

К ВОПРОСУ О ВКЛЮЧЕНИИ В ПРОГРАММУ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕНЕРЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

М. Ю. Яценко✉, В. А. Воронцов

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),
г. Москва, Российская Федерация

Рассматривается актуальный вопрос расширения схемы эксперимента по контактному исследованию планеты Венера путем включения в состав перспективной экспедиции мультироторного летательного аппарата как дополнительного технического средства исследования. В разработанной авторами концепции рассматривается возможность создания и осуществления запуска мультироторного летательного аппарата (как сложной технической системы) в атмосферу Венеры с целью сбора данных о составе и свойствах атмосферы планеты, а также осуществления фото- и видеосъемки ее поверхности. Такой аппарат будет функционировать определенное время в заданных эшелонах высот (зонах). Авторы предлагают установить их в спускаемый аппарат. В статье приводятся цели создания данной технической системы и задачи, которые она должна выполнить на планете Венера. В работе проиллюстрированы возможные варианты использования и схемы введения в действие мультироторного летательного аппарата в атмосфере планеты, характер его движения. В качестве модуля системы накопления энергии выбраны аккумуляторные батареи, которые значительно улучшат функционирование мультироторного летательного аппарата и увеличат длительность его пребывания в атмосфере. Показаны варианты размещения мультироторных аппаратов в разработанной модели базового спускаемого аппарата, оценены массово-габаритные параметры.

Ключевые слова: Венера, мультироторный летательный аппарат, спускаемый аппарат, венерианский космический аппарат, техническое средство, схема эксперимента.

Введение

Отечественная программа исследования Венеры была завершена запусками венерианских космических аппаратов «третьего поколения» серии «Вега» еще в советские времена. Запущенная с космодрома Байконур 21 декабря 1984 года автоматическая межпланетная станция (АМС) «Вега-2» стала последней экспедицией на Венеру, которую отправила наша страна [1].

Возвращение направления «Венера» в космическую программу России требует проработки и создания новой комплексной программы освоения этой планеты как последовательности этапов, рассчитанных на долгосрочную перспективу. В связи с тем, что длительное время не осуществлялось запусков исследовательских аппаратов на Венеру, первые запуски венерианских космических аппаратов (КА) начального

этапа новой программы должны будут ответить на вопрос о технической осуществимости такого проекта в реалиях современного развития космической отрасли России. В случае успеха первых пусков, реализация последующих этапов программы обещает добыть новую уникальную информацию о планете в соответствии с запросами ученых и скорректировать уже имеющиеся данные, полученные за все время предшествующими. Следуя этой логике, прототипом вновь запускаемого на Венеру космического аппарата считаем АМС серии «Вега», которые являются «кульминацией» всех проектных разработок венерианских КА, а схема осуществления контактных исследований считается наиболее отработанной как методически, так и с технической точки зрения.

Особый интерес в компоновке «Веги» представляет спускаемый аппарат (СА) со всеми его подсистемами. В его состав входят посадочный аппарат (ПА) и система аэростатного зонда (АЗ) [1; 6].

✉ misha-yacenko@mail.ru

1. Расширение схемы эксперимента

Авторами рассматривается вопрос расширения схемы эксперимента по контактному изучению атмосферы и поверхности планеты Венера путем включения в состав перспективной экспедиции мультироторного летательного аппарата (МРЛА) как нового, оригинального технического средства исследования. Предлагается разметить один или несколько МРЛА в спускаемом аппарате базовой конструкции типа «Вега».

МРЛА относится к классу летательных аппаратов вертикального взлета и посадки и выполнен по мультикоптерной схеме, т. е. несущие винты установлены по вертолетной схеме и жестко закреплены на балке (рис. 1).

Каждый МРЛА будет иметь на борту полезную нагрузку в виде камер для фото- и видеосъемки (причем для каждого МРЛА возможно как жестко зафиксировать положение камеры – вертикальное, горизонтальное или под углом, так и установить в опционально-плавающем положении), заборников газа и газоанализаторов для взятия проб атмосферы Венеры, приборов для проведения экспериментов по отслеживанию сейсмической активности и прочую исследовательскую аппаратуру, исходя из потребностей науки [2].

Рассматривается концепция полностью электрического летательного аппарата, а значит и использование электрической силовой установки. Источник энергии или модуль системы накопле-

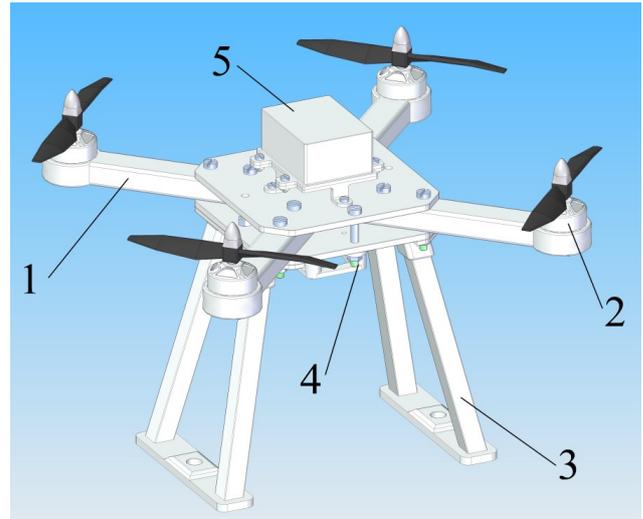


Рис. 1. Модель МРЛА: 1 – балка винтомоторной группы; 2 – винтомоторная группа; 3 – шасси; 4 – адаптер крепления полезной нагрузки; 5 – приборный отсек

ния энергии – аккумуляторные батареи. На рис. 2 показана схема движения МРЛА.

