

**О МЕТОДЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОСАДКИ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ЛЕГКОГО ТИПА**

Гукасян К.А., Багдасарян А.С.

Ключевые слова: Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), амортизационная подушка, парашют, посадка, круглый купол, компрессор.

Ghukasyan K.H., Baghdasaryan A.S.
One optimal way of the project of the light U.A.Vs landing system

Key words: Unmanned aerial vehicles (UAVs), shock-absorbing cushion, parachute, landing, round dome, compressor.

This study focuses on improving the landing system of lightweight UAVs (5 to 15 kg), which consists of a parachute and an amortization cushion.

It was determined that a circular parachute with an umbrella-shaped canopy and a 180 mm diameter hole in the center is preferable. The hole is designed to stabilize the parachute's motion after deployment and ensure a stable vertical descent and landing.

The developed amortization cushion is a rectangular inflatable cushion 40 cm high, supplemented by cylindrical sleeves. Optimal parameters for the cushion and additional sleeves were selected.

**Թեթև տեսակի անօդաչու թռչող ապարատների վայրէջքային համակարգի
օպտիմալ նախագծման մի եղանակի մասին**

Դուկասյան Կ.Հ., Բաղդասարյան Ա.Ս.

Հիմնաբաներ՝ Անօդաչու թռչող սարքեր (ԱԹՍ), հարվածամեղմիչ բարձիկ, պարաշյուտ, վայրէջքի հարթակ, կլոր գմբեթ, կոմպրեսոր:

Ghukasyan K.H., Baghdasaryan A.S.
One optimal way of the project of the light U.A.Vs landing system

This study focuses on improving the landing system of lightweight UAVs (5 to 15 kg), which consists of a parachute and an amortization cushion.

It was determined that a circular parachute with an umbrella-shaped canopy and a 180 mm diameter hole in the center is preferable. The hole is designed to stabilize the parachute's motion after deployment and ensure a stable vertical descent and landing.

The developed amortization cushion is a rectangular inflatable cushion 40 cm high, supplemented by cylindrical sleeves. Optimal parameters for the cushion and additional sleeves were selected.

Работа посвящена усовершенствованию посадочной системы легких БПЛА (от 5 до 15 кг), составными элементами которой являются парашют и амортизационная подушка.

Установлено, что целесообразно использовать парашют круглой формы, имеющий зонтообразный купол, в центре которого проделано отверстие диаметром 180 мм. Последнее предназначено для стабилизации качки парашюта после его раскрытия и устойчивого вертикального снижения и посадки.

Разработанная амортизационная подушка представляет собой прямоугольную надувную подушку высотой 40 см, которая дополнена цилиндрическими рукавами. Выбраны оптимальные параметры подушки и дополнительных рукавов.

Введение

Авиация в последние годы становится все в большей степени беспилотной. Развитие современных технологий в области аэродинамики, композитных материалов, инерциальных и спутниковых навигационных систем, достижения в области электроники, а также развитие робототехники и компьютерных технологий позволило выйти на качественно новый уровень в создании беспилотных авиационных систем (БАС).

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) как часть БАС уже нашли свое место в современной деятельности человечества. Среди приоритетных направлений — оборона и спасательные операции, правоохранительная и природоохранная деятельность, научные исследования, экологический мониторинг и др.

Для военных БПЛА можно выделить следующие основные задачи:

1. *Разведывательные:*

- разведка наземных, воздушных, морских целей, разведка местности;
- радиационная, химическая и биологическая разведка;
- радиотехническая разведка (сбор разведывательной информации на основе приема и анализа электромагнитного излучения).

2. *Огневые (ударные):*

3. *Задачи, обеспечивающие:*

- создание радиопомех противнику;
- управление огнем и целеуказание наземным, воздушным и морским огневым средствам;
- оценку результатов нанесенных по противнику ударов;
- ретрансляцию сообщений и данных;
- транспортные задачи.



