

## ГЛАВА 1

### Импульс. Закон сохранения импульса. Реактивный двигатель. Удельный импульс.

В этой главе вы узнаете что такое импульс, удельный импульс, закон сохранения импульса, принцип реактивного движения, а также, что такое ракетный двигатель.

#### 1.1 Импульс

“Импульс, механический, мера механического движения; представляет собой векторную величину, равную для материальной точки произведению массы  $m$  этой точки на её скорость  $v$  и направленную так же, как вектор скорости:  $p = mv$ ; то же, что Количество движения.”<sup>1</sup>

Следовательно, тело, имеющее наибольшую скорость и массу, будет имеет наибольший импульс.

#### 1.2 Закон сохранения импульса

Закон сохранения импульса звучит следующим образом: Если векторная сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю, то импульс системы сохраняется, то есть не меняется со временем. При этом, закон сохранения импульса возможен только в замкнутой системе тел. Замкнутой называется система тел, взаимодействующих только друг с другом и не взаимодействующих с другими телами.

Рассмотрим пример из жизни, два бильярдных шарика сталкиваются, их суммарный импульс (остается неизменным).

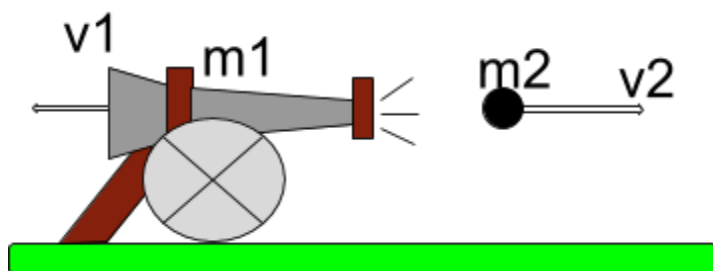
Каждый знает, что выстрел из пушки сопровождается отдачей (см. рис.1). Если бы масса ядра равнялась массе пушки, они бы разлетелись с одинаковой скоростью. Отдача происходит потому, что отбрасываемая масса ядра создаёт реактивную силу, благодаря которой может быть обеспечено движение как в воздухе, так и в безвоздушном пространстве. И чем больше масса и скорость вылетающего ядра, тем больше сила отдачи, чем сильнее реакция пушки, тем больше реактивная сила.

Согласно формуле ниже: масса пушки равна  $m_1$  а масса ядра равна  $m_2$ . Начальная скорость пушки равна  $V_1$ , а конечная скорость пушки равна  $V_1'$ , начальная скорость ядра равна  $V_2$ , конечная скорость ядра равна  $V_2'$ .

---

$$m_1 \vec{V}_1' + m_2 \vec{V}_2' = m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2$$

<sup>1</sup> [1]



(рис 1)

Получается, что сумма конечных импульсов ядра и пушки равна сумме начальных импульсов ядра и пушки.

### 1.3 Реактивное движение

Теперь рассмотрим, что такое реактивное движение. Реактивный двигатель - это двигатель,

преобразующий химическую энергию топлива в кинетическую энергию газовой струи, при этом двигатель приобретает скорость в обратном направлении. На каких же принципах и физических законах основывается его действие?

Типичный пример реактивного движения - это движение кальмара в воде.Что бы двигаться кальмар выбрасывает из своего тела струи воды, что рождает отдачу, которая и позволяет ему двигаться.

### 1.4 Удельный импульс и сила тяги

Теперь рассмотрим, что такое удельный импульс. “Удельный импульс ракетного двигателя, — отношение тяги ракетного двигателя к секундному массовому расходу рабочего тела (производная от импульса тяги по расходуемой массе в данном интервале времени). Выражается в  $\text{Н}(\cdot)\text{с}/\text{кг} = \text{м}/\text{с}$ . На расчётном режиме работы двигателя совпадает со скоростью реактивной струи. Энергетический показатель эффективности двигателя.”<sup>2</sup>

Нам нужен способ описания эффективности ракеты. Удельный импульс и есть этот способ. Удельный импульс - количество времени, за которое 1кг топлива способен поддержать 9.8 Н тяги.

Тяга - сила, возникающая в результате взаимодействия двигательной установки с истекающей из сопла струёй расширяющейся жидкости или газа, обладающей

<sup>2</sup> [1]

кинетической энергией

В основу возникновения реактивной тяги положен закон сохранения импульса.

Реактивная тяга обычно рассматривается как сила реакции отделяющихся частиц. Точкой приложения её считают центр истечения — центр среза сопла двигателя, а направление — противоположное вектору скорости истечения продуктов сгорания (или рабочего тела, в случае не химического двигателя).

Если у нас есть 2 ракеты, у одной из которых удельный импульс равен 3с, а у второй 300с. Какая из них эффективнее? Одна из ракет может поддержать тягу в 9.8Н в течение 3с, а другая поддерживает эту же тягу в течение 300с.

Как можно использовать удельный импульс в формулах?

$$F_{\text{thrust}} = (\Delta m / \Delta t)(I_{\text{sp}} * 9.8)$$

Сила тяги равна произведению отношения массы топлива,расходуемого ракетой, и времени, за которое оно расходуется, на удельный импульс.

Если у нас есть ракета,расходующая 100 кг топлива в секунду,с удельным импульсом 200 с,то сила тяги этой ракеты равна 20кН.

### 1.5 Формула Циолковского

“Основное уравнение движения ракеты; впервые опубликовано К. Э. Циолковским. По Ц. ф. определяется максимальная скорость, которую может получить одноступенчатая ракета в идеальном случае, когда её полёт происходит не только вне пределов атмосферы, но и вне пределов поля тяготения Земли. Циолковский считает начальную скорость ракеты равной нулю. Ц. ф. часто записывается в виде:

$$V_{\text{max}} = u \ln \frac{M_0}{M_k} = u \ln \left( 1 + \frac{M_T}{M_k} \right)$$

где  $u$  — скорость истечения продуктов сгорания из сопла ракетного двигателя;  $M_0$  — начальная (стартовая) масса ракеты;  $M_k$  — масса ракеты без топлива (в конце работы двигателя на активном участке траектории полёта ракеты);  $M_T$  — масса выгоревшего топлива. Отношение  $M_T/M_k$  — называется числом Циолковского. Ц. ф. можно пользоваться для приближённых оценок динамических характеристик полёта ракет и в тех случаях, когда

силы аэродинамического сопротивления и тяжести невелики по сравнению с реактивной силой. Циолковский обобщил формулу и для случая движения ракеты в однородном поле силы тяжести”.<sup>3</sup>

Пусть отношение начальной массы (веса) ракеты к массе (весу) в конце горения равно 10 и пусть относительная скорость отбрасываемых частиц равна 3000 метров в секунду, тогда максимальная скорость ракеты будет равна

$$V_{\max}=2,3*3000*1=6900\text{м/с}$$

“Ц. ф. даёт только верхнюю границу скорости ракеты. Действительная (реальная) конечная скорость всегда будет меньше вследствие неизбежных потерь на преодоление силы тяготения при подъёме ракеты на высоту, сил аэродинамического сопротивления и др. Ц. ф. можно использовать для анализа лётных характеристик многоступенчатых ракет.”<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> [1]

<sup>4</sup> [1]