Перейдем к рассмотрению схем функционирования МРЛА в атмосфере и на поверхности планеты Венера. Предлагается несколько вариантов использования МРЛА.

Вариант 1. МРЛА устанавливается в спускаемом аппарате и вводится в действие на «ветке» спуска посадочного аппарата в атмосфере Венеры после срабатывания системы разделения [10] (рис. 3).

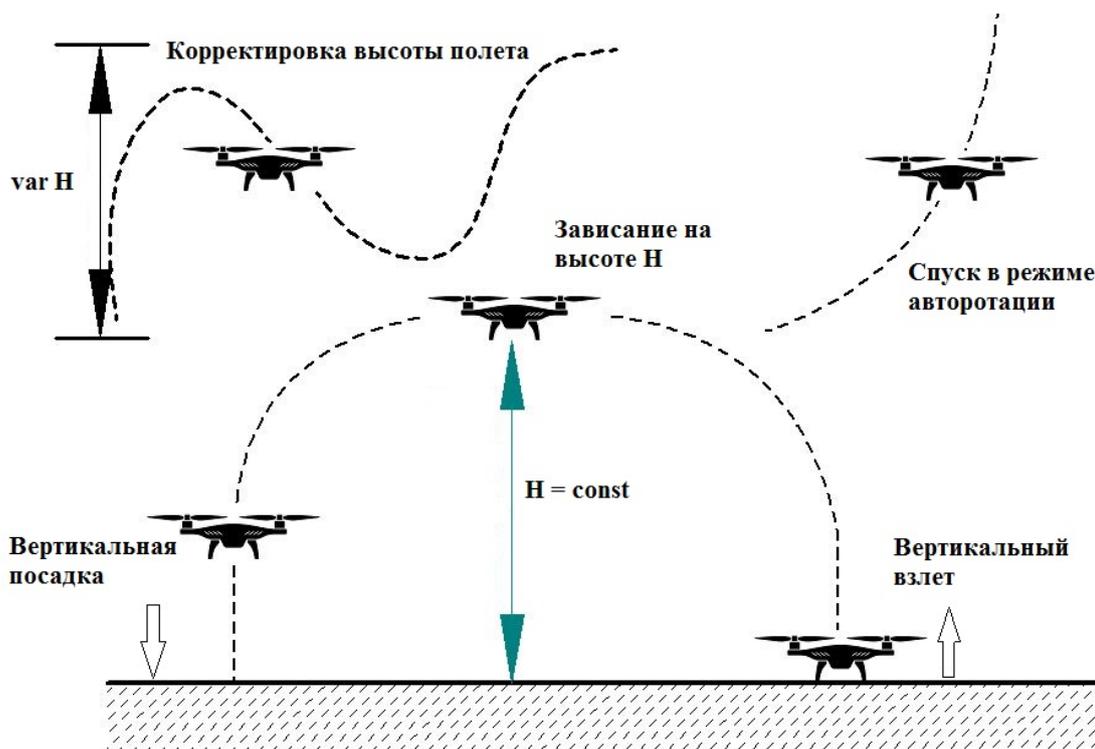


Рис. 2. Схема движения МРЛА в атмосфере Венеры

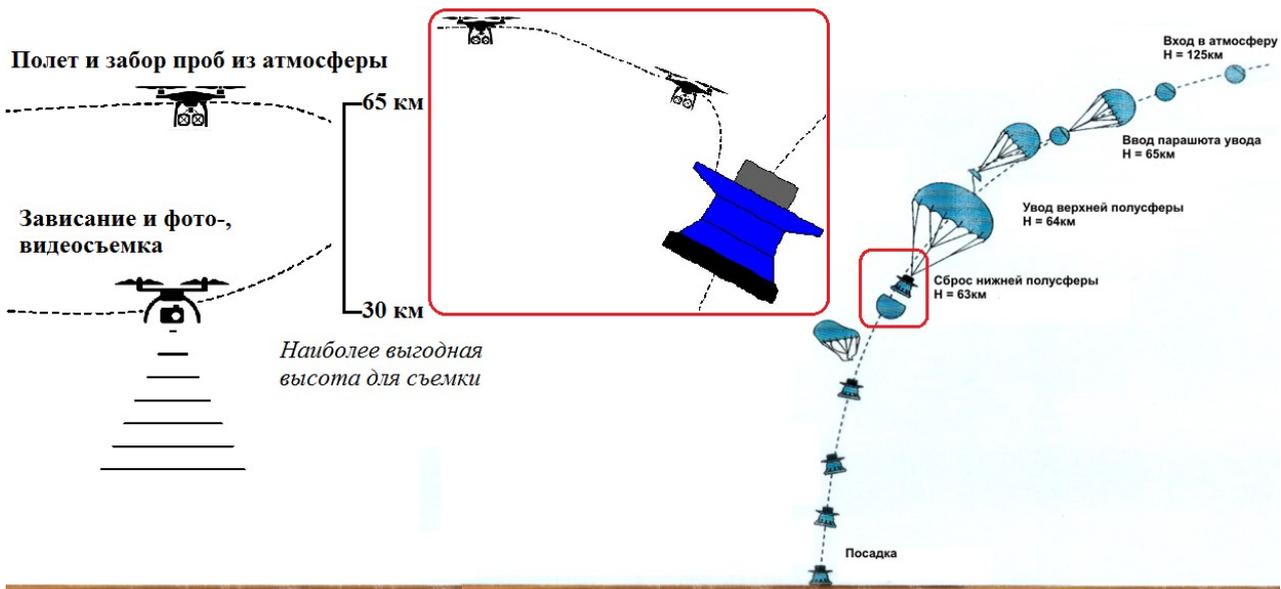


Рис. 3. Ввод в действие МРЛА по варианту 1

Вариант 2. МРЛА устанавливается в спускаемом аппарате и вводится в действие на «ветке» спуска и разворачивания аэростатного зонда в атмосфере Венеры после срабатывания системы разделения (рис. 4).

Вариант 3. МРЛА устанавливается на посадочном аппарате. Запуск МРЛА осуществляется после посадки посадочного аппарата на поверхность Венеры (рис. 5).

Вариант 4. МРЛА устанавливается на другом техническом средстве исследования Венеры (например, на аэростатической платформе-носи-

теле – АСПН). Запуск МРЛА осуществляется во время движения АСПН после ее разворачивания и введения в действие (рис. 6–9).

В качестве полезной нагрузки на МРЛА можно установить миниатюрный пенетратор для забора грунта с поверхности Венеры. После выполнения операции пробы грунта доставляются на аэростатическую платформу-носитель для анализа.

Также предлагается способ подзарядки аккумуляторных батарей МРЛА – во время спуска в режиме авторотации винтов.



