

DYNAMIC MASS ACCELERATORS — FROM PAST TO FUTURE

Valery Y. KLYUSHNIKOV,
Dr. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Chief Researcher, Central Research Institute of Machine Building, Roscosmos, Moscow, Russia,
wklj59@yandex.ru

ABSTRACT | The article provides a look-back analysis of the development of dynamic mass accelerators based on the use of both chemical and electrical energy. The possibilities of using mass accelerators to create combat artillery systems, as well as to put satellites into orbit, are shown.

Keywords: dynamic mass accelerators, railgun, trunk of launch, acceleration, launcher of mass

ДИНАМИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ МАССЫ — ИЗ ПРОШЛОГО В БУДУЩЕЕ



Валерий Юрьевич КЛЮШНИКОВ,
доктор технических наук, старший научный
сотрудник, главный научный сотрудник АО
«Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения», Роскосмос, Москва, Россия,
wklj59@yandex.ru

АННОТАЦИЯ | В статье дан ретроспективный анализ развития динамических ускорителей массы, основанных на использовании как химической, так и электрической энергии. Показаны возможности использования ускорителей массы для создания боевых артиллерийских систем, а также для выведения на орбиту космических аппаратов.

Ключевые слова: динамические ускорители массы, рельсотрон, пусковой ствол, разгон, ускоряемая масса

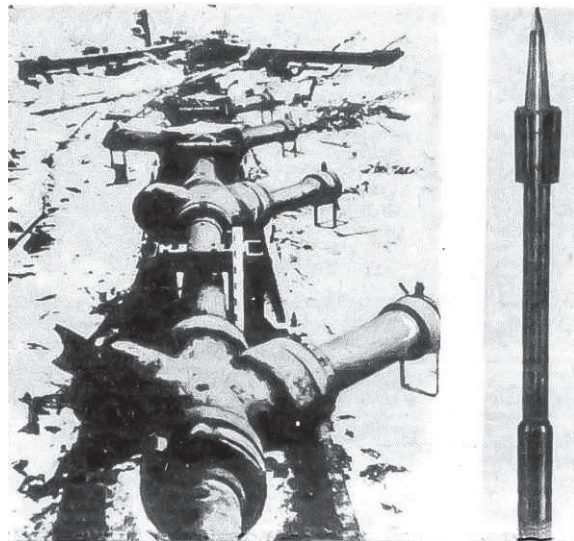


Рис. 1. Проект «Фау-3» (Германия, 1943 г.)

ВВЕДЕНИЕ

Типичным ускорителем массы является артиллерийское орудие, обобщенно представленное в массовом сознании единым термином «пушка». Логическим продолжением идеи использования артиллерии в войне является относительно мирная идея — запуска искусственных спутников Земли в космос. Многие наверняка читали научно-фантастический роман «Из пушки на Луну», написанный французским писателем Ж. Верном в 1865 году.

Однако то, что в XIX веке было фантастикой, может быть осуществлено сейчас, когда стали доступны новые технологии и материалы. «Космическую пушку» выгодно отличает от других способов неракетного доступа в космос то, что она является в принципе реализуемой уже на современном техническом уровне. В XX веке «космическую пушку» стали называть динамическим ускорителем массы (ДУМ).

ДУМы можно классифицировать на механические, точнее физико-химические (ускоритель типа очень большого и мощного артиллерийского орудия), и электромагнитные индукционные (типа электромагнитной пушки Гаусса и ее модификаций). В свою очередь, пушки могут быть выполнены линейными, а могут быть сделаны в виде гигантской пращи — кольца. В ДУМ любого принципа действия может быть несколько ступеней разгона ускоряемой массы.

До настоящего времени созданы и испытаны лишь несколько образцов ускорителей массы для военного применения — так называемые кинетические артиллерийские орудия. Тем не менее совершенствование ДУМ не прекращается. На повестке дня — создание ДУМ, способного выводить на околоземную орбиту космические аппараты (КА).

ПРОЕКТ «ФАУ-3»

Одна из первых попыток реализовать идеи Жюль Верна была предпринята в 1940-е годы в Третьем рейхе (рис. 1): по программе V-3 (Vergeltungswaffe-3) создавалось артиллерийское орудие длиной 124 м, калибром 150 мм и весом ~ 76 т [1]. Ствол орудия должен был состоять из 32 секций длиной 4,48 м, каждая секция имела две расположенные по ходу ствола и под углом к нему зарядные камеры (всего 60 боковых

То, что в XIX веке было фантастикой, может быть осуществлено сейчас, когда стали доступны новые технологии и материалы. Проект «космической пушки», в отличие от других способов неракетного доступа в космос, можно реализовать уже на современном техническом уровне.

