

Анализ эффективности беспилотных летательных аппаратов для мониторинга окружающей среды

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Проблема эффективного мониторинга окружающей среды, поиска различных объектов на поверхности земли или в ее недрах является актуальной в самых разнообразных областях человеческой деятельности, причем зачастую ее решение осложняется влиянием различных неблагоприятных факторов, например, повышенной радиацией или наличием вредных веществ в областях техногенных катастроф. Тем более актуальна эта задача при решении задач военного характера, борьбе с террористическими группами, наркобизнесом, при выполнении операций Госпогранслужбы по охране морской экономической зоны Украины от браконьерского вылова рыбы ценных пород. В этих случаях особенно эффективным становится использование для этих целей беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Определение их рациональных параметров в ходе общего проектирования требует использования специального методического аппарата, а также критериальных функций, позволяющих осуществить обоснованное формирование тактико-технических требований к создаваемому аппарату.

Поиск объектов можно представить как разворачивающийся во времени процесс, последовательность действий в котором может приводить к различным результатам. Задачей теории поиска объектов при этом является выработка методов определения наилучшего плана поиска, обеспечивающего из многих возможных альтернатив такой способ действий, который приведет к обнаружению объекта при минимальных затратах времени или средств. Выработанная последовательность действий поисковых сил, соответствующая оптимальному плану, составляет алгоритм поиска. Создание таких алгоритмов применительно к решению разнообразных поисковых задач также входит в цели работы, результаты выполнения которой рассмотрены ниже.

Своевременное и надежное обнаружение объектов зависит от многих факторов, основными из которых являются следующие:

- способ поиска (маршрут полета, профиль полета, последовательность просмотра местности или пространства и т.д.);
- аппаратура, используемая для обнаружения объектов;
- характер объектов;
- меры противодействия обнаружению, предпринимаемые противником.

Однако на обнаружение объектов оказывает влияние и ряд случайных факторов, в результате чего заранее нельзя наверняка утверждать, будет или не будет обнаружен объект при данных условиях и способах поиска. Иначе говоря, обнаружение объекта при его поиске является **случайным событием**, а поэтому, характеризуя возможность обнаружения объекта и, следовательно, эффективность его поиска, необходимо использовать соответствующие методы теории вероятностей.

Основным **критерием эффективности** применения комплекса воздушно-го поиска является относительная эффективность

$$U = \frac{W_p}{W}, \quad (1)$$

где W_p, W — соответственно вероятности выполнения поставленной задачи с привлечением данных воздушного поиска и без него.

Однако на практике определение этих значений зачастую является весьма проблематичным, поскольку требует трудоемких работ по определению эффективности самих сил и средств для двух случаев применения. Для определения эффективности собственно средств поиска используют ряд критериев, в число которых входят:

- вероятность выполнения задания поисковым БЛА;
- стоимость выполнения задания;
- стоимость съема информации с единицы площади земной поверхности.

Вероятность выполнения полетного задания (ПЗ) поисковым БЛА определяется выражением

$$P_p = P_u \cdot P_{вых} \cdot P_{пне} \cdot P_{обн} \cdot P_\delta \cdot P_{инф}, \quad (2)$$

где P_u — вероятность того, что БЛА будет исправным в течение всего вылета или уровень его исправности не окажет влияния на выполнение задачи (вероятность безотказной работы);

$P_{вых}$ — вероятность того, что БЛА выйдет в район поиска;

$P_{пне}$ — вероятность преодоления неблагоприятных воздействий в исполнительной зоне и при подлете к ней. Для БЛА гражданского назначения — это вероятность преодоления таких факторов, как плохие метеоусловия, а также факторов, действующих на БЛА в случае его применения в зонах стихийных бедствий и техногенных катастроф (пожар, извержение вулкана, авария на атомной электростанции и т.д.). Для БЛА военного назначения — это вероятность преодоления противовоздушной обороны противника. Эту вероятность можно определить по формуле:

$$P_{пне} = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i t_{ni}}, \quad (3)$$

где λ_i — интенсивность эффективного воздействия i -го неблагоприятного фактора;

t_{ni} — время нахождения БЛА в области непосредственного воздействия i -го неблагоприятного фактора;

$P_{инф}$ — вероятность того, что информация, переданная потребителю, не потеряет своей актуальности за время, проходящее от получения информации БЛА до ее передачи потребителю,

$$P_{инф} = e^{-\frac{T_{обн}}{T_{ож}}}, \quad (4)$$

где $T_{обн}$ — время обнаружения и передачи данных, представляющее собой сумму времени на обнаружение объекта оператором на экранном поле, времени идентификации объекта оператором и времени определения координат объекта;

$1/T_{ож}$ — параметр подвижности объекта ($T_{ож}$ — среднее время пребывания объекта разведки в данном состоянии или месте);

$P_{обн}$ — вероятность обнаружения объекта;

$P_{д}$ — вероятность доставки информации потребителю.

