

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МАКСИМАЛЬНОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

При решении задач по обнаружению беспилотных летательных аппаратов (БЛА) различают четыре основных вида заметности: радиолокационную, инфракрасную, визуальную, акустическую. Всепогодность и высокая разрешающая способность активной радиолокации привели к уменьшению доли остальных способов обнаружения ЛА. Однако активная радиолокация в условиях превосходства противника в воздухе может быть малоэффективной [1] и использование пассивных методов обнаружения [2, 3], обладающих высокой скрытностью применения, становится актуальным.

Цель статьи – разработка методики оценки максимальной дальности визуального обнаружения беспилотных летательных аппаратов.

В работах [4, 5] показано, что вероятность обнаружения объекта, находящегося внутри мгновенного поля зрения, зависит от контраста и размеров наблюдаемого объекта. Экспериментально (Н.И. Пинегин) установлена зависимость вероятности обнаружения от времени обнаружения, площади объекта и его контраста. Показано также, что при поиске объекта его форма не играет большой роли, а имеет значение только его площадь в пределах соотношения сторон до 1:10, характерного для компоновок БЛА. В работе [6] показано, что дальность обнаружения почти никогда не превышает некоторого максимального значения $D_{обн\ max}$, соответствующего наиболее благоприятному сочетанию физических условий наблюдения. При этом закон распределения дальностей обнаружения наиболее полно характеризует средства и условия обнаружения. Однако пользоваться им в расчетах поиска не всегда удобно, поэтому вводится понятие средней (эффективной) дальности обнаружения $D_{обн\ эф}$: математическое ожидание дальности обнаружения при данных условиях наблюдения, зависящее, кроме прочего, от максимальной дальности визуального обнаружения.

Для количественной оценки максимальной дальности визуального обнаружения ЛА в данной работе модифицируется методика [7, 8] оценки дальности обнаружения целей. Согласно [7] будем считать, что главный фактор – видимость цели, обуславливающая наибольшую дальность обнаружения в воздухе. Любая цель видна благодаря контрастности по сравнению с окружающим фоном. По мере удаления цели ее контрастность K достигает порогового значения для зрения, т.е.

$$K = e. \quad (1)$$

Чем больше дальность, тем больше пороговый контраст. Уравнение (1) относительно дальности видимости цели (дальности обнаружения) $D_{обн}$ решается по формуле, которая дает неявный результат:

$$D_{обн_i} = a_1 \cdot \ln \frac{f(D_{обн_i})}{a_2 - a_3 \cdot f(D_{обн_{i-1}})}, \quad (2)$$

где при $i = 1$, $D_{обн_{i-1}} = \frac{D_{ме}}{2}$;

$D_{ме}$ – метеорологическая дальность видимости, принимаемая равной:

0...1000 м – туман;

1000...2000 м – очень сильная дымка;

2000...4000 м – сильная дымка;

4000...10000 м – слабая дымка;

20000 м и более – хорошая видимость [7];

функция распределения дальности:

$$f(D_{обн_{i-1}}) = D_{обн_{i-1}} \left(c_2 + c_3 \cdot \ln \frac{D_{обн_{i-1}}}{d} - \sqrt{\ln \frac{D_{обн_{i-1}}}{d} - c_4} \right); \quad (3)$$

коэффициенты

$$a_1 = \frac{D_{ме}}{\ln \epsilon_0};$$

$$a_2 = \frac{d \cdot k_0 \cdot r_\phi}{c_1 \cdot \omega_\pi};$$

$$a_3 = \frac{r_\phi}{\omega_\pi} - 1;$$

ϵ_0 – пороговый контраст абсолютно черного тела больших размеров, за минимальный пороговый контраст для практических расчетов принимается $\epsilon_0 = 0,02$. Опыты Главной геофизической обсерватории имени Воейкова показали, что для обнаружения объекта на фоне местности необходимым является еще более высокий контраст $\epsilon_0 = 0,035...0,4$ [4];

d – эффективный линейный размер, равный диаметру круга, равновеликого площади объекта, м;

k_0 – исходный контраст цели (наблюдаемой вблизи), %;

ω_π – коэффициент погоды;

r_ϕ – коэффициент яркости фона;

$D_{обн_i}$ – искомая дальность обнаружения цели, вычисленная в i -м цикле, м;

C_1, C_2, C_3, C_4 – постоянные коэффициенты.

