

Космическая пушка для исследования Луны?

О.Б. ХАВРОШКИН,
доктор физико-математических наук
Институт физики Земли РАН
А.В. СТАРОВЕРОВ,
МГТУ им. Н.Э. Баумана

В статье рассмотрен концептуальный проект космической пушки (суперпушки) как новый метод вывода грузов в космос – в частнос-

ти, на Луну. Проанализированы результаты мировой практики такого способа запуска космического аппарата, сферы возможного

применения данной технологии. Сделан прогноз с расчетом оптимальных параметров для запуска исследовательских миссий на Луну.

МЕСТО КОСМИЧЕСКИХ ПУШЕК
В СОВРЕМЕННОЙ НАУКЕ

Космическая пушка – устройство для запуска грузов в космическое пространство, относящееся к нереактивным методам вывода объектов на околоземную орбиту. Хотя сама по себе космическая пушка не способна доставить объект на высокие орбиты, – например, геостационарную, космический аппарат можно оснащать ракетными двигателями для корректиров-

ки траектории полета и увеличения скорости полета. Это позволит заменить существующие чрезмерно дорогие ракетные системы новыми методами доставки полезной нагрузки и постепенно снизить затраты на научные программы, таким образом исследования станут более доступными, менее рискованными и экологически безопасными.

Огромные перегрузки, которые испытывает космический аппарат, не позволяют с помощью такой

суперпушки вывести на орбиту хрупкие инструменты, однако для доставки грузов или спутников повышенной прочности это не может быть проблемой.

Для проведения научных исследований Луны уровень развития современных научно-технических систем и методов достаточно высок, поэтому теоретическое решение большинства научных задач не составляет большого труда. В течение последних 30–40 лет используются старые принципы и схемы,



Устройство многокамерной пушки по схеме Перро. Проект 1878 г.

лишь немного обновляя научные задачи. Развитие электроники и высоких технологий, а также создание новых приборов для космических исследований позволило занимать научному оборудованию минимальное пространство с минимальной массой: оно могло бы выдержать перегрузки в несколько тысяч *g*. К примеру, электронное оборудование для наведения и управления полетом устанавливается в танковые снаряды. “Пушечный” вариант исследования Луны к тому же позволяет получить плотностной разрез верха коры до глубин 50–100 м, а также вывести с дневной поверхности Луны колонку лунного грунта глубиной ~40 м. Одновременно торможение снаряда может быть использовано для сейсмического просвечивания Луны.

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ КОСМИЧЕСКИХ ПУШЕК

Обычная дальность стрельбы полевой артиллерии ограничена расстоянием от 15 до 300 км при начальной скорости снаряда 1500 м/с. Однако существуют экспериментальные проекты

суперпушек, обладающие новыми результатами, важнейшие из которых рассмотрены ниже.

Прототип такого технического устройства был изобретен в 1878 г. французским инженером Л.-Г. Перро. Он создал проект “теоретической пушки”, в котором используется энергия метательного взрывчатого вещества (ВВ). В пушке Перро был один обычный пороховой заряд, расположенный в камере (часть полости внутри канала ствола, в которой помещаются снаряд и заряд при зарядании) орудия, и несколько дополнительных зарядов метательного ВВ, которые находились в отдельных камерах, расположенных по всей длине ствола. Дополнительные заряды метательного ВВ по мере прохождения снаряда по каналу ствола воспламенялись, поддерживая в нем постоянное давление (в пределах прочности артиллерийского орудия). Таким образом, “теоретическая пушка” имела практически постоянную кривую давления, а значит, возможность придания метательному снаряду начальной скорости, недостижимой в классических артиллерийских орудиях

из-за необходимости иметь недопустимо большое (для прочности ствола) начальное давление с целью достижения больших скоростей снаряда. Добившись точного времени воспламенения заряда (осуществляемого разными способами), теоретически можно значительно поднять его начальную скорость, не увеличивая максимально допустимого давления внутри ствола орудия.

В 1879 г. американцы А.С. Лайман и Д.Р. Хаскель воплотили пушку Перро в металле и, применив обычный дымный (черный) порох, получили скорость снаряда около 335 м/с, что даже в эпоху дымного пороха было не очень значительным. После изобретения мощных бездымных порохов идея Перро была забыта вплоть до начала Второй мировой войны.

