

**АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЛЕТНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА
ДЛЯ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БОРТОВЫХ
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

© 2016 г. А.А. ДОНЦОВ, Ю.Л. КОЗИРАЦКИЙ, Д.А. НАГАЛИН, О.Ю. ТОНКОНОГОВ

Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж

Современные бортовые радиоэлектронные комплексы предназначены для защиты летательных аппаратов (ЛА) от различных типов систем прицеливания и наведения высокоточного оружия. Наиболее сложным этапом оценки работоспособности таких комплексов является проведение летного эксперимента. В работах [1,2] представлена методика расчета параметров летного эксперимента по регистрации изображений ЛА и помеховых изображений, создаваемых его бортовым комплексом защиты. Методика разработана с использованием положений теории ошибок измерений [3] и позволяет оценить допустимые, существенно влияющие на достоверность оценки работоспособности, ошибки выдерживания траекторий ЛА, а также ошибки регистрации. Для практического использования предложенной методики необходима разработка соответствующего алгоритма.

Цель работы – разработка алгоритма оптимизации параметров летного эксперимента по критерию максимума времени регистрации с ошибками визирования, не превышающими требуемых значений.

Блок-схема алгоритма оптимизации с учетом рекомендаций, изложенных в [4] представлена на рис. 1.

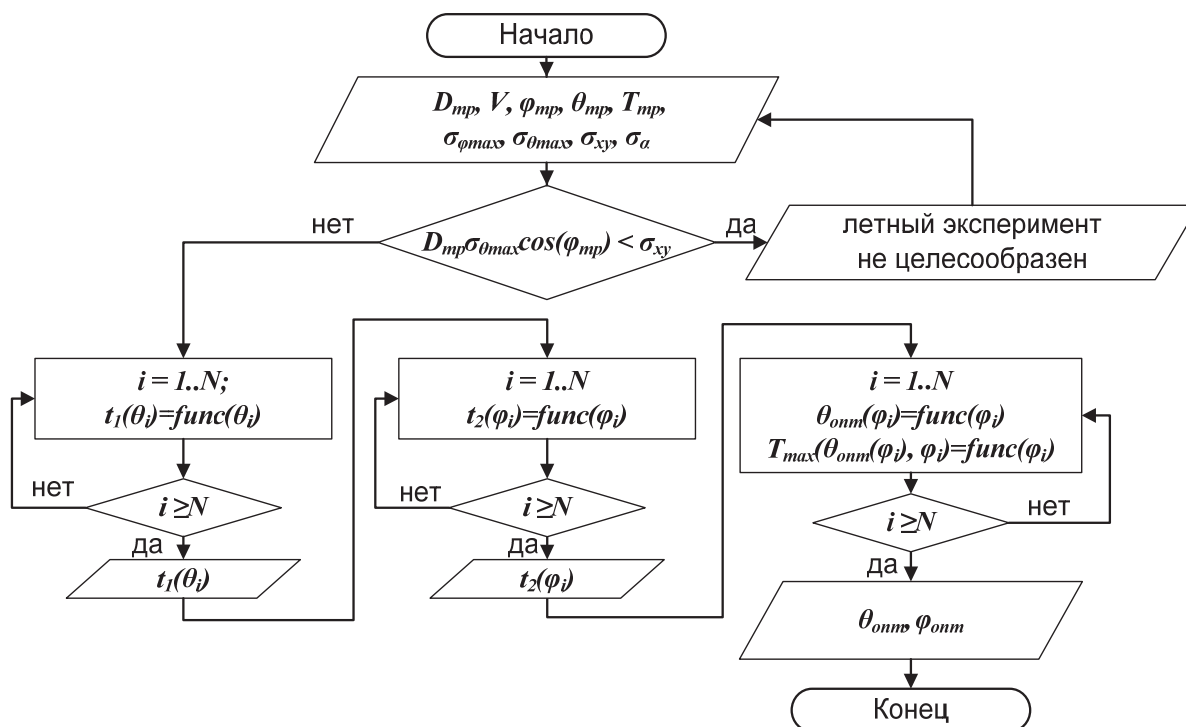


Рис. 1. Блок-схема алгоритма.

Алгоритм оптимизации включает следующие этапы:

1. Ввод параметров летного эксперимента, исходного размещения ЛА относительно друг друга в пространстве:

D_{mp} – требуемое расстояние между ЛА с регистрирующей аппаратурой и ЛА с бортовым комплексом защиты;

V – скорость полета ЛА;

φ_{mp} – требуемый угол визирования в вертикальной плоскости;

θ_{mp} – требуемый угол визирования в горизонтальной плоскости;

T_{mp} – требуемое время регистрации изображений в ходе проведения летного эксперимента;

$\sigma_{\varphi_{\max}}$ – максимальное среднеквадратическое отклонение (СКО) ошибки удержания значения угла визирования в вертикальной плоскости;

$\sigma_{\theta_{\max}}$ – максимальное СКО ошибки удержания значения угла визирования в горизонтальной плоскости;

σ_x и σ_y – СКО ошибок выхода ЛА в расчетную точку начала летного эксперимента (полагаем, что $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_{xy}$);

σ_{α} – СКО ошибки выдерживания расчетного курса ЛА с комплексом защиты.

