

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 539.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-82-88>

## Совершенствование конструкции микродирижабля сельскохозяйственного назначения

*Д.В. Белов<sup>1</sup>, Н.Е. Кабдин<sup>2</sup>, С.А. Андреев<sup>3</sup>*<sup>1,2,3</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; Москва, Россия<sup>1</sup> [dmitri.belov@rgau-msha.ru](mailto:dmitri.belov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0009-0005-8015-2067><sup>2</sup> [energo-nek@rgau-msha.ru](mailto:energo-nek@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4104-4187><sup>3</sup> [energo-andreev@rgau-msha.ru](mailto:energo-andreev@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8608-9904>

**Аннотация.** Беспилотный летательный аппарат эффективен при мониторинге возделываемых территорий, мероприятиях по защите растений и наблюдениях за животными. В отличие от других летательных аппаратов беспилотный микродирижабль может совершать длительный полет при незначительном потреблении энергии. Недостатками используемых микродирижаблей являются громоздкость конструкции, зависимость подъемной силы от режимов работы двигателя, невысокая скорость снижения. Исследования проведены с целью совершенствования конструкции микродирижабля, заключающегося в снижении массы системы создания подъемной силы, повышении энергетической эффективности дирижабля и надежности солнечных батарей, обеспечении возможности вертикального маневрирования за счет энергосберегающего повышения и понижения температуры гелия, исключении зависимости работоспособности системы создания подъемной силы от режима работы движителя горизонтального перемещения, а также в снижении инерционности процесса создания подъемной силы. Предложено расположить фотоэлектрические элементы на внешней поверхности оболочки над экваториальной линией микродирижабля и использовать их с аккумуляторами в качестве элементов системы создания подъемной силы. Представлен алгоритм автоматического управления энергетическими потоками на микродирижабле. Предложено разместить термоэлектрические преобразователи, обеспечивающие нагрев или охлаждение гелия на внутренней поверхности оболочки. Рассмотрен принцип реверсирования полярности питаемого напряжения в соответствии с командой оператора и температурой между фотоэлектрическими элементами и термоэлектрическими преобразователями. Сделан вывод о возможности предотвращения перегрева фотоэлектрических элементов при высокой освещенности и значительной силе потребляемого тока за счет эффекта переноса тепловой энергии термоэлектрическими преобразователями. Энергосберегающий эффект достигается использованием электроэнергии исключительно на привод движителя горизонтального перемещения и на обеспечение переноса тепловой энергии термоэлектрическими преобразователями.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, микродирижабль, совершенствование конструкции микродирижабля, вертикальное маневрирование, нагрев или охлаждение гелия, фотоэлектрические элементы, термоэлектрические преобразователи

**Для цитирования:** Белов Д.В., Кабдин Н.Е., Андреев С.А. Совершенствование конструкции микродирижабля сельскохозяйственного назначения // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 1. С. 82-88. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-82-88>

## ORIGINAL ARTICLE

## Improving the design of micro-airship of an agricultural purpose

*D.V. Belov<sup>1</sup>, N.E. Kabdin<sup>2</sup>, S.A. Andreev<sup>3</sup>*<sup>1,2,3</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia<sup>1</sup> [dmitri.belov@rgau-msha.ru](mailto:dmitri.belov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0009-0005-8015-2067><sup>2</sup> [energo-nek@rgau-msha.ru](mailto:energo-nek@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4104-4187><sup>3</sup> [energo-andreev@rgau-msha.ru](mailto:energo-andreev@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8608-9904>

**Abstract.** The unmanned aerial vehicle is effective in monitoring cultivated areas, plant protection activities and animal observation. In contrast to other aircrafts, an unmanned micro-airship can perform a long flight with low energy consumption. The disadvantages of micro-airships include their bulky design, dependence of lift force on the engine operation modes, and small descent speed. The authors conducted research to improve the design

