

МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

Прикладная механика является общеинженерной дисциплиной, играющей роль связывающего звена между циклом общенаучных и инженерных дисциплин. Прикладная механика объединяет в себе наиболее характерные элементы таких дисциплин как сопротивление материалов, теория механизмов и машин и детали машин, обеспечивающих общеинженерную подготовку и закладывающих фундамент инженерного машиностроительного профиля.

Классификация механизмов.

Механизмы классифицируются по следующим признакам:

1. По области применения и функциональному назначению:
 - механизмы летательных аппаратов;
 - механизмы станков;
 - механизмы кузнечных машин и прессов;
 - механизмы двигателей внутреннего сгорания;
 - механизмы промышленных роботов (манипуляторы);
 - механизмы насосов и т.д.
2. по виду передаточной функции на механизмы:
 - с постоянной передаточной функцией;
 - с переменной передаточной функцией:
 - с нерегулируемой (синусные, тангенсные);
 - с регулируемой:
 - со ступенчатым регулированием (коробки передач);
 - с бесступенчатым регулированием (вариаторы).
3. по движению и расположению звеньев в пространстве:
 - пространственные;
 - плоские.
4. по числу подвижностей механизма:
 - с одной подвижностью $W=1$;
 - с несколькими подвижностями $W>1$:
 - суммирующие (интегральные);
 - разделяющие (дифференциальные).
5. по виду кинематических пар (КП):
 - с низшими КП (все КП механизма низшие);
 - с высшими КП (хотя бы одна КП высшая);
 - шарнирные (все КП механизма вращательные - шарниры).
6. по способу передачи и преобразования потока энергии:
 - фрикционные (сцепления);
 - зацеплением;
 - волновые (создание волновой деформации);
 - импульсные.
7. по форме, конструктивному исполнению и движению звеньев:
 - рычажные;
 - зубчатые;
 - кулачковые;
 - планетарные;
 - манипуляторы.

Понятие о инженерном проектировании.

Инженерное проектирование - это процесс, в котором научная и техническая информация используется для создания новой системы, устройства или машины, приносящих обществу определенную пользу.

Проект (от латинского *projectus* - брошенный вперед) - совокупность документов и описаний на различных языках (графическом - чертежи, схемы, диаграммы и графики; математическом - формулы и расчеты; инженерных терминов и понятий - тексты описаний, пояснительные записки), необходимая для создания какого-либо сооружения или изделия.

Основные этапы процесса проектирования.

1.	Техническое задание на проектирование (первичное описание)
2.	Анализ существующих технических решений
3.	Разработка функциональной схемы
4.	Разработка структурной схемы
5.	Метрический синтез механизма (синтез кинематической схемы)
6.	Статический силовой расчет
7.	Эскизный проект
8.	Кинетостатический силовой расчет
9.	Силовой расчет с учетом трения
10.	Расчет и конструирование деталей и кинематических пар (прочностные расчеты, уравнивание, балансировка, виброзащита)
11.	Технический проект
12.	Рабочий проект (разработка рабочих чертежей, технологии изготовления и т.д.)
13.	Изготовление опытных образцов
14.	Испытания опытных образцов
15.	Технологическая подготовка серийного производства
16.	Серийное производство изделия

Методы проектирования.

- Прямые аналитические методы синтеза (разработаны для ряда простых типовых механизмов);
- Эвристические методы проектирования - решение задач проектирования на уровне изобретений (например, алгоритм решения изобретательских задач [8]);
- Синтез методами анализа - перебор возможных решений по определенной стратегии (на пример, с помощью генератора случайных чисел - метод Монте-Карло) с проведением сравнительного анализа по совокупности качественных и эксплуатационных показателей (часто используются методы оптимизации -

минимизация сформулированной разработчиком целевой функции, определяющей совокупность качественных характеристик изделия);

- Системы автоматизированного проектирования или САПР - компьютерная программная среда моделирует объект проектирования и определяет его качественные показатели, после принятия решения - выбора проектировщиком параметров объекта, система в автоматизированном режиме выдает проектную документацию и д.р.

Модели машин.

Модель - устройство или образ (мысленный или условный: схема, чертеж, система уравнений и т.п.) какого-либо объекта или явления (оригинала данной модели), адекватно отражающей его исследуемые свойства и используемый в качестве заместителя объекта в научных или иных целях 3).

Виды моделей.

