

Жидкостное дыхание для электромагнитного запуска человека в космос.

Филиппенко А.В. «АВФ», Россия, Санкт Петербург, a_v_f@list.ru

Фионов А.С. аспирант МГТУ им. Баумана

АБСТРАКТ

Одной из проблем разработчиков систем электромагнитного старта является воздействие высоких перегрузок на конструкцию и полезную нагрузку космических аппаратов. И чем больше длина разгонного участка, тем меньше ускорения для достижения одинаковой скорости выхода ракеты из тоннеля. Стоимость систем электромагнитного старта зависит от длины тоннеля разгона (в частности, длина тоннеля определяет затраты на создание вакуума), поэтому предельные ускорения для выводимых объектов – критический параметр для пилотируемых запусков этих систем. Необходимо строить тоннель разгона около 1000 км, если принять, что предельные перегрузки, которые выдерживает человек, не выше 6 G.

Для преодоления высоких ускорений при электромагнитных запусках в данной статье предложено разработать новую противоперегрузочную систему с использованием иммерсии и жидкостного дыхания человека. Предлагается помещать человека в жидкость и заполнять легкие и дыхательные пути жидкостью, что даст возможность преодолевать более высокие ускорения, чем при дыхании воздухом с применением обычных противоперегрузочных кресел.

В статье представлена концепция пилотируемого электромагнитного старта (ПЭМЛ). Показано, как данная система и некоторые её решения в аэродинамике влияют на энергетические характеристики и стоимостные показатели.

ВВЕДЕНИЕ

Ограничения по перегрузкам беспилотных и пилотируемых транспортных систем электромагнитного старта [1,2] определяют длину тоннеля разгона и значительно влияют на стоимость. Вот почему ускорения до 10 000 G и более рассматриваются для запуска технических объектов с космос. [3]. И опыт программы HARP [4] может быть использован для разработки технических систем, способных преодолевать такие ускорения. Из-за того, что высокие ускорения являются особенностью технологии рельсторона, то пилотируемые системы прежде по существу не рассматривались. В перспективе, система, позволяющая преодолевать высокие ускорения человеком, может значительно расширить рынок применений систем электромагнитного запуска. Пока же

действует факт, что с помощью существующих технологий рельсотрона можно быстро разгонять до нескольких км/с небольшие тела-снаряды, но люди совсем не способны выдерживать высокие ускорения, то есть имеется явный технологический разрыв.

Действующие системы пилотируемых космических транспортных систем, таких как «Спейс Шаттл» и «Союз», работают с номинальными перегрузками не более 6-8 G и сейчас тенденция такая, что ускорения должны быть даже еще ниже. Пример - концепция пилотируемого корабля «Клипер» [4].

Понятно, что уровень перегрузок снижается из-за требований будущего рынка космического туризма. Однако чисто профессиональные системы (не для туристов) должны быть по энергетическим характеристикам и стоимости настолько эффективными, насколько это возможно. Представляется, что при электромагнитном старте это может быть достигнуто при условии, что будут созданы новые противоперегрузочные системы.

Нужны идеи НИОКР следующего поколения противоперегрузочных систем. И здесь, есть «заделы». Можно вспомнить, что еще Циолковский, отец космонавтики, рассматривал необходимость иммерсии тела в жидкости для увеличения предела перегрузок. Ныне же немецкая компания Autoflug Libelle GmbH занимается анти-G костюмом пилота для самолета Eurofighter, где для более комфортного преодоления перегрузок до 3-9 G костюм построен именно на иммерсионных слоях [6].

Однако когда человек находится в воде при высоких перегрузках, то из-за наличия газа в легких возникают повреждения ряда тканей. Идеальным решением является и иммерсия и жидкостное дыхание. Тогда вокруг тела и внутри легких находится жидкость - ситуация фантастического фильма Брайана де Палма «Миссия на Марс» (Рис.1).