of a micro-airship. The list of measures includes reducing the mass of the lift generation system, increasing the energy efficiency of the airship and the reliability of solar batteries, ensuring vertical maneuvering through increasing energy-saving and decreasing in temperature of helium, excluding the dependence of the operability of the lift generation system on the operation mode of the horizontal movement engine, as well as reducing the inertia of lift generation. It is proposed to place photovoltaic elements on the outer surface of the shell above the equatorial line of the micro-airship and use them with accumulators as elements of the system of creating the lifting force. The article presents an algorithm for automatic control of energy flows on the micro-airship. The authors' idea is to place thermoelectric converters providing heating or cooling of helium on the inner surface of the shell. The article also highlights the principle of reversing the polarity of the supplied voltage in accordance with the operator's instruction and the temperature between photovoltaic elements and thermoelectric converters. The authors have found that it is possible to prevent overheating of photovoltaic elements at high illumination and significant current consumption due to the effect of thermal energy transfer by thermoelectric converters. The energy-saving effect is achieved by using electric power exclusively to drive the horizontal motion propeller and to ensure the transfer of thermal energy by thermoelectric converters.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, micro airship, micro airship design improvement, vertical maneuvering, heating or cooling of helium, photovoltaic elements, thermoelectric converters

**For citation:** Belov D.V., Kabdin N.E., Andreev S.A. Improving the design of micro-airship of an agricultural purpose. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(1):82-88 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-82-88>

### Введение

Эффективность сельскохозяйственных технологических процессов, связанных с мониторингом возделываемых территорий, мероприятиями по защите растений, наблюдениями за животными [1], можно существенно повысить за счет использования беспилотной авиации. В качестве средств беспилотной авиации используют многодвигательные коптеры, а в последнее время – беспилотные микродирижабли, характеризующиеся возможностью длительного полета при незначительном потреблении энергии [2, 3].

Вертикальное маневрирование микродирижаблей базируется на зависимости плотности гелия или воздуха от температуры [4, 5]. Одно из известных технических решений по изменению температуры рабочего тела основано на утилизации теплоты выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, обеспечивающих горизонтальное перемещение летательных аппаратов [6]. При этом управление вертикальным маневрированием достигается изменением направления потока выхлопных газов, а экстренное снижение – выводом нагретого воздуха через систему клапанов. Однако описываемая конструкция является довольно громоздкой, а развиваемая подъемная сила зависит от режимов работы двигателя, что требует дополнительного регулирования. Вторым недостатком летательного аппарата является небольшая скорость его снижения, а это в свою очередь существенно усложняет или исключает точное приземление микродирижабля на ограниченных площадях.

В практике дирижаблестроения получила распространение термобалансирующая конструкция [7], содержащая гондолу, движитель горизонтального

перемещения, систему создания подъемной силы, оболочку, солнечные батареи и аккумулятор. В этой конструкции система создания подъемной силы включает в себя компрессор, ресивер-теплообменник, тепловой насос и детандер, которые образуют замкнутый контур. Однако такому микродирижаблю также присущ ряд недостатков: повышенная масса ввиду наличия большого количества металлоемких элементов, низкая энергетическая эффективность движителя при его работе в режиме ветродвигателя и недостаточная надежность солнечных батарей вследствие возможного выхода их строя в результате перегрева. Кроме того, в микродирижабле не предусмотрено уменьшение температуры рабочего тела при необходимости снижения, а работоспособность системы создания подъемной силы находится в зависимости от режима работы движителя горизонтального перемещения. Наконец, процесс создания подъемной силы микродирижабля характеризуется высокой инерционностью вследствие локального нагрева внутреннего пространства с помощью ресивера-теплообменника.

**Цель исследований:** совершенствование конструкции микродирижабля, заключающееся в снижении массы системы создания подъемной силы, повышении энергетической эффективности дирижабля и надежности солнечных батарей, обеспечении возможности вертикального маневрирования за счет энергосберегающего повышения и понижения температуры гелия, исключении зависимости работоспособности системы создания подъемной силы от режима работы движителя горизонтального перемещения, а также в снижении инерционности процесса создания подъемной силы.

