

Эффективность грузовой системы уравновешивания вращающегося звена

Понятие об уравновешивании

Под уравновешиванием вращающихся звеньев понимается задача, связанная с распределением масс по звену для уменьшения давления на стойку механизма.

Для полного устранения этих реакций необходимо, чтобы главный вектор и главный момент сил инерции были равны нулю в любой момент движения:

$$\overline{\vec{F}}_И = 0 \ , \quad \overline{\vec{M}}_И = 0 \ .$$

Эффективность грузовой системы уравновешивания оценивают коэффициентом эффективности:

$$K_{\text{Э}} = 1 - K_{\text{И}} - K_{\text{Т}}.$$

В грузовой системе уравновешивания значение коэффициента $K_{\text{Т}}$ потерь за счет трения мало по сравнению с коэффициентом $K_{\text{И}}$ инерционных потерь, поэтому им можно пренебречь. Таким образом, для определения коэффициента эффективности запишем выражения мощностей, необходимых для преодоления статических и инерционных нагрузок от массы звена и противовеса (рис. 5.8):

$$\Delta P_{\text{С}} = M_j \omega_j = m_j g r_j \cos \left(\sum_{i=1}^j q_i \right)_{\text{max}} \cdot \omega_j;$$

$$\Delta P_{\text{И}} = M_n \omega_j = J_n \varepsilon_j \omega_j,$$

где ω_j – угловая скорость звена j , с^{-1} ; $\left(\sum_{i=1}^j q_i \right)_{\text{max}}$ – сумма обобщенных координат, при которой функция $\cos \sum_{i=1}^j q_i$ достигает максимума.

Подставляя эти значения в формулу для коэффициента эффективности, получим:

$$K_{\text{Э}} = 1 - K_{\text{И}} = 1 - \frac{J_n \varepsilon_j}{m_j g r_j \cos \left(\sum_{i=1}^j q_i \right)_{\text{max}}}.$$

Из формулы видно, что основными факторами, влияющими на эффективность грузовой системы уравновешивания, являются угловое ускорение звена и момент инерции противовеса. При постоянном угловом ускорении чем меньше момент инерции противовеса, тем выше эффективность системы уравновешивания.

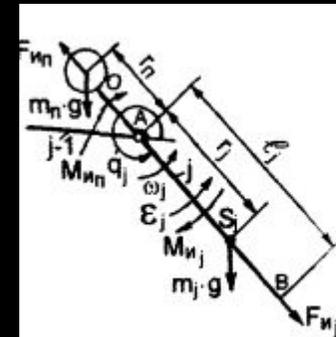


Рис. 5.8

Например, для противовеса, выполненного в виде шара, момент инерции относительно оси A вращения противовеса равен:

$$J_n = J_o + m_n \cdot r_n^2.$$

Находим значения моментов инерции противовеса относительно своих центральных осей:

$$J_o = 0,4m_n R^2,$$

где m_n – масса противовеса:

$$m_n = \frac{m_j r_j}{r_n};$$

R – радиус шаровой поверхности.

После подстановки получим:

$$J_n = 0,4 \frac{m_j r_j}{r_n} R^2 + m_j r_j r_n.$$

Продифференцируем это уравнение по r_n и приравняем нулю:

$$J'_n = -0,4m_j r_j R^2 \frac{1}{r_n^2} + m_j r_j = m_j r_j \left(1 - 0,4 \frac{R^2}{r_n^2}\right) = 0,$$

откуда
$$1 - 0,4 \frac{R^2}{r_n^2} = 0.$$

После преобразований найдем оптимальное расстояние от оси A вращения звена до точки O установки противовеса:

$$r_{n \text{ опт}} = 0,63R.$$

При этом масса противовеса будет равна:

$$m_n = \frac{m_j r_j}{0,63R}. \quad (5.6)$$

Так как вторая производная

$$J''_n = 0,8m_j r_j R^2 \frac{1}{r_n^3} > 0,$$

то минимальный момент инерции противовеса равен:

$$J_{n \min} = 0,4 \frac{m_j r_j}{0,63R} R^2 + m_j r_j 0,63R = 1,27 m_j r_j R.$$

Для нахождения радиуса R шара выразим массу противовеса через объем шара и плотность ρ его материала, кг/м³:

$$m_n = V \rho = \frac{4\pi R^3}{3} \rho, \quad (5.7)$$

где V – объем шара, м³:

$$V = \frac{4\pi R^3}{3}.$$

Решая совместно (12.6) и (12.7), найдем радиус шара:

$$R = \sqrt[4]{\frac{1,27 m_j r_j}{\pi \rho}} = 0,7864 \sqrt[4]{\frac{m_j r_j}{\rho}}.$$

