

Авиационный техникум
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования
"Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)"

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

Тема: «Исследование аэродинамических характеристик альтернативных
форм посадочного аппарата для изучения Венеры»

Выполнил:
Студент группы М-32
Сапожникова Ольга Вадимовна
Руководитель проекта:
Борисова Светлана Владимировна

САМАРА, 2022г.

Оглавление

Введение.....	3
Атмосфера Венеры.....	5
Рассмотрение вариантов ПА.....	6
Предложения по решению задачи спуска на поверхность Венеры.....	10
Дальнейшее изучение Венеры и последующих планет.....	11
Заключение.....	12
Список использованных источников.....	13

Введение

Перебирая всевозможные темы для написания исследовательской работы, и просмотрев большое количество диссертаций, а так же научных статей, тема с Венерой показалась более интересной и актуальной. Если говорить коротко и ясно – актуальным в наше время становятся вопросы создания космического аппарата для исследования планеты. В частности, разработка посадочного аппарата для изучения поверхности планеты. В статье, на которую пал выбор, были рассмотрены посадочные аппараты различных типов для осуществления маневренного спуска на поверхность Венеры, а также проведен их сравнительный анализ. Рассмотрен посадочный аппарат класса «несущий корпус» с улучшенными проектными характеристиками по сравнению с традиционно используемыми посадочными аппаратами баллистического типа. Представлен расчет аэродинамических характеристик посадочного аппарата класса «несущий корпус» численным методом по ньютоновской теории обтекания на гиперзвуковых скоростях. Предлагаемые конфигурации посадочного аппарата обладают определенным аэродинамическим качеством на гиперзвуковых скоростях и способны маневрировать и совершать посадку в требуемые районы, наиболее привлекательные для исследования и безопасные.

После длительного перерыва вновь рассматриваются проекты для продолжения исследований планеты, в том числе создание посадочных летательных аппаратов (ПА) нового поколения для изучения поверхности планет. Районы посадок, где наблюдаются следы происходивших в прошлом тектонических процессов, вызывают особый интерес у ученых и технических специалистов. Проблемы, решаемые при проектировании космического аппарата (КА), в частности, входящего в атмосферу и совершающего посадку на поверхность другой планеты, достаточно сложны, а спуск в атмосфере и посадка аппаратов на поверхность планеты являются одними из наиболее сложных и ответственных операций экспедиции.

Цель данной работы:

1. Изучение данной статьи, анализ ПА осуществленных миссий на Венеру.
2. Рассмотрение возможности использования новых конфигураций посадочных аппаратов, имеющих определенное аэродинамическое качество на гиперзвуковых скоростях и обладающих способностью совершать маневры, в том числе обоснование предложения использовать для ПА аэродинамическую схему «несущий корпус».
3. Обосновать вкратце применение ПА выбранной аэродинамической формы.
4. Выделить главные преимущества и недостатки для продолжения исследований не только Венеры, но и последующих планет.
5. Сделать вывод о проделанной работе, и придти к единому умозаключению.

Научная новизна работы состоит в том, что в разработке комплексной методики для оперативной проектно-конструкторской оценки форм ПА в части баллистических, массо-габаритных, аэродинамических и тепловых режимов на начальном этапе проектирования.

Атмосфера Венеры

В качестве расчетной модели атмосферы Венеры в настоящее время используется Коспаровская модель атмосферы Венеры VIRА-30 (Venus International Reference Atmosphere — Международная справочная атмосфера Венеры) [1–3]. На рис. 1 для сравнения приведены вертикальные профили плотности ρ_0 , давления P и температуры T атмосферы Венеры и Земли (в последнем случае параметры отмечены индексом «З») [4]. Как ясно из графиков, на границе атмосферы сходство параметров больше, нежели у поверхности планет, где различие составляет несколько порядков.