Рис. 4. Ввод в действие МРЛА по варианту 2

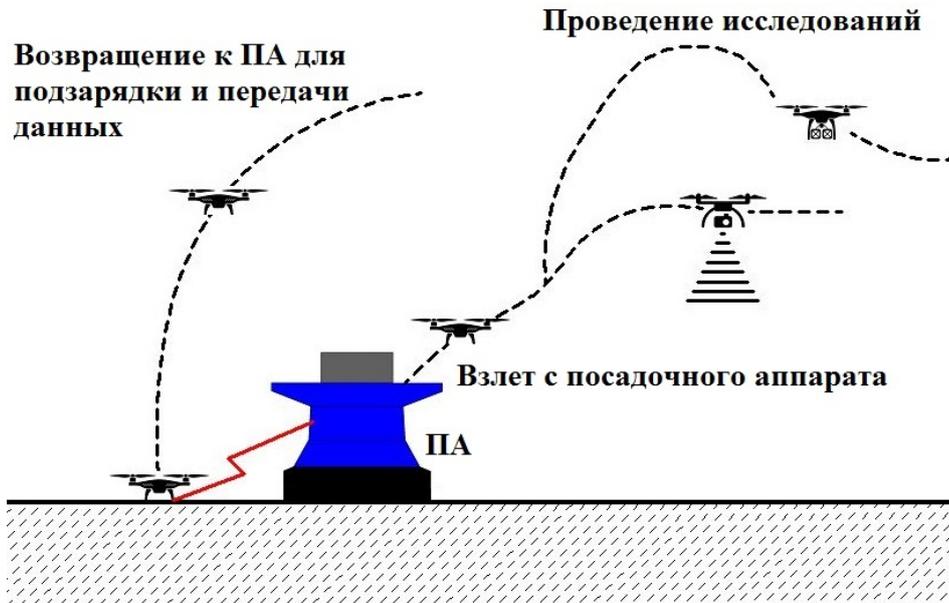


Рис. 5. Ввод в действие МРЛА по варианту 3

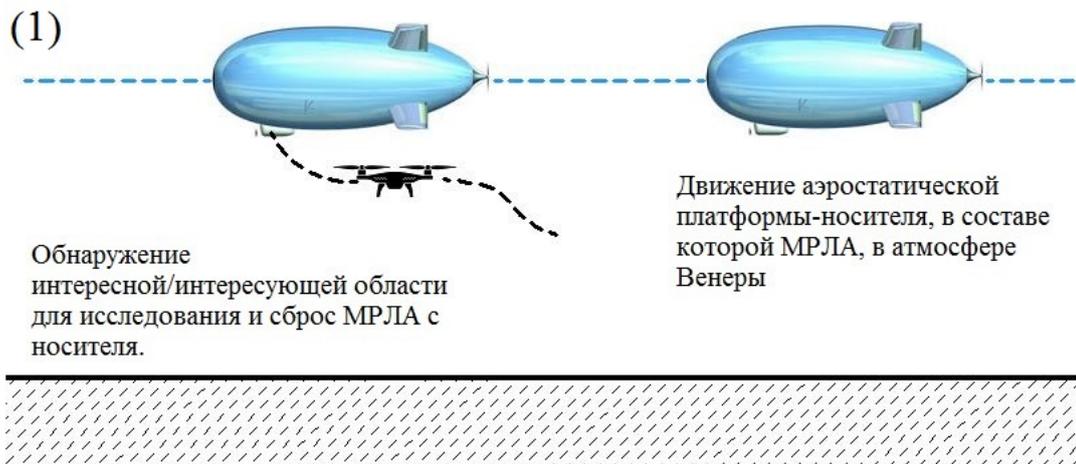


Рис. 6. Ввод в действие МРЛА по варианту 4. Этап 1

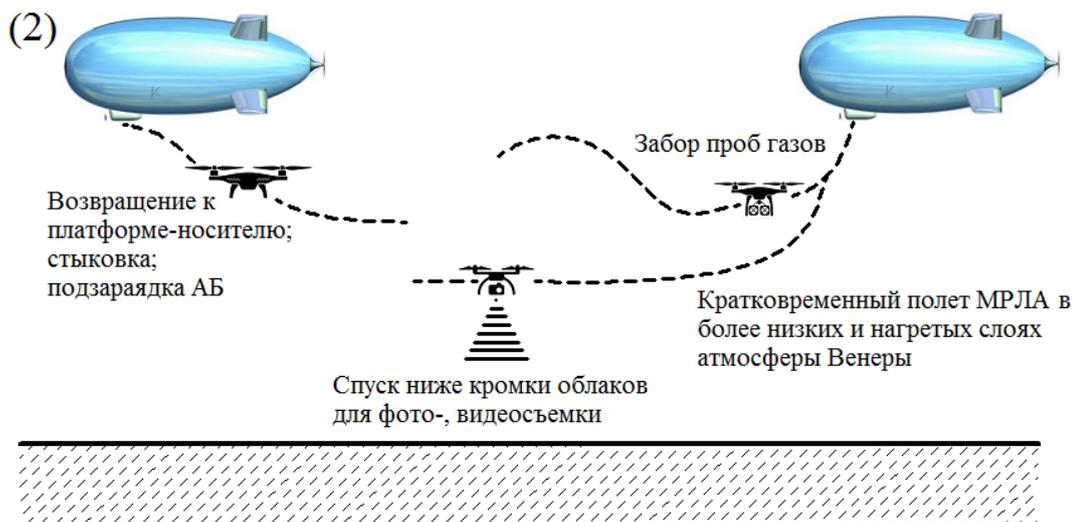