Рис. 1. Космонавт дышит жидкостью. Из фильма «Миссия на Марс»

ЖИДКОСТНОЕ ДЫХАНИЕ И УСКОРЕНИЯ

В руководствах 60-70 годов по авиационной медицине уже были представлены эксперименты по перегрузкам в иммерсии, так погруженный в воду человек, дышащий воздухом, выдерживал вплоть до 26-31 G [7]. Если нет воздуха в теле млекопитающих, то

гораздо легче преодолевать ускорения, что было показано в 1958 году R. Margaria et al., который провел эксперименты с перегрузками крыс [8]. Эти крысы были помещены в стальной цилиндр, наполненный водой и сброшенный на пол с ускорением торможения свыше 10,000 G. В то время как крыса-мать, плавающая в воде, но с воздухом в легких, умирала практически мгновенно, то крысята в утробе матери, не имеющие еще воздуха в легких, выживали.

Известный фактор веса крысят сыграл свое значение, но жидкая фаза (взамен газовой) внутри и снаружи млекопитающего уменьшала различия в плотностях тела и снижала их сжимаемость. При ускорениях такой «псевдогомогенной» структуры тела уменьшаются смещения тканей и органов животного и, соответственно, их повреждения.

Практическое применение метода иммерсии и жидкостного дыхания для исследований с подобными человеку млекопитающими было трудноосуществимо до отработки такой модели на крупных лабораторных животных, так как вес тела при жидкостном дыхании так же является критическим параметром. Мы начали изучать комбинацию полного жидкостного дыхания и иммерсии в 1980-х годах и провели тесты на крупных собаках (8-24 кг) во время имитации глубоководного всплытия [9].

Были проведены эксперименты, доказывающие, что собака может безопасно дышать перфторуглеродом, насыщенным кислородом, при нормальном давлении и давлении на 700 метров [10]. Легкие, дыхательные пути, а также внутреннее ухо при тотальном жидкостном дыхании наполняются этой жидкостью. На рис. 2,3 показано устройство жидкостной вентиляции, используемое для длительного дыхания собак жидким перфторуглеродом, насыщенным кислородом до 40% .

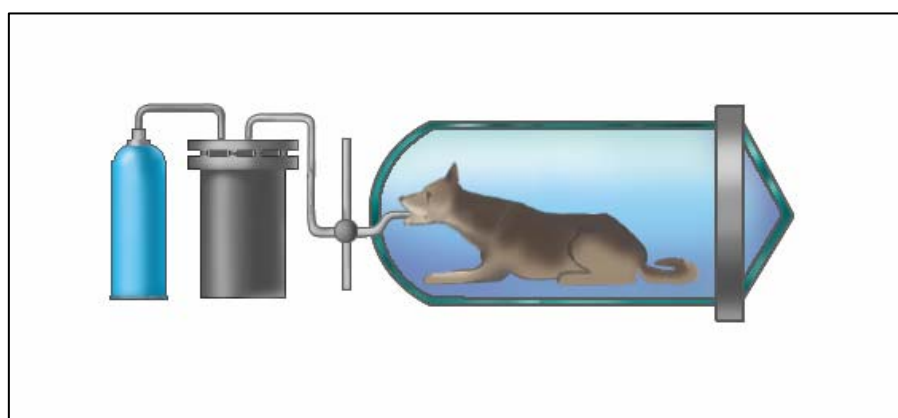


Рис. 2. Слева - прозрачная жидкость ФНЦ «Прикладная химия» в ампулах; справа – дыхание из портативного аппарата этой перфторуглеродной жидкостью собаки, плавающей в капсуле (состояние иммерсии).

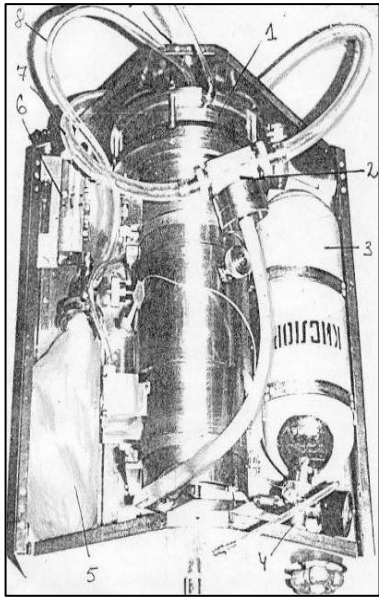


Рис. 3. Экспериментальный образец жидкостного дыхания для всплытия с глубин 300 – 700 метров.