зарядных камер). Расчетная дальность стрельбы — порядка 150 км. Снаряды могли достигать высоты в 110–120 километров, что выше линии Кармана — общепринятой границы космоса, то есть теоретически эта пушка могла бы быть использована для суборбитальных космических запусков. Вся конструкция размещалась в штольнях на глубине ~ 100 м.

Проект V-3 был частично реализован до разгрома нацистской Германии. Снаряды для V-3 должны были пробивать железобетон толщиной до 4,25 м. Стройка (в известняковой каменоломне Идрекан вблизи Мимойека, Па-де-Кале, около мыса Гри-Не) была уничтожена британской авиацией [1]. Никакого влияния на ход войны проект не оказал. Одно из орудий V-3 в незаконченном виде было захвачено союзниками и вывезено для изучения в США [2].

ПРОЕКТ HARP

В ходе «Проекта высотных исследований» (High Altitude Research Project, HARP) в 1961–1967 годах в США были созданы три очень близкие по конструкции и размерам установки (рис. 2): первая на Барбадосе (на снимке), вторая в Канаде, третья в США. Калибр орудий HARP составлял 406 мм, длина ствола — порядка 40 м.

Конечной целью исследований в рамках HARP было создание работоспособного метода запуска малоразмерных космических аппаратов при помощи пушек.

С конца 1961 года руководителем работ по проекту HARP был назначен ведущий специалист в области сверхмощной артиллерии американский инженер Джеральд Булл. Все основные идеи, положенные в конкретные шаги по модернизации суперпушки — увеличение длины ствола, уменьшение веса снаряда и наращивание массы взрывчатого вещества — принадлежали именно Д. Буллу.

Наивысшим достижением проекта HARP стала 16-дюймовая (406-мм) пушка, установленная на острове Барбадос в Карибском море (опытный полигон военно-воздушной базы Сиуэлл). Для улучшения баллистики снаряда в стволе перед выстрелом создавался технический вакуум. Вес снаряда составлял 180 кг, начальная скорость — 3600 м/с (~50% первой космической скорости!). Пушка выбрасывала снаряд на высоту 180 км, после чего он падал в океан. Обитатели служебных зданий и частных домов на многие километры вокруг сообщали о повреждениях, вызванных ударной волной при стрельбе, в том числе о разрушении построек, растрескивании стен и разломах бетона.

К 1967 году в рамках программы HARP Д. Булл разработал снаряд-ракету Maglet, которая могла бы доставить небольшой спутник на орбиту [2]. Однако цель

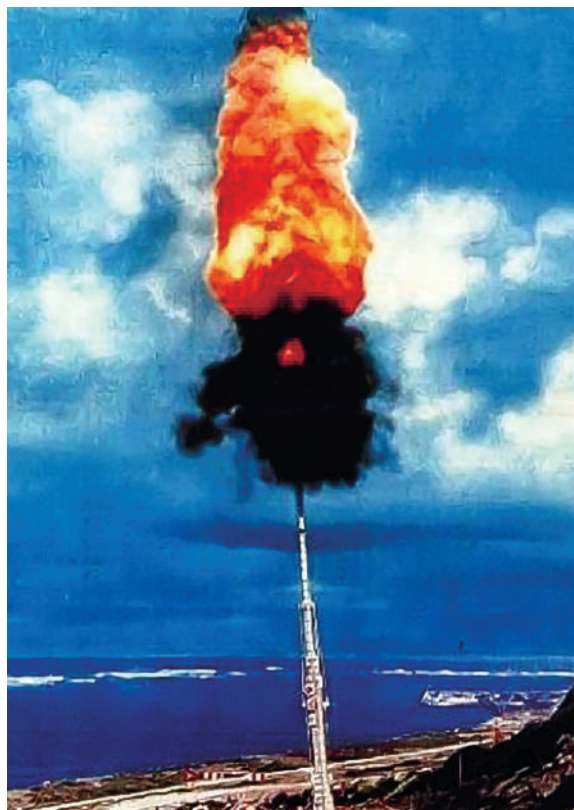


Рис. 2. Орудия по проекту HARP, 1961 г.