Рис. 7. Ввод в действие МРЛА по варианту 4. Этап 2.1

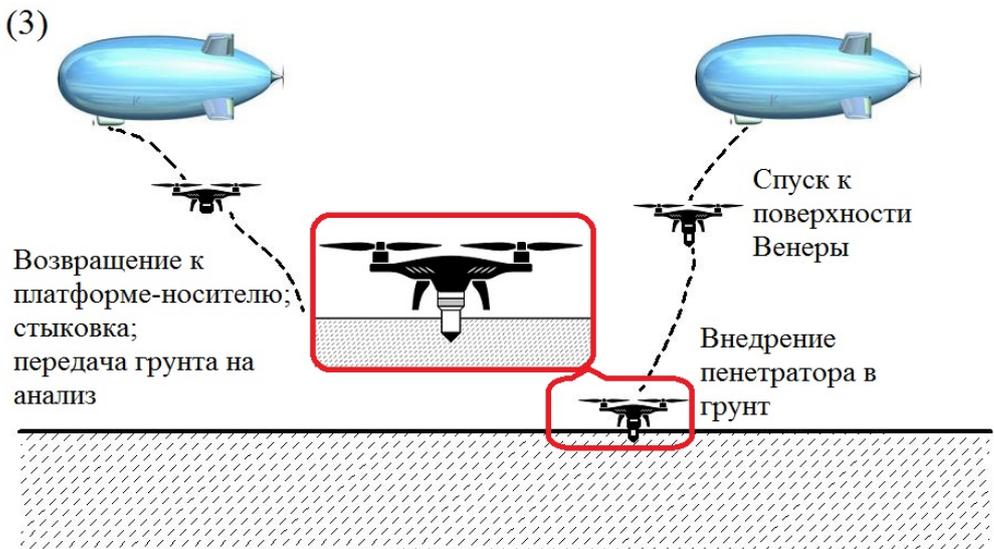


Рис. 8. Ввод в действие МРЛА по варианту 4. Этап 2.2

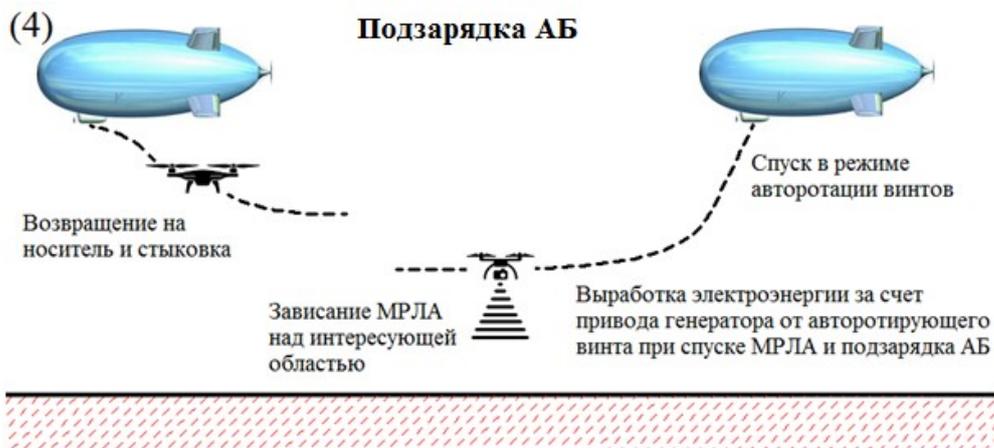


Рис. 9. Ввод в действие МРЛА по варианту 4. Способ подзарядки аккумуляторных батарей

