

К вопросу использования аэростатной системы воздушного заграждения для защиты особо важных гражданских и промышленных объектов

А.В. Абузов¹, А.В. Ермаков²

¹Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск

²Тихоокеанский научно-производственный центр прогрессивных технологий,
г. Хабаровск

Аннотация: В данной статье освещены теоретические результаты аналитических исследований в области применения привязных аэростатов в качестве носителей сетей заграждения, которые можно применять, как пассивную защиту особо важных гражданских и промышленных объектов от беспилотных летательных аппаратов и других низколетящих средств воздушного нападения. Приведена схема аэростатной системы заграждения, теоретически способная противодействовать средствам воздушного нападения. Приведены элементы методики определения вероятности поражения летательных аппаратов от средств воздушного заграждения тросового типа.

Ключевые слова: аэростатная система воздушного заграждения, беспилотные летательные аппараты, привязные аэростаты, воздушная защита наземных объектов.

В настоящее время вопросы применения беспилотных летательных аппаратов в различных областях деятельности человека постепенно смещаются в направлении поиска актуальных методов и средств защиты от применения их в качестве средств воздушного нападения на ключевые и особо важные гражданские и промышленные объекты [1, 2].

Наравне с активными средствами радиоэлектронной борьбы, изучаются и отдельные вопросы пассивного механического воздействия на конструкции летательных аппаратов с помощью высотных средств заграждения, например, таких, как привязные аэростаты, способные поднимать и удерживать систему воздушного заграждения, представленную сетью из вертикальных и горизонтальных элементов [3-5]. При этом, основным поражающим элементом сетевой конструкции являются вертикальные тросы (канаты), изготовленные из сверхвысокомодульного волокна. Между собой тросовые элементы соединяются с помощью окантовки, за счет чего сетевая конструкция обладает большой податливостью по сравнению с жесткими

креплениями [6]. Пример современной аэростатной системы воздушного заграждения представлен на рис. 1.

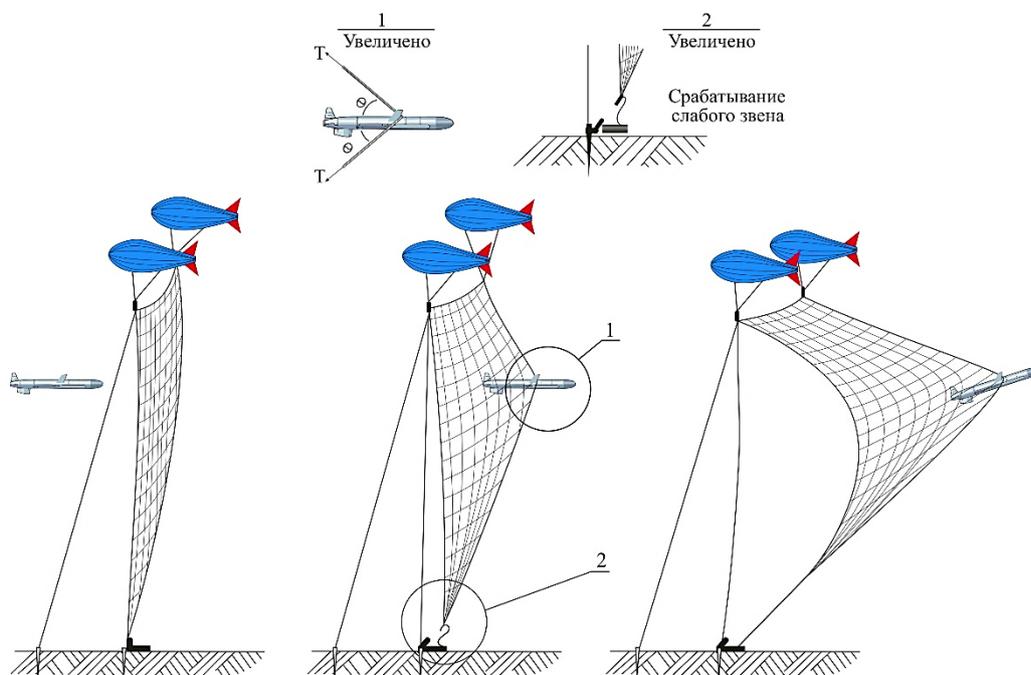


Рис. 1. – Пример использования аэростатной системы воздушного заграждения

При этом, для оценки эффективности применения аэростатной системы заграждения, при защите наземных объектов требуется определить вероятность поражения беспилотного летательного аппарата и других средств воздушного нападения от сетевых элементов, удерживаемой на необходимой высоте заградительной сети.