## Материалы и методы

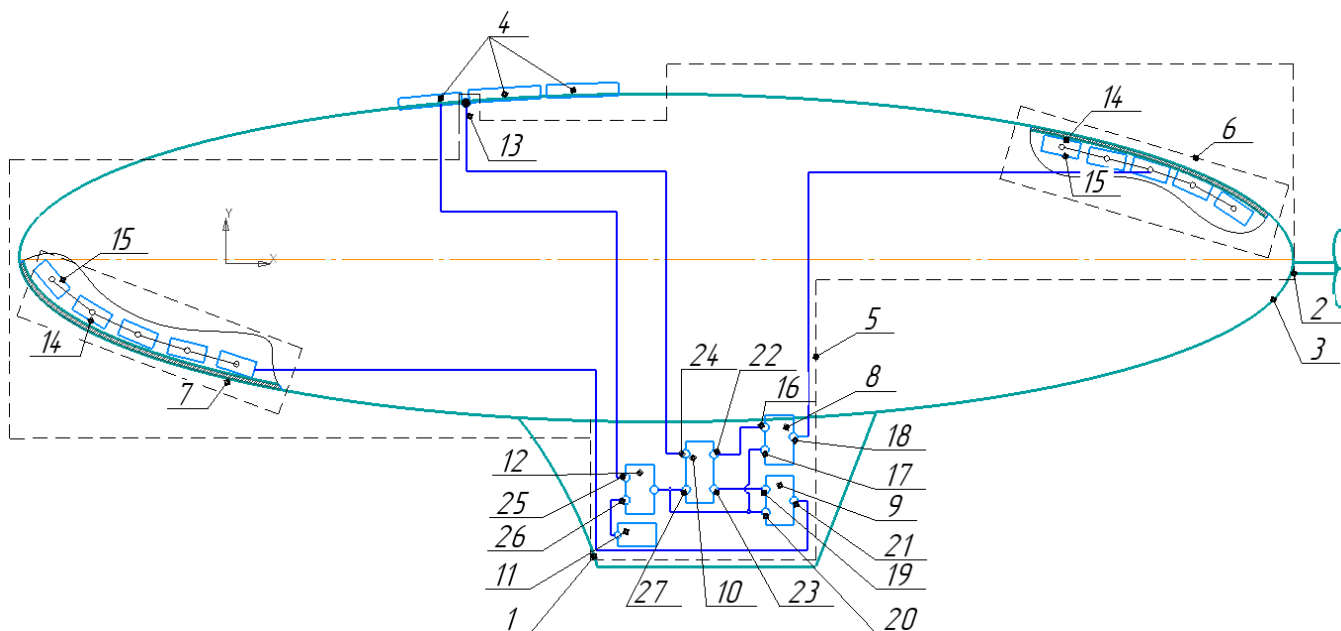
В качестве исходных материалов использованы сведения из классической теории аэродинамики, информация о свойствах полупроводниковых термоэлементов, а также теория замкнутых систем автоматического управления. При работе над совершенствованием конструкции микродирижаблей применялись методы индукции и аналогии.

## Результаты и их обсуждение

Проведенные изменения в конструкции микродирижабля были направлены на совершенствование автономной энергетической системы, реализуемой фотоэлектрическими элементами, термоэлектрическими преобразователями, аккумулятором, блоком управления и другим электрооборудованием. На рисунке 1 представлена схема размещения

используемого электрооборудования, а на рисунке 2 – расположение датчика температуры.

Гондola 1 представляет собой обтекаемую капсулу с низким коэффициентом лобового сопротивления в направлении горизонтального движения дирижабля [8]. Движитель 2 горизонтального перемещения расположен в хвостовой части микродирижабля. При использовании движителя 2 в виде двух и более тяговых устройств возможно их расположение на боковых внешних поверхностях оболочки 3. Оболочка 3 представляет собой форму вытянутого эллипсоида вращения, имеющего экваториальную линию<sup>1</sup>. В рабочем состоянии микродирижабля большая ось вытянутого эллипсоида вращения параллельна поверхности Земли. Внутреннее пространство микродирижабля ограничено оболочкой 3 и заполнено гелием. Расположение фотоэлектрических



**Рис. 1. Размещение электрооборудования на беспилотном микродирижабле:**

- 1 – гондola; 2 – движитель горизонтального перемещения; 3 – оболочка; 4 – фотоэлектрические элементы;
- 5 – система создания подъемной силы; 6, 7 – первый и второй блоки термоэлектрических преобразователей;
- 8, 9 – первое и второе коммутационные устройства; 10 – блок управления;
- 11 – аккумулятор электрической энергии; 12 – контроллер; 13 – датчик температуры;
- 14, 15 – первая и вторая рабочие поверхности блоков термоэлектрических преобразователей;
- 16, 17 – информационный и силовой входы первого коммутационного устройства;
- 18 – выход первого коммутационного устройства;
- 19, 20 – информационный и силовой входы второго коммутационного устройства;
- 21 – выход второго коммутационного устройства; 22, 23 – первый и второй выходы блока управления;
- 25, 26 – первый и второй входы контроллера; 27 – питающий вход блока управления