1. По форме представления:
 - физические; математические (аналоговые; цифровые).
2. По назначению:
функциональные; структурные; кинематические; динамические и пр.
3. По методу исследования:
графические; аналитические; графо-аналитические; экспериментальные и д.р.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛЯМ И УЗЛАМ

Детали и узлы машин, как и машины в целом, должны удовлетворять следующим основным требованиям: 1) работоспособности; 2) надежности; 3) технологичности; 4) экономичности; 5) эстетичности.

Работоспособностью называют состояние деталей, при котором они способны нормально выполнять заданные функции с параметрами, установленными нормативно-технической документацией (ТУ, ГОСТ и т. п.).

Под **надежностью** понимают свойство изделия (детали, узла, машины) выполнять функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение заданного промежутка времени или требуемой наработки. Термины и определения по надежности указаны в ГОСТ 13377-75.

Надежность изделия зависит от необходимой наработки, исчисляемой в часах работы, в километрах пробега, гектарах обработанной земли и т. д. *Надежность напрямую зависит от ошибок проектирования, погрешностей производства, упаковки, транспортировки и эксплуатации изделия и т. д.*

Технологичными называют детали и узлы, требующие минимальных затрат средств, времени и труда в производстве, эксплуатации и ремонте. Технологичность деталей обеспечивается: очерчиванием их простейшими поверхностями (цилиндр, конус и др.), удобными для физико-механической обработки; применением материалов, пригодных для безотходной обработки (давлением, литьем, сваркой, лазерной и т. п.) и ресурсосберегающей технологии и т. д.

Технологичные детали и узлы машин должны характеризоваться высоким уровнем стандартизации и унификации конструктивных элементов, материалов, расчетов и технологий.

При оценке экономичности учитывают затраты на проектирование, изготовление, эксплуатацию и ремонт.

Экономичность деталей и узлов достигается оптимизацией их формы и размеров из условия минимума материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости производства, за счет максимального коэффициента полезного действия в эксплуатации при высокой надежности; высокой специализацией производства и т.д.

Эстетичность. Совершенство и красота внешних форм деталей, узлов и машины в целом существенно влияют на отношение к ней со стороны обслуживающего персонала.

Отказы деталей машин в основном являются невосстанавливаемыми и связаны, как показала практика, со статическими, малоцикловыми и усталостными разрушениями, изнашиванием и недостаточной жесткостью. Поэтому *важнейшими критериями оценки работоспособности и надежности деталей машин являются:* 1) прочность; 2) жесткость; 3) износостойкость; 4) виброустойчивость.

Прочность – способность детали сопротивляться разрушению – оценивается несколькими способами: а) с помощью допускаемых напряжений; б) запасами прочности; в) статистическими запасами прочности.

Наибольшее распространение получил метод расчета по допускаемым напряжениям, согласно которому наибольшее напряжение σ_{\max} в некоторой точке нагруженной детали не должно превышать допускаемой величины $[\sigma]$, свойственной данному материалу и типу детали

$$\sigma_{\max} < [\sigma].$$

В инженерных расчетах допускаемые напряжения используют в основном для предварительных расчетов, связанных с приближенным определением основных размеров деталей.

Широкое распространение получил расчет по запасам прочности

$$n = \sigma_{\text{пред}} / \sigma_{\max}$$

где n – запас прочности; $\sigma_{\text{пред}}$ – предел прочности при постоянных нагрузках или предел выносливости при переменных нагрузках (полученное экспериментально или взятое из справочника); σ_{\max} — максимальное напряжение в опасной точке детали, вычисленное при наибольшей рабочей нагрузке.

Жесткость — способность деталей сопротивляться изменению формы, является одной из характеристик работоспособности деталей машин. Жесткость оценивают по величине силы, вызывающей единичное линейное или угловое перемещение некоторой точки или сечения детали.

$$c = F / \Delta L = E \cdot A / L, \text{ Н/мм},$$

c – жесткость стержня при растяжении, E – модуль упругости A – площадь поперечного сечения.

