



# Классификация сил

- **Движущие силы (движущие моменты).** Они приложены к входному звену механизма. Совершаемая ими работа при движении машины считается положительной. Они зависят от разных параметров. Так, давление газа в цилиндре двигателя внутреннего сгорания зависит от перемещения поршня, а движущий момент в механизме, например, стрелочного перевода создаётся электродвигателем и зависит от скорости вращения мотора.
- **Силы сопротивления**, которые машина преодолевает при работе. Эти силы всегда стремятся замедлить движение выходного звена. Они достаточно условно подразделяются на **силы полезного сопротивления** (при резании, прессовании и т.п.), на преодоление которых затрачивается полезная работа машины и **силы вредного сопротивления** (потери на трение и т.п.), на преодоление которых затрачивается работа дополнительно, сверх полезной. К вредному сопротивлению относят как силы взаимодействия между звеньями в кинематических парах (трение, удары), так и силы сопротивления среды (аэро- и гидродинамические).
- **Силы тяжести**, равнодействующие которых приложены в центрах тяжести звеньев. В зависимости от направления движения центра тяжести звена (вниз или вверх) силы тяжести совершают либо положительную, либо отрицательную работу, которая, соответственно помогает или препятствует движению машины.

- **Силы инерции.** Действуют на все звенья механизма, движущиеся с ускорением – линейным или угловым. В соответствии с методами теоретической механики все силы инерции приводятся к главному вектору и главному моменту сил инерции. Главный вектор и главный момент сил инерции направлены противоположно соответствующим ускорениям.
- **Реактивные силы** или **реакции** возникают в кинематических парах в результате действия всех, описанных выше сил в соответствии с 3-м законом Ньютона. В их обозначениях применяют два индекса, первый из которых указывает, от какого звена, а второй – на какое звено действует сила. Реакции непосредственно не влияют на характер движения механизма.
- **Силы трения** в кинематических парах зависят от реакций. Силы (моменты) трения обычно считают вредным сопротивлением, они всегда направлены противоположно движению и рассеивают часть энергии на своё преодоление, отнимая её от полезной работы и преобразуя её в тепло. Это вызывает нежелательный нагрев деталей машин. Однако, кроме того, силы трения эффективно рассеивают энергию колебаний, понижая уровень шума и вибрации машин.
- **Равнодействующая всех сил**, приложенная к входному звену со стороны остальных звеньев механизма называется **уравновешивающей силой** (моментом). Максимальная величина уравновешивающего момента определяет требуемую мощность двигателя.

# *Силы и условия нормальной работы изделия*

Успешная работа изделий заключается в обеспечении **надёжности** и **работоспособности** при заданных нагрузках.

- **НАДЁЖНОСТЬЮ** по ГОСТ 27.002–89 называют свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надёжность состоит из сочетаний следующих частных свойств: **безотказности, долговечности, ремонтпригодности** и **сохраняемости**.

- **БЕЗОТКАЗНОСТЬ** – способность сохранять свои эксплуатационные показатели в течение заданной наработки без вынужденных перерывов.
- **ОТКАЗ** – явление, связанное с частичной или полной утратой работоспособности изделия. По своей природе отказы бывают: *полные* и *частичные*; *внезапные* (например, поломка) и *постепенные* (изнашивание, коррозия); опасные для жизни человека; тяжелые и легкие, устранимые и неустраимые. В зависимости от причин возникновения отказы подразделяются на *конструкционные*, *производственные* и *эксплуатационные*.

- **ДОЛГОВЕЧНОСТЬ (РЕСУРС)** – способность сохранять заданные показатели до предельного состояния с необходимыми перерывами для ремонтов и технического обслуживания.
- **РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ** – приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей посредством техобслуживания и ремонта.
- **СОХРАНЯЕМОСТЬ** – способность сохранять требуемые эксплуатационные показатели после установленного срока хранения и транспортирования.

***Чем больше в сложной системе элементов,  
тем меньше вероятность ее безотказной  
работы.***

Это следует помнить и учитывать при проектировании. Вероятность безотказной работы системы в разные периоды ее срока службы различна. Обычно с увеличением срока службы (или, например, пробега) вероятность безотказной работы уменьшается. При этом законы распределения вероятности безотказной работы могут быть различными: показательной, нормальной, логарифмически-нормальной и др.

# Обеспечение надежности

Особенностью **проблемы надежности** является ее **связь со всеми жизненными циклами** изделия и его деталей, начиная с момента формирования заявки на разработку и заканчивая ее списанием.