**Fig. 1. Electrical equipment layout in an unmanned micro-airship:**

- 1 – nacelle; 2 – horizontal travel propulsor; 3 – shell; 4 – photoelectric elements; 5 – lift generation system;
- 6 and 7 – first and second blocks of thermoelectric converters; 8 and 9 – first and second switching devices;
- 10 – control unit; 11 – electric energy accumulator; 12 – controller; 13 – temperature sensor;
- 14 and 15 – first and second working surfaces of thermoelectric converter units;
- 16 and 17 – information and power inputs of the first switching device; 18 – output of the first switching device

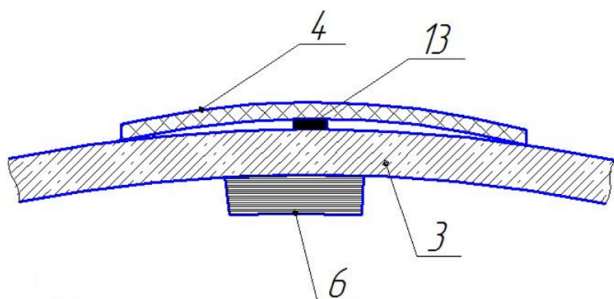
<sup>1</sup> Кирилин А.Н. Малоразмерные дирижабли. Конструкции и эксплуатация. М.: Изд-во МАИ, 2003. 115 с.

элементов 4 (солнечных батарей) на внешней поверхности оболочки 3, над экваториальной линией, объясняется значительно большей освещенностью верхней части микродирижабля по сравнению с нижней. Фотоэлектрические элементы 4 выполнены в форме пластин из монокристаллов кремния [9, 10], объединенных в модули с размерами  $156 \times 156$  и массой 7 г. В перспективе для микродирижаблей могут быть использованы тонкопленочные фотоэлектрические преобразователи на основе  $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$  (CZTS) [11].

Первый 6 и второй 7 блоки термоэлектрических преобразователей [12] установлены на внутренней поверхности оболочки 3. В качестве термоэлектрических преобразователей могут быть использованы элементы Ferrotec (Ferrotec 9500/127/120B) или Custom Thermoelectric (Custom Thermoelectric MRF92). Максимальная разность температур для этих элементов составляет  $70^\circ\text{C}$ , а максимальная мощность охлаждения ( $Q_{\text{max}}$ ) – 310 Вт.

При подаче постоянного электрического напряжения происходит разнозначное изменение температуры их противоположных поверхностей. Первое коммутационное устройство 8 обеспечивает прохождение электрического тока между его силовым входом 17 и выходом 18 при подаче сигнала на информационный вход 16, а второе коммутационное устройство 9 – прохождение электрического тока между его силовым входом 20 и выходом 21 при подаче сигнала на информационный вход 19. Рабочий диапазон параметрического датчика 13 температуры, установленного между оболочкой 3 и фотоэлектрическими элементами 4 (рис. 2), ограничен значениями  $35^\circ\text{C}$  и  $+80^\circ\text{C}$  [13].

Первая рабочая поверхность 14 блоков 6 и 7 термоэлектрических преобразователей обращена к внутренней поверхности оболочки 3, а вторая 15 – к внутреннему пространству дирижабля [14].



**Рис. 2. Расположение датчика температуры:**

3 – оболочка; 4 – фотоэлектрические элементы;  
6 – блок термоэлектрических преобразователей;  
13 – датчик температуры

**Fig. 2. Location of the temperature sensor:**

3 – shell; 4 – photovoltaic elements;  
6 – thermoelectric transducer unit; 13 – temperature sensor

Перед началом полета внутреннее пространство дирижабля, ограниченное оболочкой 3, заполняется гелием. В соответствии с законом Архимеда в дирижабле создается подъемная сила [15]. Система 5 создания подъемной силы обеспечивает вертикальное маневрирование дирижабля в зависимости от заданного режима полета блоком 10 управления с учетом температуры в области, находящейся между фотоэлектрическими элементами 4 и первым блоком 6 термоэлектрических преобразователей. Для обеспечения полета дирижабля по необходимой траектории используется движитель 2 горизонтального перемещения. Фотоэлектрические элементы 4, находясь под действием солнечного света, преобразуют световую энергию в электрическую. Эта энергия поступает на первый вход 25 контроллера 12. На второй вход 26 контроллера 12 поступает электрическая энергия от аккумулятора 11.

