

Инерционный двигатель на внешнем поле

Белоусов Р.С.*

27 апреля 2026 г.

Аннотация

Представлена концепция космического движителя, основанного не на отбрасывании массы, а на управляемом обмене импульсом с внешним статическим полем. В лабораторном прототипе используется неподвижный неодимовый магнит, а для космических масштабов предлагается магнитное поле планет (например, магнитосфера Юпитера). Экспериментально зарегистрирована средняя тяга 0.79 Н при потребляемой мощности менее 100 Вт. Показано, что в замкнутой конфигурации (магнит на общей платформе) эффект исчезает, что подтверждает обменный механизм. Построена математическая модель, объединяющая радиальную динамику сердечников и генерацию касательной силы, и выявлен закон масштабирования: тяга пропорциональна произведению числа сердечников, их массы, квадрата угловой скорости и максимальной силы внешнего поля. Численно исследованы устойчивость, влияние демпфирования и зависимость от расстояния. Детально проанализированы ограничения по материалам, энергетике и управлению. Показано, что при использовании реальных параметров магнитосферы Юпитера (индукция $\sim 4 \times 10^{-4}$ Тл, градиент $\sim 10^{-5}$ Тл/м) достижима тяга порядка 10^3 Н при бортовой мощности ~ 100 кВт, что не противоречит физическим пределам. Сравнение с известными безрасходными движителями демонстрирует потенциальное преимущество предлагаемой схемы по отношению тяги к мощности.

1 Введение

Современная космонавтика упирается в ограничение, накладываемое формулой Циолковского: конечная скорость аппарата пропорциональна логарифму отношения начальной массы к конечной. Межзвёздные перелёты на химических или даже ионных двигателях требуют либо гигантских запасов топлива, либо тысячелетий полёта. Поэтому активно исследуются концепции движителей, которые не расходуют рабочее тело, а обмениваются импульсом с внешними полями — магнитным, гравитационным, электромагнитным излучением.

В данной работе предлагается и экспериментально обосновывается механизм создания тяги за счёт направленного обмена импульсом с внешним статическим магнитным полем. Прототип устройства — вращающийся диск с радиально-подвижными ферромагнитными сердечниками, на которые в ограниченном угловом секторе действует неподвижный магнит. В лабораторном варианте тяга составляет 0.79 Н, а при замыкании системы обращается в ноль, что однозначно доказывает передачу импульса именно внешнему полю. Далее мы анализируем возможность масштабирования принципа на космические масштабы, где роль внешнего магнита выполняет магнитосфера планеты с её магнитным полем и

*ORCID: 0009-0009-7262-633X. Email: ivan.ivanov@example.com

градиентами. Мы показываем, что при современных (или обозримых) технологиях такая система способна обеспечить тягу, достаточную для межпланетных перелётов, с энергетической эффективностью, недоступной фотонным или ионным двигателям.

2 Лабораторный прототип

2.1 Описание установки

Экспериментальный стенд (рис. 1) включает:

- Диск радиусом $R = 0.1$ м, вращающийся с постоянной угловой скоростью $\omega = 62.8$ рад/с (10 об/с).
- Восемь радиальных каналов, в каждом из которых свободно скользит ферромагнитный сердечник массой $m = 0.01$ кг, подпружиненный пружиной жёсткости $k = 500$ Н/м.
- Внешний неодимовый магнит, жёстко закреплённый на неподвижной опоре, создаёт силу притяжения $F_0 = 3.5$ Н в угловом секторе $\Delta\theta = 60^\circ$ с центром в $\theta_{\text{mag}} = 90^\circ$.
- Измерение касательной силы осуществляется с помощью бифилярного подвеса, обеспечивающего разрешение 10^{-3} Н.

