



Электронное научное издание  
«Ученые заметки ТОГУ»  
2017, Том 8, № 2, С. 80 – 86

Свидетельство  
Эл № ФС 77-39676 от 05.05.2010  
[http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/  
ejournal@pnu.edu.ru](http://pnu.edu.ru/ru/ejournal/about/ejournal@pnu.edu.ru)

УДК 623.46

© 2017 г. **А. А. Федосеев**, канд. физ.-мат. наук,  
**С. С. Бондарь**,  
**В. А. Подобашин**

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

## **РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК СНАРЯДА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ПУШКИ**

В данной статье описывается текущее исследование, целью которого является разработка программного обеспечения, рассчитывающего характеристики снаряда электромагнитной пушки. В исследовании предполагается, что электромагнитная пушка может быть использована в космической индустрии.

**Ключевые слова:** рельсовая пушка, электромагнитная пушка, космос, разработка программного обеспечения.

## **A. A. Fedoseev, S. S. Bondar, V. A. Podobashin CALCULATION OF THE CHARACTERISTICS OF THE PROJECTILE OF THE ELECTROMAGNETIC GUN**

This article describes the current study, which aims to develop the software, which calculates characteristic of rail gun projectile. The study assumes that it can be used in the space industry.

**Keywords:** rail gun, space, software

Перспективы использования космоса все чаще возникают в различных сферах общества. Дело в том, что многое из того, что является уже сегодня неотъемлемой частью жизни, стало возможным именно благодаря космическим исследованиям. Большинство из нас даже не догадываются, что самые привычные окружающие нас вещи используют лишь благодаря космическим программам. Информация о штормовых предупреждениях и погоде, телефонные разговоры по сотовому телефону, спутниковое телевидение и так далее — все это было достигнуто с исследованием космоса. Навигаторы в автомобилях, самолеты и суда получают информацию напрямую оттуда.

Другие планеты, движущиеся вокруг Солнца, имеют в огромных количествах разные минералы и вещества, которые могут стать очень полезными для землян. Решение проблемы перенаселения и перенос вредного производства – это еще одна причина изучения космоса.

Но вывод космических аппаратов и доставка грузов за пределы земной атмосферы и разгон до орбитальных скоростей требует огромных денежных затрат. При этом стоимость топлива составляет примерно от 20 до 40% от общей стоимости запуска. Основная часть топлива хранится в первой ступени ракеты - носителя. Поэтому основное требование к топливу первой ступени ракет - возможность создания значительной тяги при приемлемых габаритах двигателя и запасах топлива. Так же при выборе топлива ищут компромисс между весом конструкции и весом топлива. Помимо тяговых возможностей топлива, учитываются и другие факторы. В ракетах для запуска космических аппаратов в настоящее время, в основном, используются четыре вида топлива:

Керосин + жидкий кислород.

Несимметричный диметилгидразин + тетраоксид азота.

Жидкий водород + жидкий кислород.

Смесевое твердое ракетное топливо на основе перхлората аммония.

После подробного изучения этого вопроса, было принято найти альтернативный способ запуска космических аппаратов в космос. Данным решением является электромагнитный рельсотрон.

Рельсотрон - импульсный электродный ускоритель масс, принцип действия которого объясняется с помощью силы Лоренца, направленной на расширение (расталкивание) замкнутого проводника с током и превращающей электрическую энергию в кинетическую энергию. Рельсотрон состоит из двух параллельных электродов, называемых рельсами, подключенных к мощному источнику постоянного тока. Разгоняемая электропроводная масса располагается между рельсами, замыкая электрическую цепь, и приобретает ускорение вследствие силы Лоренца, действующей на замкнутый проводник с током в его собственном магнитном поле. Сила Лоренца (сила Ампера) действует и на рельсы, приводя их к взаимному отталкиванию. Иногда используется подвижная арматура, соединяющая рельсы.

Будучи более рентабельным вариантом по сравнению с запуском ракетносителя, рельсотрон мог бы доставлять груз на околоземную орбиту, а в будущем и космические корабли. Для сбора установки требуется выполнить большой объем расчетов. Поэтому целесообразно спроектировать и реализовать программное обеспечение, которое бы позволило рассчитать все характеристики установки с минимальными рисками и за короткий промежуток времени (рис. 1).

Задачей магистерской диссертации является создание математических моделей, разработка программного продукта на основе созданных моделей, проведение модельных испытаний при помощи разработанного программного средства.