Максимальный коэффициент эффективности системы:

$$\begin{aligned} K_{\ominus \max} &= 1 - K_{\text{И}} = 1 - \frac{J_{n \min} \varepsilon_j}{m_j g r_j \cos\left(\sum_{i=1}^j q_i\right)_{\max}} = \\ &= 1 - \frac{1,27 m_j r_j R \varepsilon_j}{m_j g r_j \cos\left(\sum_{i=1}^j q_i\right)_{\max}} = \\ &= 1 - \frac{1,27 R \cdot \varepsilon_j}{g \cos\left(\sum_{i=1}^j q_i\right)_{\max}} = 1 - \frac{1,27 \varepsilon_j \cdot 0,7864 \sqrt[4]{\frac{m_j r_j}{\rho}}}{g \cos\left(\sum_{i=1}^j q_i\right)_{\max}} \approx \\ &\approx 1 - \frac{0,1 \varepsilon_j}{\cos\left(\sum_{i=1}^j q_i\right)_{\max}} \sqrt[4]{\frac{m_j r_j}{\rho}}. \end{aligned}$$

Систем уравнивания

Известно два вида систем уравнивания, применяемых в робототехнике: сигнальная и силовая. Сигнальная система уравнивания применяется в копирующих манипуляторах с отражением усилий для устранения восприятия оператором статических нагрузок от массы подвижных звеньев задающего и исполнительного устройств. Для формирования сигналов, пропорциональных статическим нагрузкам и компенсирующих сигналы тракта отражения усилий, используют функциональные вычислители, акселерометры, синусно-косинусные датчики положения.

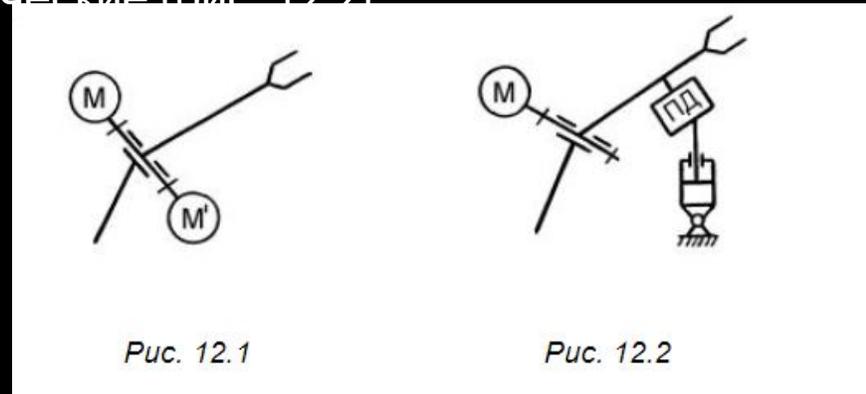
Сигнальная система позволяет разгрузить от воздействия статических нагрузок только приводы задающего устройства. Приводы же исполнительного устройства остаются неразгруженными.

Силовая система уравнивания позволяет компенсировать статические нагрузки на приводах исполнительных устройств роботов. Смысл работы этой системы уравнивания заключается в том, что параллельно с основными работают дополнительные приводы системы уравнивания, которые развивают усилия, равные по величине, но противоположные по направлению статическим нагрузкам, действующим на основные приводы робота.

В зависимости от вида источника энергии силовые системы уравнивания бывают двух типов, которые условно можно разделить на активные и пассивные.

АКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ

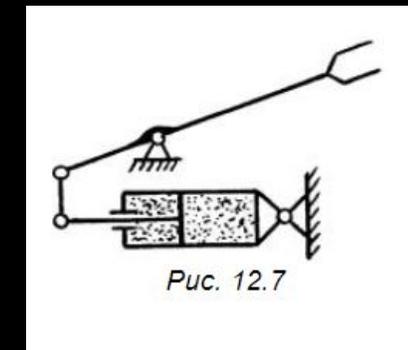
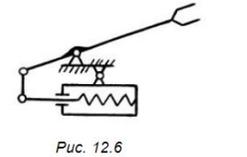
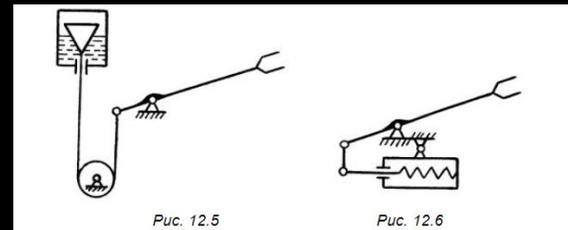
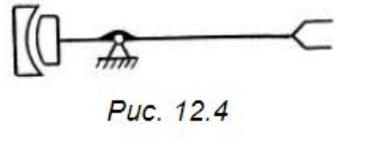
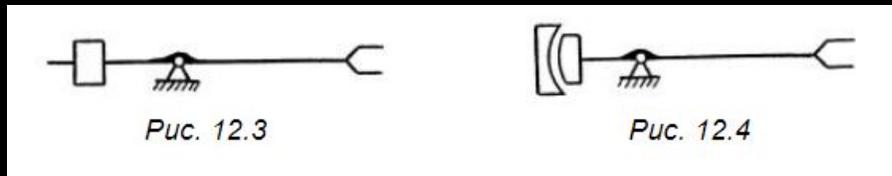
Активными считают системы уравнивания, приводы которых используют тот же вид энергии, что и основные приводы или комбинацию гидро-, пневмо-, электроприводов. В таких системах могут быть использованы любые типы приводов: электромеханические (рис. 12.1), гидравлические и пневматические (рис. 12.2).



Введение активных систем уравнивания в состав робота позволяет существенно уменьшить мощность основных приводов (рис. 12.1 и рис. 12.2), но при этом мощность источника питания практически остается неизменной.

Пассивные системы уравнивания

Пассивными считают системы уравнивания, приводы которых используют природные источники энергии: энергию гравитационного (рис. 12.3) и магнитного (рис. 12.4) полей, сил поддержания (Архимеда) (рис. 12.5), упругой деформации пружины (рис. 12.6) и сжатого газа (рис. 12.7). Такие системы уравнивания позволяют уменьшить мощность не только основных приводов робота, но и его источника питания.



Грузовое уравнивание

Грузовое уравнивание статических нагрузок вращающегося звена исполнительного устройства робота основано на энергии гравитационного поля и осуществляется с помощью системы противовесов, которая создает статические нагрузки, противодействующие статическим нагрузкам звена.

Рассмотрим грузовое уравнивание статических нагрузок звеньев и всего исполнительного устройства робота (рис. 5.9).

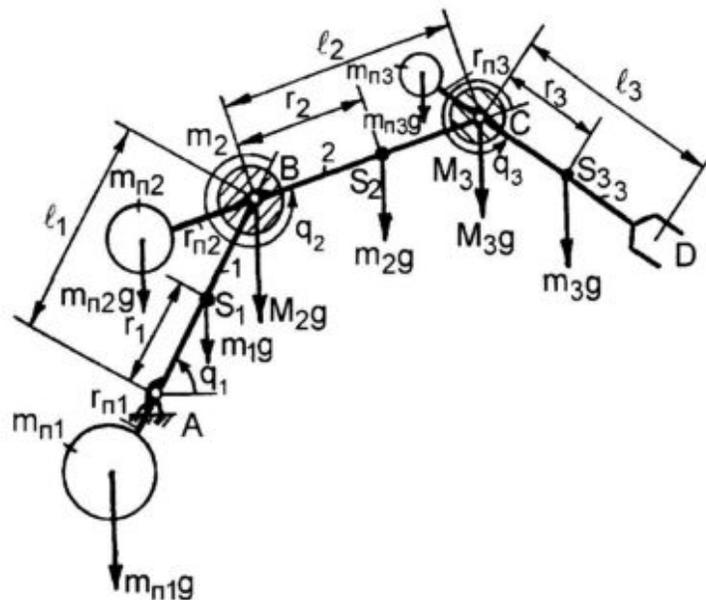


Рис. 5.9

Уравнивать начинаем звено 3 в соответствии с методикой, изложенной в разд. 5.3.