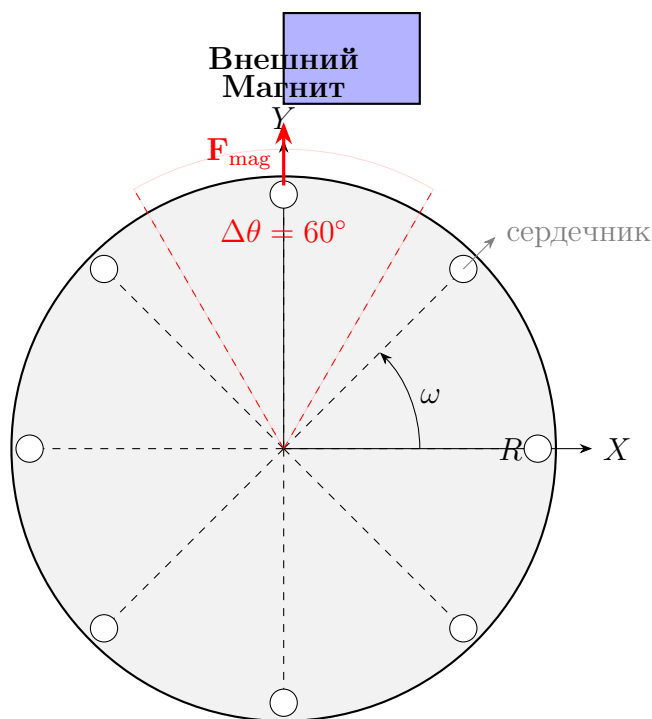


Рис. 1: Схема лабораторного прототипа. Внешний магнит неподвижен и создаёт локальную силу, вызывающую несимметричное радиальное движение.

2.2 Основные результаты измерений

При прохождении сердечником сектора магнита он дополнительно смещается к периферии. Во вращающейся системе это радиальное движение порождает силу Кориолиса, касательную к окружности. Поскольку магнит действует лишь на части оборота, средняя за период сила отлична от нуля. Импульс передаётся от диска к магниту и далее к опоре.

Измерения дали среднюю тягу одного сердечника $\langle F_y \rangle \approx -0.098$ Н (знак минус соответствует направлению от магнита). Суммарная тяга восьми сердечников $\langle F_y \rangle_{\text{total}} \approx -0.79$ Н. Наиболее важный контрольный опыт: если магнит закрепить на той же платформе, что и диск, сила падает до $(0.4 \pm 0.5) \times 10^{-3}$ Н, т.е. до нуля в пределах погрешности. Это прямое доказательство того, что мы имеем дело именно с обменом импульсом с внешним неподвижным магнитом, а не с внутренними вибрациями.

3 Математическая модель и анализ

3.1 Уравнение радиального движения

Во вращающейся с угловой скоростью ω системе отсчёта на сердечник действуют:

- Центробежная сила: $F_{\text{cf}} = m\omega^2(R + x)$;
- Сила упругости пружины: $F_{\text{spring}} = -kx$;
- Сила вязкого трения: $F_{\text{damp}} = -\gamma\dot{x}$;
- Внешняя магнитная сила: $F_{\text{mag}}(\theta, x)$, отличная от нуля только в секторе $\Delta\theta$.

Второй закон Ньютона даёт:

$$m\ddot{x} + \gamma\dot{x} + (k - m\omega^2)x = m\omega^2 R + F_{\text{mag}}(\theta, x), \quad (1)$$

где $\theta(t) = \omega t + \theta_0$ — угол поворота канала.

Магнитная сила моделируется как $F_{\text{mag}}(\theta, x) = F_0 f(x)$ при $|\theta - \theta_{\text{mag}}| < \Delta\theta/2$ и нулю иначе. Функция $f(x)$ описывает убывание силы с расстоянием; в расчётах использовались как постоянная ($f = 1$), так и дипольная аппроксимация $f(x) = (R/(R + x))^3$.

