

РЕАКТИВНИЙ РУХ

Ст.: Т.О. Карімов, А.О. Міщанов

Кер. В.І. Білозерцева

Національний технічний університет «
Харківський політехнічний інститут»

Протягом багатьох століть людство мріяло про космічні подорожі. Письменники-фантасти пропонували різні засоби для досягнення цієї мети. В XVII столітті з'явилося оповідання французького письменника Сірано де Бержерака про подорож на Місяць (1650 р.). Герой цього оповідання дістався до Місяця в металевому візку, над яким він весь час підкидав сильний магніт. Притягуючись до нього, візок все вище підіймався над Землею, доки не досягнув Місяця.

Але ні жоден вчений, ні жоден письменник-фантаст за багато століть не зміг назвати єдиного засобу у розпорядженні людини, за допомогою якого можна подолати силу земного тяжіння і полетіти в космос. Це зміг здійснити вчений К.Е. Цюлковський (1857-1935 рр.). Він показав, що єдиний апарат, спроможний подолати силу тяжіння - це ракета. Апарат з реактивним двигуном, який використовує пальне і окиснювач, розташовані на самому апараті.

Фізика пояснює процес реактивного руху законом збереження імпульсу. Коли ракета перебуває в стані спокою її імпульс і швидкість дорівнюють нулю. Коли ж з неї починає викидатися реактивний струмінь, то інша частина, згідно із законом збереження імпульсу, повинна отримати таку швидкість, при якій сумарний імпульс буде дорівнювати нулю.

В цілому реактивне рух можна описати наступною формулою:

$$m_s v_s + m_p v_p = 0 \quad (1) \quad m_s v_s = -m_p v_p \quad (2)$$

де m_s, v_s - імпульс створеної струменем газів, m_p, v_p - імпульс, отриманий ракетою.

Знак мінус показує, що напрямок руху ракети і сила реактивного руху струменя протилежні. Реактивний двигун – це двигун, що перетворює хімічну енергію палива в кінетичну енергію газової струї, при цьому двигун набирає швидкість у зворотному напрямку. На яких принципах та фізичних законах засновано його дія? Кожен знає, що постріл із гвинтівки супроводжується віддачею. Якщо б вага кулі дорівнювала б вазі гвинтівки, вони б розлетілись з однаковою швидкістю.

Віддача виникає тому, що відкидна маса газів створює реактивну силу, завдяки якій може бути забезпечено рух як у повітрі, так і в безповітряному просторі. І чим більша маса і швидкість газів, що вилітають, тим більшу силу віддачі відчуває наше плече, чим сильніша реакція гвинтівки, тим більша реактивна сила. Це легко пояснити із закону збереження імпульсу, в якому йдеться, що геометрична (тобто векторна) сума імпульсів тіл, що складає замкнуту систему, залишається постійною при будь яких рухах і взаємодіях тіл системи:

$$\vec{p}_1 = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \text{const} \quad (3)$$

К.Е. Ціолковський вивів формулу, яка дозволяє розрахувати максимальну швидкість, яку може розвинути ракета. Ось ця формула:

$$v_{\max} = v_0 + 2.3v_r \ln \left(1 + \frac{m}{M} \right) \quad (4)$$

Тут v_{\max} – максимальна швидкість ракети, v_0 – початкова швидкість, v_r – швидкість вильоту газів із сопла, m – початкова маса палива, а M – маса порожньої ракети. Як видно із формули, ця максимально досяжна швидкість залежить в першу чергу від швидкості вильоту газів із сопла, яка в свою чергу залежить перед усім від виду палива і температури газової струї. Чим вища температура, тим більша швидкість. Значить, для ракети потрібно підбирати саме калорійне паливо, яке надає найбільшу кількість теплоти. Із формули витікає також, що ця швидкість залежить і від початкової і кінцевої маси ракети, тобто від того, яка частина її ваги приходить на пальне, і яка - на безкорисні (з точки зору швидкості польоту) конструкції: корпус, механізми...

Ця формула Ціолковського є фундаментом, на якому будується весь розрахунок сучасних ракет. Відношення маси палива до маси ракети в кінці роботи двигуна (тобто по правді до ваги пустої ракети) має назву числа Ціолковського. Основний висновок із цієї формули полягає в тому, що в безповітряному просторі ракета розвине тим більшу швидкість, чим більша швидкість витоку газів і чим більше число Ціолковського. Як виглядає в загальних рисах сучасна ракета далекої дії? Перед усім, це багатоступінчата ракета. В головній її частині розміщується баєвий заряд, позад нього - прилади керування, баки і, нарешті, двигун. В залежності від пального стартова вага ракети може перевищувати вагу корисного вантажу в 100-200 разів! Тому важить вона багато десятків тон, а в довжину досягає висоти десятиповерхо-

вого будинку.

Конструкція ракети повинна відповідати ряду вимог. Наприклад, дуже важливо, щоб сила тяги проходила через центр ваги ракети. Якщо не виконати цього і ще багатьох інших вимог, то ракета може відхилитися від заданого курсу або навіть почати обертальний рух. «Підправити» курс можна за допомогою рулів. Доки ракета летить у щільному повітрі, можуть працювати аеродинамічні рулі, а у розрідженому повітрі – запропоновані ще Ціолковським газові рулі, відхиляючи напрям газової струї.

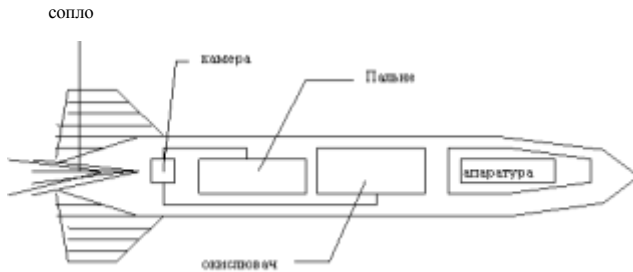


Рис. 1 - схема внутрішньої будови ракети.

На теперішній час двигуни балістичних ракет переважно працюють на рідкому паливі. В якості палива зазвичай використовують керосин, спирт, гідразин, анілін, а в якості окиснювачів - азотну и хлорину кислоти, рідкий кисень і перекис водню. Дуже активними окиснювачами є фтор і рідкий озон, але через велику вибухонебезпечність вони поки що обмежені в використанні.

Найбільш відповідальною частиною ракети є двигун, а в ньому – камера згорання і сопло. Тут повинні використовуватися особливо жаростійкі матеріали і складні методи охолодження, так як температура згорання палива доходить до $2500-3500^{\circ}\text{C}$. Запускається балістична ракета із спеціального стартового пристрою. Стартуючи вертикально, ракета потім нахилиється і описує майже строго еліптичну траєкторію. Значна частина траєкторії польоту таких ракет проходить на висоті більше 1000 км над Землею, де опір повітря майже відсутній, проте з приближенням до цілі атмосфера починає різко гальмувати рух ракети, при цьому оболонка сильно нагрівається. Якщо не прийняти міри, ракета може зруйнуватися, а її заряд – передчасно вибухнути.