Алгоритм работы контроллера 12 записывается следующим образом:

$$\text{при } U_{\text{фэ}} - U_{\text{акк}} > 0, U_{\text{п}} = U_{\text{фэ}};$$

$$\text{при } U_{\text{фэ}} - U_{\text{акк}} \leq 0, U_{\text{п}} = U_{\text{акк}},$$

где  $U_{\text{фэ}}$  – напряжение, развиваемое фотоэлектрическими преобразователями, В;  $U_{\text{акк}}$  – напряжение на зажимах аккумулятора, В;  $U_{\text{п}}$  – напряжение, подаваемое на питающий вход 27 блока 10 управления, и силовые входы 17 и 20 коммутационных устройств 8 и 9.

Солнечная энергия, приходящаяся на поверхность оболочки дирижабля, помимо светового воздействия, вызывает повышение ее температуры. Одновременно с нагревом оболочки 3 происходит повышение температуры фотоэлектрических элементов 4. Кроме того, фотоэлектрические элементы 4 дополнительно прогреваются за счет протекания по ним электрического тока. С эксплуатационной точки зрения такой нагрев нежелателен, поскольку при высоком световом потоке и большой нагрузке возможен перегрев фотоэлектрических элементов 4, а это в свою очередь приводит к снижению их КПД или выходу из строя. Установленный на внутренней поверхности оболочки 3, над ее экваториальной линией, первый блок 6 термоэлектрических преобразователей при соответствующем включении обеспечивает отток тепловой энергии. Это происходит следующим образом.

Информация о температуре между фотоэлектрическими элементами 4 и первым блоком 6 термоэлектрических преобразователей поступает на информационный вход 24 блока 10 управления. При превышении измеряемой температуры заданного значения

блок 10 управления срабатывает и формирует команду в виде электрического сигнала на своем первом выходе 22. Сигнал подается на информационный вход 16 первого коммутационного устройства 8, обеспечивающего подачу электрической энергии от аккумулятора 11 через свой выход 18 к первому блоку 6 термоэлектрических преобразователей. Это сопровождается охлаждением первой рабочей поверхности 14 и нагревом второй рабочей поверхности 15 первого блока 6 термоэлектрических преобразователей. В соответствии с принципом действия термопар под влиянием приложенного к ним электрического напряжения происходит перенос тепловой энергии. В нашем случае перенос тепловой энергии происходит из пространства между фотоэлектрическими элементами 4 и первым блоком 6 термоэлектрических преобразователей во внутреннее пространство микродирижабля. За счет оттока тепловой энергии температура фотоэлектрических элементов 4 остается достаточно низкой.

При взлете дирижабля на выходах 22 и 23 блока 10 управления появляются электрические сигналы, поступающие на информационные входы 16 и 19 коммутационных устройств 7 и 9. Это приводит к подаче электрического напряжения на блоки 6 и 7 термоэлектрических преобразователей.

Первая рабочая поверхность 14 блоков 5 и 7 термоэлектрических преобразователей охлаждается, а вторая рабочая поверхность 15 этих блоков нагревается. Происходит перенос тепловой энергии из окружающей среды во внутреннее пространство микродирижабля. Температура гелия в пространстве дирижабля, ограниченного оболочкой 3, повышается, что приводит к уменьшению его плотности в соответствии с законом:

$$\rho_r = \frac{Pm}{RT},$$
 где  $P$  – давление, Па;  $m$  – молярная масса, кг;  $R$  – газовая постоянная,  $R = 8,31 \text{ Дж } K^{-1} \text{ моль}^{-1}$ ;  $T$  – температура газа, °К. В свою очередь, уменьшение плотности гелия определяет рост подъемной силы  $F = V \cdot (\rho_v - \rho_r)g$ , где  $V$  – объем внутреннего пространства микродирижабля,  $m^3$ ;  $\rho_v$  – плотность воздуха,  $kg/m^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $m/s^2$ .

