

КОСМОС

Концепция развития методов и средств преодоления теплового барьера

The concept of development of methods and means of overcoming of a thermal barrier

Ключевые слова: гиперзвуковой летательный аппарат (ГЛА) – hypersonic flight vehicle (HFV); аэродинамический нагрев элементов конструкции ГЛА – aerodynamic heating of HFV configuration items; эмиссия электронов с нагреваемых элементов конструкции – issue of electrons from heated up configuration items; электропроводящий элемент, располагаемый внутри нагреваемых элементов конструкции и поглощающий электроны (анод) – the electrical-conducting element disposed in heated up configuration items and absorbing electrons (anode); бортовой потребитель электроэнергии, электрически подключенный к корпусу (катоду) и аноду – the onboard consumer of the electric power, electric connected to a body (cathode) and the anode; рекуперация энергии топлива, затрачиваемой на преодоление аэродинамического сопротивления атмосферы – recovery of fuel energy expended in overcoming aerodynamic drag.

Охлаждение оболочки элементов конструкции гиперзвуковых летательных аппаратов при полете происходит за счет использования термоэмиссионного способа тепловой защиты, разработанного в Балтийском государственном техническом университете («Военмех») им. Д.Ф. Устинова, когда часть тепловой энергии аэродинамического нагрева превращается в электрическую. На этой основе разработана инновационная концепция гиперзвукового полета, предлагаемая при разработке летательных аппаратов различного назначения, в том числе – спускаемых космических аппаратов и средств их выведения.

Cooling of a cover of elements of a design of hypersonic flying machines at flight occurs at the expense of use of a thermoissue way of thermal protection developed in BSTU when the part of thermal energy of aerodynamic heating turns to the electric. On this basis the innovative concept of hypersonic flight offered by working out of flying machines of different function, including lowered space vehicles and means of their deducing is developed.

КЕРНОЖИЦКИЙ / KERNOGITSKY V.

Владимир Андреевич

(vakern@mail.ru)

кандидат технических наук, доцент, заслуженный изобретатель Российской Федерации, заместитель заведующего по научной работе кафедры «Систем обработки информации и управления» Балтийского государственного технического университета («Военмех») им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург

КОЛЫЧЕВ / KOLUCHEV A.

Алексей Васильевич

(migom@mail.ru)

аспирант кафедры «Ракетостроение» Балтийского государственного технического университета («Военмех») им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург

Одним из основных претендентов для решения задач быстрого доступа на любые околоземные орбиты является воздушно-космический самолет (ВКС). Однако для разработки и создания ВКС необходимо преодолеть или отодвинуть в сторону больших скоростей «тепловой» барьер, т.е. иметь возможность многократно совершать длительный полет в атмосфере с гиперзвуковыми скоростями без ухудшения технических характеристик летательного аппарата (ЛА).

Преодолевая сопротивление атмосферы при полете, гиперзвуковой летательный аппарат (ГЛА) затрачивает часть энергии топлива на преодоление сопротивления встречного воздуха, что приводит к нагреву внешней оболочки ГЛА. Это в свою очередь означает, что корпус ГЛА нагревается за счет энергии топлива на борту или располагаемой потенциальной энергией ГЛА. При этом возникает проблема «теплового» барьера.

Существует множество различных методов активной и пассивной теплозащиты, а также методов, возвращающих часть потерь энергии топлива на прохождение ГЛА сквозь атмосферу. Современные ГЛА представляют собой ЛА, для

которых энергия, потраченная на преодоление силы сопротивления атмосферы, в дальнейшем не используется для работы внутренних систем, а только воздействует на внешнюю оболочку, преимущественно нагревая ее. К подобным ЛА с пассивной теплозащитой относятся: многоразовая транспортная космическая система «Space Shuttle», «Буран», «Спираль», «Dyna Soar», «NASP», «Venture Star», «МАКС» и множество других проектов. Например, на начальных этапах развития космонавтики в системах «Спираль» и «Dyna Soar» [4] конструкция и теплозащита строились по принципу «горячей конструкции», т.е. в качестве средства борьбы с аэродинамическим нагревом предполагалось использовать жаропрочные сплавы с защитными от окисления покрытиями. Однако большой вес, сложность с компенсациями температурных деформаций металлических элементов конструкций при перепаде температур более 1000 °C, опасность разрушения противоокислительного покрытия привели к тому, что при создании системы «Space Shuttle» было решено использовать пассивную теплозащиту в виде плиток из различных углеродных материалов [1]. Материалы такой тепловой защиты, однако, имеют низкие допустимые тепловые нагрузки и механическую прочность, что приводит к увеличению габаритов и массы крыльев и корпуса ЛА, повышению аэродинамического сопротивления, высокой стоимости и низкому уровню надежности. Тем не менее, запуски в США экспериментальных ГЛА, таких как HTV-2a, X-51A, X-37B, свидетельствуют о том, что в дальнейшем по-прежнему предполагается использовать пассивную теплозащиту, состоящую из различных термостойких материалов, в том числе – керамических плиток.

