УДК 531.382

***И.П. Попов***
*Курганский государственный университет*

## РОТОРНО-ЛИНЕЙНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ

Представленное в статье теоретическое обоснование и математическое описание показывает принцип работы реактивного движения механической системы, масса которой не изменяется, что открывает перспективы дальних космических полетов. Приведено доказательство существования роторно-линейного движителя и варианты возможной практической реализации конструкции.

Реактивный, роторный, движитель, момент, импульс.

Применение ракет с реактивным двигателем принципиально ограничено массой вещества, которое они должны нести для того, чтобы безвозвратно исторгнуть, сообщив ему количество движения, которое не утилизируется. Именно количество движения самой ракеты по этой причине и является ограниченным. Главная проблема ракеты в этом смысле состоит в необходимой утрате вещества. Реактивный роторный движитель не имеет этой проблемы.

*Эквивалентное или роторное количество движения*. Пусть активный объект (на рис. 1 справа) развивает постоянную силу **F** и приобретает количество движения [1–5]:

$$p_{lin} = -Ft = mv \cdot \qquad (1)$$

Активный объект посредством троса передает барабану импульс

$$p_r = Ft = m_r v_r \cdot \qquad (2)$$

При этом $p_r = -p_{lin}$ или $m_r v_r = -mv$.

При схеме взаимодействия, изображенной на рис. 2, количество движения активного объекта попрежнему равно (1).

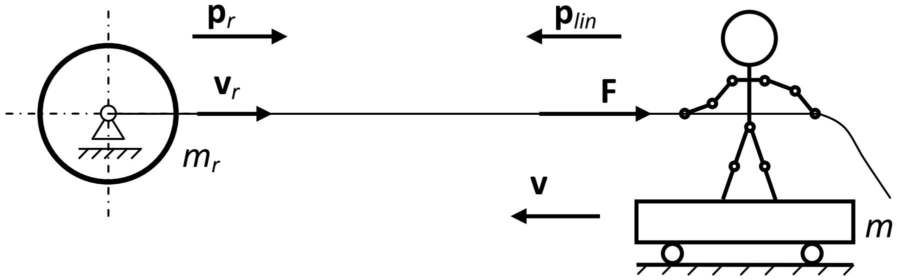


*Рис. 1. Линейное количество движения*

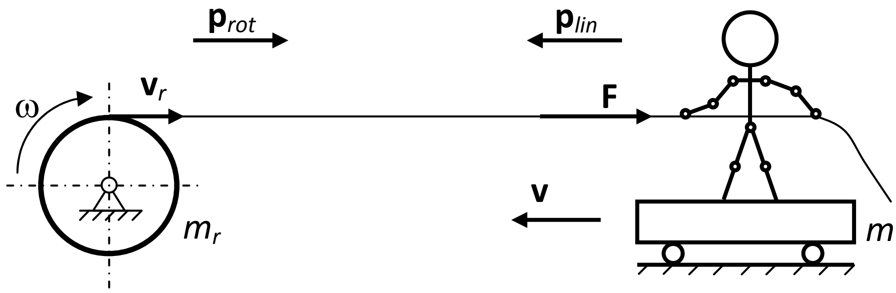


*Рис. 2. Роторное количество движения*

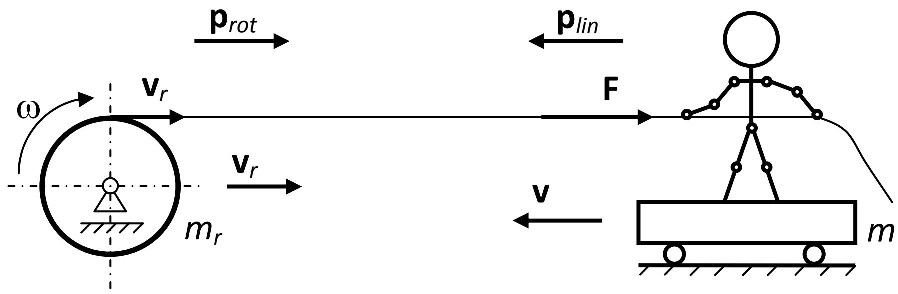


*Рис. 3. Суперпозиция движений*

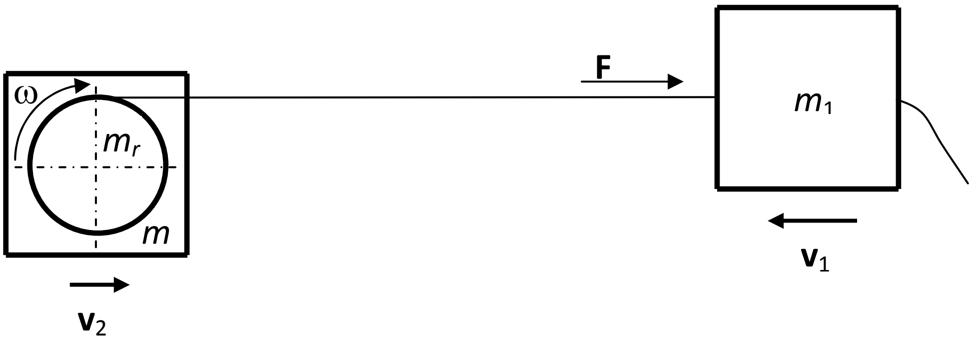


*Рис. 4. Реактивный роторный движитель*

Пусть радиус инерции барабана равен *r*. Активный объект посредством троса передает момент импульса