2. Проверка целесообразности проведения летного эксперимента на основе неравенства:

$$D_{mp}\sigma_{\theta_{\max}} \cos \varphi_{mp} < \sigma_{xy}. \quad (1)$$

В случае выполнения неравенства проведение летного эксперимента не целесообразно.

3. Расчёт зависимости максимального времени регистрации от значения угла визирования в горизонтальной плоскости для случая использования одностипных ЛА:

$$t_1(\theta_i) = \frac{\sqrt{D_{mp}^2 \sigma_{\theta_{\max}}^2 \cos^2 \varphi_{mp} - \sigma_{xy}^2}}{V \sigma_{\alpha} \cos \theta_i}. \quad (2)$$

4. Расчёт зависимости максимального времени регистрации от угла визирования в вертикальной плоскости:

$$t_2(\varphi_i) = \frac{\sqrt{D_{mp}^2 \sigma_{\varphi_{\max}}^2 - \sigma_{xy}^2 \sin^2 \varphi_i}}{V \sigma_{\alpha} \sin \varphi_i \sin \theta_{mp}}. \quad (3)$$

5. Задача оптимизации параметров летного эксперимента сводится к нахождению оптимального угла визирования в горизонтальной плоскости, при котором время регистрации будет максимальным:

$$\theta_{\text{опт}} = \max_{D_{mp}, V, \varphi_{mp}, \sigma_{xy}, \sigma_{\theta} = \sigma_{\varphi} = \sigma_{\max}, \sigma_{\alpha}} \min(t_1, t_2). \quad (4)$$

6. Расчёт значения оптимального угла в горизонтальной плоскости и максимального времени регистрации при этом значении угла:

$$\theta_{\text{онм}}(\varphi_i) = \arctg \frac{\sqrt{D_{mp}^2 \sigma_{\varphi_{\max}}^2 - \sigma_{xy}^2 \sin^2 \varphi_i}}{\sin \varphi_i \sqrt{D_{mp}^2 \sigma_{\theta_{\max}}^2 \cos^2 \varphi_i - \sigma_{xy}^2}}; \quad (5)$$

$$T_{\text{max}}(\theta_{\text{онм}}(\varphi_i), \varphi_i) = \frac{\sqrt{D_{mp}^2 \sigma_{\varphi_{\max}}^2 - \sigma_{xy}^2 \sin^2 \varphi_i}}{V \sigma_{\alpha} \sin \varphi_i \sin(\theta_{\text{онм}}(\varphi_i))}. \quad (6)$$

При расчете визуализируются графики зависимости $\theta_{onm}(\varphi_i)$ и $T_{max}(\theta_{onm}(\varphi_i), (\varphi_i))$ для обоснования параметров летного эксперимента.

На рис. 2 приведены результаты расчетов зависимости оптимального угла θ_{onm} от угла визирования в вертикальной плоскости φ , рассчитанные для различных σ_{max} . Рассмотрен случай использования в качестве ЛА однотипных носителей: $D_{np} = 2$ км; $\sigma_{max} = 1$ град; $\sigma_{xy} = 5$ м.

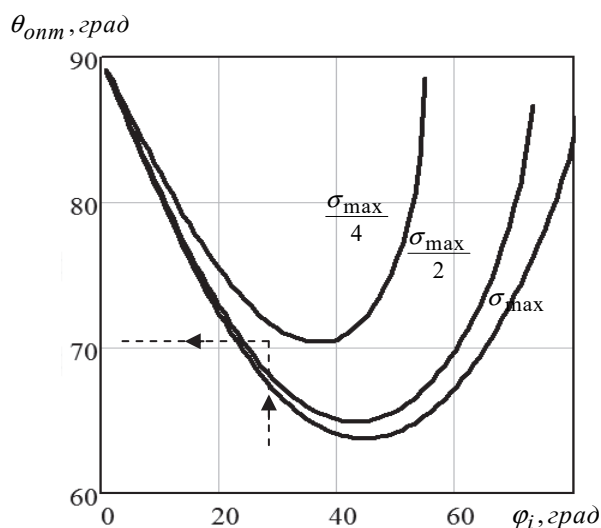


Рис. 2. Зависимости значений оптимального угла θ_{onmi} от значений угла визирования в вертикальной плоскости φ_i .