Для моделирования процесса вероятности поражения средства воздушного нападения (СВН) от элементов аэростатной системы воздушного заграждения (АСВЗ) предположим, что некоторое средство СВН в процессе своего полета к заданной цели должно преодолеть АСВЗ, тогда вероятность его поражения данной системой может быть представлена, как:

$$P_{\text{пор}} = P_{\text{нал}} + P_{\text{нф}}, \quad (1)$$

где $P_{нал}$ – вероятность налёта средства воздушного нападения на поражающие элементы АСВЗ; $P_{нф}$ – вероятность нарушения функционирования средства воздушного нападения, с точки зрения того, что это нарушение помешает ему выполнить задачу проникновения к защищаемому объекту.

Рассмотрим каждый из данных факторов отдельно.

При оценке вероятности столкновения СВН с сетевым аэростатным заграждением, будем учитывать тот факт, что у сопротивления СВН, например, как БПЛА, вертолета или крылатой ракеты, при виде спереди максимальные горизонтальные размеры крыла или винта значительно превосходят вертикальные. Поэтому, основным поражающим элементом сетевого заграждения следует признать вертикальные тросы сетевого элемента АСВЗ. Тогда при оценке вероятности поражения СВН при налёте на аэростатное заграждение можно пользоваться единым математическим аппаратом, как для АСВЗ, основным элементом которого является сеть, так и для воздушного заграждения в виде одиночного аэростата [7].

В результате этого определяющим будет параметр:

где $l_{кр}$ и $l_{кр}$ – соответственно расстояние между вертикальными тросами сетевой защиты и размах крыла летательного аппарата.

$$\alpha = \frac{l_{тр}}{l_{кр}} \quad (2)$$

где $l_{кр}$ и $l_{кр}$ – соответственно расстояние между вертикальными тросами сетевой защиты и размах крыла летательного аппарата.

Расстояние между тросами АСВЗ рассчитывается в проекции аэростатной защиты на плоскость, перпендикулярную направлению полёта СВН. Для заграждения, имеющего некоторую глубину, берётся проекция

всей глубины заграждения. При большом количестве вертикальных тросов расстояние между ними берётся в среднем.

Тогда вероятность налёта СВН на вертикальный трос сетевого элемента под любым углом можно определить по формуле:

$$P_{\text{нал}} = \frac{\alpha}{\pi} \ln \frac{1 + \sqrt{1 - \alpha^2}}{1 - \sqrt{1 - \alpha^2}} + \frac{2}{\pi} \arcsin \alpha \quad (3)$$

Однако для приближённых расчетов иногда можно воспользоваться более простым вариантом этого уравнения, описывающим случай входа СВН в систему аэростатных заграждений, расположенных перпендикулярно его курсу:

$$P_{\text{нал}} \approx \alpha \quad (4)$$

Если же предположить, что на некотором участке аэростатное заграждение эшелонировано и имеет N рядов, одинаковых по своей боевой эффективности, то вероятность налёта на трос при прохождении СВН через весь эшелон аэростатных заграждений определим по формуле:

$$P_{\text{нал эш}} = 1 - (1 - P_{\text{нал}})^N \quad (5)$$

Приведённые уравнения (1-5) неявно предполагают, что после столкновения СВН с тросом сетевой защиты обеспечивается их надёжный контакт без обхода и соскальзывания. В случае рассматриваемой АСВЗ вероятность контакта СВН с вертикальными тросами сетевых элементов АСВЗ приблизительно равна единице, поскольку расстояние между вертикальными тросами сетевых элементов выбранных равными 2 метра, а минимальный крыльев современных СВН около 2,5 метров.

Соскальзывание троса с крыла СВН может иметь место из-за стреловидности крыла летательного аппарата, либо из-за того, что удар троса аэростатной защиты придётся слишком близко к концу крыла СВН. Тем не менее, есть основания предполагать, что после контакта СВН с сетевыми

элементами АСВЗ или удерживающим тросом аэростатного носителя, точность попадания СВН в защищаемый объект будет существенно снижена с прицельной траектории за счет механического удара летательного аппарата.