Составляем уравнение моментов относительно оси C вращения звена:

$$m_3 g r_3 \cos \sum_{i=1}^3 q_i = m_{n3} g r_{n3} \cos \sum_{i=1}^3 q_i.$$

Откуда находим массу противовеса звена 3:

$$m_{n3} = \frac{m_3 r_3}{r_{n3}}.$$

Расстояние r_{n3} от оси C вращения звена 3 до точки установки противовеса находим по указанной выше методике.

Находим общую массу M_3 звена 3 и его противовеса:

$$M_3 = m_3 + m_{n3}.$$

Эту массу условно сосредоточиваем в точке C .

Уравновешиваем звенья 3 и 2:

$$M_3 g \ell_2 \cos \sum_{i=1}^2 q_i + m_2 g r_2 \cos \sum_{i=1}^2 q_i = m_{n2} g r_{n2} \cos \sum_{i=1}^2 q_i.$$

Откуда масса противовеса звена 2 равна:

$$m_{n2} = \frac{M_3 \ell_2 + m_2 r_2}{r_{n2}} = \frac{(m_3 + m_{n3}) \ell_2 + m_2 r_2}{r_{n2}}.$$

Расчет расстояния r_{n2} от оси B вращения звена 2 до точки установки противовеса аналогичен предыдущему расчету.

Определяем общую массу M_2 звеньев 3 и 2 и их противовесов:

$$M_2 = M_3 + m_2 + m_{n2} = m_3 + m_{n3} + m_2 + m_{n2}.$$

Эту массу условно сосредоточиваем в точке B .

Уравновешиваем все исполнительное устройство:

$$M_2 g \ell_1 \cos q_1 + m_1 g r_1 \cos q_1 = m_{n1} g r_{n1} \cos q_1.$$

Откуда масса противовеса звена 1 равна:

$$m_{n1} = \frac{M_2 \ell_1 + m_1 r_1}{r_{n1}} = \frac{(m_3 + m_{n3} + m_2 + m_{n2}) \ell_1 + m_1 r_1}{r_{n1}}.$$

Расстояние r_{n1} от оси A вращения звена 1 до точки установки противовеса вычисляем так же, как и для звеньев 3 и 2.

Таким образом, проведено уравновешивание статических нагрузок как отдельных звеньев относительно своих осей вращения, так и всего исполнительного устройства в целом.

Эффективность грузовой системы уравнивания

Эффективность грузовой системы уравнивания оценивают коэффициентом эффективности

$$K_{\text{Э}} = 1 - K_{\text{И}} - K_{\text{Т}}.$$

$K_{\text{Т}}$ - коэффициент потерь за счет времени

$K_{\text{И}}$ -коэффициент инерционных потерь

где ω_j – угловая скорость звена j , с^{-1} ; $\left(\sum_{i=1}^j q_i\right)_{\text{max}}$ – сумма обобщенных координат, при которой функция $\cos \sum_{i=1}^j q_i$ достигает максимума.

Основными факторами, влияющие на эффективность грузовой системы уравнивания, является угловое ускорение звена и момент инерции противовесов