$$L = J\omega = r^2 m_r \frac{v_r}{r} = Ftr = p_{rot} r \cdot$$

Здесь $p_{rot}$ – эквивалентное или роторное количество движения:

$$p_{rot} = m_r v_r = Ft = \frac{L}{r} \cdot \quad (3)$$

Роторное количество движения с достаточной необходимостью удовлетворяет закону сохранения количества движения

$$p_{rot} = -p_{lin} \text{ или } m_r v_r = -mv.$$

В данном случае

$$p_{rot} = p_r = m_r v_r$$

и активный объект не чувствует разницы между двумя схемами взаимодействия. Другими словами, количество движения барабана и роторное количество движения для активного объекта неотличимы.

На рис. 3 представлена суперпозиция первой и второй схем взаимодействия.

Количество движения активного объекта равно (1).

С учетом (2) и (3) активный объект посредством троса передает импульс

$$p = Ft = p_r + p_{rot} = m_r v_r + \frac{L}{r} \cdot$$

**Теоретическая основа создания реактивного роторного движителя.**

*Лемма.* Для ортогональных векторов **a** и **b** имеет место формула

$$(\mathbf{b} \times \mathbf{a}) \times \mathbf{b} = b^2 \mathbf{a} \cdot$$

*Доказательство.* Известна формула [6–10]

$$(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \times \mathbf{c} = \mathbf{b}(\mathbf{c} \cdot \mathbf{a}) - \mathbf{a}(\mathbf{c} \cdot \mathbf{b}) \cdot$$

Пусть $\mathbf{c} = \mathbf{b}$. Тогда

$$(\mathbf{a} \times \mathbf{b}) \times \mathbf{b} = \mathbf{b}(\mathbf{b} \cdot \mathbf{a}) - \mathbf{a}(\mathbf{b} \cdot \mathbf{b}) = -b^2 \mathbf{a} \cdot$$

Лемма доказана.

*Теорема 1.* Линейное количество движения преобразуется в роторное количество движения:

$$\mathbf{p}_{lin} = m\mathbf{v} = \mathbf{p}_{rot} = \frac{\mathbf{L} \times \mathbf{r}}{r^2} \cdot$$

*Доказательство.*

$$\mathbf{r} \times \mathbf{p} = \mathbf{L},$$

$$(\mathbf{r} \times \mathbf{p}) \times \mathbf{r} = \mathbf{L} \times \mathbf{r}.$$

В соответствии с леммой

$$r^2 \mathbf{p} = \mathbf{L} \times \mathbf{r},$$

$$\mathbf{p} = \frac{\mathbf{L} \times \mathbf{r}}{r^2} \cdot$$

Теорема доказана.

*Теорема 2.* Роторный момент количества движения преобразуется в линейный момент количества движения:

$$\mathbf{L}_{rot} = J\boldsymbol{\omega} = \mathbf{L}_{lin} = \frac{\rho^2}{r^2}(\mathbf{r} \times \mathbf{p}) \cdot$$

*Доказательство.*

$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}.$$

В соответствии с леммой

$$\mathbf{v} \times \mathbf{r} = (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) \times \mathbf{r} = -r^2 \boldsymbol{\omega},$$

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{\mathbf{r} \times \mathbf{v}}{r^2} \cdot$$

$$\mathbf{L} = J\boldsymbol{\omega} = m\rho^2 \boldsymbol{\omega} = m\rho^2 \frac{\mathbf{r} \times \mathbf{v}}{r^2} = \frac{\rho^2}{r^2}(\mathbf{r} \times \mathbf{p}) \cdot$$

Теорема доказана.

*Теорема 3* (Теорема реактивного роторного движения). Вращательное движение элемента системы может преобразовываться в линейное движение системы.

*Доказательство.* Пусть свободная система состоит из двух первоначально неподвижных элементов – активного (первого) и пассивного (второго) (рис. 4). В результате взаимодействия активный элемент приобретает количество движения

$$\mathbf{p}_1 = -\mathbf{F}t = m_1\mathbf{v}_1$$

и с учетом теоремы 1 посредством троса передает импульс

$$\mathbf{p}_2 = \mathbf{F}t = m_2\mathbf{v}_2 + \frac{\mathbf{L}\times\mathbf{r}}{r^2}.$$

Суммарное количество движения равно

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 + \frac{\mathbf{L}\times\mathbf{r}}{r^2} =$$

$$= \mathbf{p}_{lin} + \mathbf{p}_{rot} = 0.$$

Роторное количество движения системы равно

$$\mathbf{p}_{rot} = \frac{\mathbf{L}\times\mathbf{r}}{r^2}.$$

Линейное количество движения системы с учетом теоремы 2 равно

$$\mathbf{p}_{lin} = m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = \frac{\mathbf{r}\times\mathbf{L}}{r^2} = \frac{\rho^2}{r^2}\frac{\mathbf{r}\times(\mathbf{r}\times\mathbf{p}_r)}{r^2} =$$

$$= -\frac{\rho^2}{r^2}\frac{r^2\mathbf{p}_r}{r^2} = -\frac{\rho^2}{r^2}\mathbf{p}_r \neq 0.$$

Теорема доказана.