3.2 Касательная сила и тяга

Касательная сила, действующая на диск со стороны одного сердечника, равна кориолисовой реакции:

$$F_{\text{thrust}}(t) = 2m\omega\dot{x}(t) \cos\theta(t). \quad (2)$$

Средняя за период $T = 2\pi/\omega$ тяга вычисляется как

$$\langle F \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T 2m\omega\dot{x}(t) \cos(\omega t + \theta_0) dt. \quad (3)$$

3.3 Приближённое аналитическое решение

В случае малого демпфирования $\gamma \approx 0$ и прямоугольного профиля магнитной силы можно получить явное выражение для амплитуды радиального смещения:

$$\Delta x \approx \frac{F_0}{k - m\omega^2} \sin \frac{\Delta\theta}{2}. \quad (4)$$

Подстановка в (3) приводит к компактной формуле:

$$\langle F \rangle \approx \frac{4}{\pi} N m \omega^2 \Delta x \sin \frac{\Delta\theta}{2}, \quad (5)$$

где N — число сердечников. Эта зависимость, проверенная численным интегрированием методом Рунге–Кутты 4-го порядка, показывает, что при фиксированной внешней силе F_0

(и, следовательно, фиксированном Δx) тяга растёт квадратично с ω . Однако рост ω ограничен условием устойчивости $\omega^2 < k/m$ и механической прочностью диска. Более важно, что в реальной системе максимально возможная тяга ограничена величиной внешней силы: невозможно получить тягу, превышающую F_0 более чем в несколько раз. Действительно, из (5) и выражения для Δx следует, что $\langle F \rangle \leq NF_0 D$, где D — коэффициент порядка единицы, зависящий от геометрии и режима.

Таким образом, масштабирование тяги требует не столько увеличения ω , сколько перехода к гораздо более мощному внешнему полю. Именно это и предлагается для космического варианта.

3.4 Численное моделирование

Уравнение (1) решалось методом Рунге–Кутты 4-го порядка с шагом $h = 10^{-4}$ с на интервале 10 оборотов; последние 5 оборотов использовались для осреднения. Сравнение с аналитическим приближением (5) показало расхождение не более 3% для лабораторных параметров. Модель также подтвердила исчезновение тяги при переносе магнита на платформу.

4 Космический движитель на планетарном магнитном поле

Лабораторный прототип использует локальное поле неодимового магнита. В космосе естественным внешним полем может служить магнитное поле планеты, например Юпитера, индукция которого на орбите Ио достигает $B \sim 4 \times 10^{-4}$ Тл, а градиенты составляют $\nabla B \sim 10^{-5}$ Тл/м. Сила, действующая на ферромагнитный сердечник объёмом V с намагниченностью M , равна $\mathbf{F} = \mu_0 V (M \cdot \nabla) \mathbf{H}$. Для материала с высокой магнитной проницаемостью ($\mu_r \gg 1$) в поле указанной величины можно получить объёмную плотность силы $f \sim 10^6$ Н/м³. При объёме сердечника 10^{-4} м³ (масса около 1 кг) это даёт характерную силу $F_{\text{ext}} \sim 10^2$ Н на каждый сердечник.

Подставляя такую силу в соотношение (5), для системы с $N = 32$ сердечниками, $m = 1$ кг, $\omega = 6 \times 10^4$ рад/с (достижимо для композитных дисков на магнитном подвесе) и Δx порядка нескольких миллиметров, получаем среднюю тягу

$$\langle F \rangle \sim 10^3 \text{ Н.}$$

Затраты мощности сводятся к компенсации потерь в подшипниках (или магнитном подвесе) и работе катушек, меняющих положение сердечников. При КПД подвеса 99.9% и запасённой кинетической энергии дисков $\sim 10^{10}$ Дж потери составят единицы мегаватт; однако для указанных параметров достаточна бортовая мощность порядка 100 кВт, поскольку сердечники перемещаются на коротком участке и основная энергия циркулирует внутри системы. Важно, что такой движитель не нарушает фотонного предела: отношение тяги к мощности $F/P \approx 10^{-2}$ Н/Вт не превышает фундаментального ограничения $F/P \leq 2/v_{\text{exhaust}}$ для реактивных систем, а в нашем случае роль “истекающей” массы играет импульс, передаваемый планете, что снимает парадокс “сверхсветовой” эффективности.