Одной из попыток создать суперпушку, которая воплощала бы принцип многокамерной пушки Перро, стало немецкое орудие “Фау-3” конструктора Августа Кёндерса – главного инженера заводов фирмы “Рёхлинг” (“Stahlwerke Röchling-Buderus Aktiengesellschaft”), которое получило название “насос высокого давления”, или “многоснарядная” (при взгляде свер-

Прототип “Фау-3”, предположительно установленный на испытательном полигоне. 1942 год.

ху множество выдающихся по бокам ствола камер напоминало ножки). Модель многокамерной пушки калибром всего 20 мм была продемонстрирована Гитлеру в сентябре 1943 г., после чего он распорядился изготовить 50 полноразмерных многокамерных артиллерийских орудий HDP для обстрела Лондона. Орудие имело длину 124 м, калибр – 150 мм, вес – 76 т, стреляло снарядами длиной 3,1 м и массой 140 кг со скоростью 1500 м/с. Ствол орудия HDP состоял 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 зарядных камер). Хотя дальность полета снаряда “Многоножки” не превышала дальности стрельбы других немецких экспериментальных артиллерийских орудий (150 км) из-за проблем со своевременным воспламенением вспомогательных зарядов, ее скорострельность теоретически должна была быть гораздо выше и достигать одного выстрела в минуту.

После разрушения подземных позиций HDP немецкие конструкторы разработали упрощенные многокамерные орудия под



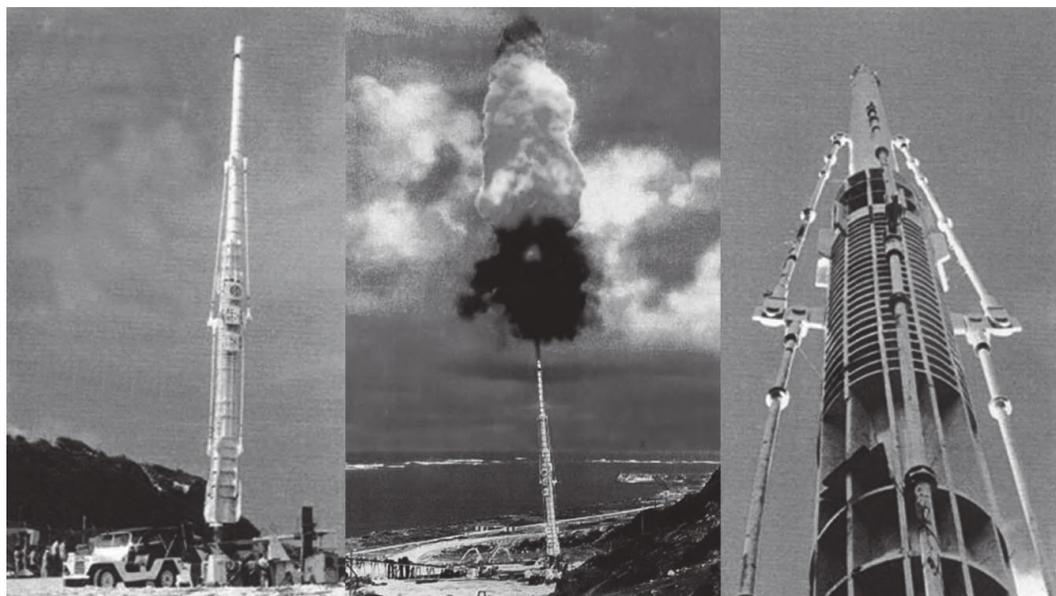
обозначением LRK 15F58. Длина укороченных орудий, имевших 24 боковые зарядные камеры, составляла 50 м, вес – 28 т; калибр не изменился – 150 мм. Орудие стреляло стреловидным снарядом весом 97 кг, дальность стрельбы достигала 50 км. Орудия LRK 15F58 успели использовать в боевых действиях, обстреливая Люксембург с расстояния 42,5 км. Короткое время в боевых

действиях использовалась также суперпушка “Дора” общей массой 1350 т, созданная фирмой “Крупп” в 1941 г. После военного использования суперпушки стали разрабатываться для проектов, предназначенных для космических целей.