Рис. 3. Проект «Большой Вавилон», 1985 г. а) Орудие по проекту «Большой Вавилон», 1985 г. б) Руководитель проекта «Большой Вавилон» Д. Булл

создания системы выведения на орбиту КА не была достигнута. Из-за очевидных успехов космонавтики и ряда сложностей космических запусков при помощи артиллерийских орудий в 1967 году проект свернули. Однако есть мнение, что проект HARP был закрыт вовсе не из-за технических проблем, а по политическим причинам [1, 3].

ПРОЕКТ «БОЛЬШОЙ ВАВИЛОН»

Следующая попытка добиться от артиллерии возможностей баллистических ракет — проект «Большой Вавилон» — была предпринята в Ираке в 1980-е годы при Саддаме Хусейне. Руководил проектом Д. Булл, ранее возглавлявший работы в проекте HARP. Орудие калибром 1 м должно было запускать 600-килограммовый снаряд на высоту 1000 км (рис. 3). Однако до практики дело не дошло: в марте 1990 года в Брюсселе Жеральд Булл был убит [4].

Программа полностью закончилась после войны в Персидском заливе (операция ВС США «Буря в пустыне», февраль 1991 г.). Испытательный стенд «Вавилон» был демонтирован под наблюдением UNSCOM (Специальная комиссия ООН) [5]. К моменту окончания на программу было истрачено около 20 млн долл. [4].

ПРОЕКТ SHARP (SUPER HARP)

Эксперименты с орудиями, позволяющими достигать субкосмических скоростей, продолжались в США в 1990-е годы по проекту SHARP (Super HARP) на базе лаборатории Лоуренса (Калифорния, США) под руководством Джона Хантера (John Hunter, американский ученый и инженер, президент и один из основателей компании Quicklaunch). Эксперименты проводились с суперпушкой на легких газах (Light gas gun), позволяющих снарядам достигать космических скоростей (6–7 км/с).

Вместо одного прямого ствола (как в проекте HARP) в проекте SHARP использовалась L-образная конструкция с двумя отдельными секциями: секция сгорания длиной 82 м и секция насоса, соединенные под прямым углом с пусковым стволом длиной 47 м и диаметром 10 см [6].

В результате экспериментов с водородом в качестве рабочего тела снаряды массой 5 кг разгонялись до скорости порядка 3 км/с. Существовали планы увеличения длины пускового ствола суперпушки до 3500 м для достижения скоростей снарядов до 7 км/с и космических запусков (проект Jules Verne Launcher). Проект должен был стоить около 1 млрд долл., но возможности финансиро-

вания не нашлось, и проект в 1995 году был приостановлен (установка использовалась лишь для проведения наземных экспериментов по гиперскоростным столкновениям КА с космическим мусором) и окончательно закрыт в 2005 году [4].

РАБОТЫ ФИРМЫ QUICKLAUNCH

В 2010 году Дж. Хантер основал в Калифорнии компанию Quicklaunch, поставившую своей целью осуществлять дешевое выведение КА на орбиту при помощи суперпушки большой длины [7].

Главная изюминка новой системы Дж. Хантера — морское базирование (рис. 4). Ствол орудия со вспомогательными системами должен плавать в море под некоторым углом к горизонту. Нижний край всей конструкции располагается на глубине примерно 490 м, а срез пускового ствола — в нескольких метрах над водой.

Такое проектно-конструкторское решение снимает проблему искривления орудийного ствола под собственным весом. Облегчается наведение установки по азимуту. Наконец, пусковую систему можно легко отбуксировать в любой расчетный район старта [5].

Система запуска, предложенная Quicklaunch, так же как и проект SHARP, должна была представлять собой легкую газовую суперпушку длиной 1100 м, использующую водород в качестве рабочего газа и природный газ в качестве импульсного источника тепла. Нагревание и предварительное повышение давления рабочего газа (водорода) должно было занимать 10 минут до момента выстрела. Большая часть водорода после выстрела должна была улавливаться специальным устройством на выходе из пускового ствола и повторно использоваться для последующих запусков.

Прорабатывались технологии доставки на орбиту полезных грузов, не требовательных к условиям запуска, в частности к перегрузкам от ускорения при разгоне: расходные материалы, вода, ракетное топливо и т. п. Удельная стоимость выведения 1 кг полезного груза на орбиту не должна была превышать 1100 долл. [8].