Таким образом, дальность видимости цели $D_{обн}$ определяется методом последовательных приближений до достижения требуемой точности Δ , т. е. пока не будет выполняться условие

$$\Delta \leq |D_{обн_i} - D_{обн_{i-1}}|. \quad (4)$$

Следует отметить, что видимая площадь ЛА (эффективный линейный размер d) в зависимости от ракурса наблюдения, который является случайной величиной, изменяется в широких пределах, а ее определение представляет определенную трудность. Для определения эффективного линейного размера воспользуемся методами дискретных особенностей [8], широко применяемыми для расчета аэродинамических характеристик сложных пространственных компоновок. Эти методы отличает высокая надежность, достаточная для практических целей точность, большой накопленный материал. В данной работе используется метод возмущенных потенциалов [9], в котором решение задачи сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма второго рода относительно неизвестного потенциала возмущенных скоростей. Задача обтекания формулируется как некоторая краевая задача для потенциала возмущенной скорости. Вне тела потенциал φ должен удовлетворять следующему уравнению, которое является следствием линеаризации уравнения неразрывности

$$(1 - M_\infty^2) \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0, \quad (5)$$

где M_∞ – число Маха в невозмущенном потоке.

При $M_\infty = 0$ уравнение (5) переходит в уравнение Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0. \quad (6)$$

При решении задачи обтекания потенциал возмущенной скорости должен удовлетворять некоторым граничным условиям на поверхности тела и на вихревой пелене. На поверхности летательного аппарата должно выполняться условие непротекания

$$\vec{V} \cdot \vec{n} = 0 \quad (7)$$

или альтернативное условие

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = -\vec{n} \cdot \vec{i}, \quad (8)$$

где \vec{n} - единичный вектор внешней нормали к поверхности тела ($\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – орты вдоль осей X, Y, Z).

Граничное условие на вихревой пелене, сходящей с острой задней кромки несущих поверхностей (крыла, горизонтального или вертикального оперения), выполняется приближенно с принятой в линейной теории точностью. Считается, что вихревая пелена плоская, а перепад давления на ней отсутствует, т. е.

$$\frac{\partial}{\partial x}(\varphi_+ - \varphi_-) = 0, \quad (9)$$

где индексы “+” и “-” относятся к значению потенциала возмущенной скорости соответственно на верхней и нижней поверхностях вихревой пелены. На дозвуковых кромках несущих поверхностей должно выполняться условие Кутта – Жуковского, т. е., соотношение (9) должно выполняться не только на вихревой пелене, но и на задних кромках несущих поверхностей.

Для численного решения (6) поверхность летательного аппарата и вихревой пелены за ним разбивается на элементы (панели). Удовлетворяя граничным условиям в точках коллокации (центрах панелей), получаем и решаем систему уравнений относительно неизвестного значения потенциала скорости. Поле скоростей определяется путем дифференцирования потенциала скорости Φ .

Коэффициент давления определяется по формуле

$$c_p = \frac{2}{\gamma M_\infty^2} \left\{ \left[1 + \frac{\gamma - 1}{2} M_\infty^2 (1 - V_1^2 - V_2^2 - V_3^2) \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} - 1 \right\}, \quad (10)$$

где γ – показатель адиабаты для воздуха;

V_1, V_2, V_3 – проекции вектора скорости на оси прямоугольной системы координат.

Аэродинамические характеристики находятся интегрированием поля давлений на поверхности ЛА.

Модификация методики [7] заключается в использовании панельной модели ЛА для нахождения видимых площадей при любом положении наблюдателя относительно цели. Для БЛА при различных азимутальных положениях необходимо знать зависимость видимой площади, когда наблюдатель и цель находятся в одной горизонтальной плоскости (характерный случай при поиске БЛА в гористой местности, в воздушном бою), с превышением наблюдателя над целью (поиск БЛА с самолета), с принижением наблюдателя (поиск БЛА с земли).

На рис. 1 показана индикатриса видимых площадей БЛА «Стрепет-М» при угле места 30° .

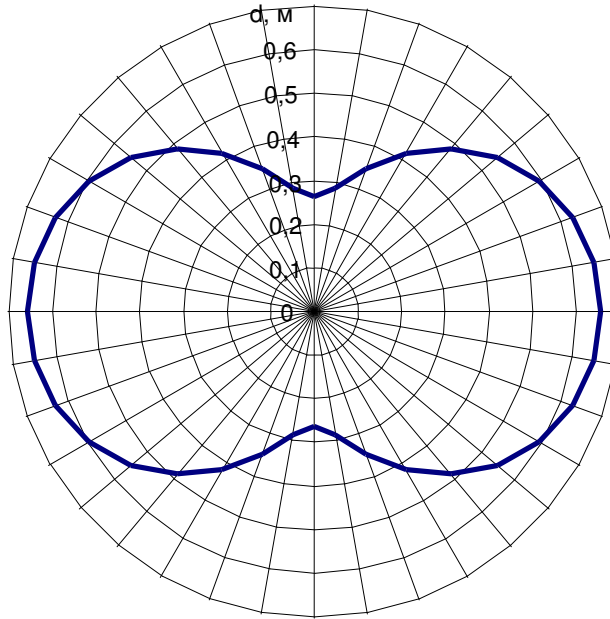


Рисунок 1 – Индикатриса видимых площадей БЛА «Стрепет-М» при угле места 30°

Для приведенного на рис. 1 случая при видимости 1000 м и контрасте 50% максимальная расчетная дальность обнаружения составила 340 м. В расчетах контраст вращающегося воздушного винта считался ниже порогового, влияние скорости движения на контраст не учитывался ввиду малой угловой скорости движения БЛА.