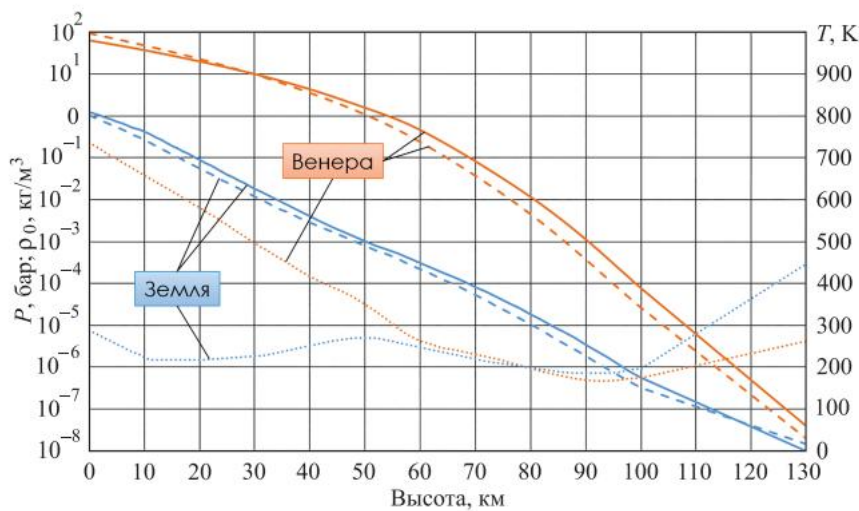


Рис. 1. Параметры атмосферы Венеры и Земли:
— ρ_0 ; — P ; — $\rho_{0з}$; — $P_з$; T ; $T_з$

Такие характеристики атмосферы вблизи поверхности Венеры создают довольно большие трудности при создании посадочных аппаратов и осуществлении его спуска в атмосфере планеты.

Рассмотрение вариантов ПА

Последние посадочные аппараты в составе космических аппаратов, или автоматических межпланетных станций (АМС), как они назывались ранее, разработанные в СССР для исследования планеты Венера: «Венера-15, -16», «Вега-1, -2», (рис. 2), имели сферическую форму и относились к аппаратам баллистического типа, характеризующимся аэродинамическим качеством на гиперзвуковых скоростях $K_{\text{дин}} = 0$ и не обеспечивающим возможности маневрирования на участке спуска в атмосфере.

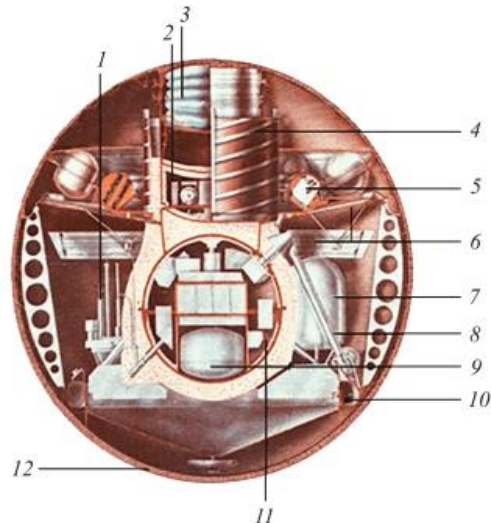
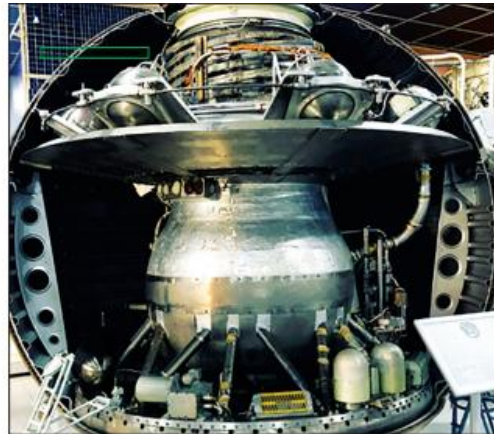


Рис. 2. Посадочный аппарат автоматической межпланетной станции «Вега» (фото из музея АО «НПО Лавочкина» [5]):

1 — грунтозаборное устройство; 2 — отсек научной аппаратуры; 3 — парашютный отсек; 4 — антенна; 5 — аэростат; 6 — аэродинамический стабилизатор; 7 — газовый хроматограф; 8 — ультрафиолетовый спектрометр; 9 — химическая батарея; 10 — посадочное устройство; 11 — приборный контейнер; 12 — теплозащитная оболочка

Аналогично, если рассматривать зарубежные проекты, то единственные американские спускаемые аппараты в рамках миссии «Пионер-Венера-2» (рис. 3), имевшие коническую форму, также относились к аппаратам баллистическо-

го типа и характеризовались нулевым аэродинамическим качеством на гиперзвуковых скоростях. Вход этих аппаратов в атмосферу планеты происходил со скоростью, примерно равной 11 км/с, что немного превышает значение второй космической скорости для Венеры (10,4 км/с).