При необходимости менее интенсивного нагрева гелия электрический сигнал появляется только на первом выходе 22 блока 10 управления. Этот сигнал поступает на информационный вход 16 первого коммутационного устройства 8 и вызывает подачу электрической энергии с его выхода 18 на первый блок 6 термоэлектрических преобразователей. В этом случае нагреву подвергается только рабочая поверхность 15 первого блока 6 термоэлектрических преобразователей, что приводит к менее интенсивному нагреву гелия.

Для быстрого снижения высоты полета или экстренного приземления микродирижабля полярность электрических сигналов, поступающих с первого выхода 22 и со второго выхода 23 блока 10 управления на информационный вход 16 первого коммутационного устройства 8 и на информационный вход 19 второго коммутационного устройства 9, меняется на противоположную. При этом изменяется полярность электрического напряжения, поступающего с выхода 18 первого коммутационного устройства 8 и с выхода 21 второго коммутационного устройства 9 на первый блок 6 и второй блок 7 термоэлектрических преобразователей. Первые рабочие поверхности 14 первого блока 6 и второго блока 7 термоэлектрических преобразователей нагреваются, а вторые рабочие поверхности 15 первого блока 6 и второго блока 7 термоэлектрических преобразователей охлаждаются. Происходит перенос тепловой энергии из внутреннего пространства микродирижабля, ограниченного оболочкой 3, в окружающую среду. Температура гелия снижается, его плотность возрастает, и подъемная сила уменьшается.

Аналогично при необходимости медленного снижения микродирижабля включается только второй блок 7 термоэлектрических преобразователей. При этом первая рабочая поверхность 14 второго блока 7 термоэлектрических преобразователей нагревается, а вторая рабочая поверхность 15 охлаждается.

Таким образом, система 5 создания подъемной силы осуществляет нагрев или охлаждение гелия в объеме, ограниченном оболочкой 3, за счет переноса тепловой энергии из внешней среды во внутреннее пространство микродирижабля или из этого пространства во внешнюю среду. Эффект энергосбережения достигается за счет затрат электроэнергии исключительно на обеспечение работоспособности термоэлектрических преобразователей. Кроме того, первый блок 6 термоэлектрических преобразователей обеспечивает отвод тепловой энергии от фотоэлектрических элементов 4, предотвращая их перегрев при ярком солнце и значительном потребляемом токе.

Очевидным преимуществом конструкции является независимость работоспособности используемого в ней механизма создания подъемной силы от тепловой энергии выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания, часто применяемых для горизонтального перемещения. Незначительное увеличение массы микродирижабля, обусловленное наличием фотоэлектрических элементов 4, компенсируется существенным увеличением объема электрической энергии, получаемой в результате преобразования солнечной энергии в светлое время суток. Благодаря

размещению блоков термоэлектрических преобразователей 6 и 7 на всей внутренней поверхности оболочки 3 снижается инерционность изменения температуры гелия, что сокращает продолжительность вертикального маневрирования микродирижабля.

### Выводы

1. Перспективным направлением совершенствования микродирижаблей сельскохозяйственного назначения является повышение их энергетической

эффективности посредством размещения фотоэлектрических элементов на внешней поверхности оболочки выше экваториальной линии.

2. Термоэлектрические преобразователи, установленные на внутренней поверхности оболочки микродирижабля, позволяют снизить массу и инерционность системы создания подъемной силы, а также повысить надежность фотоэлектрических элементов за счет предотвращения их перегрева.