(а)



(б)



(в)

Рис. 1. Различные типы старта БПЛА самолетного типа:

а) запуск с катапульты; б) запуск "с руки"; в) запуск с пусковой установки.

Ниже приводятся некоторые сведения о состоянии обсуждаемого здесь вопроса.

Известно, что для аппаратов самолетного типа с шасси обычно необходима взлетно-посадочная полоса (ВПП). Для некоторых типов БПЛА без шасси при взлете используют стартовые катапульты (рис. 1а), пусковые устройства (рис. 1в). Есть также самолетные БПЛА легкого класса, запускаемые "с руки" (рис. 1б) [2].

Посадка БПЛА самолетного типа без шасси осуществляется с помощью парашюта, а более безопасную посадку обеспечивает еще и соединенная с фюзеляжем снизу амортизационная подушка.

На рисунке 2 показана посадка БПЛА с двух ракурсов, для наглядного представления парашюта и амортизационной подушки в действии.

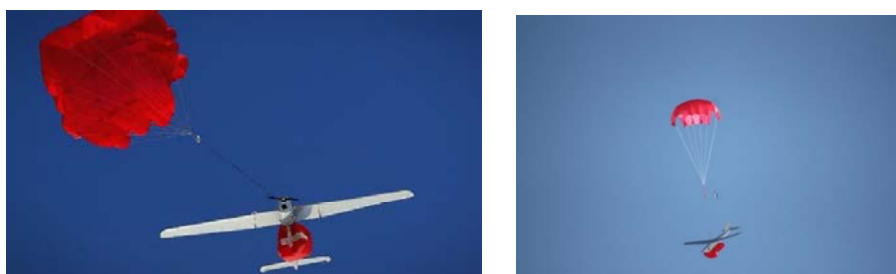


Рис. 2. Посадка БПЛА самолетного типа.

Система, предназначенная для безопасного приземления БПЛА легкого типа (с весом до 15 кг), включается в работу, когда оператор переводит БПЛА в режим посадки.

С помощью специальных механизмов (сервомашинки) открывается клапан конического контейнера, где находится парашют (рис. 3). В результате воздействия собственного веса и ветра контейнер отделяется от самолета и начинает падать вниз. Парашют постепенно (в течение 1-2 секунд) наполняется воздухом, а его конический контейнер с помощью веревки остается на куполе парашюта [3].



Рис. 3. Соединение контейнера парашюта с фюзеляжем

В посадочных системах для БПЛА без шасси т.е. с вертикальной посадкой используются парашюты, которые бывают крыльевидные, прямоугольные и с круглым куполом (рис. 4а, 4б, 4в).



(а)



(б)



(в)

Рис. 4. Типы парашюта:

а) - крыльевидный б) - прямоугольный в) - с круглым куполом.

Кроме парашютов на БПЛА при посадке, как отмечалось выше, применяют и надувные подушки (амортизационные подушки), которые, в свою очередь, тоже смягчают приземление БПЛА и предотвращают повреждение планера и оборудования. Амортизационная подушка (рис. 5) представляет собой сшитую из нейлонового материала многослойную подушку. Она находится в сложенном виде в специальном контейнере, находящемся внутри фюзеляжа БПЛА



Рис. 5. Амортизационная подушка во время посадки БПЛА.

Применение подушки было вызвано тем, что при посадках с применением только парашютов происходили множественные повреждения частей и агрегатов БПЛА. Обычно применяется шарообразная подушка с диаметром от 70 см и более, в зависимости от типа БПЛА, изготовленная из ткани толщиной 0,5 мм и с редкой плотностью плетения. Отметим, что применение шарообразных подушек для посадки БПЛА имеет ряд недостатков, так как при ударе о поверхность площадки зачастую происходит перекачивание БПЛА и вследствие этого все равно повреждений было не избежать, особенно при скоростях ветра от 3-5 м/сек [4]. В таких случаях, при ударе о землю, БПЛА повторно отскакивает вверх и той или иной частью ударяется о поверхность площадки и получает повреждение.