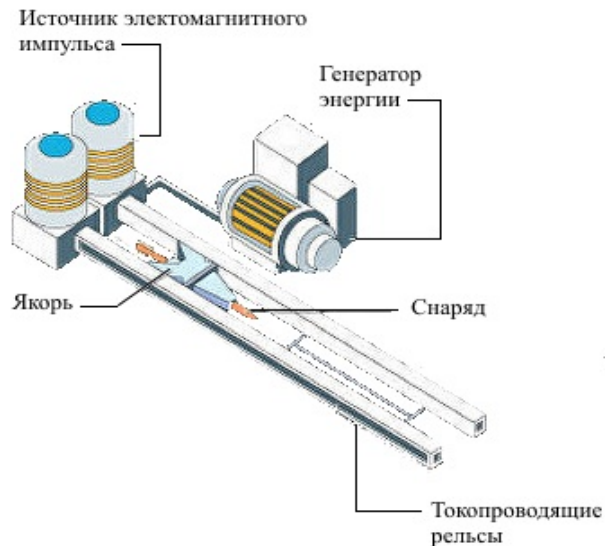


Рис. 1. Устройство рельсотрона

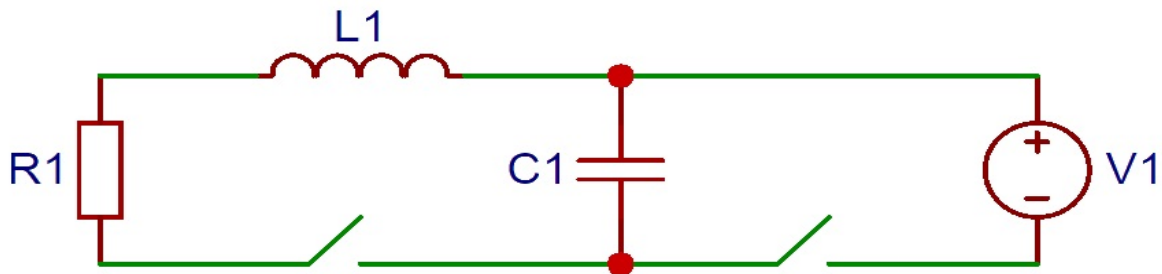


Рис. 2. Электронная схема устройства

Для начала проектирования требовалось выполнить анализ предметной области, определить какие законы действуют в рельсотроне, а также составить список физических величин, которые необходимо определить в ходе математического моделирования. В ходе анализа были получены следующие математические модели.

Математическая модель для расчёта снаряда с использованием рельс

$$\left\{ \begin{array}{l}
 F = 2 \times \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \times I^2 \times (\ln(d - r) - \ln r) \\
 F = m \times a \\
 a = \frac{du}{dt} \\
 u = \frac{dy}{dt} \\
 L = \frac{l}{\pi} \times (\mu_0 \times \ln \frac{D}{r} + \frac{\mu}{4}) \\
 l = (2 \times l - D) + y \\
 \frac{q}{C} - L \times \frac{dI}{dt} = I \times R \\
 \frac{dT}{dt} = \frac{R_p \times I_p^2}{C_p \times m} \\
 R = \frac{R_{i0} \times T}{T_{окр}}
 \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $d$  – расстояние между рельсами,  $m$  – масса снаряда,  $r$  – радиус рельсы,  $D$  – расстояние между осями проводов,  $l$  – длина рельсы,  $C$  – ёмкость,  $S$  – площадь сечения,  $I$  – сила тока.

Математическая модель для расчёта снаряда с использованием катушки

$$\left\{ \begin{array}{l} m \times \frac{d^2 y}{dt^2} = I_1 \times I_2 \times \frac{dM_{12}}{dx} \\ V_c = \frac{lk_B T}{SDZ^2 e^2 C} + (L_0 + L_1) \frac{dI_1}{dt} + \frac{d(M_{12} I_2)}{dt} \\ 0 = I_2 \times \frac{lk_B T}{SDZ^2 e^2 C} + \frac{d(M_{12} I_1)}{dt} + \frac{dI_2}{dt} \times L_2 \\ \frac{dV_c}{dt} = \frac{I_1}{C} \\ \frac{dT}{dt} = \frac{lk_B T}{SDZ^2 e^2 C} \times I_2^2 \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $L_0$  и  $R_0$  — индуктивность и сопротивление ускоряющей цепи соответственно,  $L_1$  — индуктивность ускоряющей катушки,  $L_2$  — индуктивность контура тока, наведенного в рабочем теле,  $M_{12}$  — коэффициент взаимной индукции цепей  $L_1$  и  $L_2$ .  $I_1$  и  $I_2$  — токи в ускоряющей цепи и в рабочем теле соответственно,  $R_2$  - электрическое сопротивление рабочего тела.

Для решения данных математических моделей использовался метод аппроксимации и итерационно-маршевый метод.

Для итераций был разработан следующий алгоритм, изображенный на рисунке 2.



Рис. 3. Блок схема итерационного цикла решения математической модели

После программной реализации данного алгоритма был получен программный комплекс для подсчета характеристик снаряда электромагнитной пушки.

Данный программный комплекс позволяет вводить входные данные, просмотреть

графики зависимости основных величин от времени, а также во вкладке выходные данные отследить все характеристики снаряда за нужный интервал времени. Окно ввода программы изображено на рисунке 3.

При начальных тестовых данных:

Сила тока  $I_1 = 0$  А;

Заряд  $q_1 = 500$  Кл;

Сила  $F_1 = 0$  Дж;

Ускорение  $a_1 = 0$  м/с<sup>2</sup>;

Скорость  $u_1 = 0$  м/с;

Маршевая координата  $y_1 = 0.00001$  метров;

Индуктивность  $L_1 = 5.58 \times 10^{-5}$  Гн;

Температура проводника  $T_1 = 273$  К;

Сопротивление снаряда  $R_1 = 2.5 \times 10^{-5}$  Ом;

Масса снаряда  $m = 0.015$  кг;

Длина рельс  $l = 5$  м;

Длина снаряда  $D = 0.01$  м;

Диаметр рельс  $dr = 0.07$  м;

Материал снаряда: алюминий.