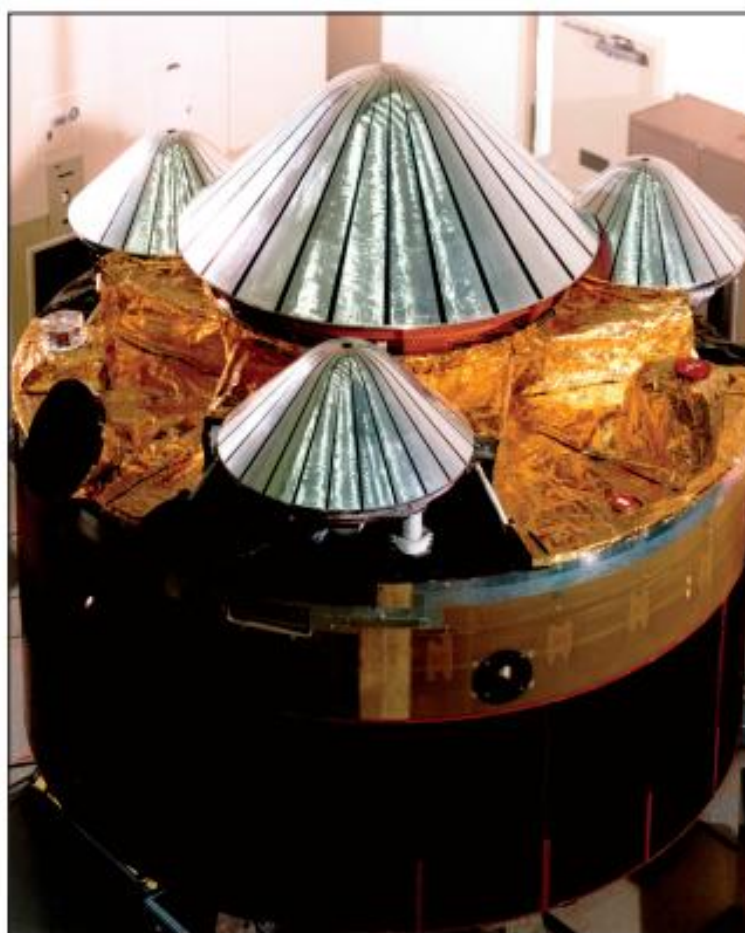


Рис. 3. Автоматическая межпланетная станция «Пионер-Венера-2» с одним большим зондом в центре и тремя идентичными малыми зондами вокруг [6]

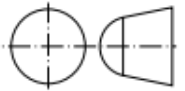


Рассмотрение возможности входа в атмосферу Земли со второй космической скоростью (аппараты лунной экспедиции) и с гиперболическими скоростями (спуск при возвращении из марсианской экспедиции) показало абсолютную необходимость увеличения аэродинамического качества ПА и рациональ-

ность перехода на заостренные конфигурации. Исследованиями установлено, что следует перейти к аппаратам другого класса, а именно — класса «несущий корпус» [7]. В связи с этим рассматривается вопрос о возможности использования ПА класса «несущий корпус» для спуска в атмосфере Венеры. В настоящее время для продолжения фундаментальных исследований Венеры российско-американской группой инженеров, ученых и технических специалистов ведется работа над новым проектом «Венера-Д» [8]. В рамках работы объединенной научной группы, в которую входят Роскосмос, Институт космических исследований. Предполагается, что основными элементами миссии могут стать российские посадочный и орбитальный аппараты, в качестве возможного вклада НАСА рассматривается создание венерианской атмосферной маневренной платформы VAMP (Venus Atmospheric Maneuverable Platform) [9]. В настоящее время исполнение посадочного модуля выбрано аналогичным исполнению посадочных аппаратов АМС серии «Венера» и «Вега» (см. рис. 2). Аппараты баллистического типа использовались на первоначальных этапах исследования Венеры, поскольку подобная конструкция довольно проста и надежна, при этом основной целью было достижение поверхности планеты с функционирующей аппаратурой. В данной работе предлагается рассмотреть возможность использования новых конфигураций ПА, обладающих способностью совершать значительные маневры и, соответственно, обеспечивающих большую широту охвата поверхности, с целью выбора требуемого района посадки, а также возможных зон для безопасной посадки. Сравнение аэрокосмических межпланетных посадочных аппаратов различных типов приведено в табл. 1. При переходе от аппаратов баллистического типа к ПА класса «несущий корпус» улучшаются показатели аэродинамического качества и маневренности, однако незначительно ухудшаются массовые характеристики вследствие небольшого усложнения конструкции этих аппаратов по сравнению с ПА баллистического типа. Аппараты класса «несущий корпус» по простоте аэродинамических обводов близки к аппаратам класса «скользящий спуск», а по аэродинамическим характеристикам на гиперзвуковых скоростях приближаются к крылатым ракетопланам [7].