Определение каждой из этих составляющих может быть осуществлено по алгоритмам, более подробно описанным в работах [1, 2, 3].

Стоимость выполнения ПЗ определяется как сумма затрат на выполнение одиночного ПЗ:

$$C_{1П} = \frac{C_{ла}}{n_{пр}} + C_{ДРУ} + C_{ТРМ}, \quad (5)$$

где $C_{ла}$ — стоимость нового ЛА;

$n_{пр}$ — расчетное количество применений БЛА (кратность);

$C_{ДРУ}$ — стоимость дополнительных расходных устройств для обеспечения одного вылета (твердотопливных ускорителей, пироболтов и срезных болтов и т.п.);

$C_{ТРМ}$ — стоимость топлива и расходных материалов (ГСМ, технические газы, фотопленка и т.п.).

Стоимость съема информации с единицы площади земной поверхности является универсальным удельным критерием, так как позволяет оценить эффективность применения любого поискового БЛА с учетом его выживаемости и производительности его целевой нагрузки:

$$\bar{C}_И = \frac{C_{1П}}{P_p F_{\Sigma}^1}, \quad (6)$$

где F_{Σ}^1 — суммарная просматриваемая площадь земной поверхности в одном вылете.

Алгоритм определения эффективности БЛА, выполняющего ПЗ, представлен на рис. 1.

Рассмотрим конкретный пример поиска объекта с использованием БЛА. Для сравнения рационально рассмотреть три различных БЛА, выполняющих одну и ту же задачу (а именно, поиск группы людей на территории площадью $S_p = 80 \text{ км}^2$) при одинаковом комплекте бортового оборудования. Различие состоит только в скорости полета БЛА, что, в свою очередь, влияет на время обнаружения искомого объекта. Кроме того, рационально осуществить сопоставление эффективности применения этих БЛА для двух вариантов их использования — случайного (рис. 2) и закономерного (рис. 3) способов ведения поиска. Характеристики БЛА, рассмотренных при сопоставлении, приведены в табл. 1.

Результаты расчетов по охарактеризованной выше методике, представленные на графиках (рис. 4), показывают эффективность преодоления БЛА неблагоприятных воздействий в зависимости от скорости и высоты полета. С возрастанием скорости вероятность преодоления неблагоприятных воздействий значительно увеличивается. На рис. 5 представлено изменение вероятности обнаружения объекта от скорости для двух способов поиска — закономерного и случайного. Этот рисунок показывает, что в процессе обнаружения объекта скорость отрицательно влияет на выполнение ПЗ. Результаты определения вероятности