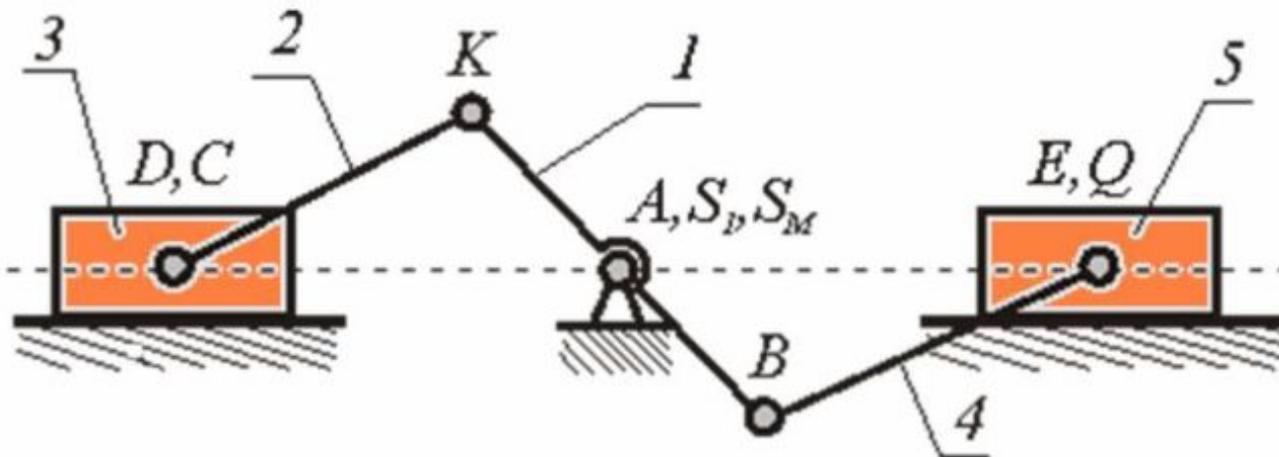
Неуравновешенность

Неуравновешенность - такое состояние механизма, при котором главный вектор или главный момент сил инерции не равны нулю. Различают:

- статическую неуравновешенность $F_u \neq 0$;
- моментную неуравновешенность $M_u \neq 0$;
- динамическую неуравновешенность $F_u \neq 0$ и $M_u \neq 0$

На практике наиболее часто статическое уравновешивание проводят:

выбирая симметричные схемы механизма



Грузовое уравнивание статических нагрузок исполнительного устройства

Грузовое уравнивание

Статическое уравнивание выполняется противовесами, пружинами или пневмоцилиндрами. Конструкции грузовых уравнивателей просты (рис. 3.1). Они содержат постоянный или сменный груз 1, который может перемещаться относительно оси вращения 2 на расстояние H.

$$P = \text{const} \quad M = \text{const} \quad (3.1)$$

Момент инерции противовеса определяется по известной теореме о параллельных осях:

$$J = J_o + mH^2 \quad (3.2.)$$

Где J_o — собственный момент инерции противовеса; m-его масса Этот момент инерции подбирается равным моменту инерции перемещаемого роботом груза 3. Введение противовеса увеличивает общий момент инерции всей системы, что приводит к ухудшению динамики робота. Одновременно снижаются чувствительность, легкость хода, затягиваются переходные процессы.

При движении звеньев с переменными скоростями (с ускорением) возникают *силы инерции* и их моменты, которые принято называть *динамическими нагрузками*. Их возникновение приводит к вибрации и шуму. Причинами возникновения вибраций могут быть периодические изменения сил (силовое возмущение), перемещений (кинематическое возмущение) или инерционных характеристик (параметрическое возмущение).

Вибрацией (от лат. vibratio - колебание) называют механические колебания в машинах или механизмах.

Колебание - движение или изменение состояния, обладающие той или иной степенью повторяемости или периодичностью.

Если источник возникновения вибраций определяется внутренними свойствами машины или механизма, то говорят о его виброактивности. Чтобы вибрации механизма не распространялись на окружающие его системы или чтобы защитить механизм от вибраций, воздействующих на него со стороны внешних систем, применяются различные методы виброзащиты.

Различают внешнюю и внутреннюю виброактивность.

Под **внутренней виброактивностью** понимают колебания возникающие внутри механизма или машины, которые происходят по его подвижностям или обобщенным координатам. Эти колебания не оказывают непосредственного влияния на окружающую среду. При **внешней виброактивности** изменение положения механизма приводит к изменению реакций в опорах (т.е. связях механизма с окружающей средой) и непосредственному вибрационному воздействию на связанные с ним системы. Одна из основных причин внешней виброактивности - неуравновешенность его звеньев и механизма в целом, которое устраняется *уравновешиванием* звеньев при проектировании механизма. *Это достигается соответствующим подбором масс и моментов инерции.*

Неуравновешенным будем называть такой механизм (или его звено), в котором при движении центр масс механизма (или звена) движется с ускорением. Так как ускоренное движение системы возникает только в случае, если равнодействующая внешних силовых воздействий не равна нулю. Согласно принципу Д'Аламбера, для уравнивания внешних сил к системе добавляются расчетные силы - силы и моменты сил инерции. Поэтому уравновешенным будем считать механизм, в котором главные вектора и моменты сил инерции равны нулю, а неуравновешенным механизм, в котором эти силы неравны нулю.