Характеристику, обратную жесткости, называют податливостью

$$\lambda = 1/c, (\text{мм/Н}).$$

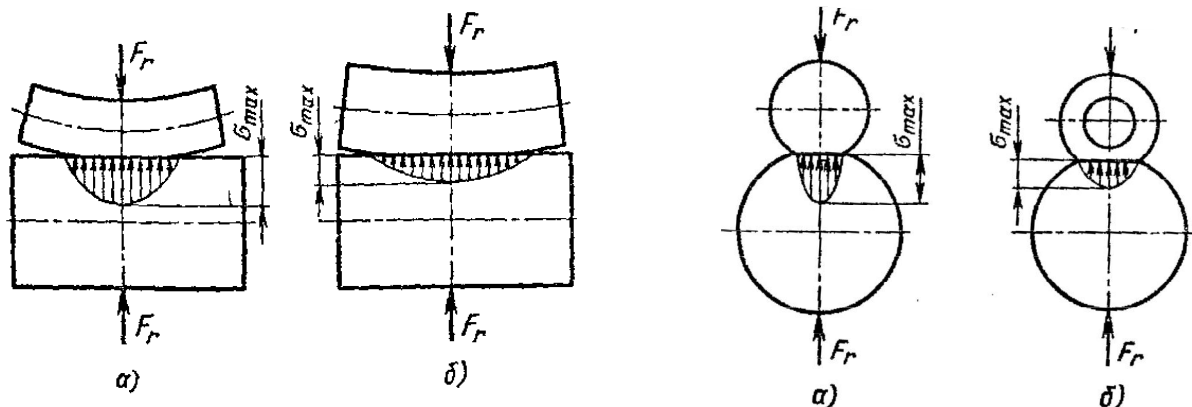
Податливость равна перемещению сечения стержня (детали) под действием силы в 1 Н.

Жесткость существенно влияет на распределение напряжений в зонах соприкосновения деталей и в самих деталях и, как следствие, на их прочность и износостойкость.

При увеличении диаметра малого ролика и связанного с ним увеличения его изгибной жесткости возрастает длина площадки контакта и снижается максимальное напряжение. Это способствует повышению износостойкости и прочности деталей,

но масса ролика возрастает.

При уменьшении радиальной жесткости малого ролика (пустотелый ролик) также за счет возрастания ширины площадки контакта снижается максимальное контактное напряжение, но в этом случае увеличиваются окружные напряжения в теле малого ролика.



Вообще жесткость влияет и на другие характеристики деталей и узлов машин например, на вибрационную активность.

Изнашивание. При постоянных условиях трения на первой стадии происходит приработка поверхностей контакта (разрушение наиболее «уязвимых» микронеровностей и образование «равновесной» шероховатости). Вторая стадия (период установившегося изнашивания), характеризуется минимальной интенсивностью изнашивания в заданных условиях трения. Третья стадия – катастрофический износ и резкое уменьшение размеров сечения детали.

Виды изнашивания. Различают механическое (усталостное, абразивное), молекулярно-механическое, коррозионно-механическое (окислительное, фреттинг-коррозия и т. д.) изнашивание. По характеру промежуточной среды различают изнашивание при трении без смазочного материала, изнашивание при граничном трении, изнашивание при наличии абразива. По характеру деформирования поверхностного слоя изнашивание может происходить при упругом и пластическом контакте, при микрорезании.

Абразивное изнашивание является результатом срезания и пластического деформирования микронеровностей (шероховатостей) твердыми посторонними частицами при относительном перемещении сопряженных поверхностей.

Распространенный вид повреждения поверхности деталей транспортных, дорожных, сельскохозяйственных, горных и других машин, работающих в технологических средах, содержащих абразивные частицы. Для уменьшения абразивного изнашивания снижают уровень абразивного воздействия, повышают поверхностную твердость материалов деталей (закалкой, поверхностным пластическим деформированием, напылением порошков карбидов).

Молекулярно-механическое изнашивание происходит при высоких контактных напряжениях в зоне сопряжения деталей из однородных материалов (зубчатых и гипербелоидных передач, резьбовых соединений и др.). Оно начинается с локального пластического деформирования и разрушения окисных пленок на отдельных участках поверхности контакта, а заканчивается молекулярным сцеплением (схватыванием) материала этих участков деталей и последующим разрушением зон схватывания при относительном движении. Этот – процесс называют заеданием. Интенсивность заедания увеличивается с ростом

контактных напряжений (давлений), скорости относительного перемещения, температуры в зоне контакта и т. д.

Для предупреждения схватывания на поверхности контактирующих деталей наносят защитные покрытия и окисные пленки, подают смазочный материал в зону контакта, повышают поверхностную прочность (твердость) деталей, ограничивают контактные напряжения и скорость относительного перемещения.

Коррозионно-механическое изнашивание наблюдается в машинах и аппаратах, в которых трущиеся детали вступают в химическое взаимодействие со средой, и разрушается под действием двух одновременно протекающих процессов: коррозии и механического изнашивания.