2. Мультироторный летательный аппарат в составе «базового» спускаемого аппарата

Вопрос размещения МРЛА в составе спускаемого аппарата – один из ключевых в предлагаемой концепции, который напрямую влияет на разработку схемного решения ввода в действие этого технического средства исследования.

В «базовом» СА система АЗ располагается на тормозном аэродинамическом устройстве ПА в верхней полусфере СА. Она состоит из торового отсека, который опоясывает антенну ПА и служит для размещения оболочки АЗ. Для крепления систем, обеспечивающих его ввод в действие, служат 7 кронштейнов, пристыкованных к тору [1]. В такой конструкции есть свободные «ниши», в которых и предлагается разместить МРЛА (максимальное количество – 7 таких аппаратов), рис. 10–12. Для решения этой задачи необходимо

разработать кронштейн с возможностью монтажа на нем системы отделения МРЛА. Этому компоновочному решению соответствует схема ввода в действие МРЛА по «варианту 2», т. е. на «ветке» спуска и развертывания АЗ в атмосфере Венеры после срабатывания системы разделения (рис. 4).

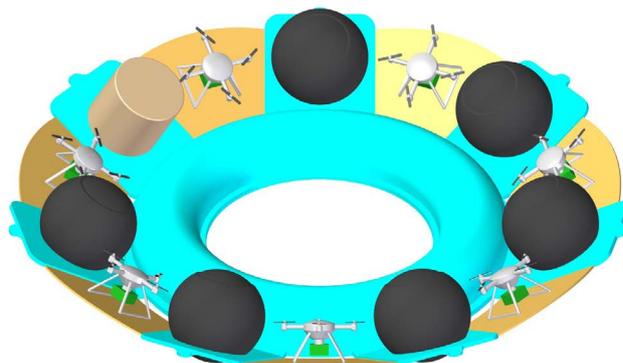


Рис. 10. Вариант размещения МРЛА на системе АЗ «базового» СА

Разработана твердотельная модель компоновки спускаемого аппарата (рис. 11, 12), в составе которого в первом приближении показаны МРЛА с кронштейнами крепления (в виде пластины) их к системе АЗ.

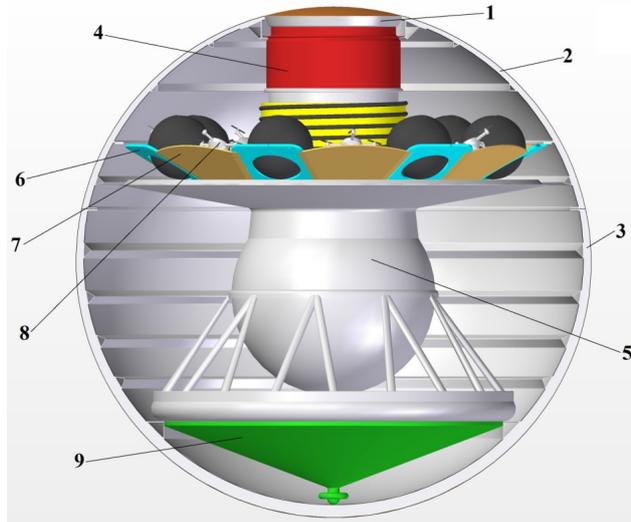


Рис. 11. Твердотельная модель компоновки СА с МРЛА: 1 – крышка парашютного контейнера; 2 – верхняя полусфера СА с силовым набором; 3 – нижняя полусфера СА с силовым набором; 4 – контейнер основной парашютной системы; 5 – ПА; 6 – система АЗ; 7 – кронштейн крепления МРЛА (в первом приближении); 8 – МРЛА; 9 – демпфер

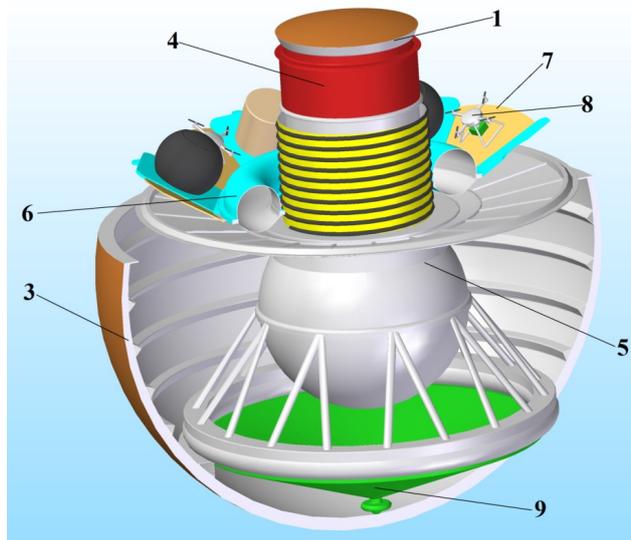


Рис. 12. Твердотельная модель компоновки спускаемого аппарата с МРЛА в изометрии. Позиции соответствуют рис. 11

Получены геометрические параметры «ниши» для размещения МРЛА: это зона, ограниченная цилиндрической поверхностью с диаметром основания не более 340 мм и максимальной высотой 300 мм.