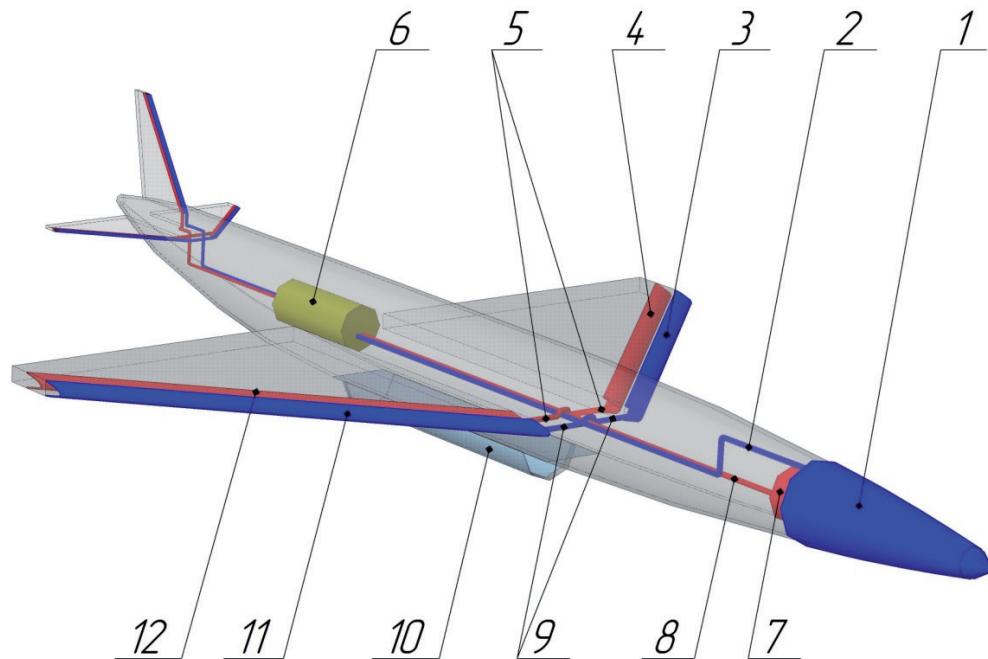
Существуют концепции, при которых ГЛА активно, т.е. за счет внутренних бортовых систем обменивается веществом и энергией с окружающей средой. Располагаемая энергия таких ГЛА, затрачиваемая на преодоление силы лобового сопротивления, преобразуется в другие виды энергии, используемые для обеспечения и улучшения работы бортовых систем ГЛА. Подобный принцип используется в проектах «HOTOL», «Skylon», «Аякс» (Россия), «AVATAR» (Индия).

В основе ВКС «HOTOL» [5–8] («Horizontal TakeOff and Landing») с горизонтальным взлетом и посадкой, предложенного в сентябре 1984 года фирмой «British Aerospace», предусмотрена уникальная двигательная установка (ДУ) RB545, сжижающая в полете кислород окружающего воздуха и использующая его в дальнейшем в каче-

стве окислителя. Сжижение кислорода воздуха при полете ЛА также разрабатывалось в США в начале 1960-х годах и носило название «LACE» («liquid air cycle engine»). Сходный принцип заложен в основу ВКС «AVATAR». Позже на базе «HOTOL» была предложена новая концепция, названная «Skylon» с новой ДУ – «Sabre» («Synergetic Air Breathing and Rocket Engine» – «синергетический» воздушно-реактивный и ракетный двигатель). Таким образом, «HOTOL», «Skylon» и «AVATAR» должны активно обмениваться с окружающей средой веществом и энергией, но при этом предлагается использовать пассивную теплозащиту из углеродных композиционных материалов.