При вибрациях в условиях контакта металла с воздухом коррозионно-механическое изнашивание протекает в форме фреттинг-коррозии (англ. fret - подтачивать). В результате небольших циклических относительных смещений деталей разрушаются тонкие окисленные поверхностные слои металла, которые не удаляются из зоны трения и превращаются в абразивные частицы (черный порошок). Процесс окисления непрерывен на воздухе, поэтому разрушение носит прогрессирующий характер. Фреттинг-коррозия способствует разрушению заклепочных, прессовых, резьбовых, шлицевых и шпоночных соединений.

Для защиты от фреттинг-коррозии используют различные методы поверхностного упрочнения зон контакта, наносят мягкие гальванические покрытия, напыляют тефлоновые и резиновые пленки и т. п.

В химически активных средах, где процессы коррозии протекают активно, коррозионно-механическое изнашивание деталей наносит существенный ущерб. Для предотвращения коррозионно-механического изнашивания применяют коррозионно-стойкие материалы.

РЕАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ (МОДЕЛИ)

При решении задач сопротивления материалов используются приемы моделирования. От правильности выбора критериев моделирования в конечном итоге зависят правильность и точность расчетов.

Элементы конструкции условно рассматриваются как модели (расчетные схемы).

Модель (расчетная схема) — совокупность представлений, зависимостей, условий, ограничений, описывающих процесс, явление.

Модель получают из реального объекта и оставляют основные свойства, которые могут быть описаны математическими уравнениями. Погрешность при этом должна быть в пределах допустимой (до 5%).

Величина погрешности при создании и решении модели не должна противоречить требованиям ее надежности и должна гарантировать требуемые эксплуатационные показатели и ресурс, а также экономичность.

Конструкционные материалы и их модели

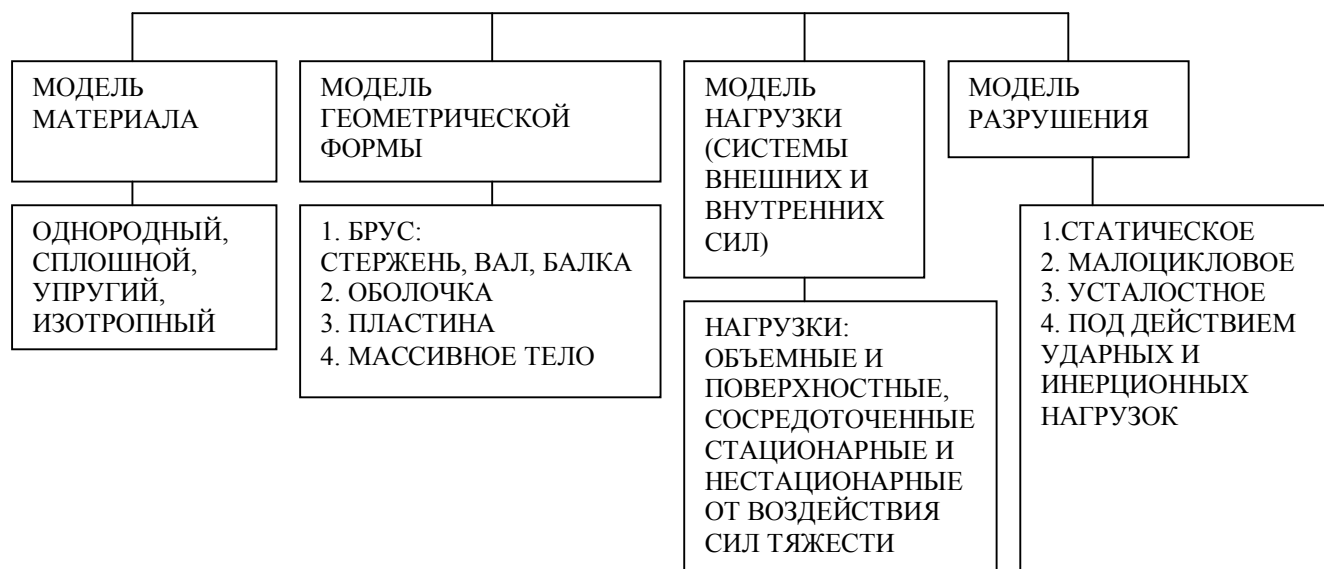
В качестве конструкционных материалов в машиностроении используются в основном металлы и их сплавы, а также различные органические и неорганические материалы (полимеры, пластмассы, керамика, композитные материалы).