Что касается возможности обхода тросом крыла из-за его стреловидности, то информация здесь достаточно противоречива и требует дополнительных практических исследований. Так, по результатам исследований ЦАГИ оказалось, что соскальзывание троса с крыла возможно уже при угле стреловидности $f = 13^{\circ}$, если трос при ударе не пробивает обшивку крыла. Если трос пробивает обшивку, то соскальзывание троса со стреловидного крыла невозможно. С другой стороны, по данным экспериментов ЦНИИАП, соскальзывание троса со стреловидного крыла маловероятно, так как из-за высоких скоростей перетягивания и большого давления троса на крыло значительно уменьшается время от удара до начала резания крыла. При налёте СВН на сетевой элемент АСВЗ вероятность соскальзывания также понижается за счёт наличия поперечных тросов сетевой защиты, ограничивающих перемещение вертикальных тросов.

При вероятности нарушения функционирования СВН ($P_{\text{нф}}$) можно исходить из того предположения, что СВН является нерезервируемой системой. То есть, отказ любого элемента СВН равносителен отказу летательного аппарата в целом. При столкновении летательного аппарата с АСВЗ можно указать несколько причин, по которым может произойти нарушение его функционирования:

1. Разрушение или повреждение конструкции СВН вследствие механического воздействия сетевого элемента АСВЗ. У таких летательных аппаратов, как современные крылатые ракеты, наиболее уязвимым элементом являются несущие плоскости, которые при налёте на трос сетевого элемента могут быть деформированы, разрушены или сложены.

2. Получение летательным аппаратом таких разрушений, которые приведут к потере им устойчивости и катастрофе, либо к сходу намеченной траектории полёта. Последнее может быть актуально для крылатых ракет в условиях подавления спутниковой навигационной системы средствами РЭП и полёта с использованием только инерциальной системы наведения.

3. Срабатывание системы самоликвидации на беспилотных летательных аппаратах.

В первом приближении все вышеперечисленные события можно считать независимыми друг от друга. В этом случае вероятность нарушения функций СВН после столкновения с тросом сетевого элемента АСВЗ можно посчитать по формуле:

$$P_{\text{нф}} = P_p \cdot P_B \cdot P_c, \quad (6)$$

где P_p – вероятность разрушения или повреждения конструкции летательного аппарата; P_B – вероятность получения летательным аппаратом возмущений движения, недопустимых с точки зрения его устойчивости, управляемости и т.д.;

P_c – вероятность срабатывания системы самоликвидации летательного аппарата;

Однако, каждое событие поражения СВН тем или другим способом имитирует свою вероятность. Поэтому более точная оценка величины $P_{\text{нф}}$ возможна по формуле полной вероятности:

$$P_{\text{нф}} = \sum_j P(H_j) \cdot P\left(\frac{A}{H_j}\right), \quad (7)$$

где j - способ поражения СВН с помощью сетевых элементов АСВЗ (j = события «P», «B», «C»); H_j – реализация условий j -того способа

поражения СВН; A – поражение СВН; $P\left(\frac{A}{H_j}\right)$ – вероятность поражения при условии j -того способа.

Анализ приведённых выше уравнений показывает, что для надёжности воздействия поражающих элементов АСВЗ по СВН, в результате которого оно не смогло бы выполнить свою боевую задачу, необходимо чтобы:

- материал тросов сетевых элементов обладал достаточной прочностью для того, чтобы быть способным оказать необходимое механическое воздействие на летальный аппарат;

- расстояние между соседними вертикальными тросами сетевого элемента должно быть меньше, чем размах крыльев беспилотного летательного аппарата;

- во избежание соскальзывания вертикальных тросов сетевого элемента с крыла летательного аппарата они должны быть соединены горизонтальными тросами.

Для повышения защитных возможностей АСВЗ по поражению СВН возможно её оснащение огневыми средствами поражения (минами). Вероятность поражения СВН специальной миной можно определить по формуле:

$$P_{\text{мин}} = 1 - e^{-\lambda S_{\text{кр}} P_i} \quad (8)$$

где λ – площадь осколочного поля; $S_{\text{кр}}$ – площадь проекции СВН на плоскость, перпендикулярную направлению движения осколков; P_i – вероятность поражения отсека СВН при попадании одного осколка.

В случае применения против СВН в АСВЗ самонаводящихся элементов поражения вероятность можно определить по формуле:

$$P_{\text{нф}} = 1 - e^{-P_n \cdot (R_n \cdot l \cdot \delta) \cdot L \cdot N_{AP}} \quad (9)$$

где $P_{\text{н}}$ – вероятность нормального срабатывания элемента поражения СВН;
 $R_{\text{ч}}$ – радиус чувствительности элемента поражения; l – расстояние, на которое переместится СВН при срабатывании одного элемента поражения; δ – среднее квадратичное отклонение точки взрыва элемента поражения от точки нахождения СВН;
 L – глубина аэростатного заграждения; $N_{\text{АР}}$ – число защитных рядов АСВЗ.