Среди прочих концепций ГЛА особняком стоит концепция гиперзвукового многоцелевого самолета «Аякс» [9]. Гиперзвуковой летательный аппарат «Аякс» является открытой неизолированной аэротермодинамической системой. В двойной обшивке «Аякса» размещается термохимический реактор, в котором при полете ГЛА смесь углеводородного топлива с водой, поглощая тепло, с помощью катализаторов, при высокой температуре и давлении разлагается на олефин и свободный водород. Получаемая подобным образом водородосодержащая смесь вместе с заторможенным и предварительно ионизированным потоком воздуха поступает в магнитоплазмохимический двигатель, разрабатываемый на базе принципов работы МГД – генератора, с помощью которого вырабатывается электроэнергия, направляемая, в том числе, на ионизацию воздуха, например, с помощью лазеров или потока нейтронов. Таким образом, разрушающее тепло аэродинамического нагрева преобразуется в различные виды энергии, повышающие общую энергетическую эффективность ГЛА при полете в атмосфере, и служит основой для обеспечения функционирования бортовых систем и снижения при этом теплового воздействия на элементы конструкции ГЛА. Следовательно, «Аякс» обладает высокой степенью новизны и, как следствие, сложен в исполнении и обладает достаточно высокой степенью технического риска.

В БГТУ разрабатывается принципиально новая концепция ГЛА, в основе которой лежит явление термоэлектронной эмиссии, а именно – термоэмиссионный способ активной тепловой защиты (TCAT3) [10–12] элементов конструкции ГЛА и применение дополнительных термоэмиссионных преобразователей (ТЭП) (проект «ГЕФЕСТ»). Использование активной термоэмиссионной тепловой защиты (ATT3) на базе TCAT3



Гипотетический ГЛА с ATT3: 1, 3, 11 – внешняя нагреваемая оболочка – катод, 2, 9 – токоввод катода, 4, 7, 12 – внутренняя оболочка – анод, 5, 8 – токовывод анода, 6 – бортовой потребитель электроэнергии, 10 – ДУ

[10–12] аналогично паровой конверсии углеводородов в двойной обшивке ГЛА «Аякс» для ее охлаждения, а ТЭП – накоплению на борту сжиженного кислорода из встречного воздуха на определенном участке полета, как это предусмотрено в ГЛА «HOTOL» / «Skylon» / «AVATAR» с использованием ДУ RB545/Sabre. Поэтому ГЛА с ATT3 и ТЭП является активной системой, обменивающейся энергией с окружающей средой, и сочетает в себе достоинства приведенных выше концепций.

Для преодоления «теплового» барьера ГЛА оснащается комплексом систем электронного охлаждения на основе прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Основой данного комплекса должна явиться система ATT3, обеспечивающая термоэмиссионное охлаждение с одновременным прямым преобразованием тепловой энергии аэродинамического нагрева в электрическую. При реализации данной концепции носовые части, передние кромки крыла, стабилизаторов и т.д., т.е. наиболее теплонапряженные участки корпуса, испытывающие интенсивный аэродинамический нагрев, должны быть защищены на основе предлагаемого способа ATT3. Перечисленные выше элементы конструкции состоят из внутренней и

внешней оболочки. При движении в атмосфере с гиперзвуковыми скоростями внешняя оболочка нагревается до температур, при которых за счет тепловой энергии, приобретенной при аэrodинамическом нагреве с ее внутренней поверхности, начинают вылетать «горячие» электроны [2, 3, 10–12], т.е. на данном этапе электроны являются переносчиками тепла и «охладителями» внешней оболочки, которая фактически является термокатодом. Таким образом, происходит электронное охлаждение внешней оболочки и реализуется принцип ATT3. Далее электроны, проходя некоторое расстояние, осаждаются на внутренней оболочке из электропроводящего металла – аноде. Часть энергии, унесенной электронами с термокатода, идет на нагрев анода, а остальная – позволяет электронам, проходя по электрической цепи, соединяющей анод и термокатод, совершать полезную работу под электрической нагрузкой, обеспечивая функционирование различных видов бортовых потребителей электрической энергии. Вариант ГЛА, оснащенный предлагаемой системой ATT3, показан на рисунке.