Рассматривалась иная компоновка СА [1; 3; 5], в которой отсутствует ПА типа «Вега» и в верхней полусфере закреплены два АЗ аналогично веговским (рис. 13, позиции 1 и 2). В этом случае предлагается в качестве факультативного варианта заменить одну из аэростатных систем на систему из нескольких МРЛА.

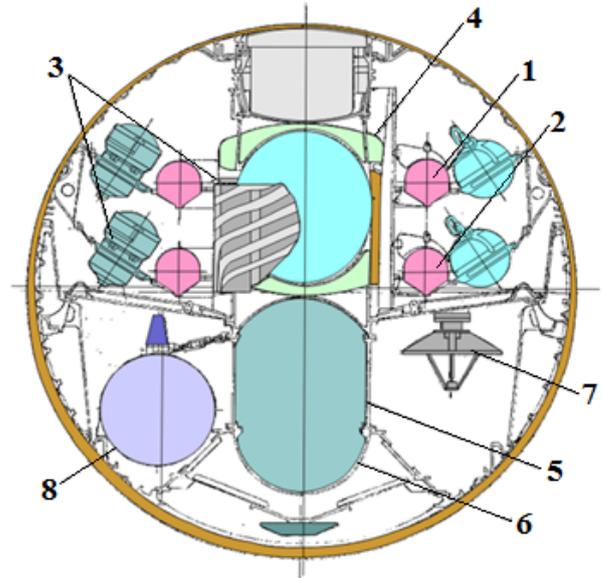


Рис. 13. Альтернативный вариант компоновки СА: 1 – АЗ 1; 2 – АЗ 2; 3 – планирующий зонд (ПЗ); 4 – отсек служебной и научной аппаратуры ПЗ; 5 – контейнер дрейфующего зонда (ДЗ) ветролета; 6 – отсек научной аппаратуры ДЗ; 7 – радиолокатор; 8 – посадочный зонд

Таким образом, ввод в действие МРЛА в описанных вариантах их размещения в СА будет осуществляться на «ветке» парашютного спуска аэростатной системы. Ключевыми вопросами здесь являются отделение МРЛА и ввод их в действие.

3. Оценка взлетной массы мультироторного летательного аппарата

МРЛА компактны, имеют малую взлетную массу и обладают высокой маневренностью. В качестве прототипа МРЛА рассматриваются аппараты мультикоптерного типа, которые построены по вертолетной схеме с количеством винтов $N_{\text{рот}} \geq 3$, т. е. проектируемый аппарат должен иметь не менее 3 винтов и, соответственно, не менее 3 двигателей и «лучей» (балок), на которых крепится эта винтомоторная группа.

Составим совокупность систем и уравнений для оценки параметров МРЛА на основе эмпирических данных и анализа беспилотных летательных аппаратов мультикоптерного типа. Расчетный случай: режим «висения» [4; 7; 9].

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{\text{рот}} \geq 3 \\ N_{\text{рот}} = 2 \cdot n (n \in \mathbb{Z}_{>0}) \\ m_{\text{рамы}} = \frac{N_{\text{рот}}^{\frac{1}{3}}}{\left(1 + \sin \frac{\pi}{N_{\text{рот}}}\right)^{\frac{5}{3}}} \rightarrow \min \\ \left\{ \begin{array}{l} R + r_{\text{в}} \leq 0,5 \cdot D_{\text{max}} \\ r_{\text{в}} < R \cdot \sin \left(\frac{\pi}{N_{\text{рот}}}\right) \end{array} \right. \\ \frac{r_{\text{в}}}{R} = 0,64 \\ M_{\text{МРЛА}} = \pi \cdot \rho_{\text{атм}} \cdot \frac{r_{\text{в}}^2 \cdot h^2 \cdot n^2 \cdot N_{\text{рот}}}{g_{\text{в}}} \\ H \text{ [км]} = \begin{pmatrix} 30 \\ \vdots \\ H_i, i = \overline{1,20} \\ \vdots \\ 65 \end{pmatrix} \\ \rho_{\text{атм}} \left[\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right] = \begin{pmatrix} 10,15 \\ \vdots \\ \rho_{\text{атм}_j}, j = \overline{1,20} \\ \vdots \\ 0,17 \end{pmatrix} \end{array} \right. \quad (1) \quad (2) \quad (3) \quad (4) \quad (5)$$

где \mathbb{Z}_0 – множество целых неотрицательных чисел; $N_{\text{рот}}$ – количество винтов; $m_{\text{рамы}}$ – масса рамы винтомоторной группы (балок); $r_{\text{в}}$ – радиус винта; R – радиус окружности, проходящей через ось винта; D_{max} – диаметр зоны размещения МРЛА; $M_{\text{МРЛА}}$ – взлетная масса МРЛА; $\rho_{\text{атм}}$ – значение плотности атмосферы Венеры; h – шаг винта;

n – число оборотов винта; $g_{\text{в}}$ – ускорение свободного падения на Венере; H – значение высоты над поверхностью Венеры.