### Список источников

1. Огородников П.И., Усик В.В., Лизнева И.А. Эффективность сельскохозяйственных авиационно-химических работ // Вестник Оренбургского государственного университета. 2006. № 2-1 (52). С. 103-105. EDN: JVGSIR
2. Чуба А.Ю., Чуба А.Ю. Использование беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (77). С. 161-163. EDN: XDBPPB
3. Weiyu Zhu, Yuanming Xu, Huafei Du, Jun Li. Thermal performance of high-altitude solar powered scientific balloon. *Renewable Energy*. 2019;135:1078-1096. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.083>
4. Liu Q., Yang Y., Cui Y., Cai J. Thermal performance of stratospheric airship with photovoltaic array. *Advances in Space Research*. 2017;59(6):1486-1501. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.12.029>
5. Du H., Lyu M., Yu C., Wu Y., Wu Y., Sun K. Numerical simulation of fluid-thermal-structural coupling characteristics of stratospheric non-rigid airship. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2024;37(9):224-236. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2024.05.027>
6. Дирижабль: Патент RU2580385 C1, МПК B61B1/36 (2006.01) / Ю.А. Щепочихина; Заяв. № 2015107133/11 от 02.03.2015, опублик. 10.04.2016, Бюл. № 10. EDN: BRBSMQ
7. Термобалансируемый дирижабль: Патент RU2457149 C2, МПК B64B1/06 (2006/01), B64B1/62, (2006/01) / А.Л. Шпади, И.И. Калалетдинов; Заяв. 2010127017/11 от 01.07.2010, опублик. 27.07.2012, Бюл. № 21. EDN: QWRIKU
8. Биматов В.И., Куденцов В.Ю., Трушляков В.И. Методика экспериментального определения коэффициента силы лобового сопротивления неустойчивых в полете тел // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. 2022. № 75. С. 67-72. EDN: YXWEXE
9. Исса Х.А., Абдали Л.М., Якимович Б.А. и др. Сравнение эффективности различных методов управления энергетическими параметрами фотоэлектрических систем // Труды МАИ. 2023. № 128. <https://doi.org/10.34759/trd-2023-128-17>
10. Yi Jiang, Mingyun Lv, Kangwen Sun. Effects of installation angle on the energy performance for photovoltaic cells during airship cruise flight. *Energy*. 2022;258:124982. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124982>
11. Chander S., Tripathi S.K., Kaur I., Arijit K.De. Non-toxic and earth-abundant Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> (CZTS) thin film solar cells: A review on high throughput processed methods. *Materials Today Sustainability*. 2024;25:100662. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100662>
12. Анатычук Л.И. Современное состояние и некоторые перспективы термоэлектричества // Термоэлектричество. 2007. № 2. С. 7-20. EDN: NUYCEB
13. Белов Д.В., Андреев С.А. Расчет скорости нагрева гелия в рабочей камере дирижабля // Современные

### References

1. Ogorodnikov P.I., Usik V.V., Lizneva I.A. Efficiency of agricultural aircraft-chemical works. *Vestnik Orenburgskogo Gosudarstvennogo Universiteta*. 2006;2-1:103-105. (In Russ.)
2. Chuba A.Yu., Chuba A.Yu. The use of unmanned aircraft systems in agriculture. *Izvestiya Orenburgskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2019;3(77):161-163. (In Russ.)
3. Weiyu Zhu, Yuanming Xu, Huafei Du, Jun Li. Thermal performance of high-altitude solar powered scientific balloon. *Renewable Energy*. 2019;135:1078-1096. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.12.083>
4. Liu Q., Yang Y., Cui Y., Cai J. Thermal performance of stratospheric airship with photovoltaic array. *Advances in Space Research*. 2017;59(6):1486-1501. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2016.12.029>
5. Du H., Lyu M., Yu C., Wu Y., Wu Y., Sun K. Numerical simulation of fluid-thermal-structural coupling characteristics of stratospheric non-rigid airship. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2024;37(9):224-236. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2024.05.027>
6. Shchepochikhina Yu.A. Airship: Patent of the Russian Federation No. 2580385, IPC B61B1 / 36 (2006.01). Application No. 2015107133/11. 2016. (In Russ.)
7. Shpadi A.L., Kalaletdinov I.I. Thermobalanced dirigible: Patent No. 2457149 Russian Federation, IPC B64B1/06 (2006/01), B64B1/62, (2006/01). Application 2010125017/11. 2012. (In Russ.)
8. Bimatov V.I., Kudentsov V.Yu., Trushlyakov V.I. Technique for the experimental determination of the force coefficient of the frontal co-resistance of unstable in flight bodies. *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*. 2022;75:67-72. (In Russ.)
9. Issa H.A., Abdali L.M., Yakimovich B.A. et al. Comparison of the efficiency of various methods for controlling the energy parameters of photovoltaic systems. *Trudy MAI*. 2023;128;17. (In Russ.)
10. Yi Jiang, Mingyun Lv, Kangwen Sun. Effects of installation angle on the energy performance for photovoltaic cells during airship cruise flight. *Energy*. 2022;258:124982. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124982>
11. Chander S., Tripathi S.K., Kaur I., Arijit K.De. Non-toxic and earth-abundant Cu<sub>2</sub>ZnSnS<sub>4</sub> (CZTS) thin film solar cells: A review on high throughput processed methods. *Materials Today Sustainability*. 2024;25:100662. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2023.100662>
12. Anatychuk L.I. Current state and some prospects of thermoelectricity. *Termoelektichestvo*. 2007;2:7-20. (In Russ.)
13. Belov D.V., Andreev S.A. Calculation of the heating rate of helium in the working chamber of the airship. *Modern energy-saving thermal and heat-mass-volume technologies (drying and mass-exchange processes) SETMT 2023, VIII International Scientific and Practical Conference, Moscow: October 17-19, 2023*. Pp. 327-330. (In Russ.)