Расчетная перегрузка при выстреле составляла 5000 g. Цель программы была сформулирована как ежегодная доставка на низкоорбитальные хранилища около 2000 т ракетного топлива.

Проект Quicklaunch был приостановлен в 2015 году. В статье 2016 года Хантер отметил, что это произошло частично вследствие работ компании Илона Маска SpaceX, которая поставила перед собой аналогичную задачу — снижение затрат на пусковые услуги.

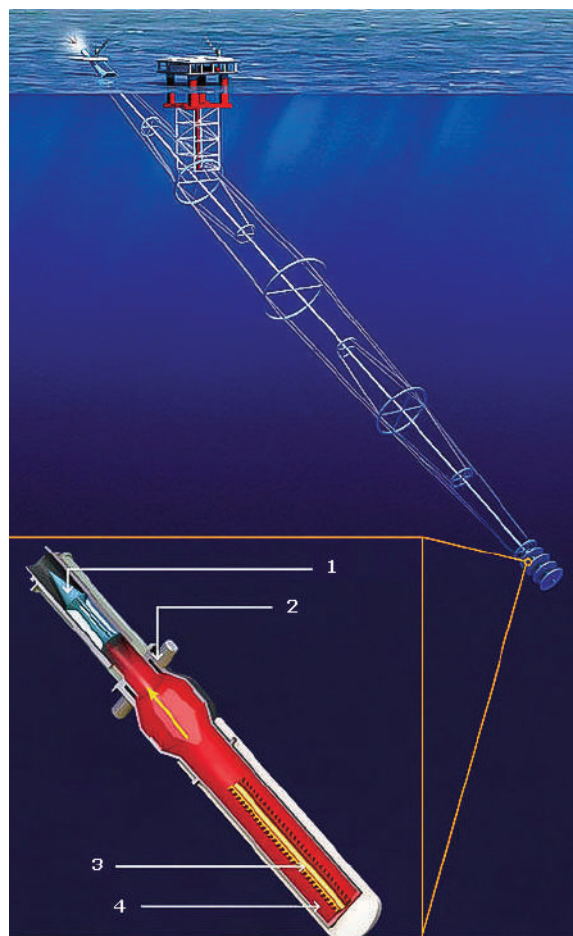


Рис. 4. Схема пушки Хантера: 1 – снаряд, 2 – клапан, 3 – камера сгорания (она же теплообменник), 4 – водород (иллюстрация Popular Science)

ПРОЕКТ SPINLAUNCH — КОЛЬЦЕВОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ

В 2015 году компания SpinLaunch начала проект запуска малоразмерных КА в околоземное космическое пространство при помощи мощной электромагнитной центрифуги (рис. 5). До самого последнего времени об этом проекте практически не было ничего известно, так как все работы велись в атмосфере строгой секретности. Однако недавно мировые СМИ сообщили, что первые летные испытания центрифуги состоятся в конце 2020 года, а в 2022 году планируется первый космический старт [9].