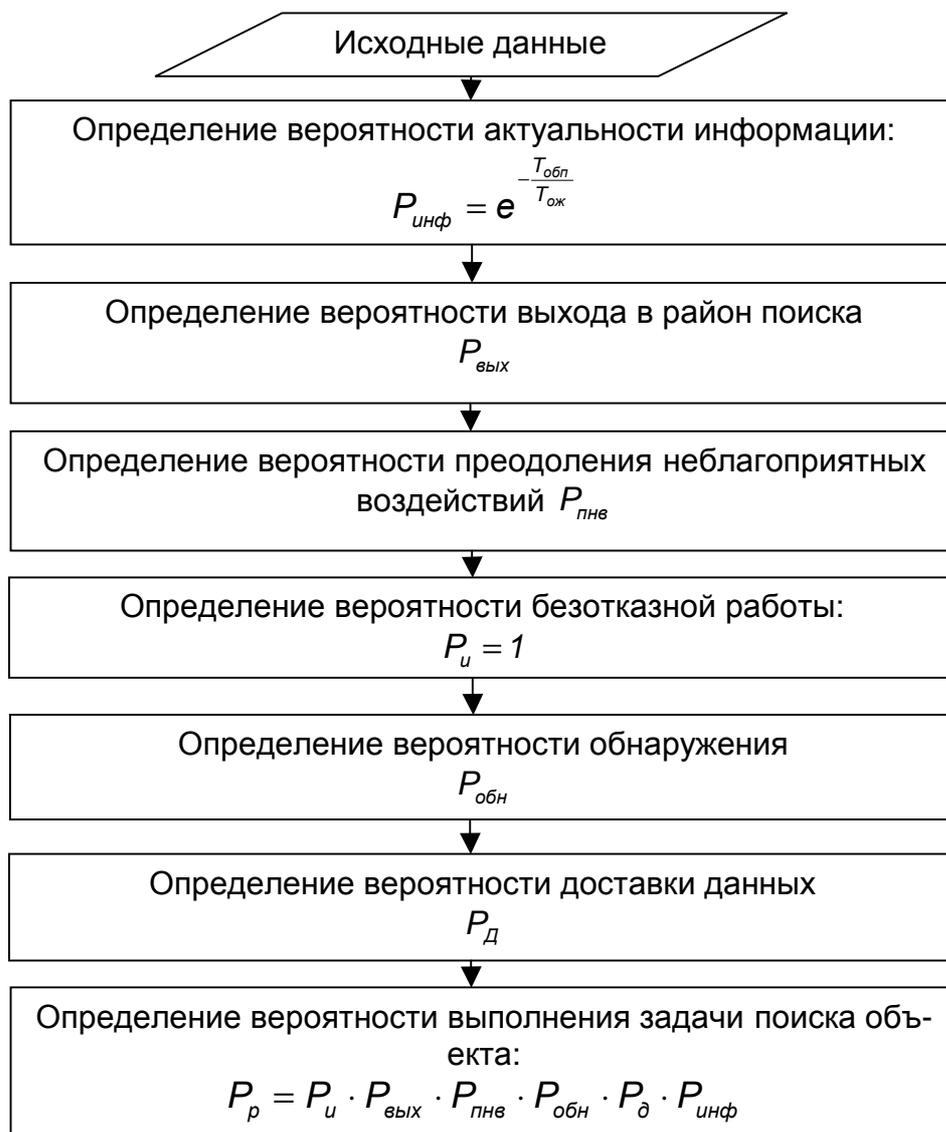


Рис. 1

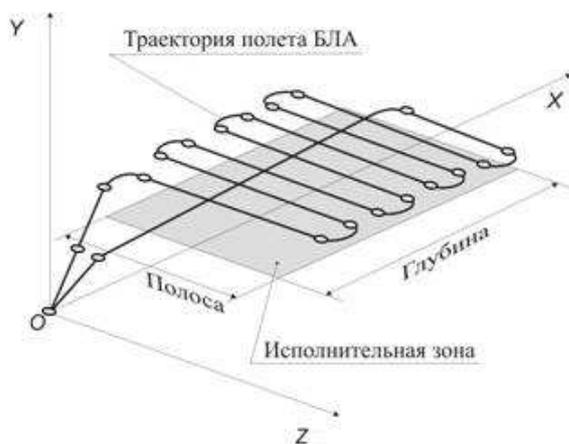


Рис. 2

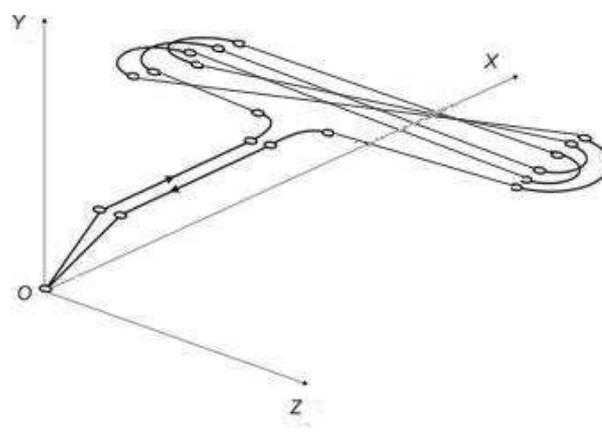


Рис. 3

Таблица 1

Тип БЛА	MQ-1 Предейтор	Пчела-1 Т	Ту-243 Рейс-Д [4]
Фото БЛА			
Крейсерская скорость, км/ч	110—130	100-180	850-940
Дальность полета, км	740	60	360
Практический потолок, м	7920	3000	5000
Размах крыла, м	14.84	3.30	2.25
Длина самолета, м	8.23	2.80	8.29
Высота, м	2.21	1.12	1.576
Масса, кг	430	138	1400