В сопротивлении материалов используются гипотезы о том, что материалы имеют сплошную однородную среду. Материал считается изотропным, т.е. свойства

его по любым направлениям одинаковы. Считается, что материалы, абсолютно упругие и деформируемые, подчиняются закону Гука. Деформации малы в сравнении с первоначальными размерами, то есть должны выполняться принцип неизменности первоначальных размеров и должен принцип независимости действия сил. Это означает, что результат воздействия на реальный объект (ЭК) системы сил эквивалентен сумме результатов действия тех же сил, приложенных отдельно в произвольной последовательности (т.е. справедлив принцип суперпозиции и принцип Сен-Венана: в точках, достаточно удалённых от мест приложения нагрузок, внутренние силы весьма мало зависят от способа приложения нагрузок).

Составные части модели прочностной надежности

Совокупность свойств расчётной модели (схемы) называют моделью прочностной надежности. Эти свойства даны в таблице 1.



Модели формы

Геометрическая форма элементов конструкций часто бывает весьма сложной. для определения напряженного и деформационного состояния применяют упрощенные схематизированные модели формы элементов конструкций с помощью стандартных типовых форм. Основными моделями формы являются брус, пластины, оболочки, массивные тела.

Брус — геометрическое тело, у которого размеры сечения значительно меньше длины. Сечение, перпендикулярное оси бруса, называется поперечным сечением.

Линия, проходящая через центры тяжести поперечных сечений, называется осью бруса.

Брус, работающий на растяжение-сжатие, называют стержнем.

Брус, работающий на кручение, называют валом. В машинах и механизмах валы, в основном, работают при совместном действии изгиба и кручения. Брус, работающий на изгиб, называется балкой. Так как размеры сечения бруса (b и h) значительно меньше длины (l), в расчетных моделях брус (валы, балки) изображают в виде сплошных линий, совпадающих с их осями. Брус — основной объект расчёта в сопротивлении материалов.

При деформировании используется гипотеза плоских сечений: сечения плоские до деформации остаются плоскими после деформации (гипотеза Бернулли).

Оболочками называются геометрические формы, ограниченные двумя близкими поверхностями.

Пластины ограничиваются двумя плоскими или слабоизогнутыми поверхностями (крыши зданий, палубы судов, люки и т.п.)

Массивное тело (массив) — модель элемента конструкции, в котором все размеры соизмеримы и являются величиной одного и того же порядка.

Реальные детали машин со сложной геометрией можно рассматривать как сочетание простых моделей формы.

Модели формы, их синтез имеют существенное значение для автоматизированного проектирования и конструирования (САПР).

Модели внешнего нагружения

Как известно, сила — мера механического взаимодействия тел. Если конструкцию или ЭК рассматривать изолировано от взаимодействующих с ними тел, действие последних заменяется силами, которые называются внешними силами. Внешние силы деформируют тело. Внешние силы, действующие на элемент конструкции, подразделяют на три группы:

1. Сосредоточенные силы (F) — силы, действующие на небольших участках поверхности детали или элемента конструкции.

2. Распределенные силы ($q_{1,2}$) — силы, действующие на значительных участках поверхности.

3. Объемные или массовые силы — например, силы тяжести, инерции, электромагнитного притяжения.

Совокупность внешних сил, действующих на твёрдое тело, называют нагрузкой.

Возможно изменение сил во времени, определяемое условиями эксплуатации и параметрами рабочего процесса изделия: цикличность нагрузки, внезапные удары, имеющие вероятностный характер, вибрации. По характеру длительности действия принято различать нагрузки статические и динамические.

Статическая нагрузка — нагрузка, не изменяющаяся с течением времени (собственный вес конструкции) или изменяющаяся медленно, так что эффектом ускорения можно пренебречь.

Динамическая нагрузка — это нагрузка, учитывающая ускорения взаимодействующих тел. динамическая нагрузка в отличие от статической меняет свое значение, положение или направление в короткие промежутки времени (движущие нагрузки, ударные, сейсмические и др.), вызывая большие ускорения и силы инерции, что приводит к определенному характеру деформирования и к колебаниям конструкций и сооружений. динамические нагрузки делят на ударные, повторно-переменные и инерционные. Динамические нагрузки являются функцией времени.

Ударная нагрузка в момент ее приложения обладает определенной кинетической энергией.

Повторно-переменные нагрузки — нагрузки, которые во времени изменяются циклически (например, при вращении валов возникает совместное переменное действие изгиба и кручения).