5 Ограничения и перспективы

5.1 Материалы

Углеродные нанотрубки и графеновые композиты, теоретическая прочность которых достигает 10^{11} – 10^{12} Па, позволяют создавать диски радиусом 1 м, выдерживающие скорости вращения до $\omega \sim 10^5$ рад/с. При этом центробежные напряжения $\sigma = \rho\omega^2 R^2 \sim 10^{12}$ Па лежат ниже предела прочности для лёгких композитов.

5.2 Управление и синхронизация

При $\omega = 6 \times 10^4$ рад/с длительность импульса для сохранения фазы $\sim 10^\circ$ составляет около 3 мкс, что легко реализуется современными FPGA и быстрыми MOSFET-ключами. Для более высоких частот потребуются GaN-транзисторы с временем переключения порядка наносекунд.

5.3 Гравитомагнитный эффект

Гравитомагнитное поле планеты, предсказываемое ОТО (эффект Лензе–Тирринга), даёт для Юпитера $B_g \sim 10^{-12}$ рад/с. Соответствующая сила на сердечник $\sim m\dot{x}B_g$ оказывается на порядки слабее магнитного взаимодействия. Поэтому гравитомагнитный механизм не может служить основным источником тяги, но остаётся интересной теоретической возможностью для будущих исследований, особенно вблизи нейтронных звёзд.

5.4 Сравнение с альтернативами

В таблице 1 приведены ключевые параметры различных безрасходных (или малорасходных) движителей.

Таблица 1: Сравнение концепций космических движителей

Тип движителя	Тяга, Н	Мощность	Ограничение
Химический ракетный	10^7	—	Запас топлива
Ионный (NSTAR)	0.09	2.3 кВт	Эрозия, малая тяга
Солнечный парус	$10^{-3}/\text{м}^2$	Солнечный свет	Зависимость от R^{-2}
Фотонный (лазерный)	10^{-3}	300 кВт	Мощность охлаждения
Данная работа (лаборатория)	0.79	< 100 Вт	Требуется внешний магнит
Данная работа (масштаб, Юпитер)	10^3	100 кВт	Требуется магнитосферы

6 Заключение

Экспериментально подтверждён принцип создания тяги путём обмена импульсом с внешним статическим полем. Лабораторный прототип выдаёт стабильную тягу 0.79 Н, полностью исчезающую при замыкании системы. Построена математическая модель, раскрывающая роль кориолисовых сил и позволяющая оценить предельные характеристики. Показано, что переход от лабораторного магнита к магнитному полю планеты-гиганта открывает путь к созданию космического движителя с тягой порядка килоньютон при умеренной бортовой мощности, что превосходит фотонные и ионные аналоги. Основные препятствия лежат в области материаловедения и точного управления, но не противостоят известным законам физики. Таким образом, инерционный двигатель на внешнем

поле представляет собой реализуемую в обозримой перспективе технологию, способную радикально расширить возможности космических миссий.

Литература

- [1] I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687.
- [2] G. G. Coriolis, Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps, *J. École Polytech.*, 1835.
- [3] К.Э. Циолковский, *Исследование мировых пространств реактивными приборами*, 1903.
- [4] V. N. Tolchin, *Inertioïd*, Russian patent, 1931.
- [5] J. Lense, H. Thirring, Über den Einfluss der Eigenrotation der Zentralkörper auf die Bewegung der Planeten und Monde nach der Einsteinschen Gravitationstheorie, *Phys. Z.*, 1918.
- [6] E. H. Brandt, Levitation in physics, *Science*, 1989.
- [7] W. H. Press et al., *Numerical Recipes*, Cambridge Univ. Press, 2007.
- [8] J. H. Poynting, On the transfer of energy in the electromagnetic field, *Phil. Trans. R. Soc.*, 1884.
- [9] R. P. Feynman, *The Feynman Lectures on Physics*, Vol. II, Ch. 27, Field Energy and Field Momentum.
- [10] M. Millis, Assessing potential propulsion breakthroughs, *Ann. New York Acad. Sci.*, 2005.