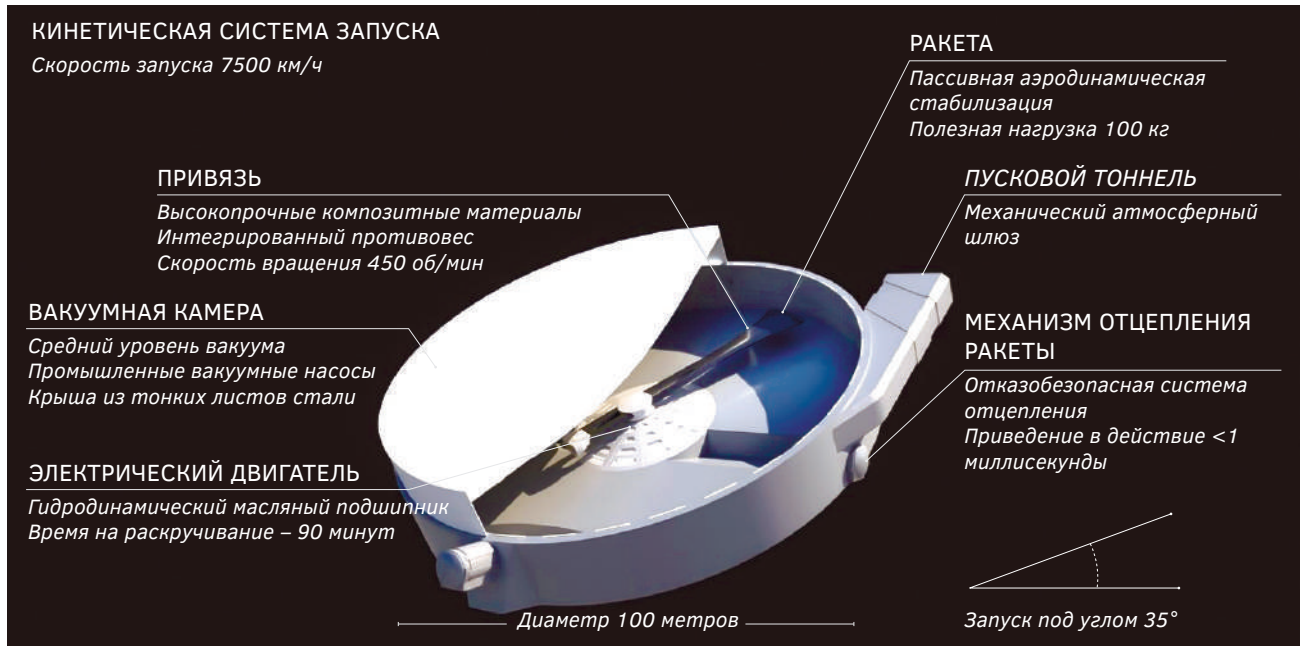


Рис. 5. Проект SpinLaunch

Размер электромагнитной центрифуги — с футбольное поле. Центрифуга будет раскручивать ракету-носитель (РН) до скорости 8000 км/ч (2 км/с). Затем РН отцепляется и в стратосфере на высоте 60 км включает собственные ракетные двигатели, после чего выходит на низкую околоземную орбиту. Масса полезной нагрузки (КА) — до 90 кг. Перегрузки в процессе запуска могут достигать 10 000 g. Ожидается, что стоимость одного запуска составит около 500 тыс. долл. при темпе 5 пусков в сутки. В июне 2018 года SpinLaunch привлекла 40 млн долл. от Alphabet, Kleiner Perkins Caufield & Byers и Airbus Ventures.

Центрифуга строится в Нью-Мексико. С ее помощью SpinLaunch в ближайшее время надеется запустить 50-килограммовую полезную нагрузку.

Вызывает сомнение то, что бортовая аппаратура КА способна выдержать перегрузку 10 000 g. Поэтому есть основания считать, что SpinLaunch, скорее всего, создает (по контракту с Пентагоном) кинетическое оружие.

ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УСКОРИТЕЛИ

Электромагнитная пушка катушечного типа, представляющая собой соленоид, внутри которого располагается ствол (пушка Гаусса), известна примерно с середины XIX века (первое упоминание относится к 1845 г.). Однако военного применения пушка Гаусса не нашла вследствие низкого КПД [10].

Идея рельсотронной пушки (рельсотрон, в английском варианте — рейлган, railgun) возникла в первой половине XX века.

Конструктивно рельсотронная пушка представляет собой две подсоединенные к источнику электроэнергии и расположенные параллельно электропроводящие шины (два металлических рельса), между которыми с «казенной» части заряжается также электропроводящий снаряд, замыкающий таким образом электрическую цепь. При подаче на рельсы электрического тока под действием возникающей непосредственно внутри канала ствола и направленной перпендикулярно движению тока и линиям магнитного поля силы Лоренца снаряд разгоняется до сверхвысоких скоростей (рис. 6).

Первые рельсотронные пушки, имеющие практическое значение, появились в 1970-х годах. К созданию боевых рельсотронов и в СССР, и в США приступили в 1980-х годах.

«Гиперзвуковую рельсовую пушку» предполагалось создать в рамках американской программы СОИ (Стратегическая оборонная инициатива), утвержденной президентом США Рональдом Рейганом 23 марта 1983 года и более известной как программа «звездных войн». Такая пушка предназначалась для перехвата ядерных головных частей баллистических ракет и должна была выполнять не менее чем два выстрела в сутки.

Боевой рельсотрон разрабатывала с 2007 года по заказу Научно-исследовательского управления ВМС США компания BAE Systems. Согласно



Рис. 6. Электромагнитная индукционная рельсотронная пушка

требованиям ВМС США, начальная скорость снаряда рельсотрона должна составлять не менее 6,2–7,8 М (7200–9000 км/час). Конструкция рельсотрона способна выдерживать 6–10 выстрелов в минуту без перегрева. Проведены испытания прототипов боевых рельсотронов — с энергией выстрела порядка 30–40 МДж. Командование ВМС США надеется получить первый образец корабельного боевого рельсотрона к 2020–2025 годам [12].