Модель для эксперимента с собакой включает:

- Оксигенатор, CO_2 поглотитель и насос в одном устройстве.
- Баллон со сжатым кислородом и газовый преобразователь.
- Элементы газового управления и запасной комплект
- Клапаны для вдоха/выхода.
- Интубационная трубка для экспериментов с собакой.

Принимая во внимание происходящий прогресс в разработке технических систем электромагнитного старта, необходимо определить оценочные перегрузки пилотируемого старта и их длительность и тогда уже выставлять требования к проведению экспериментов с крупными лабораторными животными. Только такие эксперименты с крупными животными порядка 60 кг, по нашему мнению, смогут значительно продвинуть технологию иммерсии и жидкостного дыхания, как противоперегрузочного средства.

КОНЦЕПЦИЯ ПИЛОТИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СТАРТА

Космический корабль разгоняется за счет электромагнитных сил до скорости 5 км/с в тоннеле, где для снижения сопротивления откачивается воздух. После выхода из туннеля - баллистический полет в атмосфере. В точке апогея (200 км) разгонный блок ускорит корабль до необходимой орбитальной скорости и доставит корабль в нужную точку орбиты (например, орбиту космической станции).

На Земле для снижения аэродинамического сопротивления целесообразно делать запуск с возвышенности (реально с 3 км возвышенности), что снижает длину разгонного туннеля. Для данного варианта, длина туннеля составляет 7 км при ускорении разгона 182 G. (Для технических запусков предел ускорений может быть около 500 G, поэтому длина может стать меньше). В итоге, 30-тонная ракета: пилотируемый корабль 6 т, остальное - разгонный блок с топливом, способны доставить три человека на околоземную орбиту (Рис. 4).

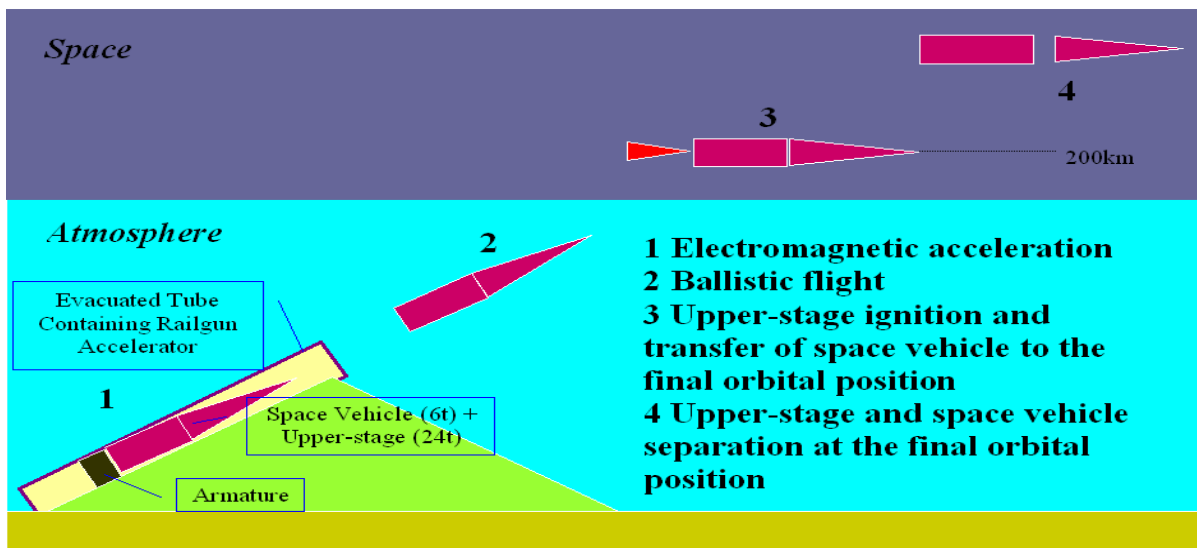


Рис. 4. Пилотируемый электромагнитный старт

Для расчета параметров движения ракеты применялись система дифференциальных уравнений ракеты как материальной точки:

Ракета движется в тоннеле согласно следующим уравнениям:

$$m \cdot \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = \vec{F}_L + m \cdot \vec{g} + \vec{F}_{fr} \quad 1)$$

m – масса ракеты;

\vec{V} - вектор скорости;

\vec{F}_L - Сила Лоренца (здесь рассматривается постоянной);

\vec{g} - гравитационная постоянная;

\vec{F}_{fr} - сила трения.