Расчетная зависимость дальности визуального обнаружения БЛА от величины контраста по отношению к фону приведена на рис. 2, видимая площадь цели принималась постоянной, начальные условия взяты из [10]: $c_1=0,192697$; $c_2=0,441647$; $c_3=0,250451$; $c_4=2,342738$.

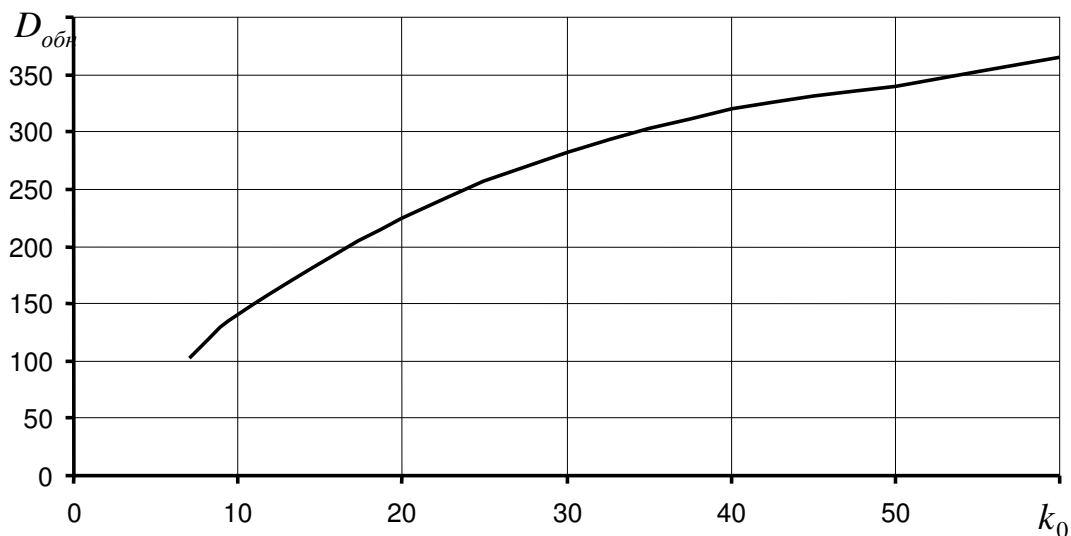


Рисунок 2 – Расчетная зависимость дальности визуального обнаружения БЛА от величины контраста по отношению к фону

Анализ представленной зависимости позволяет сделать вывод о том, что снижение контраста БЛА по отношению к фону является важнейшим средством снижения визуальной заметности. Так, уменьшение контраста с 30 до 5% уменьшает дальность обнаружения в 4,1 раза.

Таким образом, разработанная методика оценки максимальной дальности визуального обнаружения ЛА использует единую с методами аэродинамики панельную модель, что является определенным преимуществом, так как позволяет оценить влияние принимаемых конструктивно-компоновочных решений на аэродинамические характеристики и дальность визуального обнаружения ЛА в воздухе. В дальнейшей работе предполагается разработка методики оценки влияния демаскирующих факторов – бликов оптики и инверсионного следа на дальность визуального обнаружения БЛА.

Список использованных источников

1. Слипченко В. Анализ военной кампании НАТО против Югославии весной 1999 года // Независимое военное обозрение. – № 25. – 1999. – С. 34-39.
2. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения летательных аппаратов. / Л.П. Лазарев – М.: Машиностроение, 1984. – 480 с.
3. Орлов В.А., Петров В.И. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости. / В.А. Орлов, В.И. Петров. – М.: Воениздат, 1989. – 254 с.
4. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска. / Н.П. Травникова. – М.: Машиностроение, 1985. – 128 с.
5. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. / М.М. Мирошников. – Л.: Машиностроение, 1977. – С.30-32.
6. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. / В.А. Абчук, В.Г. Суздаль. – М.: Советское радио, 1977. – 336 с.
7. Крайнов А. Визуальная ориентировка с ПМК // Авиация и космонавтика. – №4. – 1987. – С.32
8. Апарин В.А., Дворак А.В. Метод дискретных вихрей с замкнутыми вихревыми рамками / Под ред. С.М. Белоцерковского // Труды ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. – 1986. – Вып. 1313. – С. 424 – 432.
9. Болсуновский А.Л., Герасимов С.В., Глушков Н.Н. Сравнение панельных методов расчета дозвукового обтекания телесных крыльев // Труды ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского. – М.: Изд. отдел ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского. – 1987. – Вып. 2357. – 31 с.
10. Толочков М.И. Маскировка в современном бою. / М.И. Толочков. – М.: Изд-во ДОСААФ, 1975. – 88 с.

*Поступила в редакцию 09.06.2010 г.
Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Е. Гайдачук,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*