

УДК 629.03

Использование ионного электротурбореактивного двигателя в гиперпетле

© Д.А. Щеблицкий¹, Д.А. Еловенко²Иркутский национальный исследовательский технический университет,
г. Иркутск, Российская Федерация

В статье рассмотрена концепция создания ионного электротурбореактивного двигателя для сверхскоростного экологически чистого транспорта и его использование в качестве движителя капсул в гиперпетле. Проанализирован принцип работы двигателя: работа двигателя основана на применении ионного ветра. Также проанализированы характеристики различных газов для выявления оптимального рабочего тела для проектируемого двигателя. Даны рекомендации по интеграции двигателя в возможные компоновочные схемы.

Ключевые слова: гиперпетля, ионный ветер, турбореактивный двигатель, ионный двигатель

Use of ion electro-turbo-reactive engine in hyperloop

© Dmitry A. Shcheblitsky, Denis A. Yelovenko

Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russian Federation

The article discusses the concept of creating an ion electro-turbojet engine for ultra-high-speed environmentally friendly transport and its use as a capsule propeller in a hyperloop. The article analyzes the principle of engine operation: engine operation is based on the use of ion wind. It also analyzes the characteristics of various gases to identify the optimal working fluid for the engine being designed. The article provides recommendations for the integration of the engine in the possible layout schemes.

Keywords: hyperloop, ion wind, turbojet, ion engine

Введение

В настоящее время актуальна разработка сверхскоростного экологически чистого транспорта для перевозки грузов и пассажиров как на большие, так и на малые расстояния. В современном мире существует проблема загрязнения окружающей среды. Всего доля выбросов в атмосферу на 2016 г. от транспорта составила 14268 тыс. т загрязняющих веществ. По данным Росприроднадзора, динамика выбросов вредных веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух увеличивается с 2012 г. с 12,7 до 14,1 млн т/г. [1]. В работе [2] проанализирована тенденция повышения спроса на энергию в транспортном секторе. Авторами было подчитано, что 72,3 % энергии может быть обеспечено с переходом на электроэнергию, и это с использованием существующих технологий. В источнике [3] даны рекомендации по проектированию конструкции несущих мостов с учетом чрезвычайно высоких динамических нагрузок, связанных с комбинацией консольной конструкции и сверхвысоких скоростей, создаваемых телом, при движении в трубках гиперпетли на скоростях от 900 до 1200 км/ч, которые не наблюдались в типичных сверхскоростных поездах.

Целью настоящего исследования является анализ работы ионного электротурбореактивного двигателя в гиперпетле. Гиперпетля (с англ. *hyperloop*) – это высокотехнологичная, высокоскоростная, автономная транспортная система, в которой капсулы могут использоваться для своего передвижения энергию магнитного и электрического поля, при этом движение происходит в форвакууме, для снижения аэродинамического сопротивления [4].

Схема устройства ионного электротурбореактивного двигателя представлена на рис. 1.

¹ Щеблицкий Дмитрий Анатольевич, студент группы Элбп-16-1 Института авиационного строительства и транспорта, e-mail: dimasheb@yandex.ru

Dmitry A. Shcheblitsky, a student of Institute of Aircraft Engineering and Transport, e-mail: dimasheb@yandex.ru

² Еловенко Денис Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования, стандартизации и сертификации Института авиационного строительства и транспорта, e-mail: elovenko03@gmail.com

Denis A. Yelovenko, Cand. Sci. (Technics), Associate Professor of Institute of Aircraft Engineering and Transport, e-mail: elovenko03@gmail.com

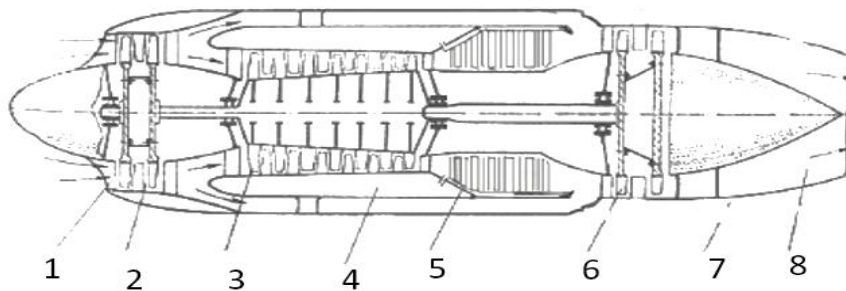


Рис. 1. Схема ионного электротурбореактивного двигателя:

1 – входное устройство; 2 – компрессор низкого давления; 3 – компрессор высокого давления;
4 – резервуар с топливом (аргон); 5 – камера ионизации; 6 – турбина;
7 – выходное устройство; 8 – сопло

Принципиальной особенностью электротурбореактивного двигателя является отсутствие камеры сгорания и, следовательно, горячей зоны, что в свою очередь предполагает следующие преимущества перед турбореактивными двигателями:

- использование инертных газов в качестве реактивной силы;
- отсутствие процессов горения углеводородов и выброса загрязняющих веществ;
- низкая температура работы (позволит облегчить конструкцию, так как увеличится выбор материалов);
- замкнутая среда (позволит использовать рабочий газ неоднократно).