Американо-канадский проект высотных исследований HARP (High Altitude Research Project), начавшийся в 1961 г., касался



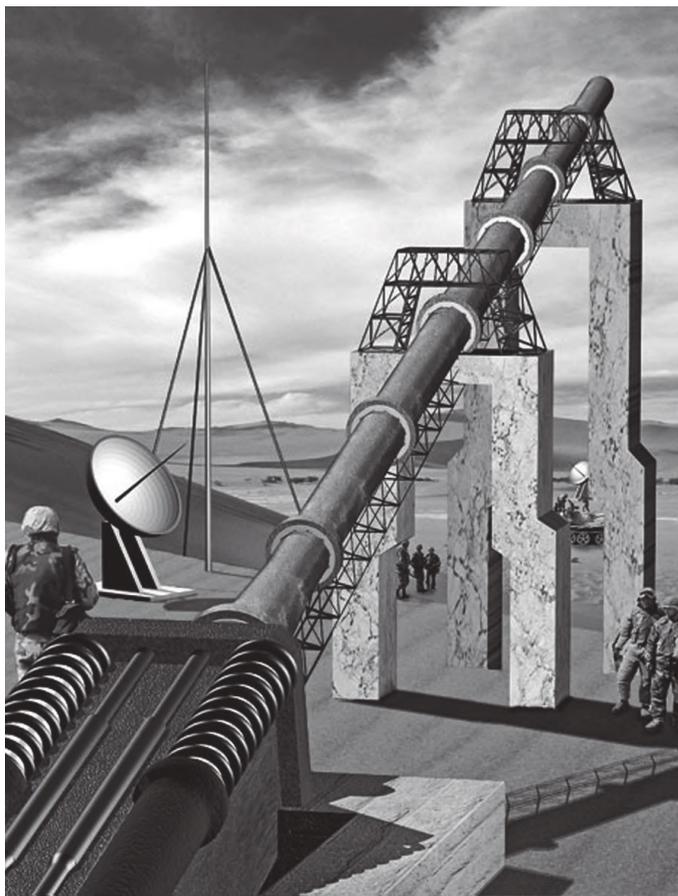
Артиллерийский монстр – суперпушка “Дора”. Потребовалось около 60 железнодорожных составов для того, чтобы по специально проложенным путям доставить это “чудовище” на огневую позицию. Всего же с помощью этого орудия было произведено 48 выстрелов снарядами общим весом 7088 кг. 1941 год.



Американо-канадский проект высотных исследований HARP. Выстрел из самой крупной легкогогазовой пушки. Рисунок с интернет-сайта “Popular Science”.

Иранский проект “Вавилон”. Прототип многокамерного артиллерийского орудия “Вавилон”. 1980-е годы.

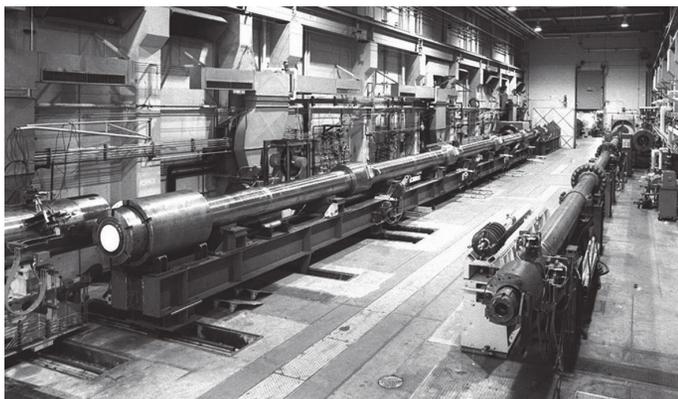
вывода искусственных спутников Земли на низкие орбиты с помощью специальных легких газовых пушек. Сначала проект был реализован в рамках программы изучения поведения баллистических объектов в верхних слоях атмосферы, затем им заинтересовались военные: предполагалась возможность быстрого вывода спутников на низкие орбиты и уничтожения чужих космических объектов. Кульминацией проекта HARP стала 16-дюймовая (406-миллиметровая) пушка, установленная на о. Барбадос в Карибском море. Для улучшения баллистики снаряда в стволе перед выстрелом создавался технический вакуум; длина ствола достигала 40 м, вес снарядов – 180 кг, начальная скорость – 3600 м/с (около 50% первой космической скорости). Пушка выбрасывала снаряды на высоту 180 км. Этого было недостаточно для вывода космического аппарата на постоянную орбиту. В конце программы HARP был разработан снаряд-ракета “Marlet” для доставки небольшого спутника на низкую орбиту ИСЗ. В 1967 г. проект был закрыт. В конце 1980-х гг. эти наработки были использо-



ваны в иракском проекте по созданию суперпушек под названием “Вавилон”. Ликвидация программы осуществлена силами ООН по окончании войны в Кувейте, в 1991 году.