Необходимо заметить, что уравнение (9) справедливо при полевой защите промышленного или гражданского района, в пределах которого находится защищаемый объект, в случае если каждый элемент АСВЗ снабжён самонаводящимися элементами поражения.

Заключение

Вопросы вероятностного поражения малых средств воздушного нападения, например, дронов, требуют дальнейших прикладных исследований с применением, как теоретических, так и экспериментальных методов [8-10].

При этом уже сейчас можно отметить ряд положительных преимуществ при использовании аэростатных привязных систем для защиты особо важных объектов гражданской и промышленной инфраструктуры:

1. Аэростатные системы воздушной защиты тем эффективнее, чем большее количество СВН участвуют в нанесении воздушного удара по прикрываемым особо важным объектам гражданской и промышленной инфраструктуры;
2. Число уничтоженных СВН не зависит от числа обнаруженных, поскольку уничтожение СВН аэростатными системами воздушного заграждения производится без их предварительного обнаружения;

3. Аэростатные системы воздушного заграждения не подвержены воздействию средств РЭП.

4. Подъем летательного аппарата выше нахождения АСВЗ, что способствует его обнаружению и уничтожению обычными средствами ПВО.

Литература

1. Абузов А.В., Абузов Я.А. Автоматизация управления подъемно-транспортными механизмами при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций // Инженерный вестник Дона. 2019. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6104

2. Казаков Н.В., Абузов А.В. Развитие беспилотных транспортно-технологических систем промышленного лесопользования // Инженерный вестник Дона, 2023, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8283

3. Бернштейн А.И. Аэростаты воздушного заграждения в обороне Ленинграда. – Санкт-Петербург: Logos, 2003. – 117 с.

4. Листовский, Б. П. Аэростаты заграждения. Артил. акад. РККА. - Ленинград: Артил. акад. РККА, 1933. - IV, 53 с.: ил.; 26 см

5. Зимин Г., Ионов М. Аэростаты заграждения в борьбе с воздушным противником, действующим на малых высотах // Военная мысль, 1974. №1 – С. 9 – 10.

6. Абузов А.В., Казаков Н.В., Иванов В.И. Особенности динамических напряжений, возникающих в верхней подвеске аэростатно-канатной системы // Инженерный вестник Дона. 2014. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2493

7. Отчет о научно-исследовательской работе «Бредень». Этап №1 «Аналитические исследования». – Москва: ЗАО «Воздухоплавательный центр «Авгурь», 1999. – 339 с.



8. Фиговский О.Л. В интервале пяти лет появятся инновации, которые сегодня кажутся фантастикой // Инженерный вестник Дона. 2011. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/643

9. Person Per-Olof, Willis David J., Peraire Jaime. The Numerical Simulation of Flapping Wings at Low Reynolds Numbers // Orlando, Florida, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, 4-7 January 2010, 12 p.

10. Yan J., Wood R.J., Avadhanula S., Sitti M., Fearing R.S. Towards Flapping Wing Control for a Micromechanical Flying Insect // Seoul, Korea, IEEE Conference on Robotics and Automation, May 2001, Pages 3901-8.

References

1. Abuzov A.V., Abuzov Ya.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6104

2. Kazakov N.V., Abuzov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2023, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8283

3. Bernshteyn A.I. [Aerostats of the air barrier in the defense of Leningrad]. Sankt-Peterburg: Logos, 2003. 117 p.

4. Listovskiy, B. P. [Boom balloons]. Artil. akad. RKKA. Leningrad: Artil. akad. RKKA, 1933. IV, 53 p.: il.; 26 sm

5. Zimin G., Ionov M. Voennaya mysl', 1974. №1. P. 9-10.

6. Abuzov A.V., Kazakov N.V., Ivanov V.I. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2014/2493

7. [Report on the scientific research work "Nonsense". Stage No. 1 "Analytical research"]. Moskva: ZAO «Vozdukhoplavatel'nyy tsentr «Avgur»», 1999. 339 p.

8. Figovskiy O.L. V Inzhenernyj vestnik Dona. 2011. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2011/643



9. Person Per-Olof , Willis David J., Peraire Jaime. Orlando, Florida, 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 4-7 January 2010, 12 p.

10. Yan J., Wood R.J., Avadhanula S., Sitti M., Fearing R.S. Seoul, Korea, IEEE Conference on Robotics and Automation, May 2001, Pages 3901-8.

Дата поступления: 9.05.2024

Дата публикации: 26.06.2024