Бывают случаи, когда при ударе о землю БПЛА отскакивает вверх и, вследствие наличия еще и горизонтальной скорости, переворачивается на 180^0 вокруг горизонтальной оси и, ударяясь о землю, получает повреждения.

Изложенное выше указывает на то, что посадочные системы БПЛА легкого типа имеют ряд недостатков. В частности:

- при выполнении посадки данный вид парашюта в раскрытом положении находится под воздействием воздушных потоков и ветра, в результате чего движение в горизонтальной плоскости прямо зависит от направления и скорости ветра (имеет некоторое сопротивление ветру и небольшое его изменение ведет к нарушению устойчивого снижения на посадку),
- сшитая из тонкой ткани и имеющая шарообразную форму амортизационная подушка легко разрушается, рвется и мало обеспечивает безопасную посадку БПЛА, особенно при неустойчивом ветре.

Цель настоящей работы заключается в усовершенствовании посадочных систем БПЛА легкого типа.

Для достижения этой цели были решены следующие основные задачи: обработка и усовершенствование парашюта и амортизационной подушки.

На основе сравнительного анализа имеющихся данных, в проведенных исследованиях нами был выбран парашют с круглым куполом, так как данный тип купола в раскрытом положении имеет нейтральное состояние по отношению к воздушному потоку. Это означает, что движение такого парашюта зависит, в основном, от направления воздушного потока (мало сопротивляется ветру).

Предлагаемая посадочная система присоединяется к самолету (БПЛА) в центре его тяжести, где расположен специальный узел крепления. Парашют со стропами помещается в контейнер конической формы в задней части фюзеляжа самолета (рис. 3).

Места установки контейнера с парашютом и узла крепления парашюта с самолетом выбраны таким образом, чтобы при раскрытии парашюта БПЛА принудительно поворачивался вокруг горизонтальной оси на 180^0 (самолет вертикально снижается в перевернутом положении, чтобы избежать повреждений элементов конструкции и оборудования, расположенного под ним) и выполняет посадку на «спину».

При проведении исследований было установлено, что парашюту с круглым куполом еще большую устойчивость можно придать, если в центре его купола проделать отверстие диаметром 180 мм (рис. 6).

В связи со сказанным отметим, что выбранные для БПЛА первые парашюты были круглыми. Они просты в конструкции, надежны при эксплуатации и безопасны. Купола парашютов имели форму полусферы, по нижней кромке прикреплены

стропы, на которых висел парашютист и/или груз, а в вершине купола было проделано полюсное отверстие с диаметром 180 мм [5].

Круглые парашюты уменьшают скорость падения исключительно за счёт сопротивления воздуха. При снижении парашютиста во внутренний объем купола заходит воздух и создается избыточное давление. Далее этот воздух должен куда-то деваться. Незначительная его часть просачивается сквозь ткань купола. Остальной воздух выходит из-под кромки, поочередно с разных сторон, раскачивая купол. Раскачивание купола — нежелательное побочное явление, которое может привести к приземлению парашютиста или груза на увеличенной скорости снижения. Для устранения раскачки, как уже отмечалось, на вершине купола делается полюсное отверстие, через которое выходит значительная часть воздуха. Диаметр отверстия купола парашюта может изменяться в зависимости от веса БПЛА и скорости вертикального снижения.



Рис. 6. Парашют с круглым куполом.

Расчет парашюта

Площадь парашюта [6] определяется согласно формуле

$$S = \frac{2mg}{C_d \rho V_y^2}, \text{ м}^2 \quad (1)$$

где

m - вес БПЛА, кг,

g - ускорение свободного падения, м/сек²,

C_d - коэффициент сопротивления парашюта воздуху,

ρ - плотность воздуха, кг/м³,

V_y - вертикальная скорость парашюта при посадке, м/сек.

При проведении экспериментов были использованы значения $m = 5 \div 15$ кг ;

$C_d = 0.75$ [6]; $\rho = 1.2041$ кг/м³ (в нормальных сухих условиях при $T = +20^\circ \text{C}$);

$V_y = 3 \div 5$ м/сек .