Для оценочного расчета рассматривался диапазон высот $H = 30 \dots 65$ км с некоторым шагом согласно модели атмосферы [8]. Каждому значению высоты H_i соответствует определенное значение плотности атмосферы Венеры $\rho_{\text{атм}}$. В результате решения системы (1) получаем оптимальное значение количества винтов по критерию массы и прочности конструкции – $N_{\text{рот}}^{\text{opt}}$, которое будет использовано при решении системы (2), а также уравнения (3) при варьировании параметра $\rho_{\text{атм}}$.

В табл. представлены заданные параметры и результаты расчета.

Таблица

Заданные параметры и результаты расчета

Заданные параметры				
D_{max} , мм	h , м	n		$g_{\text{в}}$, м/с ²
		об/мин	1/с	
340	0,1	4900	82	8,87
Результаты расчета				
$N_{\text{рот}}^{\text{opt}}$, б/р		$r_{\text{в}}$, мм		$M_{\text{МРЛА}}$, кг
4		66		0,1 ... 4,5

Заключение

Приведена концепция исследования Венеры с помощью мультироторных летательных аппаратов, цели создания данной технической системы и задачи, которые она должна выполнить, находясь в атмосфере и на поверхности. Предложены варианты полезной нагрузки этого технического средства. Проиллюстрированы возможные варианты использования и схемы ввода в действие МРЛА на планете, показан характер движения в атмосфере, а также разработана компоновочная схема спускаемого аппарата с размещенными в нем МРЛА.

Список литературы

[1] Полищук Г. М., Пичхадзе К. М. Автоматические космические аппараты для фундаментальных и прикладных научных исследований. М. : МАИ-ПРИНТ, 2010. С. 17–306.
 [2] Яценко М. Ю., Воронцов В. А. Концепция исследования Венеры с помощью мультироторного летательного аппарата // Сборник избранных научных докладов по итогам XLVI Междунар. молодеж. науч. конф. «Гагаринские чтения». МАИ. 2020. С. 311–321.
 [3] «Венера-Д»: Расширяя горизонты наших представлений о климате и геологии планеты земного типа с помощью всестороннего изучения Венеры // Научно-технический отчет Объединенной научной рабочей группы (ОНРГ) по проекту «Венера-Д». 2019. 174 с.
 [4] Свердлов С. З. О компоновке многороторного беспилотного вертолета (мультикоптера) // Вестник Вологодского государственного университета. Серия «Технические науки». 2018. № 2. С. 20–24.
 [5] Воронцов В. А., Лохматова М. Г., Мартынов М. Б., Пичхадзе К. М., Симонов А. В., Хартов В. В., Засова Л. В., Зеленый Л. М., Кораблев О. И. Перспективный космический аппарат для исследования Венеры. Проект

- «Венера-Д» // Вестник «НПО им. С. А. Лавочкина». 2010. № 2. С. 62–67.
- [6] Лемешевский С. А., Графодатский О. С., Карчаев Х. Ж., Воронцов В. А. Космические аппараты для контактных исследований планеты Венера. Опыт и перспективы (к 80-летию НПО имени С. А. Лавочкина и 50-летию космического аппарата «Венера-4») // Вестник «НПО им. С. А. Лавочкина». 2017. № 2. С. 52–58.
- [7] Арзамасцев А. А., Крючков А. А. Математические модели для инженерных расчетов летательных аппаратов мультироторного типа (часть 1) // Вестник Тамбовского университета. Серия «Естественные и технические науки». 2014. Т. 19. № 6. С. 1821–1828.
- [8] Засова Л. В., Мороз В. И., Линкин В. М., Хатунцев И. В., Майоров Б. Строение атмосферы Венеры от поверхности до 100 км // Космические исследования. 2006. Т. 44. № 4. С. 381–400.
- [9] Свердлов С. З. Оптимальный вертикальный подъем электрического мультикоптера // Инженерный журнал: наука и инновации. 2016. Вып. 11. doi: 10.18698/2308-6033-2016-11-1551.
- [10] Косенкова А. В., Миненко В. Е., Агафонов Д. Н. Исследование баллистического режима спуска маневренного посадочного аппарата на поверхность Венеры // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2020. № 4. С. 42–60.

TO THE QUESTION OF INCLUDING ADDITIONAL TECHNICAL MEANS IN THE VENUS EXPLORATION PROGRAM

M. Yu. Yatsenko, V. A. Vorontsov

*Moscow Aviation Institute (National Research University),
Moscow, Russian Federation*

The current issue of expanding the scheme of the experiment for the contact research of Venus by including a multicopter aircraft as an additional technical means of research in a prospective expedition is considered. The concept is developed by the authors considers the possibility of creating and launching a multi-rotor aircraft (as a complex technical system) into the atmosphere of Venus in order to collect data on the composition and properties of the planet's atmosphere, as well as taking photos and videos of its surface. Such devices will operate for a certain time in the specified altitude levels (zones). The authors suggest mounting them in the descent vehicle. The article describes the goals of creating this technical system and the tasks that it should perform on the Venus. The paper illustrates the possible utilization options and schemes for putting a multicopter aircraft into operation in the atmosphere of the planet, the nature of its movement. As a module of the energy storage system, batteries are selected that will significantly improve the functioning of a multicopter aircraft and increase the duration of its motion in the atmosphere. The options for placing multicopter vehicles in the developed model of the base descent vehicle are shown, mass-dimensional parameters are estimated.