Иранский проект “Вавилон” по созданию серии суперпушек был запущен во время ирано-иракской войны в 1980-х гг. Их конструкция основана на результатах исследований, проводимых в рамках проекта HARP под руководством канадского специалиста артиллерии Джеральда Булла. Несмотря на не-

достаток сведений, известно, что существовали четыре различных устройства, которые были включены в эту программу. По крайней мере, один из проектов “Вавилон” (“Большой Вавилон”) использовал видоизмененный принцип “теоретического” (многокамерного) артиллерийского орудия наподобие “Фау-3”. Пушка имела (кроме обычного метательного заряда, расположенного в камере) еще и присоединенный к снаряду удлинненный заряд метательного ВВ, который двигался вместе со



Сборка секторов многокамерной пушки. 1980-е годы.

снарядом и по мере его продвижения по стволу поддерживал в нем постоянное давление. Металлический заряд суперпушки массой 9 т обеспечивал огонь с помощью 600-килограммового снаряда калибра 1000 мм на дальность до 1000 км или возможностью запускать реактивный снаряд весом 2000 кг. Такой снаряд мог бы быть запущен с космического аппарата массой 200 кг на низкую околоземную орбиту. Известно, что в этом проекте прошли испытания прототипы орудия со снарядом 350-мм калибра. Второй, окончательный, вариант снаряда должен был иметь гораздо больший калибр – 1000 мм и превосходить германскую суперпушку “Дора” времен Второй мировой войны.

Для сравнения – современные ракеты-носители обеспечивают запуск груза на низкую опорную орбиту (стоимостью – 6–10 тыс. долларов за килограмм). И только в проекте “Space X”

Илона Маска стоимость аналогичных работ (запусков) снижена в несколько раз – около 2000 долларов за килограмм (с учетом новых ракет и их частичного многоразового использования; Земля и Вселенная, 2016, № 2, с. 102). В другом проекте в национальной лаборатории Лоуренса (Ливермор, США) Джон Хантер возглавлял проект разработки самой крупной легкогазовой (названа так потому, что рабочим телом является не “тяжелые” пороховые газы, а “легкий” водород) пушки в мире – SHARP (Super High Altitude Research Project), успешно проработавшей с 1992 по 1995 гг. В первой секции (калибр 36 см, длина 82 м) этой L-образной установки сжигался метан; продукты его сгорания “толкали” однотонный стальной поршень, который сжимал водород, расположенный по другую сторону. Когда давление достигало 4 тыс. атмосфер – разрушался специальный предохранитель,

водород поступал во второй ствол (диаметр 10 см, длина 47 м), разгоняя в нем снаряд весом в 5 кг до скорости 3 км/с. В дальнейшем эту пушку планировали модифицировать для зенитной стрельбы (при испытаниях она занимала горизонтальное положение) и увеличить скорость снарядов до 7 км/с, что соответствует космическим запускам. Но эти планы не были реализованы по финансовым причинам. Отметим, что легкогазовые пушки значительно меньшего размера и со снарядами гораздо меньшей массы обеспечивают большие скорости – до 11 км/с, но выводимая на орбиту масса груза составит всего лишь несколько граммов.

Рассматриваемые орудия, впрочем, создавались для других целей: в процессе их использования изучались обтекание тел на гиперзвуке, поведение материалов при огромных давлениях и температурах, развиваемых в момент удара скоростного снаряда в мишень; моделирование эрозии космических аппаратов при воздействии на них микрометеоритов. Для превращения таких пушек в космические требуется пересмотр их устройства.