Были получены следующие графики, изображенные на рисунке 4.

Рис. 4. Окно ввода данных

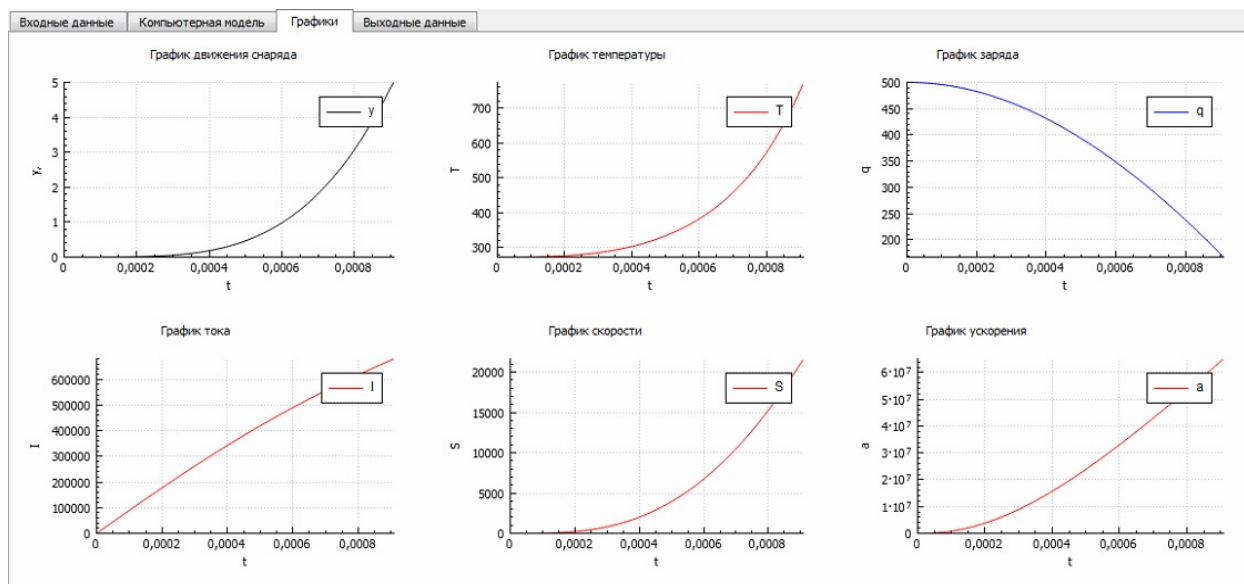


Рис. 5. Выходные графики характеристик снаряда

Так же были получены следующие выходные данные:

Время вылета снаряда  $t = 0.0009$  с;

Ток при вылете снаряда  $I = 676055$  А;

Заряд  $q = 173.074$  Кл;

Температура снаряда  $T = 753.073$  К;

Сила вылета снаряда  $F = 976956$  Дж;

Ускорение снаряда  $a = 6.4 \times 10^7$  м/с<sup>2</sup>;

Скорость  $u = 21113.3$  м/с.

Эти данные могут помочь при проектировании реальной установки уменьшив временные и финансовые затраты.

### Список литературы

- [1] Рельсотрон [Электронный ресурс]: свободная энциклопедия. – [Б. и. 2016 г.]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Рельсотрон/> (дата обращения 10.11.2015).
- [2] Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм :Учебное пособие для вузов / А.Н. Матвеев. – М.: Высшая школа, 1983. – 464 с.
- [3] Турчак Л.И. Основы численных методов : Учебное пособие / Л.И. Турчак. –М.: Наука. Гл. ред .физ–мат.лит., 1987. – 320 с.
- [4] Годунов С.К. Уравнения математической физики : Учебник для вузов / С.К. Годунов. – 2-е изд.– М.: Наука, 1971. – 393с.
- [5] Савельев И.В. Курс общей физики. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. В 3 т. Т.2./ И.В. Савельев. – 2-е изд., перераб. –М.: Наука, Гл. ред. физ-мат. лит., 1982. – 496с.
- [6] Скурин Л. И. Итерационно-маршевый метод решения задач механики жидкости и газа / Л. И. Скурин // Сибирский журнал вычисл. математики. – 1998. – том 1, № 2. –С. 171 – 181.

- [7] Лебедев А. С. Практикум по численному решению уравнений в частных производных : Учебн. пособ. / А. С. Лебедев, С. Г. Черный. –Новосибирск, 2003. – 136 с.
- [8] Алексеев Е. Р. Программирование на языке С++ в среде QtCreator: Пособие для разработки/ Е. Р. Алексеев, Г. Г. Злобин, Д. А. Костюк, О. В. Чеснокова, А. С. Чмыхало– М. : ALT Linux, 2015. – 448 с.