Для устранения малой неуравновешенности, возникающей после изготовления звеньев и их монтажа из-за несоблюдения размеров в процессе изготовления, неточности сборки, неоднородности материала, звенья *балансируют*.

Пружинный механизм с постоянной нагрузочной характеристикой уравнивания статических нагрузок

Пружинный механизм с постоянной нагрузочной характеристикой представляет собой механизм с упругим элементом, который обеспечивает на выходе звена постоянство силы G в определенном диапазоне перемещения H этого звена, т.е

$$G(H) = \text{const}.$$

Общие сведения

Уравновешивающие устройства служат для восприятия веса звеньев манипулятора и частично - веса перемещаемых им грузов, а также для компенсации влияния статических моментов масс звеньев робота. **Неуравновешенность механизма** приводит к увеличению погрешностей позиционирования, динамических погрешностей, зависящих от скорости и ускорения движения, к увеличению нагрузок на опоры и потребляемой мощности.

Из теории механизмов и машин известно, что условием уравновешивания механизма является постоянство главного вектора и главного момента сил давления стойки на фундамент или в кинематических парах

Пружинный механизм с постоянной нагрузочной характеристикой представляет собой механизм с упругим элементом, который обеспечивает на выходном звене постоянство силы G в определенном диапазоне перемещения H этого звена, т.е.

$$G(H) = const.$$

При разработке системы уравнивания необходимо синтезировать уравнивающий механизм, который реализовал бы это условие.

Схема такого механизма представлена на рис. 5.10.

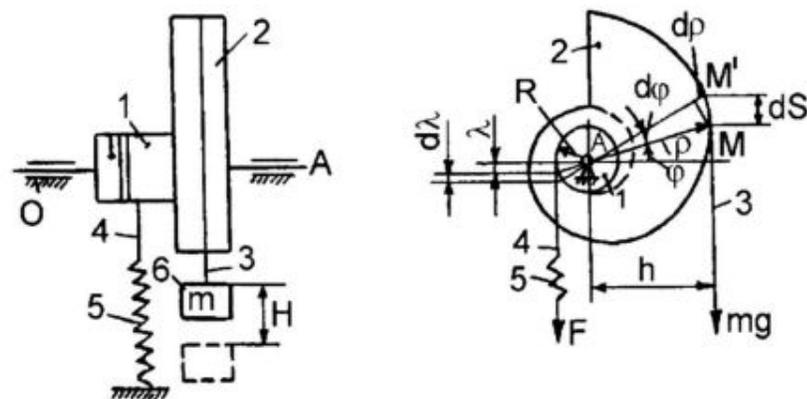


Рис. 5.10

Уравнивающий механизм состоит из стойки O , на которой закреплен блок 1 постоянного радиуса R и жестко соединенный с ним кулачок 2 переменного радиуса r , гибкого элемента 3, соединенного с уравниваемым звеном 6 массой m , гибкого элемента 4 и пружины 5.

Принцип действия этого механизма основан на том, что при перемещении массы m все время должно соблюдаться равенство моментов относительно оси A вращения механизма от постоянной силы $G=mg$ веса груза на переменном плече h и переменной

Уравновешивание при помощи **пружин** применяется в случае, когда большие перемещения валка и точная его регулировка не требуются. Если же необходима точная регулировка и перемещения валка значительны, **пружины** являются лишь частью уравновешивающе-нажимного **механизма**, управляемого от электрического привода, и **уравновешивание** носит название электрического, являясь наиболее совершенным среди способов **уравновешивания** применяемых на современных станах.



Пружины
растяжения

Пружины растяжения весьма различны по конфигурации тела и зацепов. От этого зависит область их применения. Используются пружины напряжения практически везде: от изготовления дверных доводчиков до горнодобывающей промышленности.