56

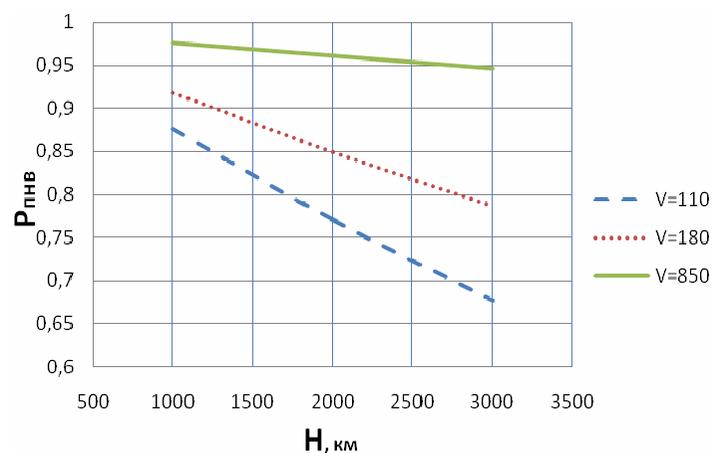


Рис. 4

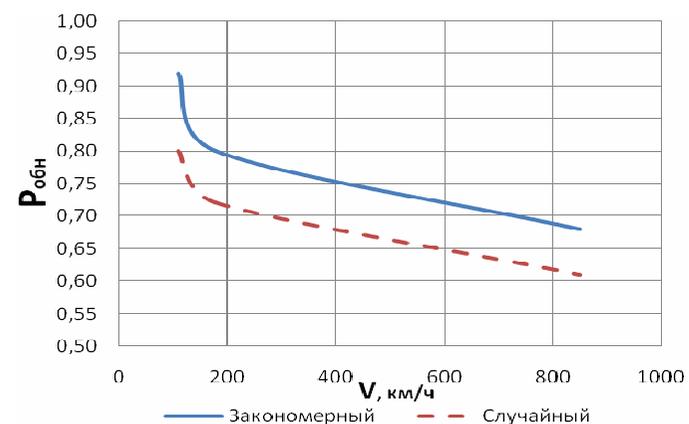


Рис. 5

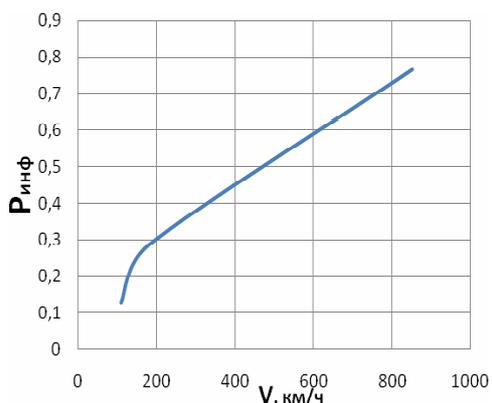


Рис. 6

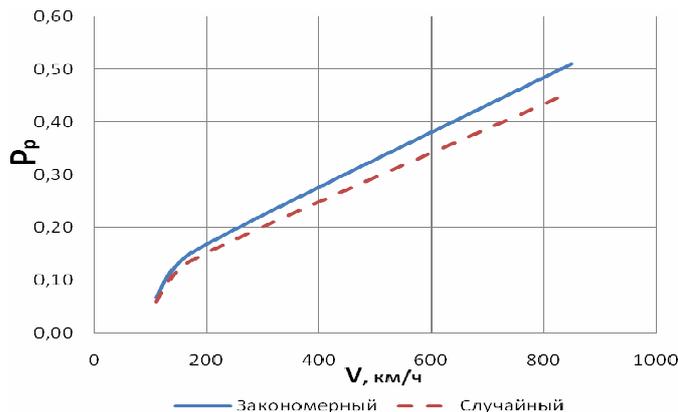


Рис. 7

того, что полученная при поиске информация не утратит актуальности, приведены на рис. 6, из которого следует, что увеличение скорости полета БЛА благоприятно сказывается на этом параметре.

После определения всех сомножителей, которые входят в состав итоговой формулы 2 в соответствии с последним блоком алгоритма (см. рис 1), определяется вероятность выполнения задачи поиска объекта. На рис. 7 представлены окончательные результаты расчетов — эффективность БЛА, выполняющего задачу поиска объекта.

Полученные результаты позволяют сделать **вывод** о том, что скорость полета БЛА существенно влияет на эффективность выполнения поставленной задачи: чем больше эта скорость, тем выше эффективность БЛА. В то же время проектирование и последующее применения высокоскоростных БЛА сопряжено с решением сложного комплекса проблем, требующих применения научно обоснованных методов управления проектами [5]. Одной из наиболее сложных проблем является предотвращение опасных явлений аэроупругости и автоаэроупругости, интенсивное развитие которых может привести к разрушению аппарата (исправного или получившего повреждения) и срыву выполнения полетного задания. В связи с высокой сложностью и недостаточной достоверностью результатов расчетно-теоретических исследований, крайне желательной остается их экспериментальная проверка, для осуществления которой необходимы серьезные предварительные методические разработки. Эффективность БЛА, предназначенного для длительного наблюдения, требует отдельного исследования.

Список литературы

1. Поиск объектов. — В.А. Абчук, В.Г. Суздаль М.: «Советское радио» 1977. — 336с.
2. Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций. — Ю.Г. Мильграм, И.С. Попов М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского 1970. — 499 с.
3. Военный энциклопедический словарь / Редкол.: А.П. Горкин и др. — М.: Большая Российская энциклопедия 2002. — 1664 с.
4. Оружие России 2000. — М.: Изд. Дом. «Военный парад» 2000. — 824 с.
5. Системное имитационное моделирование основных характеристик беспилотных авиационных комплексов / А.В. Смоляков, О.Е. Федорович // Авиационно-космическая техника и технология. Вып.5 (31), 2006. — с.39-42.