Каждый из жизненных циклов вносит свою лепту в решение надежности

- Надежность изделия **закладывается** на стадии проектирования. Она зависит от применения современных методов расчета и проектирования, конструкции составных частей, материалов деталей и методов их упрочнения, способов защиты от внешней среды, системы смазки, приспособленности к сохранности и проведению ТО.
- Надежность **обеспечивается** в процессе изготовления деталей и их сборки за счет достижения необходимой точности размеров, применения прогрессивных упрочняющих технологий и технологических мероприятий, направленных на обеспечения технических требований.
- Надежность **реализуется** в процессе эксплуатации и зависит от скоростных и нагрузочных режимов работы, системы технического обслуживания и других эксплуатационных факторов.

Надёжность трудно рассчитать количественно, она обычно оценивается как вероятность безотказной работы на основании статистики эксплуатации группы идентичных изделий.

# Состояния надежности

## РАБОТОСПОСОБНОЕ, ИСПРАВНОЕ и НЕИСПРАВНОЕ

- **РАБОТОСПОСОБНОСТЬ** – это состояние объекта, при котором значения всех параметров выполняемых функций, соответствуют требованиям нормативно-технической или конструкторской документации. Оценочными качественными показателями работоспособности являются: **прочность, жесткость, износостойкость, коррозионная стойкость, тепло-холо-виброустойчивость, стойкость к старению.**
- **ПРОЧНОСТЬ** – это способность деталей изделия выполнять свои функции в пределах предусмотренных нагрузок без пластических деформации и разрушения. Различают **статическую** и **усталостную** прочность. Нарушение статической прочности происходит тогда, когда величина рабочих напряжений превышает предел статической прочности материала. Обычно это связано с перегрузками. Усталостные поломки детали вызываются длительным действием переменных напряжений, величина которых превышает характеристики усталостной прочности материала (например,  $b_{-1}$ ).
- **ЖЁСТКОСТЬ** – способность детали сопротивляться любой деформации.
- **ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ** – способность сохранять первоначальную форму своей поверхности, сопротивляясь износу.
- **ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ** – способность сохранять свои свойства при действии высоких температур;
- **ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ** – способность работать в нужном диапазоне режимов без недопустимых колебаний.

При всей значимости всех описанных критериев, помним, что

***ПРОЧНОСТЬ ЯВЛЯЕТСЯ ВАЖНЕЙШИМ КРИТЕРИЕМ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ.***

Невыполнение условия прочности делает бессмысленными все другие требования и критерии качества изделия.

Немногого стоит технологичная, жёсткая, износостойкая, теплостойкая, виброустойчивая, дешёвая в эксплуатации, ремонтпригодная конструкция **самого передового дизайна**, если

**ОНА СЛОМАЛАСЬ ПРИ ПЕРВОЙ ЖЕ НАГРУЗКЕ!**

# Общие принципы прочностных расчётов

В расчетах прочности материал детали представляют однородной сплошной средой, что позволяет рассматривать тело как непрерывную среду и применять методы математического анализа.

*Под однородностью понимают независимость его свойств от размеров выделяемого объема*

- В расчетах на прочность и жесткость рассматриваются *изотропные материалы*, то есть материалы, обладающие в различных направлениях одинаковыми свойствами.
- Расчетная модель материала наделяется такими физическими свойствами, как *упругость*, *пластичность* и *ползучесть*.
- **УПРУГОСТЬЮ** называют свойство тела восстанавливать свою форму после снятия внешней нагрузки.
- **ПЛАСТИЧНОСТЬЮ** называют свойство тела сохранять после нагрузки полностью или частично деформацию, полученную при нагружении.
- **ПОЛЗУЧЕСТЬЮ** называют свойство тела увеличивать со временем деформацию под действием постоянных внешних сил.

Различают **проектировочные и проверочные** расчёты.

- **Проектировочный расчёт** выполняется, когда по ожидаемым нагрузкам, с учётом свойств материала определяются геометрические параметры деталей.
- **Проверочный расчёт** выполняют, когда известна вся "геометрия" детали и максимальные нагрузки, а с учётом свойств материала определяются максимальные напряжения, которые должны быть меньше допускаемых.

Математическая формулировка условия прочности любой детали проста:

$$\sigma \leq [\sigma] \text{ или } \tau \leq [\tau] ,$$

где  $\sigma$  и  $\tau$  - расчетные нормальные и касательные напряжения в опасном сечении детали;  $[\sigma]$  и  $[\tau]$  - допускаемые напряжения.