Эксперименты проводились в 3 этапа, где были выбраны:

- $V_y = 3$ м/сек, $m = 5$ кг, $m = 10$ кг, $m = 15$ кг.
- $V_y = 4$ м/сек, $m = 5$ кг, $m = 10$ кг, $m = 15$ кг.
- $V_y = 5$ м/сек, $m = 5$ кг, $m = 10$ кг, $m = 15$ кг.

При проведении испытательных работ, мы пришли к выводу, что для БПЛА с весом 5,10 и 15 кг необходим парашютный купол с площадью не менее 5.5 м^2 .

С другой стороны, $S = \pi(R^2 - r^2), \text{ м}^2$

где R - радиус купола, r - радиус центрального отверстия купола, величина которого уже была указана выше: 90 мм.

Согласно данным проведенных расчетов в данном случае получается, что $R = 1.32 \text{ м}$.

Обычно длина парашютных веревок [6] выбирается согласно формуле

$$L = (0.8 \div 1.2) D, \text{ м} \quad (2)$$

где D - диаметр купола, величина которого в рассматриваемом случае составляет $D = 2.64 \text{ м}$.

Был выбран $L = 0.83D$.

При скоростях ветра от 3 до 5 м/с и, согласно формуле (2), будут применяться стропы длиной 2.2 м.

Длина переходных тросов была взята 30 см. Общая длина веревки получается $L_{об} = 2.5 \text{ м}$.

Итак, составные части парашюта, это купол в форме зонтика (с площадью $S = 5.5 \text{ м}^2$) (рис. 7), веревки, в количестве 12 штук, длина каждой составляет 2.2 м (рис. 8), переходные тросы, в количестве 2 штук (рис. 9).



Рис. 7. Парашют в закрытом положении.

Теперь обсудим вопрос оптимизации второго элемента системы приземления БПЛА – амортизационной подушки.

В этом случае заменен материал поверхности подушки. Был выбран прочный нейлоновый материал толщиной уже 0.8 мм, в отличие от используемой 0.5 мм.



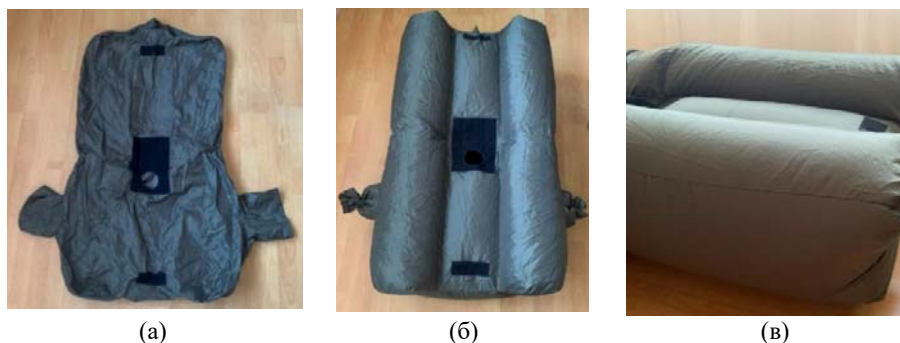
Рис. 9. Переходные тросы парашюта.

Были изменены геометрический вид и размеры подушки. Круглая форма была заменена на прямоугольную, высота надутой подушки составляет 40 см.

На рис. 10а показана ненадутая подушка, на которой видны наклейки и отверстие для накачки воздухом.

На рис. 10б показана не полностью надутая подушка, где видны внутренние швы.

На рис. 10в уже показано полностью надутое состояние подушки, где видна толщина подушки.



(а)

(б)

(в)

Рис. 10. Предлагаемая амортизационная подушка:

а) ненадутая; б) не полностью надутая; в) полностью надутая.

В центре разработанной подушки предусмотрено отверстие диаметром 80 мм, через которое она соединяется с электрическим двигателем винтового компрессора. Внутри вшиты перегородки, на которых сделаны по три 70 миллиметровых отверстия, предназначенные для проникновения воздуха при надувании подушки.