Американская компания General Atomics в инициативном порядке вела разработку сухопутного артиллерийского комплекса Blitzer, основу которого также составляет рельсотрон [13].



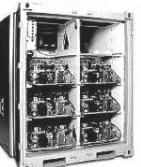






В перспективе, видимо, будет создана система рельсотронов (рейлганов) различной мощности (рис. 7). На программу их создания запланировано выделить 1,3 млрд долл. [14].

Рельсотроны планируется также оснастить кинетическими боеприпасами с возможностью корректировки траектории полета.

К наиболее сложным вопросам создания боевых рельсотронов следует отнести:

- проблему источников энергии, способных давать в одном импульсе ток в сотни тысяч ампер;
- защиту электронных узлов от магнитных полей боевого комплекса на основе рельсотрона;
- низкий ресурс ствола рельсотрона (не более нескольких десятков);
- низкую точность стрельбы;

Рис. 7. Ряд рельсотронов (рейлганов) различной мощности

Пусковые установки	Ракеты	Импульсные источники электропитания
 3 МДж – Blitzer		 6,5-футовый контейнер (Tricon)
 10 МДж – средний калибр		 10-футовый контейнер (Bicon)
 32 МДж – повышенной мощности		 20-футовый универсальный контейнер

— защиту управляемого боеприпаса от перегрузок в момент выстрела (до 20 000 g, по этой причине General Atomics считает боеприпасы для рельсотрона самым сложным элементом боевого комплекса).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большинство рассмотренных ДУМ находились, каждый в свое время, на переднем крае технологического развития. При этом преследовались две альтернативные цели:

- достижение максимальной дальности поражения противника;
- выведение на низкую околоземную орбиту космического аппарата.

Программы создания ДУМ военного назначения, основанных на физико-химическом методе разгона снаряда (ДУМ — большое артиллерийское орудие), оказались неудачными по двум основным причинам. Во-первых, для получения больших дальностей поражения размер снаряда и его полезная нагрузка (пассивная, кинетическая масса или заряд взрывчатого вещества) были уменьшены до такой степени, что эффективность ДУМ на поле боя стала незначительной. Во-вторых, эти орудия были созданы в то время, когда другие новые технологии, а именно самолеты и ракеты, стали представлять собой более эффективные средства огневого поражения противника на больших дальностях.

Следующим шагом в развитии военных ДУМ стало создание электромагнитного рельсового ускорителя (рейлгана). Здесь для разгона массы вместо химической энергии используются электромагнитные силы. История рейлганов начинается с получения в марте 1921 года французским изобретателем Луи Октавом Фошон-Вильпле патента на устройство «Электрический аппарат для метательных снарядов».

С тех пор было предпринято достаточно много попыток создания рейлганов военного назначения. Проблему составляли деформации рельса после нескольких выстрелов, а также чрезвычайно высокие потребные характеристики источников электропитания.

Идеальной платформой для боевых рельсотронов являются военные корабли, прежде всего из-за возможности получения большой электрической мощности. В настоящее время экспериментальные электромагнитные рельсотроны ВМФ США способны выпускать 3,2-кг снаряды со скоростью 2,4 км/с на дальность до 150 км.

Основным преимуществом ДУМ при выведении КА на низкую околоземную орбиту являются крайне привлекательные экономические показатели, недостижимые для современных «классических» ракет-носителей. Так, стоимость выведения 1 кг полезной нагрузки на низкую орбиту может составить от 500 до 1000 долл. В принципе, препятствий для реализации этой идеи уже сейчас не существует. Это должен показать, в частности, проект кольцевого ускорителя SpinLaunch.

Основной проблемой динамических ускорителей массы космического назначения является обеспечение устойчивости полезной нагрузки (КА), в частности электромеханических систем, к действию запредельных перегрузок — порядка 10 000 g. Конечно, здесь некоторые основания для оптимизма дает тот факт, что к настоящему времени удалось добиться устойчивой работы системы управления движением высокоточных управляемых 155-миллиметровых артиллерийских боеприпасов. Но если по массе КА сравним с управляемым боеприпасом, то по устройству — это существенно более сложная система. Возможно, для реализации на практике идеи ДУМ космического назначения придется пересмотреть парадигму конструирования КА.