Видно, что оптимальные значения угла регистрации в горизонтальной плоскости лежат в пределах 65...90 град. На рис. 3, а, б представлены зависимости максимального времени регистрации от угла визирования в вертикальной плоскости, рассчитанные при $\theta_{onm}(\varphi_i)$, соответствующих графикам рис. 2, а также при $\sigma_\alpha = 1$ град для двух типов ЛА: $V = 200$ км/ч (вертолетов) и $V = 400$ км/ч (транспортных самолетов) соответственно.

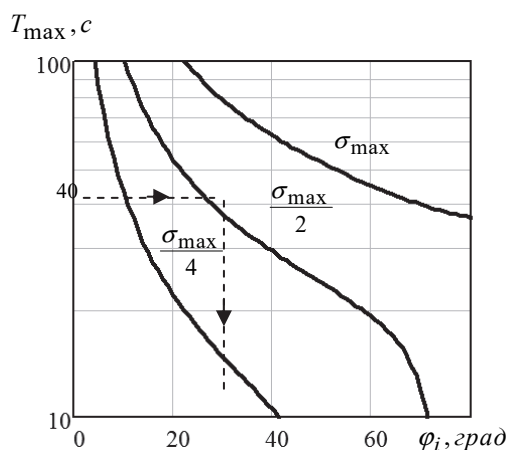


Рис. 3, а. Зависимости максимального времени регистрации от φ_i и $\theta_{onm}(\varphi_i)$ при $V = 200$ км/ч.

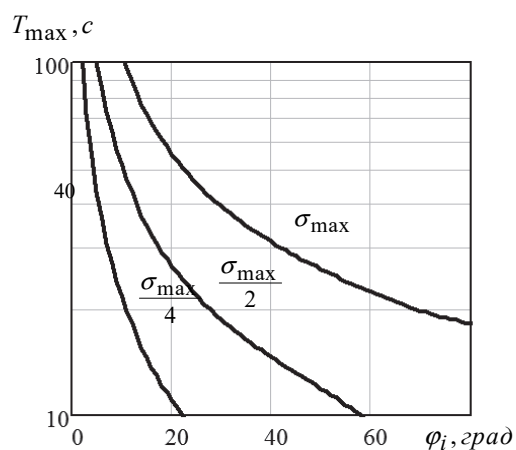


Рис. 3, б. Зависимости максимального времени регистрации от φ_i и $\theta_{onm}(\varphi_i)$ при $V = 400$ км/ч.

7. На основе рассчитанных зависимостей $T_{max}(\varphi_i)$, заданного времени регист-

рации T_{mp} и предельных ошибок удержания σ_{\max} определяется оптимальный диапазон (рис. 3) углов визирования в вертикальной плоскости. Например, при $T_{\max} = 40$ секунд, $V = 200$ км/ч, $\sigma_{\max} = 0,5$ град, оптимальный диапазон углов визирования $\varphi_{onm} = 0 \dots 30$ град (см. рис. 3, а).

8. Для рассчитанного максимального значения φ_{onm} с использованием зависимостей $\theta_{onm}(\varphi_i)$ (см. рис. 2) определяется оптимальный диапазон углов визирования в горизонтальной плоскости. Например, для исходных данных п.7 алгоритма: $\theta_{onm} = 70 \dots 90$ град.

Таким образом, разработан алгоритм оптимизации параметров летного эксперимента для оценки работоспособности бортовых радиоэлектронных комплексов. Алгоритм обеспечивает определение оптимальных углов визирования летательного аппарата, при которых достигается максимальное время регистрации его изображений с ошибками удержания углов визирования в заданных пределах. Показано, что для обеспечения малых (СКО не более 0,5 град) значений ошибок выдерживания угла визирования в течение времени 40-ка секунд и более, угол визирования в горизонтальной плоскости должен быть не менее 70 град, а в вертикальной не более 30-ти градусов для случая использования в качестве ЛА вертолетов. При увеличении скоростных характеристик ЛА в 2 раза оптимальные значения углов визирования составят 80 град и 15 град соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донцов А.А., Козирацкий Ю.Л., Нагалин Д.А., Тонконогов О.Ю. Расчет параметров летного эксперимента по определению исходных данных для разработки бортовых комплексов защиты // Радиотехника, 2016, № 8, с.10–15.
2. Модели информационного конфликта средств поиска и обнаружения / под ред. Ю.Л. Козирацкого. – М.: Радиотехника, 2013. – 232 с.
3. Кемниц Ю.В. Теория ошибок измерений. – М.: Издательство геодезической литературы, 1961. – 112 с.
4. Корнеев В.П. Методы оптимизации. – М.: Высшая школа, 2007. – 664 с.