Во время удара о землю, из-за дополнительных перегородок внутри подушки, воздух не сразу выдавливается из подушки.

Таким образом, геометрические параметры амортизационной подушки были выбраны следующими: длина - 120 см, ширина – 70 см, высота – 40 см (когда подушка полностью наполнена воздухом). Проведенные исследования показали, что выбранные геометрические параметры подушки обеспечивают полный обхват верхней части фюзеляжа при приземлении самолета.



Рис. 8. Веревки парашюта.

На рис. 10б видны дополнительные трубчатые крылья подушки, необходимость которых была выявлена при проведении экспериментов. В частности, исследуя процесс приземления, было выявлено, что во время удара самолета (БПЛА) о землю происходит 2-3 вертикальных прыжка. Несмотря на то, что колебания этих прыжков затухающие, самолет зачастую получал некоторые повреждения.

Следуя вышеуказанному, было принято решение, направленное на усовершенствование амортизационной подушки. В его конструкцию были добавлены дополнительные трубчатые рукава (крылья) для выпуска воздуха. Они предназначены для постепенного выбрасывания в атмосферу накопившегося дополнительного давления воздуха в подушке, которое возникает в ней при ударе БПЛА о поверхность площади.

Концы трубчатых рукавов закрываются обычными резинками. При ударе о землю, благодаря возникшему при этом избыточному давлению в подушке, резинки отскакивают с рукавов, и давление в ней, с определенной скоростью, высвобождается и повторного отскока летательного аппарата от земли не происходит.



Рис. 11. Электрический винтовой приводной компрессор.

Трубчатые крылья подушки представляют собой цилиндры, которые в данном случае имеют диаметр 23 см и длину 17 см.

Внутри фюзеляжа БПЛА находится электрический винтовой приводной компрессор (рис. 11), который питается от батареи самолета.

При проведении экспериментов выяснилось, что во время посадки подушка надувается воздухом в течение 10-12 секунд.

Электрический компрессор продолжает работать пока БПЛА не коснется земли.

Заключение

Для посадочной системы БПЛА был выбран парашют с круглым куполом и экспериментально установлено, что большую устойчивость парашюту можно придать, если в центре купола будет проделано отверстие определенного диаметра.

В результате проведения сравнительного анализа соответствующих данных был выбран парашют (с оптимальными параметрами) и амортизационная подушка.

Показано, что амортизационная подушка обязательно должна иметь внутренние перегородки и дополнительные боковые цилиндрические трубки (крылья), оптимальные параметры которых были выбраны в результате проведенных экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Միօղաշու թռչող սարքերի և FPV դրոնների ղեկավարման դասընթաց: VORON FPV ցրոյէկտ:, Երևան, 2023 թ., 102 էջ:
2. Корнеев В.М. Особенности конструкции и эксплуатации беспилотных летательных аппаратов самолетного типа. 2019 г. – 284 стр.
3. Рэндал У. Биард, Тимоти У. МакЛэйн, Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Техносфера Москва 2015. – 312 стр.
4. Адамян Г.А. Беспилотные авиационные системы: конспект лекций /Г.А. Адамян. – Ер.: ИИО ВАУ, 2020 – 172 стр.
5. <https://aviatus.ru/parachuting/parachutes/round/>
6. Лялин В.В. Парашютные системы. Проблемы, методы и решения.-Москва, 2009. – 575 стр.

Сведения об авторах:

Гукасян Карен – магистр инженерии, Военная академия МО РА им. В. Саргсяна. Начальник авиационного факультета института ВВС им. Маршала А. Ханферянца, полковник, тел.: (+37493) 39-39-71, email: karghukasyan77@mail.ru

Багдасарян Армине – канд., техн., наук, доцент, научный сотрудник Института механики НАН РА, Тел.: (+37493)80-60-11,

email: armine.baghdasaryan.2020@gmail.com

Поступила в редакцию 16 октября 2025