изделия сохранять свою работоспособность в заданном интервале температур. Трение в кинематических парах вызывает выделение тепла. Интенсивность тепловыделения прямо пропорциональна коэффициенту потерь механизма. Если не обеспечен должный отвод тепла, детали могут перегреться. Чрезмерный нагрев вызывает

снижение прочностных характеристик материала, понижает эффективность масляной смазки, ускоряет процесс износа, изменяет величину зазоров скользящих посадок, что может привести к заклиниванию и заеданию.

Расчет на теплостойкость механизма предполагает составление уравнения теплового баланса, определение расчетного повышения температуры и сравнение его с допускаемым значением. Расчет нагретых деталей на прочность ведут по пониженным допускаемым напряжениям, с учетом температуры нагрева. Также необходимо учитывать нагрев при выборе посадок и смазочного материала.

Виброустойчивостью называют способность изделия нормально функционировать в условиях вибрационного воздействия. Вибрации вызывают дополнительные переменные напряжения, возрастающие при режимах работы, близких к резонансу. Особенно опасны вибрации для скоростных машин циклического действия, поскольку работа, производимая колеблющейся системой, пропорциональна квадрату частоты цикла. Систематическое превышение предельного уровня вибраций может привести к усталостному разрушению деталей. Также представляет опасность разгон или выбег машины, работающей в зарезонансном режиме, когда медленно меняющаяся рабочая частота проходит резонансную зону. Расчет на виброустойчивость обычно ограничивается нахождением собственных частот колебаний узла или детали и назначением границ диапазона рабочих частот машины на допускаемом удалении от этих частот.