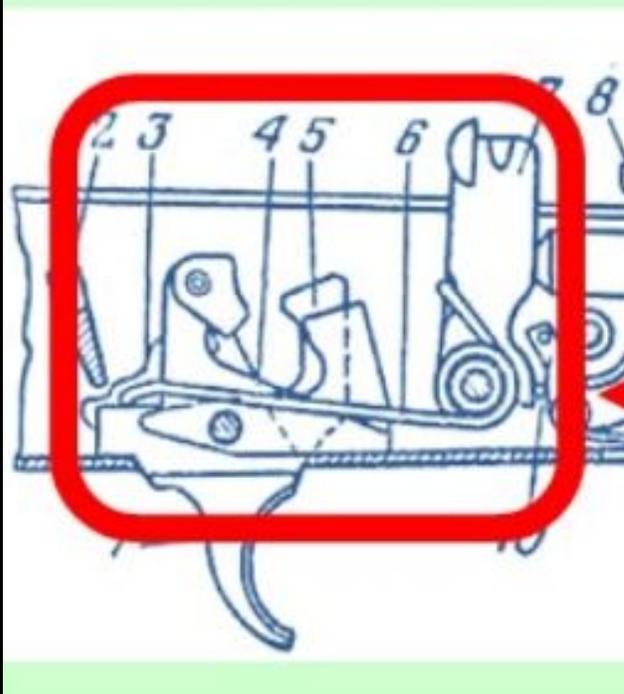
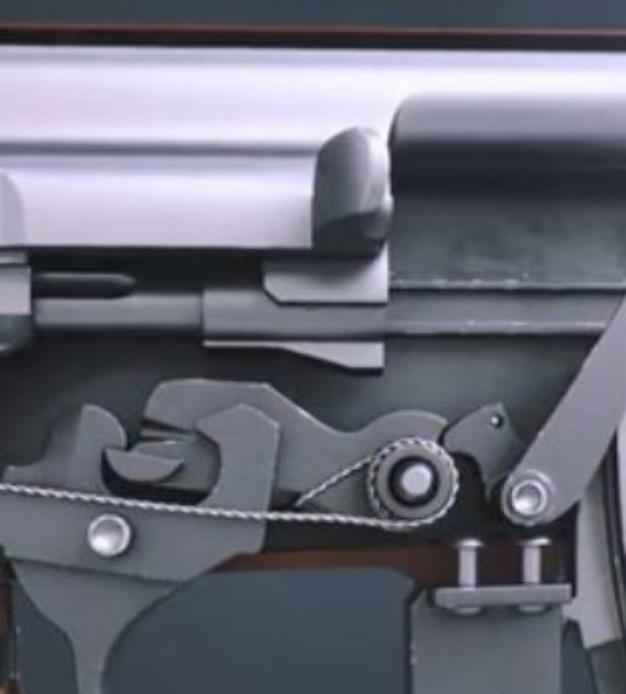
1) Производство, установка дверей. Ранее дверные доводчики на массивных дверях были только одного вида, ведь это были самые обыкновенные [пружины растяжения](#). Сегодня доводчики "спрятаны" в специальные корпуса, и пружина буквально утоплена в масле. Добираться до нее сложно, да и не так необходимо, разве что при регулировке.

2) Производство автомобильного транспорта. Пружины растяжения нужны для подвески, поддерживающей кузов машины на заданной заводскими параметрами и увеличенной нагрузкой высоте. От подвески зависит комфортность передвижения на транспортном средстве. К слову, первые подвески вы смогли бы обнаружить на каретах в старинные времена.

3) Производство железнодорожного транспорта. И для вагонной тележки, и для локомотива пружины растяжения необходимы. Самые заметные из них располагаются внизу, у колес состава. Это пружины подрессоривания вагонной техники. Служат они до 32 лет.

4) Производство военной техники. Представьте себе, в ракетной технике, то есть в пусковых установках, тоже нужны пружины растяжения. Так что они используются в создании: противотанковых установок, артиллерийских систем, механизмов амортизации, авиационных автоматических пушек.