Сопротивление и гравитация действуют на тело при баллистическом полете в

атмосфере: $m \cdot \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} = m \cdot \vec{g} + \vec{F}_{aerod} \quad (2),$

m – масса ракеты;

\vec{V} - скорость;

\vec{F}_{aerod} - аэродинамическая сила;

\vec{g} - ускорение гравитации.

Аэродинамическое сопротивление для данных вычислений было взято равным 0,2 на основе анализа традиционных коэффициентов, перспективных ракет-носителей. Основываясь на вышеописанном подходе, параметры системы получились такие (Табл. 1):

Таблица 1. Параметры системы пилотируемого электромагнитного старта

Масса ракеты	тонны	30
Масса космического корабля	тонны	6
Диаметр миделева сечения	м	2
Длина тоннеля	км	7
Перегрузки	G	182
Аэродинамический коэффициент	Cx	0.2
Высота старта	м	3,000
Угол бросания	град	25
Удельный импульс двигательной установки	сек	300
Время перегрузки	сек	2,8
Время полета	сек	180

Необходимо отметить, что не только жидкостное дыхание влияет на энергетические характеристики, но и требования к пилотируемым миссиям оказывают влияние на конструкцию системы. Диаметр космического корабля с точки зрения авторов является критическим показателем для пилотируемого электромагнитного старта, так как он увеличивает аэродинамическое сопротивление. В первых конструкциях космических пилотируемых аппаратов первых полетов СССР и США диаметр поперечного сечения составлял 2 м. Последующие версии кораблей имели диаметры около 3 метров («СОЮЗ»).

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И СТОИМОСТИ

Ускорения электромагнитных систем определяет длину ПЭМЛ. На рис. 5 показана зависимость длины разгона от предела ускорения для разных скоростей вылета корабля из тоннеля.

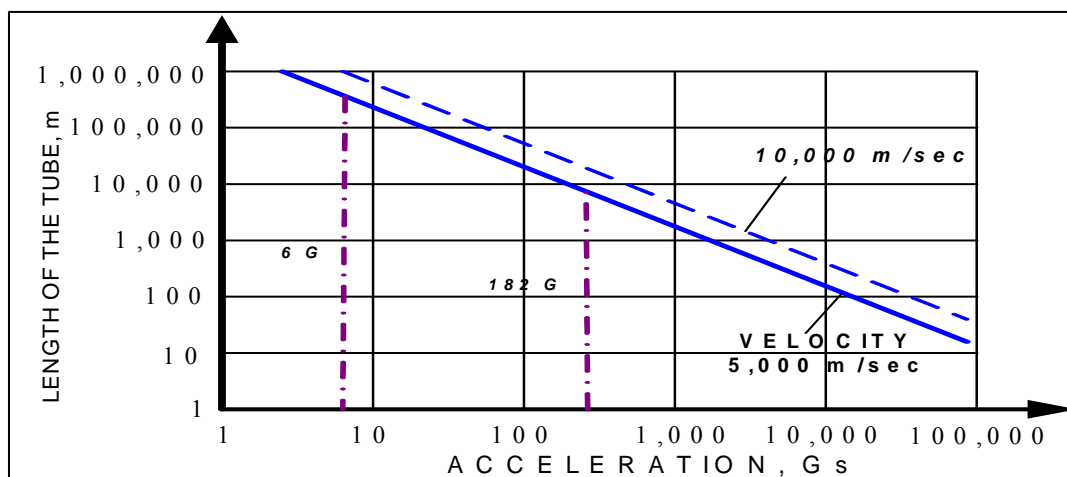


Рис. 5. Зависимость длины тоннеля от предела перегрузки

Длина тоннеля электромагнитного старта влияет на одновременные затраты при создании комплекса. Minovitch предложил систему пилотируемого электромагнитного старта длиной 1000 км [11], которая может быть значительно уменьшена с применением противоперегрузочных систем с жидкостным дыханием и иммерсией (до 7 км и менее).