Предлагаемые ПА должны пройти предварительную отработку при входе в атмосферу Земли, но с научной аппаратурой для исследования Венеры, при этом решаются вопросы управления на участке входа, уточняются тепловые режимы и исследуется режим посадки. На начальном этапе исследований используются парашютная, парашютно-реактивная системы посадки, позволяющие проводить многократные испытания.

Таблица 1

Характеристики межпланетных венерианских посадочных аппаратов различных типов

Сравниваемые параметры и критериальные оценки	Параметр	Классификационные типы ПА		
		Баллистические аппараты 	«Скользкий спуск» 	«Несущий корпус» 
Аэродинамическое качество на гиперзвуковых скоростях ($M > 6$)	$K_{гип} = C_{ya} / C_{xa}$ диапазон среднее значение	0 0	0,15–0,5 0,3	0,8–1,5 1,0
Диапазон изменения аэродинамического качества при переходе от гиперзвукового к дозвуковому режиму спуска	$K_{доз}$ $\bar{K} = K_{доз} / K_{гип}$	0 1	0–0,5 1,5	2–3,5 2,5
Массовые характеристики	$K_m = G_{МВПА} / G_{МВПА.б}$	1	1,2	1,5
Коэффициент заполнения (объемный КПД)	$K_{зап} = 4,836 \frac{(V_{\Sigma})^{2/3}}{S_{\Sigma}}$	1,00–0,85	0,95–0,75	0,75–0,60
Относительная масса теплозащитного покрытия	$\bar{K}_{ТЗП} = G_{ТЗП} / G_{МВПА}$	0,15–0,28	0,12–0,25	0,12–0,20
Боковой маневр в атмосфере, км	$L_{бок}$	0	30–80	800–1200

Примечание. Здесь МВПА — межпланетный венерианский посадочный аппарат; МВПА.б — межпланетный венерианский посадочный аппарат баллистического класса.

Предложения по решению задачи спуска на поверхность Венеры

Для расчёта траектории спуска и определения траекторно-баллистических параметров, необходимых для расчёта на следующем этапе теплового режима спуска ПА и определения величин воздействующих на аппарат перегрузок, необходимо подготовить ряд исходных данных:

1. Должна быть составлена система уравнений, описывающих движение аппарата в атмосфере (участок спуска). Для проектных исследований допустимо на начальном этапе проектирования ограничиться исследованием движения ПА, представляемого в виде материальной точки, не рассматривая его движения вокруг центра масс.

2. Должна быть известна конфигурация (геометрические характеристики) и аэродинамические характеристики аппарата.

3. Должны быть известны массовые характеристики аппарата и закон изменения массы аппарата в процессе спуска. В большинстве случаев изменением массы аппарата в процессе спуска можно пренебречь (расход топливных компонентов, если есть, унос теплозащитного покрытия, и т. д.).

При баллистическом спуске аэродинамическое качество ПА равно нулю. При этом почти не требуется управлять полетом. Однако расчетные перегрузки и нагрев аппарата при этом способе оказываются высокими. Простота баллистического спуска предопределила его применение при первых пусках (например, для капсул, доставляющих на Землю научную документацию со спутника). При баллистическом спуске разброс точек посадки относительно расчетной может достигать нескольких сотен километров в зависимости от разброса начальных параметров входа и параметров атмосферы.