ПРОЕКТ ХАНТЕРА

Наиболее успешный проект в этой области разработал американский ученый и инженер, президент и один из основателей компании "Quicklaunch" Джон Хантер, поставивший своей целью организовать запуск небольших спутников в космос при помощи пушки длиной в 1,1 км. Принципиальное изменение в новой системе – морское базирование, дает массу преимуществ: такой прием решает проблему искривления ствола под тяжестью собственного веса, облегчается наведение ствола установки по азимуту (необходимо для изменения наклона орбит); при этом пушку легко будет отбуксировать в любое желаемое место на экваторе (оптимальное для запуска космических аппаратов).

В этом проекте Дж. Хантер избавился от поршня; природный газ сгорает внутри камеры-теплообменника, которая окружена второй камерой – с во-

дородом; тепло передается через стенки, в результате чего температура нагрева водорода вырастет до 700°C . Как только давление достигает требуемой величины, специальный сдвижной клапан открывается и горячий водород начинает разгонять снаряд по стволу; после вылета аппарата на конце ствола немедленно закрывается диафрагма, сводя

к минимуму потери водорода. Его потом снова охлаждают, для того чтобы использовать в следующем запуске.

По расчетам конструктора и его сотрудников, орудие сможет "метать" космические аппараты массой 450 кг со скоростью 6 км/с. И, хотя перегрузка при выстреле достигнет 5 тыс. G, уже сейчас вполне возможно создавать

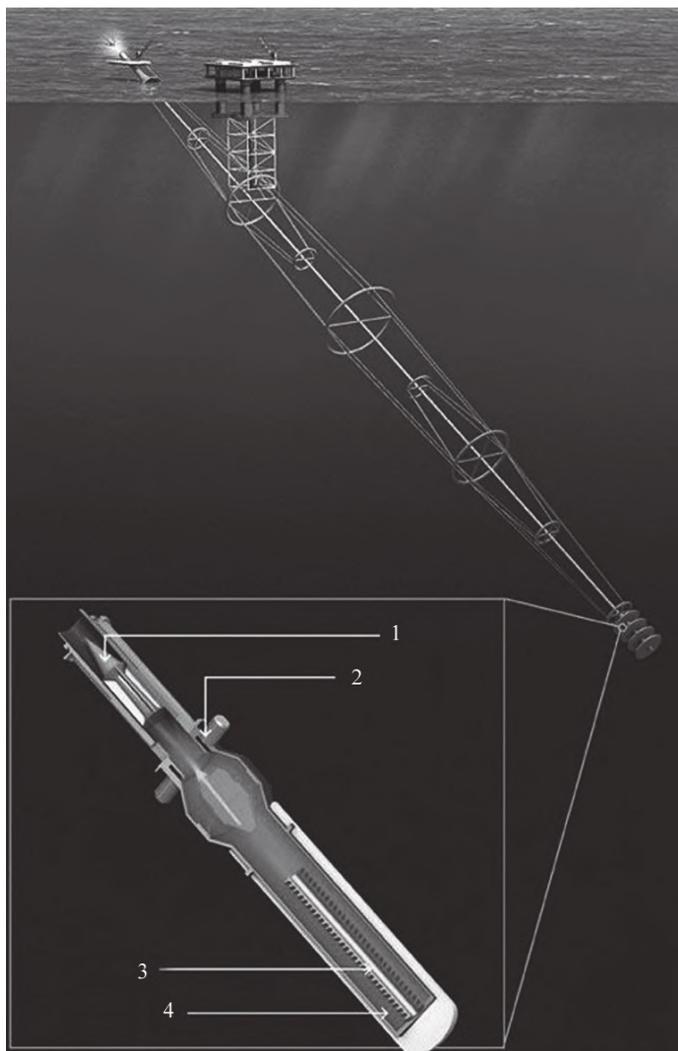
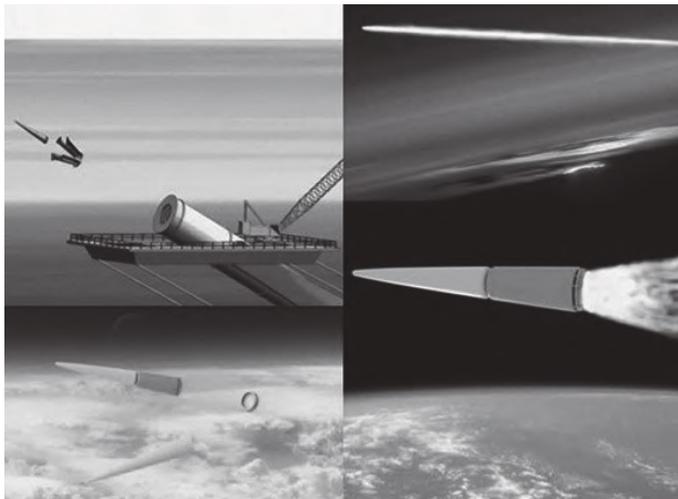