Другим важным параметром электромагнитного старта является диаметр, так как аэродинамическое сопротивление пропорционально квадрату диаметра

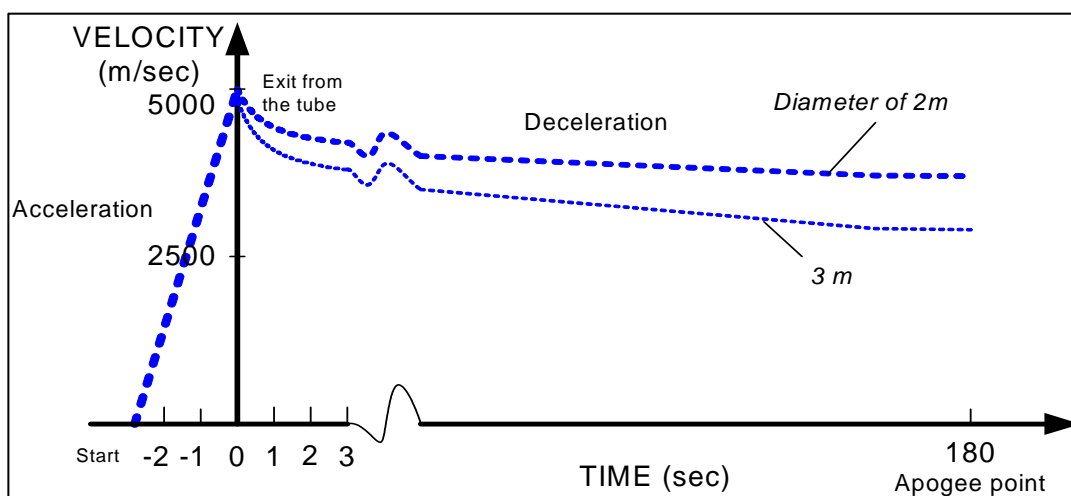


Рис. 6. Зависимость скорости космического аппарата от времени полета.

Беспилотные космические программы с электромагнитным запуском не имеют определенных ограничений по диаметру корабля. Для уменьшения влияния атмосферы на снижение скорости корабля можно снижать диаметр. Но при запуске людей необходимы большие диаметры (не менее 2 м, обычно 3 м), что вызвано требованиями по безопасности и удобства эксплуатации. На рис. 6 показано сравнение графиков скорости от времени полета двух аппаратов при одинаковой начальной массе (30 т), скорости выхода из тоннеля (5 км/сек), угле запуска (25°), но с разными диаметрами кораблей.

Скорость в точке апогея для тела диаметром 3 м (2920 км/с) меньше, чем скорость для объекта диаметром 2 метра (3730 км/с). Это важно с точки зрения определения количества топлива для доразгона ракеты до необходимой точки на орбите. Более высокая скорость в апогее дает более высокие характеристики ПЭМЛ и, таким образом, влияет на энергетические характеристики системы.

Диаметр является также критическим показателем с точки зрения ударных перегрузок, возникающих при выходе ракеты из тоннеля. Так двух метровый диаметр тела ведет к отрицательному ускорению - 27 G, а тело диаметром 3м – уже к 61 G. Зная этот эффект сложно изменить диаметр пилотируемого космического корабля, но можно снизить коэффициент аэродинамического сопротивления.

Известно несколько методов, включая оптимизацию формы корабля, вдувание/вброс газообразных и твердых веществ, наконец, воздействие поля СВЧ или лазера перед аппаратом. Принцип введения перед летательным аппаратом вещества или повышение температуры СВЧ или лазером направлен на уменьшение сопротивления за счет уменьшения плотности газа перед кораблем. «Тоннель на земле и тоннель в небе» может

быть использован для снижения торможения в атмосфере после выхода ракеты из тоннеля. Вероятно наиболее перспективная схема - воздействие лазера - показана на рис 7.