Дальнейшее изучение Венеры и последующих планет

В чем же состоит преимущество изучения и почему не стоит забывать о проблемах, которые могут появиться впоследствии. Первоочередная цель подобных экспедиций заключается в приобретении новых знаний и освоении ранее неизведанных людьми территорий. Со стороны именно и технических требований ПА предлагаемых конфигураций являются высокая маневренность, возможность посадки в заданные районы, наиболее привлекательные для исследования и безопасные, а также улучшение тепловых режимов и снижение перегрузок при входе в атмосферу планеты Венера. Следует, однако, отметить, что для разработки новой конфигурации ПА требуется отдельная проработка не только формы аппарата, но и вопросов, касающихся системы управления, организации связи и навигации для осуществления маневров ПА, комплекса средств посадки и др. В целом такой аппарат может быть создан на базе уже существующих средств с применением современного и рассмотрением перспективного уровней развития ракетно-космической техники.

Для большинства реализованных проектов капсульных (бескрылых) спускаемых аппаратов с ненулевым аэродинамическим качеством используется управление на участке спуска за счёт изменения угла крена при фиксированном угле атаки и центре масс (например, аппараты «Союз» и «Аполлон»). В рамках данной работы рассматривается именно такое управление, так называемое управление эффективным аэродинамическим качеством (управление углом крена). Оно является наиболее простым с точки зрения организации управления. Меняя угол крена при спуске с постоянным аэродинамическим качеством, можно обеспечить меньшие перегрузки, чем при баллистическом спуске, так как подъемная сила оказывает гораздо большее влияние на траекторию полета, чем сила лобового сопротивления. Другим недостатком, связанным с использованием подъёмной силы, является увеличение массы аппарата.

Заключение

В ходе такой непростой работы рассмотрены различные типы ПА для осуществления маневренного спуска на поверхность Венеры, проведен сравнительный анализ аппаратов и определены их проектные возможности в отношении маневренности и массовых характеристик.

Все цели касательно данного проекта были достигнуты.

Современные проекты по изучению Венеры с использованием посадочных аппаратов должны реализовать существенные требования для приведения спускаемого модуля к одной из заданных точек посадки на ее поверхность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

[1] Keating G.M., Bertaux J.-L., Bougher S.W., Cravens T.E., Dickinson R.E., He din A.E., Krasnopolsky V.A., Nagy A. F., Nicholson J.Y., Paxton L.J., Von Zahn U. VIRA (Venus International Reference Atmosphere) Models of Venus neutral upper atmosphere: Structure and composition. Kliore A.J., Moroz V.I., Keating G.M., eds. *Advances in Space Research (includes Cospar Information Bulletin)*, 1985, vol. 5, no. 11, pp. 117–171.

[2] Moroz V.I., Zasova L.V. VIRA-2: A Review of Inputs for Updating the Venus International Reference Atmosphere. *Advances in Space Research (includes Cospar Information Bulletin)*, 1997, vol. 19, no. 8, pp. 1191–1201.

[3] Засова Л.В., Мороз В.И., Линкин В.М., Хатунцев И.В., Майоров Б.С. Строение атмосферы Венеры от поверхности до 100 км. *Космические исследования*, 2006, № 44, с. 381–400.

[4] ГОСТ 4401–81. Атмосфера стандартная. Параметры. Москва, ИПК Издательство стандартов, 2004, 165 с. А.В. Косенкова, В.Е. Миненко, С.Б. Быковский, А.Г. Якушев *12 Инженерный журнал: наука и инновации # 11·2018*

[5] Музей АО «НПО Лавочкина». URL: <https://www.laspace.ru/museum/> (дата обращения 11.04.2018).

[6] Our Space Heritage 1960–2000. URL: <http://www.hughescgheritage.com/pioneer-venus-photographs-jack-fisher/comment-page-1/> (дата обращения 11.04.2018).

[7] Миненко В.Е., Агафонов Д.Н., Якушев А.Г., Елисеев А.Н. Проектный, аэродинамический и термобаллистический анализ спускаемого аппарата класса «несущий корпус». *Наука и образование*, 2015, № 10. DOI: 10.7463/1015.0815132