Дальнейшее развитие идеи ДУМ космического назначения, видимо, пойдет по пути создания кольцевых электродинамических ДУМ, обеспечивающих магнито-левитационный разгон ускоряемого тела в вакуумном пусковом кольце, с широким использованием технологий высокотемпературной сверхпроводимости, сверхэнергоемких накопителей электроэнергии и достижений нано- и микроэлектромеханики.

Идеальной платформой для боевых рельсотронов являются военные корабли, прежде всего из-за возможности получения большой электрической мощности.

Литература

1. **Форд Б. Дж.** Секретное оружие Второй мировой. Великое интеллектуальное противостояние // Пер. с англ. А. Колина. М.: Эксмо, 2014. 288 с.
2. Космос 1: Дотянуться до небес (или из пушки в космос) [Электронный ресурс] // Fishki.net. 2019. 27 сентября. URL: <https://fishki.net/3098752-kosmos-1-dotjanutysja-do-nebes-ili-iz-pushki-v-kosmos.html> (Дата обращения: 20.05.2020).
3. The HARP Project and the Martlet [Электронный ресурс]. URL: <https://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/Smartlet.htm> (Дата обращения: 12.05.2020).
4. **Zaloga Steven J.** Superguns 1854–1991. Extreme artillery from the Paris Gun and the V-3 to Iraq's Project Babylon. New York: Osprey Publishing Ltd, 2018. 49 p.
5. **Попов Л.** Космическая пушка стреляет спутником из глубины океана [Электронный ресурс] // MEMBRANA. 2010. 20 января. URL: <http://www.membrana.ru/particle/3360> (Дата обращения: 20.05.2020).
6. **Scott William B.** SHARP Gun Accelerates Scramjets to Mach 9" // Aviation Week and Space Technology. 1996. September 9. Vol. 145. Issue 11. P. 63.
7. **Wade M.** SHARP at Encyclopedia Astronautica [Электронный ресурс]. URL: <http://www.astronautix.com/s/sharp.html> (Дата обращения: 12.04.2020).
8. **Gilreath H., Driesman A., Krosh W., Cartland H., Hunter J.** The Feasibility of Launching Small Satellites with a Light Gas Gun // "Small Satellites Sample Paper", Proceedings of the AIAA/USU Conference on Small Satellites, Mission Lessons, SSC98-III-6. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?sessionid=B1045B87E59DA7DBE39A625FD5D32B5A?doi=10.1.1.203.4552&rep=rep1&type=pdf> (Дата обращения 12.04.2020).
9. Американский стартап SpinLaunch строит «катапульту» для запуска грузов в космос, но эксперты не верят в успех проекта [Электронный ресурс] // vc.ru. 2020. 4 февраля. URL: https://vc.ru/future/105051-amerikanskiy-startap-spinlaunch-stroit-katapultu-dlya-zapuska-gruzov-v-kosmos-no-eksperty-ne-veryat-v-uspeh-proekta?fbclid=IwAR0pLU5P1I-5VyN14v0TjUicJmSh5eSIEIEeVG-G_98XMSq3ym15h70XEM (Дата обращения: 20.05.2020).
10. **Parker J.V., Berry D.T., Snowden P.T.** The IAT Electromagnetic Launch Research Facility // IEEE Transactions on Magnetics. 33 (1), January 1997. P. 129 – 133.
11. Multi-mission Railgun Weapon System [Электронный ресурс] // General Atomics. URL: https://www.ga.com/images/products/defense/missile-defense/Mobile-Railgun-Weapon-System_Army_DS_1018E.pdf (Дата обращения: 12.05.2020).
12. **Sam LaGrone.** Navy Wants Rail Guns to Fight Ballistic and Supersonic Missiles Says RFI [Электронный ресурс] // USNI News. 2015. 20 January. URL: <https://news.usni.org/2015/01/05/navy-wants-rail-guns-fight-ballistic-supersonic-missiles-says-rfi> (Дата обращения 12.05.2020).
13. США показали концепт артиллерийского рельсотрона Blitzer [Электронный ресурс] // Армейский вестник. 2013. 26 ноября. URL:

<https://army-news.ru/2013/11/ssha-pokazali-koncept-artillerijskogo-relsotrona-blitzer/> (Дата обращения 12.05.2020).