Принцип работы электротурбореактивного двигателя

Во входное устройство 1 поступает инертный газ (аргон), в компрессоре низкого давления он испытывает сжатие, и к компрессору высокого давления газ поступает, предварительно разделившись на два потока. Поток, который движется по внешнему контуру, играет роль нейтрализатора заряженных ионов, так как при выбрасывании только одних положительно заряженных ионов накапливается пространственный заряд, который создает очень высокий отрицательный потенциал на корпусе двигателя. Это может привести к образованию индуктивного магнитного сопротивления. Для того чтобы избежать этого, достаточно сдувать заряженный поток газом. После прохождения компрессора высокого давления частицы попадают в камеру ионизации 5, где разгоняют дополнительный поток газа, выброшенный из резервуара с топливом 4. В камере ионизации поток газа проходит через анодно-электродную сеть, где ионизируется и ускоряется до больших скоростей.

Камера ионизации представляет собой хонейкомб-анод и хонейкомб-катод в поперечном сечении. Для предотвращения перемещения ионов вдоль оси аппликат и оси абсцисс в камере ионизации применяются магнитные ловушки со специальными конфигурациями магнитного поля. Принцип ее работы представлен на рис. 2.



Рис. 2. Принцип работы хонейкомб-анода и хонейкомб-катада в продольном сечении

Движение рабочего тела, в данном случае инертного газа, осуществляется с помощью закона Бифельда-Брауна. Из рис. 2 видно, что в непосредственной близости от тонкого анода возникает коронный разряд, который передается рабочему телу, вышедшему из компрессора повышенного давления, то есть газ ионизируется, проходя сквозь коронирующий хонейкомб-анод. Под действием кулоновских сил ионы ускоряются и проходят через катод (осадительный электрод), при этом отдают ему полученный ранее электрический заряд [5].

Ускоренные частицы после прохождения камеры ионизации совершают механиче-

скую работу над турбиной. Принцип воздействия газового потока на турбину ничем не отличается от турбореактивного двигателя.

Выбор оптимального газа в качестве рабочего тела для электротурбореактивного двигателя и среды в гиперпетле

Скорость звука в газах зависит от термодинамической температуры, плотности газа и его рода, вычисляется по формуле

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \left(\frac{м}{с}\right),$$

где R – универсальная газовая постоянная; $R = 8,31 \frac{Дж}{Моль \cdot К}$; M – молярная масса; γ – отношение молярных теплоемкостей газа при постоянных давлении и объеме [5].

Скорость распространения упругих возмущений в воздухе при нормальных условиях составляет 343,3 м/с или 1224 км/ч. Так как передвижение капсулы в гиперпетле планируется на скоростях 900–1200 км/ч, что является околосвуковой скоростью, то в связи с ограничениями габаритных размеров в поперечном сечении гиперпетли и аэродинамической компоновкой капсулы будут возникать зоны локальных скачков уплотнений. Скачок уплотнения приводит к резкому увеличению термодинамических параметров газа, что в свою очередь увеличивает лобовое сопротивление капсулы, тем самым снижая ее коэффициент полезного действия. Решением данной проблемы будет выбор оптимального газа, в котором скорость распространения возмущений выше, чем у воздуха.

На рис. 3 показаны скорость звука и плотность разных газов при условиях, создаваемых в гиперпетле: температура $T = 0$ К, давление $p = 100$ Па.