Keywords: Venus, multicopter aircraft, descent vehicle, Venusian spacecraft, technical means, scheme of the experiment.

References

- [1] Polishchuk G. M., Pichkhadze K. M. *Avtomaticheskie kosmicheskie apparaty dlya fundamental'nyh i prikladnyh nauchnyh issledovaniy* [Automatic space vehicles for fundamental and applied scientific research]. Moscow, MAI-PRINT, 2010, pp. 17–306. (In Russian)
- [2] Yatsenko M. Yu., Vorontsov V. A. *Koncepciya issledovaniya Venery s pomoshch'yu mul'tirotnogo letatel'nogo apparata* [The concept of exploring Venus with the help of a multi-rotor aircraft] // *Sbornik izbrannyh nauchnyh dokladov po itogam XLVI Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii «Gagarinskie chteniya»*, MAI, 2020, pp. 311–321. (In Russian)

- [3] Venera-D: Expanding our Horizon of Terrestrial Planet Climate and Geology through the Comprehensive Exploration of Venus» // Report of the Venera-D by Joint Science Definition Team, 2019, 174 p. (In Russian)
- [4] Sverdlov S. Z. *O komponovke mnogorotornogo bespilotnogo vertolet (mul'tikoptera)* [On the layout of a multi-rotor unmanned helicopter (multicopter)] // Bulletin of the Vologda State University, Series «Technical Sciences», 2018, no. 2, pp. 20–24. (In Russian)
- [5] Vorontsov V. A., Lohmatova M. G., Martynov M. B., Pichkhadze K. M., Simonov A. V., Khartov V. V., Zasova L. V., Zelenyi L. M., Korablev O. I. *Perspektivnyj kosmicheskij apparat dlya issledovaniya Venery. Proekt «Venera-D»* [Prospective spacecraft for the exploration of Venus. Project «Venera-D»] // Vestnik «NPO im. S. A. Lavochkin», 2010, no. 2, pp. 62–67. (In Russian)
- [6] Lemeshevsky S. A., Grafodatsky O. S., Karchaev Kh. Zh., Vorontsov V. A. *Kosmicheskie apparaty dlya kontaktnyh issledovanij planety Venery. Opyt i perspektivy (k 80-letiyu NPO imeni S. A. Lavochkina i 50-letiyu kosmicheskogo apparata «Venera-4»)* [Space vehicles for contact studies of the planet Venus. Experience and prospects (to the 80th anniversary of the NPO named after S. A. Lavochkin and the 50th anniversary of the Venera-4 spacecraft)] // Vestnik «NPO im. S. A. Lavochkin», 2017, no. 2, pp. 52–58. (In Russian)
- [7] Arzamastsev A. A., Kryuchkov A. A. *Matematicheskie modeli dlya inzhenernyh raschetov letatel'nyh apparatov mul'tirotnogo tipa (chast' 1)* [Mathematical models for engineering calculations of multicopter aircraft (part 1)] // Tambov University Reports. Series Natural and Technical Sciences, 2014, vol. 19, no. 6, pp. 1821–1828. (In Russian)
- [8] Zasova L. V., Moroz V. I., Linkin V. M., Khatuntsev I. V., Maiorov B. *Stroenie atmosfery Venery ot poverhnosti do 100 km* [The structure of the Venusian atmosphere from the surface to 100 km] // Cosmic Research, 2006, vol. 44, no. 4, pp. 381–400. (In Russian)
- [9] Sverdlov S. Z. *Optimal'nyj vertikal'nyj pod'em elektricheskogo mul'tikoptera* [Optimal vertical lift of an electric multicopter] // Engineering Journal: Science and Innovations, 2016, issue 11. doi: 10.18698/2308-6033-2016-11-1551. (In Russian)
- [10] Kosenkova A. V., Minenko V. E., Agafonov D. N. *Issledovanie ballisticheskogo rezhima spuska manevrennogo posadochnogo apparata na poverhnost' Venery* [Investigation of the ballistic mode of descent of a maneuverable lander on the surface of Venus] // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering, 2020, no. 4, pp. 42–60. (In Russian)

Сведения об авторах

Воронцов Виктор Александрович – доктор технических наук, профессор кафедр «Космические системы и ракетостроение» и «Системный анализ и управление» Института № 6 «Аэрокосмический» Московского авиационного института. Окончил Московский авиационный институт с отличием в 1975 году. Область научных интересов: проектирование автоматических космических аппаратов для исследования дальнего космоса.

Яценко Михаил Юрьевич – аспирант Института № 6 «Аэрокосмический» Московского авиационного института, специалист Московского авиационного института. Окончил Московский авиационный институт с отличием в 2021 году. Область научных интересов: проектирование и конструкция ракетно-космической техники.