Однако рассмотренные свойства ATT3, вероятно, далеко не предел. Ведутся работы по улучшению количественных и качественных

характеристик термоэмиссионного преобразования и устройств, реализующих принцип АТТЗ. Относительная простота и дешевизна АТТЗ в комплексе с высокой эффективностью охлаждения и генерации электрической энергии на борту с помощью АТТЗ открывает новые возможности в области разработки и создания новых видов ГЛА следующего этапа технического развития цивилизации. Так, расчеты показывают, что применение АТТЗ обеспечивает снижение температуры материала нагреваемой части корпуса ГЛА на 400–600 К. Коэффициент полезного действия такого преобразования в настоящее время находится на уровне 10–25% и выше. Генерируемая средняя удельная электрическая мощность достигает значений 10–25 Вт/см² площади эмиссии.

Литература

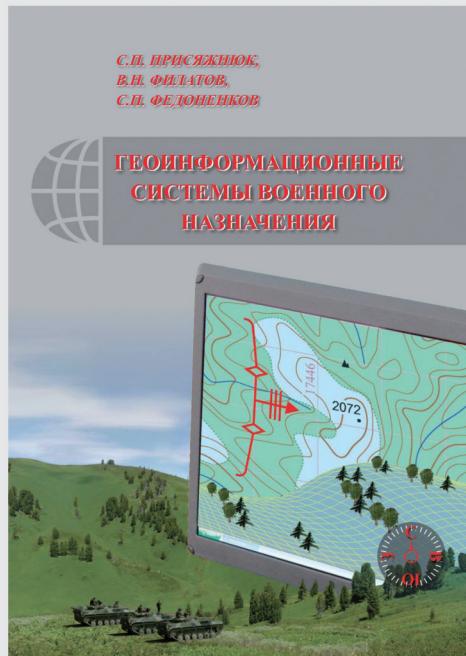
1. Нейланд В.Я., Тумин А.М. Аэротермодинамика воздушно-космических самолетов. Конспект лекций. – Жуковский: ФАЛТ МФТИ, 1991.
2. Термоэмиссионные преобразователи и низкотемпературная плазма / Под ред. Б.Я. Мойжеса, Г.Е. Пикиса. – М.: Наука, 1973.
3. Ушаков Б.А., Никитин В.Д., Емельянов И.Я. Основы термоэмиссионного преобразования энергии. – М.: Атомиздат, 1974.
4. Лукашевич В.П., Афонасьев И.Б. Космические крылья. – М.: ООО «Лента странствий», 2009.
5. Новости космонавтики. – № 9. – 2003. – С. 10–13.
6. Новости космонавтики. – № 23/24. – 1998. – С. 50–51.
7. Новости космонавтики. – № 9. – 2007. – С. 66–68.
8. Новости космонавтики. – № 10. – 2007. – С. 68–71.
9. www.sergib.agava.ru/russia/lennets/ajax/ajax.htm.
10. Керножицкий В.А., Колычев А.В. Один из путей решения проблемы «теплового барьера» // Информация и космос. – № 1. – 2010. – С. 116–118.
11. Керножицкий В.А., Колычев А.В., Охочинский Д.М. Патент на полезную модель № 95637 «Крыло гиперзвукового летательного аппарата в условиях его аэродинамического нагрева». – Роспатент, 2010.
12. Керножицкий В.А., Колычев А.В., Охочинский Д.М. Патент на изобретение № 2404087 «Термоэмиссионный способ тепловой защиты частей летательных аппаратов при их аэродинамическом нагреве». – Роспатент, 2010.

Редакция журнала

ИНФОРМАЦИЯ КОСМОС

предлагает вашему вниманию книгу
**Присяжнюка С.П., Филатова В.Н.,
Федоненкова С.П.**

«ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ»



В книге изложены основы построения геоинформационных систем военного назначения (ГИС ВН). В основу книги положены материалы многолетних исследований и разработок, выполненных лично авторами при создании геоинформационных систем военного назначения и нормативных документов. Изложены принципы построения ГИС ВН и основные инструментальные средства, используемые для создания ГИС ВН, а также системы поддержки принятия решений военного командования.

*Книга предназначена для студентов
и аспирантов Балтийского государственного
технического университета.*

Заявки на книгу принимаются по тел.: (812) 740-77-07