14. **Титков О.С.** Планы разработки гиперзвуковых электромагнитных орудий для ВМФ и армии США // Авиационные системы. 2017. № 6. С. 22 – 38.

References

1. **Ford B. Dzh.** Sekretnoe oruzhie Vtoroy mirovoy. Velikoe intellektual'noe protivostoyanie. Moscow, Eksmo, 2014. 288 p.
2. Kosmos 1: Dotyanut'sya do nebes (ili iz pushki v kosmos). Fishki.net. 2019. September 27. Available at: <https://fishki.net/3098752-kosmos-1-dotjanutysja-do-nebes-ili-iz-pushki-v-kosmos.html> (Retrieval date 20.05.2020).
3. The HARP Project and the Martlet. Available at: <https://www-istp.gsfc.nasa.gov/stargaze/Smartlet.htm> (Retrieval date: 12.05.2020).
4. **Zaloga Steven J.** Superguns 1854–1991. Extreme artillery from the Paris Gun and the V-3 to Iraq's Project Babylon. New York: Osprey Publishing Ltd, 2018. 49 p.
5. **Popov L.** Kosmicheskaya pushka strelyaet sputnikom iz glubiny okeana. MEMBRANA. 2010. January 20. Available at: <http://www.membrana.ru/particle/3360> (Retrieval date: 20.05.2020).
6. **Scott William B.** SHARP Gun Accelerates Scramjets to Mach 9". Aviation Week and Space Technology, 1996, September 9, vol. 145, iss. 11, p. 63.
7. Encyclopedia Astronautica. Available at: <http://www.astronautix.com/s/sharp.html> (Retrieval date: 12.04.2020).
8. **Gilreath H., Driesman A., Krosh W., Cartland H., Hunter J.** The Feasibility of Launching Small Satellites with a Light Gas Gun. "Small Satellites Sample Paper", Proceedings of the AIAA/USU Conference on Small Satellites, Mission Lessons, SSC98-III-6. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?sessionid=B1045B87E59DA7DBE39A625FD5D32B5A?doi=10.1.1.203.4552&rep=rep1&type=pdf> (Retrieval date: 12.04.2020).
9. Amerikanskiy startap SpinLaunch stroit «katapultu» dlya zapuska gruzov v kosmos, no eksperty ne veryat v uspekhe proekta. VC.ru. 2020. February 4. Available at: https://vc.ru/future/105051-amerikanskiy-startap-spinlaunch-stroit-katapultu-dlya-zapuska-gruzov-v-kosmos-no-eksperty-ne-veryat-v-uspekhe-proekta?fbclid=IwAR0pLU5P1I-5VyN14v0TjUicJmSh5eSIEIEeVG-G_98XMSq3ym15h70XEM (Retrieval date: 20.05.2020).
10. **Parker J.V., Berry D.T., Snowden P.T.** The IAT Electromagnetic Launch Research Facility. IEEE Transactions on Magnetics, 1997, no. 33 (1), pp. 129 – 133.
11. Multi-mission Railgun Weapon System. General Atomics. Available at: https://www.ga.com/images/products/defense/missile-defense/Mobile-Railgun-Weapon-System_Army_DS_1018E.pdf (Retrieval date: 12.05.2020).
12. **LaGrone Sam.** Navy Wants Rail Guns to Fight Ballistic and Supersonic Missiles Says RFI. USNI News. 2015. January 20. Available at: <https://news.usni.org/2015/01/05/navy-wants-rail-guns-fight-ballistic-supersonic-missiles-says-rfi> (Retrieval date: 12.05.2020).

13. SShA pokazali kontsept artillerijskogo rel'sotrona Blitzer. Armeyskiy vestnik, 2013, November 26. Available at: <https://army-news.ru/2013/11/ssha-pokazali-koncept-artillerijskogo-relsotrona-blitzer/> (Retrieval date: 12.05.2020).

14. **Titkov O.S.** Plany razrabotki giperzvukovykh elektromagnitnykh orudiy dlya VMF i armii SShA. Aviatsonnyye sistemy, 2017, no. 6, pp. 22 – 38.



© Ключников В.Ю., 2020

История статьи:

Поступила в редакцию: 19.02.2020
Принята к публикации: 23.03.2020

Модератор: Плетнер К.В.

Конфликт интересов: отсутствует

Для цитирования:

Ключников В.Ю. Динамические ускорители массы – из прошлого в будущее // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 2. С. 62 – 71.