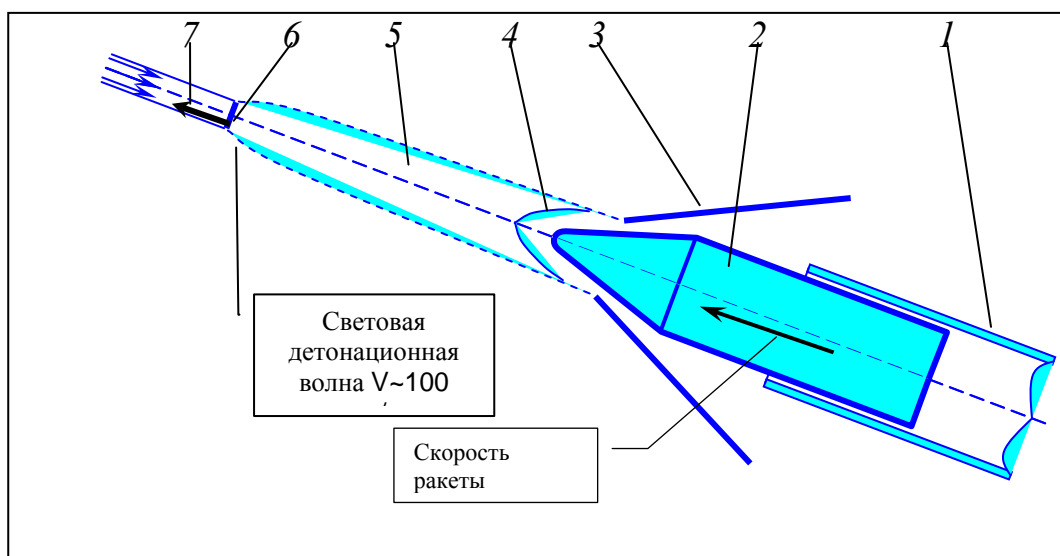


Рис 7. Корабль движется в плазменном тоннеле.
1 – тоннель; 2 – космический корабль; 3 – сильная звуковая волна;
4 – слабая боковая звуковая волна;
5 – плазменный канал (T=10000 – 20000 К); 6 – световая детонационная волна;
7 – луч лазера.

На основе экспериментов с лазером, сделанных в С.-Петербургской Можайской Академии можно предположить, что аэродинамическое сопротивление может быть снижено даже вдвое [12].

Для того чтобы оценить влияние оптимизации аэродинамического сопротивления на стоимость пуска авторы предлагают простую схему для вычислений. Стоимость пусковых услуг оценивается как:

$$C = C_{sp}^{EML} \cdot M_{LV} + E \cdot C_{sp}^{Power}. \quad (3)$$

C_{sp}^{EML} - запуск 1 кг ракеты- носителя о (приблизительно равно 100 \$/kg);

M_{LV} – масса ракеты [кг];

E – потребности в электрической энергии для одного запуска [Дж];

C_{sp}^{Power} - удельная стоимость электроэнергии [\$/Дж].

Действительно, сделав предположение, что накладные расходы на проведение пуска, проектирование и производство на 1 кг ракеты равны для электромагнитного старта и существующих ракет («СОЮЗ», «Протон», «Рокот») модель может быть использована для

предварительной оценки стоимости запуска, принимая внимание разницу в потреблении электрической энергии.

Необходимо отметить, что скорость выхода из туннеля влияет на потребление электроэнергии, и чем меньше скорость выхода, тем меньше требуется электроэнергии, да и стоимость пусковых услуг становится ниже. Очевидно, что в сравнении с существующими ракетами «рельсотрон» более эффективен по относительной конечной массе, цене и частоте запусков. А уменьшив влияние аэродинамического сопротивления, можно даже улучшить относительную конечную массу ракеты (Рис. 8).