энергосберегающие тепловые и массообменные технологии (сушка, тепловые и массообменные процессы) СЭТМТ-2023: Сборник научных трудов Восьмой Международной научно-практической конференции, Москва, 17-19 октября 2023 г. М.: ООО «Мегаполис», 2023. С. 327-330. EDN: ICQYMA

14. Дирижабль: Патент RU2751924 C1, МКП B64B1/06 (2006.01), МКП B64B1/62 (2006.01), МКП H01135/40 (2006.01) / Д.В. Белов, С.А. Андреев; Заяв. № 2020136535 от 11.01.2021, опубл. 10.07.2021, Бюл. № 20. EDN: XCESVN

15. Bhat S.S., Anavatti S.G., Garratt M., Ravi S. Review of autonomous outdoor blimps and their applications. Drone Systems and Applications. 2024;12:1-21. <https://doi.org/10.1139/dsa-2023-0052>

### Информация об авторах

<sup>1</sup>Белов Дмитрий Владимирович, аспирант; SPIN-код: 6722-9029, AuthorID: 1189250; [dmitri.belov@rgau-msha.ru](mailto:dmitri.belov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0009-0005-8015-2067>

<sup>2</sup>Кабдин Николай Егорович, канд. техн. наук, доцент; SPIN-код: 7014-5110, AuthorID: 761582; [energo-nek@rgau-msha.ru](mailto:energo-nek@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4104-4187>

<sup>3</sup>Андреев Сергей Андреевич, д-р техн. наук, доцент; SPIN-код: 8453-6024, AuthorID: 701225; [asa-finance@yandex.ru](mailto:asa-finance@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8608-9904>

<sup>1,2,3</sup>Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

### Вклад авторов

Д.В. Белов – концептуализация (формулирование идеи снижения массы системы создания подъемной силы и повышении энергетической эффективности дирижабля посредством изменения температуры гелия, а также исключения зависимости работоспособности системы создания подъемной силы от режима работы двигателя горизонтального перемещения).

Н.Е. Кабдин – визуализация и разработка программного обеспечения (разработка и описание функциональной схемы управляющего устройства и схемы размещения элементов электрооборудования, разработка алгоритма работы контроллера).

С.А. Андреев – администрирование данных (деятельность по аннотированию), создание черновика рукописи, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 09.08.2024, после рецензирования и доработки 26.08.2024; принята к публикации 28.08.2024.

14. Belov D.V., Andreev S.A. Airship: Patent No. 2751924 Russian Federation, IPC B64B1/06 (2006.01), IPC B64B1/62 (2006.01), IPC H01135/40 (2006.01). Application No. 2020136535. 2021. (In Russ.)

15. Bhat S.S., Anavatti S.G., Garratt M., Ravi S. Review of autonomous outdoor blimps and their applications. Drone Systems and Applications. 2024;12:1-21. <https://doi.org/10.1139/dsa-2023-0052>

### Author Information

<sup>1</sup>Dmitriy V. Belov, PhD student; [dmitri.belov@rgau-msha.ru](mailto:dmitri.belov@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0009-0005-8015-2067>

<sup>2</sup>Nikolay E. Kabdin, CSc (Eng), Associate Professor; [energo-nek@rgau-msha.ru](mailto:energo-nek@rgau-msha.ru); <https://orcid.org/0000-0002-4104-4187>

<sup>3</sup>Sergey A. Andreev, DSc (Eng), Associate Professor; [asa-finance@yandex.ru](mailto:asa-finance@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8608-9904>

<sup>1,2,3</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

### Author Contribution

D.V. Belov – conceptualization;

N.E. Kabdin – visualization and software development;

S.A. Andreev – data administration, writing – original draft preparation, review and editing of the manuscript.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism.

Received 09.08.2024; Revised 26.08.2024; Accepted 28.08.2024