**Пример технического воплощения.** Свободная система с двумя связанными элементами (реактивный роторный движитель) изображена на рис. 4.

Первый элемент (справа) развивает силу **F**, приобретает количество движения

$$p_1 = -Ft = m_1v_1 \tag{4}$$

и с учетом теорем 1 и 2 посредством троса передает импульс

$$p_{2r} = Ft = p_2 + p_r + \frac{L}{r} = m_2v_2 + m_rv_2 + \frac{L}{r} =$$

$$= m_2v_2 + m_rv_2 + \frac{1}{r}\frac{\rho^2 p_r}{r} = \tag{5}$$

$$= m_2v_2 + m_rv_2 + \frac{\rho^2 m_rv_r}{r^2}.$$

Из (4) и (5) следует

$$p_1 = m_1v_1 = -m_2v_2 - m_rv_2 - \frac{\rho^2 m_rv_r}{r^2}.$$

После того как элементы соединятся, количество движения системы станет равным:

$$p = p_1 + p_{2r} =$$

$$= -m_2v_2 - m_rv_2 - \frac{\rho^2 m_rv_r}{r^2} + m_2v_2 + m_rv_2 + \frac{L}{r} =$$

$$= -\frac{\rho^2 m_rv_r}{r^2} + \frac{L}{r} = p_{lin} + p_{rot}.$$

Система приобретает линейное количество движения

$$p_{lin} = -\frac{\rho^2 m_rv_r}{r^2}$$

и движется влево со скоростью

$$v = -\frac{\rho^2}{r^2}\frac{m_rv_r}{m_1 + m_2 + m_r}.$$

Оптимальные параметры: $\rho = r$, $m_2 = 0$.

Роторное количество движения системы равно

$$p_{rot} = \frac{L}{r}.$$

Вращение ротора может быть утилизировано, например, электромеханическим способом.

Второй элемент перемещают в исходную позицию, что не изменяет приобретенного линейного количества движения системы, и повторяют процесс. При этом система приобретает вторую порцию линейного количества движения. Повторяемость процесса ничем, кроме запаса энергии, не ограничена. Для обеспечения равномерности накапливания количества движения можно использовать несколько роторных механизмов. При использовании ядерной энергетической установки можно накапливать линейное количество движения, не сопоставимое с тем, которое развивает обычная ракета.

**Заключение.** Представленное доказательство существования реактивного движения механической системы, принцип ее действия, возможный алгоритм расчета и технической реализации открывает перспективы создания реактивного движителя для дальних космических полетов.

Литература

1. Попов, И. П. О мерах механического движения / И. П. Попов // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2014. – № 3 (26). – С. 13–15.

2. Попов, И. П. Волновые уравнения и меры движения / И. П. Попов // Вестник Удмуртского университета. Физика и химия. – 2014. – Вып. 2. – С. 30–33.

3. Попов, И. П. Меры механического движения с различными степенями скорости / И. П. Попов // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2018. – № 1 (33). – С. 49–53.

4. Попов, И. П. Градация мер механического движения / И. П. Попов // Вестник Курганского государственного университета. Естественные науки. Вып. 9. – 2016. – № 4 (43). – С. 79–82.

5. Попов, И. П. Степенной ряд мер механического движения / И. П. Попов // Ученые записки Орловского государственного университета. Естественные, технические и медицинские науки. – 2014. – № 6 (62). – С. 37–39.

6. Popov, I. P. Vector differential surface operator / I. P. Popov // British journal of innovation in science and technology. – 2017. – Vol. 2, № 6. – P. 25–31.

7. Popov, I. P. Surface, zero and zero imaginary operators nabla / I. P. Popov // Software of systems in the industrial and social fields. – 2017. – Vol. 5, № 2. – P. 2–11.

8. Попов, И. П. О некоторых операциях над векторами / И. П. Попов // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 1: Математика. Физика. – 2014. – № 5 (24). – С. 55–61.

9. Попов, И. П. Поверхностные градиент, дивергенция и ротор / И. П. Попов // Вестник Псковского государственного университета. Естественные и физико-математические науки. – 2014. – Вып. 5. – С. 159–172.

10. Попов, И. П. Операторы типа набла: поверхностный, нулевой и мнимый нулевой / И. П. Попов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Математика. Физика. – 2017. – № 6 (255), вып. 46. – С. 44–53.

**I.P. Popov**
Kurgan State University

**ROTARY-LINEAR PROPULSION UNIT**

The theoretical substantiation and mathematical description presented in the article show the principle of operation of the jet propulsion of a mechanical system, the mass of which does not change, which opens up the prospects for long-range space flights. The proof of the existence of a rotary linear propulsor and options for the possible practical implementation of the design are given.

Reactive, rotary, propulsion, momentum, impulse.