- 5) Производство сельхозтехники. Те же рессорные механизмы на комбайнах и прочей уборочной, обрабатывающей технике.
- 6) Производство лифтов. Пружины растяжения используются для создания механизмов, отвечающих за разведение-сведение дверей лифта.
- 7) Электроэнергетика. Пружины растяжения размещаются в тумблерах включения-выключения различных типов. Используются пружины и на электростанциях, в частности, на АЭС и ТЭС (как подвески трубопроводов, выполняющие опорные функции).
- 8) Горнодобывающая промышленность - в дробильно-размольном оборудовании.
- 9) Нефтедобывающая промышленность - в станках-качалках, точнее - в глубинных штанговых насосах.



Пружина кручения

Положение частей ударно-спускового механизма до заряжания при включенном предохранителе и спущенном курке:

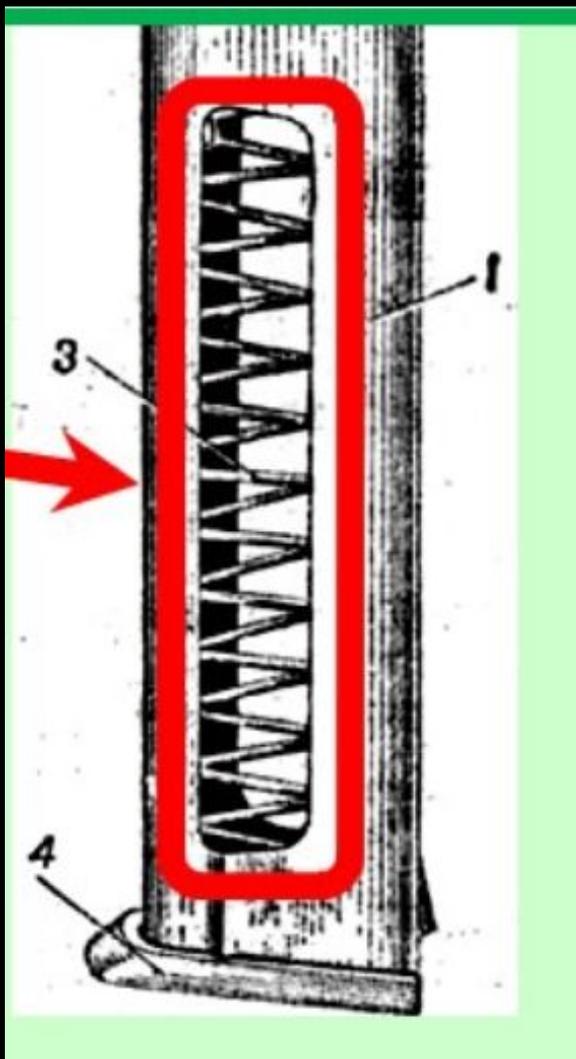
1 — спусковой крючок; 2 — сектор переводчика; 3 — шептало одиночного огня; 4 — замедлитель курка; 5 — фигурный выступ спускового крючка; 6 — боевая пружина; 7 — курок; 8 — рычаг автоспуска; 9 — затворная рама; 10 — шептало автоспуска.



Пружины кручения рассчитаны на воздействие определённого рода, а именно – на скручивание. На деталь влияют две силы с параллельным направлением относительно друг друга и перпендикулярным – относительно оси пружины.

Применяются пружины этого типа широко. Мебельное производство, сборка машин и механизмов промышленного значения, изготовление бытовых товаров. Даже в обычных прищепках используются пружины кручения.

Пружина сжатия



•Магазин пистолета Макарова:

•1 — корпус магазина; 2 — подаватель; 3 —

•пружина подавателя; 4 — крышка магазина.

Свойства пружин сжатия

- Пружины сжатия – изделия, работающие на сжатие, способны воспринимать и выдерживать продольно-осевые нагрузки, сжимающие пружину в целом. Специфика проектирования и производства пружин, работающих на сжатие, заключается в необходимости изготовления упругой конструкции, которая будет способна:
 - принимать деформирующие нагрузки, имеющие различную направленность;
 - компенсировать их;
 - восстанавливаться по окончании воздействия, возвращаясь в определенное положение и форму.
- Для [изготовления пружин сжатия](#) используются современные материалы отечественного и зарубежного производства. Для повышения эксплуатационных характеристик и увеличения срока службы металлопрокат подвергается дополнительным методам обработки (дробеструйной очистке, термообработке и т.д.).