Схема новой пушки Дж. Хантера: 1 – снаряд, 2 – клапан, 3 – камера сгорания (она же – теплообменник), 4 – водород. Вверху изображен главный вид орудия и схема его базирования, внизу – вид с разрезом донной части, поясняющий принцип работы конструкции. Рисунок с интернет-сайта "Popular Science".



Так, по представлению художника, будет совершать полет космический снаряд, выпущенный из суперпушки компании "Quicklaunch". В представленном варианте аппарат в атмосфере защищает сбрасываемая оболочка. Справа – вылет снаряда с поддоном из ствола, слева – снаряд с запущенной второй ступенью. Иллюстрации John Hunter/Quicklaunch/Google Tech Talks.

небольшие спутники, электроника и полезная нагрузка которых выдержат такой старт. До первой космической скорости эти аппараты должны "доразгоняться" уже наверху; на высоте 100 км у такого снаряда "сбрасываются" обтекатели и включается собственный миниатюрный ракетный двигатель.

СОВРЕМЕННАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СУПЕРПУШКА

Для начала выберем принцип действия пушки. Например, использование электромагнитной пушки (она будет стоить больше 200 млн долларов) вызывает большие проблемы со сложностью и износо-

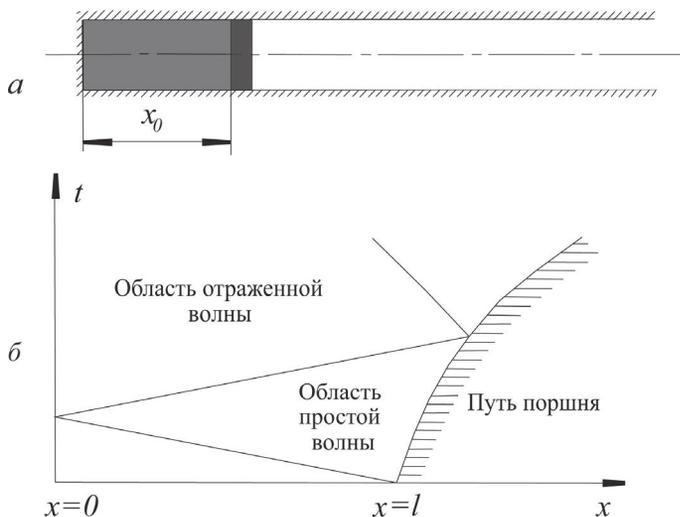
стойкостью; ее максимальная скорость (5,5 км/с) не достаточна для вывода аппаратов в космос с ее помощью. Водородная же пушка намного дешевле и способна достичь гораздо больших скоростей, чем

электромагнитный аналог. Для водородной пушки мировой рекорд по скорости – 11,2 км/с (установлен в 1966 г. благодаря малому молекулярному весу водорода и, следовательно, высокой скорости звука). Орбитальная скорость (7,6 км/с) запускаемых объектов так же подходит для нее, она



На рисунке изображен прототип вмороженной в лед пушки – для придания ей плавучести.

График распространения волн внутри ствола. *a* – расчетная схема задачи; *b* – картина распространения волн: *x* – координата расстояния, *t* – время, x_0 – длина поршня.



может запускать одноступенчатую ракету на круговую орбиту. Порох – самый слабый претендент для достижения космоса, с его максимальной скоростью (3 км/с) и проблемами с загрязнением окружающей среды. Таким образом, наиболее рациональный выбор – легкогазовая схема пушки.