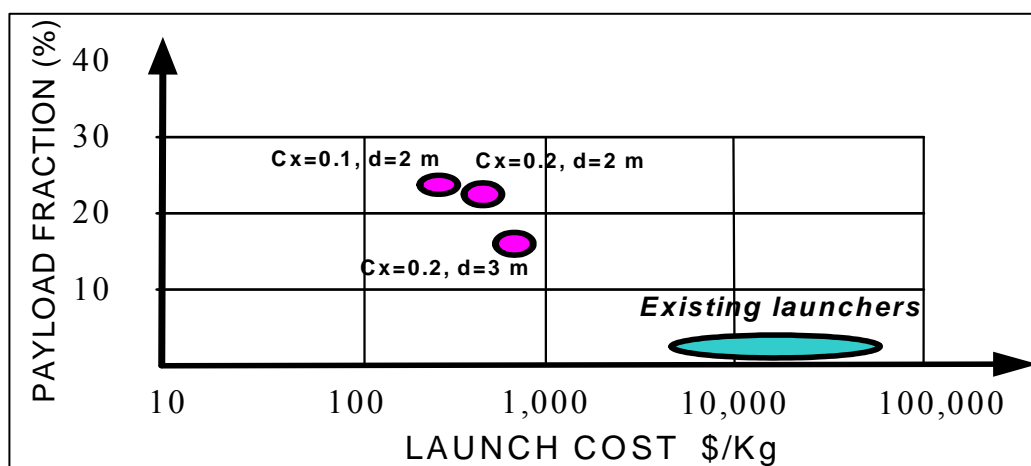


Рисунок 8. Зависимость стоимости запуска от относительной конечной массы

Стоимость запуска с помощью рассмотренной ПЭМЛ авторами оценивается в 600 \$/кг.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Медики и инженеры российской космической промышленности (ФКДТ «СОЮЗ», РКК «Энергия», ИМБП и другие) начали обсуждать данную проблему. Впервые основные черты данной системы были представлены 26 января 2006 в Московском Государственном Техническом Университете имени Баумана на Круглом Столе «Жидкостное дыхание и высокие ускорения для космонавтики».

В настоящее время не существует альтернативы существенного увеличения пределов преодоления перегрузок для человека с точки зрения физики и физиологии человека, кроме предлагаемого сочетания жидкостного дыхания и иммерсии. Поэтому необходимо программа изучения на крупных животных перегрузок от 30 и, вероятно, до 1000 G.

Понятно, что сначала электромагнитные запуски будут проводиться для беспилотных космических транспортных систем, например, для дешевого запуска топлива на орбиту при межпланетных миссиях. Однако уже сейчас медико-биологические опыты в области электромагнитного старта могут дать подходы к унификации систем запуска и помочь создать новую противоперегрузочную технологию, вплоть до спасательных капсул.

Список литературы

- [1] Harry D. Fair et al, “ Electromagnetic Earth-to-Space Launch,” IEEE Trans. Magn., vol. 25, no. 1, Jan. 1989, pp. 9–16.
- [2] Ian R. McNab, “Launch to Space with an Electromagnetic Railgun”, IEEE Trans. Magn., vol. 39, no. 1, Jan. 2003, pp. 295-304
- [3] J. Behrens et al, “Hypersonic and Electromagnetic railgun technology as a future alternative for the launch of suborbital payloads”. 16th ESA Symposium on Rocket and Balloon Programmers, St. Gallen, June 2003.
- [4] G. V. Bull and C. Murphy, Paris Kanonen - The Paris Guns and Project HARP, Verlag E.S. Mittler, Bonn, Germany, 1988.
- [5] S. Shamsutdinov “Klipper project”, Novosti kosmonavtiki, No.7 (270)
- [6] Cristopher Hess, ”High-tech Anti-G-suit”, FLUG REVUE 8/99, p. 84
- [7] P.V. Vasiliev, A.P. Kotovskaya, Long-term linear and radial accelerations. Space biology and medicine basis. V.II book I, Chapter 5, Publ. “NAUKA” Moscow, 1979.
- [8] R. Margaria., Gualtierotti T& Spinelli Protection against acceleration forces in animal by immersion in water. Journal Aviation Medicine, 29, 1958, pp. 433-437
- [9] A.V. Philippenko “Technology of crew survival in a disabled submarine: Liquid Ventilation + Urgent Escape”. Proceeding: Humans in Submarines, Stockholm August 18-20, 2004.
- [10] A.V. Philippenko “A new technology to rescue submariners”. Under water technology and ocean world, 2005, #2 pp. 46 -53
- [11] Michael A. Minovitch, “Electromagnetic transportation system for manned space travel” US Patent № 4795113, January 3, 1989.
- [12] S.Yu. Pirogov, V.V. Tipaev, A.S. Yuriev, S.B. Leonov, E.V. Ryizhov. Combined Mode of Laser Power Deposition in Hypersonic Gas Flow. The 5-th Workshop on Magnetoplasma Aerodynamics for Aerospace Applications. Moscow, 7 – 10 April 2003. pp 59 – 63.