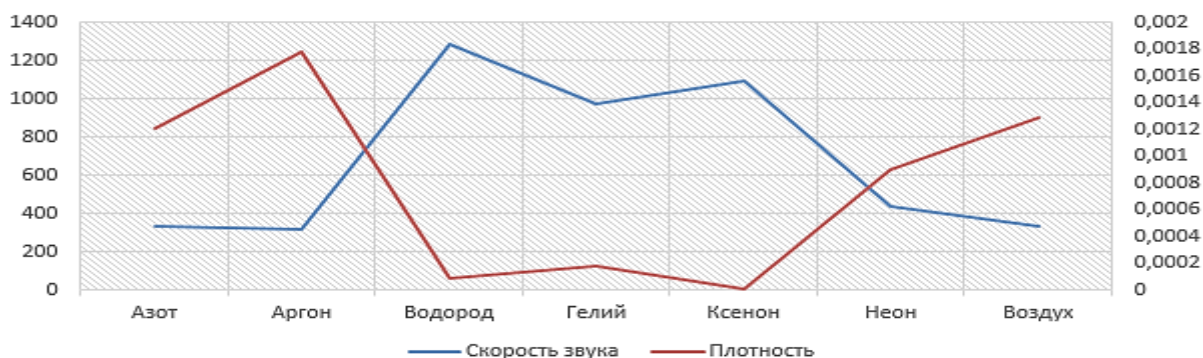


Рис. 1. График скорости звука и плотности различных газов

Для перемещения капсулы в гиперпетле на скоростях 900–1200 км/ч газ должен обладать относительно большой скоростью распространения в нем упругих возмущений и средней плотностью для стабильной работы электротурбореактивного двигателя. Как видно из графика, такими параметрами обладает неон (Ne). Скорость распространения звука в неоне при нормальных физических условиях равна 435 м/с или 1566 км/ч, что соответствует примерно 57–76 % от скорости движения капсулы. Таким образом, вероятность образования скачков уплотнения снижается благодаря оптимальному подбору рабочего тела. Скорости звука в различных газах приведены в таблице [6].

Скорость распространения звука в различных газах

Газ	Скорость звука, м/с
Азот	333,64
Аргон	319
Водород	1286
Гелий	970
Ксенон	1090
Неон	435
Воздух	331,46
Ксенон	1090

Роль электротурбореактивного двигателя в гиперпетле

Электротурбореактивный двигатель может применяться более чем в двух вариантах компоновочных схем. Первая компоновка предусматривает создание подъемной силы. Подъемная сила построена на динамическом принципе поддержания платформы с помощью воздушной прослойки. Принцип создания подъемной силы может быть аналогичен суднам с воздушной подушкой с сопловой схемой. В этом случае для придания движения возможно использование энергии магнитного поля, но данный способ не экономичен, так как затрачивается дополнительная энергия.

Вторая компоновка предполагает создание реактивной силы ионизированного потока газа. Движение может осуществляться по рельсам, расположенным вдоль гиперпетли, по всему контуру поперечного сечения для восприятия нагрузок, связанных с возникновением центробежных сил при движении капсулы, на различных участках.

Развитие технологии применения гиперпетли является инновационным решением проблем, связанных с загрязнением окружающей среды, так как при этом полностью отсутствуют выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, не подразумевается использования в качестве топлива углеводородов, а также существует возможность циклического использования благородных газов.

Заключение

Основной целью настоящей работы была попытка описать концепцию применения ионного электротурбореактивного двигателя для гиперпетли. Двигатель использует в качестве рабочего тела инертный газ – неон, с помощью ионного ветра создает поток, который совершает механическую работу над турбиной. Для того чтобы во время движения капсулы не возникало фронтальных уплотнений, что приведет к лобовому аэродинамическому сопротивлению, в двигателе предусмотрено входное устройства для забора частиц. После прохождения турбины направленный поток создает силу тяги для обеспечения движения капсулы. Также был проанализирован наиболее подходящий состав газов для обеспечения наилучшей работы двигателя в условиях низкого давления, лучшим из которых признан неон, а также для предотвращения скачков уплотнения в связи с малой скоростью распространения упругих возмущений в воздухе.

В ходе выполнения исследования были сформулированы рекомендации по использованию ионного электротурбореактивного двигателя. Его использование возможно в более чем двух компоновочных схемах: в качестве нагнетателя потока для создания воздушной подушки и в качестве создания реактивного движения.

Библиографический список

1. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году: государственный доклад. М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. 760 с.
2. Dominkovića D.F., Vačekovičb I., Pedersena A.S., Krajačić G. The future of transportation in sustainable energy systems: Opportunities and barriers in a clean energy transition // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. P. 2. P. 1823–1838. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.117>.
3. Alexander N.A., Kashani M.M. Exploring Bridge Dynamics for Ultra-high-speed, Hyperloop, Trains // *Structures*. 2017. Vol. 14. P. 69–74.
4. Musk E. Hyperloop Alpha [Электронный ресурс]. URL: https://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha.pdf (17.11.2018).
5. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика общий курс. М.: Наука, 1964. 816 с.
6. Скорость звука в газах, жидкостях и твердых телах. 20–20000 Гц. Краткая таблица. Продольная волна // *Инженерный справочник* [Электронный ресурс]. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/Sound/SoundSpeedTable1/> (17.11.2018).