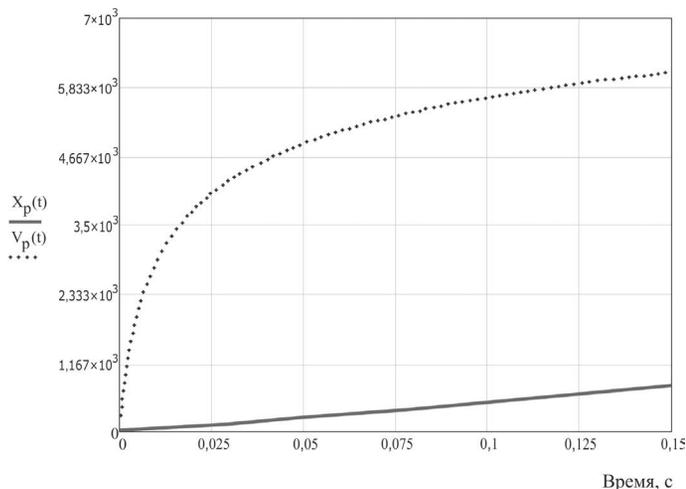
Предполагаемые параметры суперпушки: диаметр – 1 м, длина – 1100 м, скорость снаряда массой 100 кг – 6 км/с. Для большей стабильности и помехоустойчивости способ морского базирования можно усовершенствовать, покрыв пушку льдом, что также облегчит ее наводку и транспортирование. Проблема перегрева снаряда в процессе прохождения плотных слоев атмосферы решается путем установки теплоизоляционного покрытия толщиной 12 см спереди и 2,4 см по бокам и сзади; потеря скорости при этом составит 500 м/с. Управление и дальнейший разгон (до 7,6 км/с) осуществляется путем вращения снаряда, установки в качестве первой ступени жидкотопливного двигателя, а также наличия

управления с помощью навигационной системы GPS. Полезная нагрузка при этом составит 20–28% (в отличие от 1–2% на обычных ракетах-носителях).

Исходя из предполагаемых параметров, можно рассчитать основные действительные параметры суперпушки. Давление в камере по уравнению Ван-дер-Ваальса, где для водорода $a = 0,0245 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$, $b = 26,653 \text{ см}^3/\text{моль}$; массу газа примем за $m = 800 \text{ кг}$, объем газа в камере $v = 280 \text{ м}^3$; относительная молекулярная масса водорода будет равна $n = 0,002 \text{ кг/моль}$. Для температуры $T = 280 \text{ К}$ получаем показатель давления, равный 394 атм, для температуры $T = 700 \text{ К}$ – 1000 атм. Показатель адиабаты для водорода $k = 1,387$, калибр пушки $r = 0,5 \text{ м}$. Площадь канала ствола при этом будет равна $S = 0,785 \text{ м}^2$,

длина камеры $l_0 = 356 \text{ м}$. Для расчета длины ствола, скорости снаряда и его времени нахождения в стволе решается задача Лагранжа для области простой волны; в дальнейшем ее решение не вносит существенного вклада в результат, добавляя только численные варианты. Исходя из решения этой задачи, скорость снаряда на выходе из ствола составит 6 км/с (длина ствола – 800 м и время нахождения снаряда в стволе – 0,15 с).

В итоге получаем проект легкогазовой суперпушки, способной доставлять на околоземную орбиту полезный груз массой 100 кг и диаметром 1 м, включающий в себя первую ступень (для разгона с 5,5 км/с до 7,6 км/с) на низкую околоземную орбиту. В качестве запускаемых объектов подойдут современные небольшие спутники, их



На графике представлена зависимость скорости снаряда в канале ствола от длины пути и от времени. По вертикали – X_p (путь снаряда в канале ствола), V_p (скорость снаряда в канале ствола).

выводят на орбиту в огромном количестве множество частных фирм (при этом различная электроника и датчики выдерживают нагрузки без особых проблем). Авторы считают, что может решаться и основная проблема дальних миссий – доставка топлива на орбиту для даль-

нейшего полета ракеты с орбиты к другим спутникам и планетам. Для этих целей ствольная система подойдет идеально, аккумулируя топливо на станции, находясь на орбите. Затраты при этом в перспективе составят 500 долларов за килограмм груза на орбите вместо нынеш-

них 2–10 тыс. долларов. Единственным препятствием для проекта является финансирование. Несмотря на все перспективы стать новым технологическим прорывом в космической сфере и экономию в миллиарды долларов в процессе реализации каждой программы (5 млрд долларов на человека для полета на Луну – только на топливо), эта сфера почти не развивается. Рынок для космических пушек существует, но пока виртуальный, так как никто не верит в успешное их использование.