

УДК 623.556.3

Применение аналитического метода оценки точности прицеливания в обзорно-прицельных системах вертолетов

Бельский А. Б.*, Сахаров Н. А.

*Московский вертолетный завод имени М. Л. Миля,
ул. Гаршина, 26/1, Томилино, Московская область, 140070, Россия*

**e-mail: abelskiy@mi-helicopter.ru*

Аннотация

Предложен метод оценки точности построения прицельной марки в обзорно-прицельной системе вертолета при наличии первичных измерителей и псевдоизмерений. Проведено сравнение этого метода с методом математического моделирования. Сделан вывод о близости оценок, полученных этими методами, однако предлагаемый метод позволяет вычислять удельные веса ошибок первичных данных в итоговой ошибке. Рассмотрены варианты практического применения предложенного метода.

Ключевые слова: обзорно-прицельная система, точность, аналитический метод, псевдоизмерения, прицельная марка, удельный вес

Введение

Решение прицельных задач в обзорно-прицельных системах (ОПС) вертолетов связано с необходимостью оценки степени влияния ошибок первичных (входных) данных на суммарные (выходные) параметры точности. Комплексная оценка выходных параметров ОПС на стадии их проектирования невозможна только на основе аналитических методов оценки точности. Как известно, для сложных технических систем известны и применяются:

- аналитические методы оценки точности;
- методы математического моделирования;
- экспериментальные методы;
- комбинированные (полунатурные) методы.

На этапе проектных работ, когда физически ОПС не создана, экспериментальные и комбинированные методы невозможны. Возможно использование только аналитических методов и методов математического моделирования, и кроме того это экономически оправдано, так как дешевле и проще чем остальные.

Решение задач прицеливания для ОПС особенно при их проектировании в настоящее время тесно связано с методами моделирования и анализа, например, для оценки точности построения прицельной марки, которую в процессе прицеливания необходимо совместить либо с целью, либо с какой-то другой отметкой. А от точности прицеливания зависит, в конечном счете, эффективность применения авиационных средств поражения (АСП).

ОПС относится к классу информационно-управляющих систем, в которых на основе поступающей и суммируемой информации об окружающей среде, цели и самой системе строится управление для достижения требуемого результата. Информация в ОПС поступает как фактически (т.е. “абсолютно”) от различных датчиков в реальном масштабе времени, так и “относительно”, т.е. от БРЭО по результатам статистической обработки множества предыдущих измерений. Математически это можно сделать, например, с использованием фильтров “калмановского” типа, которые позволяют определять величины, измерение которых первичными датчиками физически невозможно. При этом следует отметить, что фильтры “калмановского” типа, как и фильтры, вообще, не единственные, которые обладают таким свойством.

Итак: 1. Постановка задачи обеспечения точности прицеливания в ОПС

Пусть работа ОПС, как объекта контроля (оценки точности), задана явной функцией, при этом сама функция может не описываться аналитическим выражением.

$$y_n = y_n(\bar{X}_n, \bar{V}_n(\bar{X}_{n-1}, \dots, \bar{X}_{n-k})), \quad (1)$$

где y_n – выходной параметр в текущий момент времени;

\bar{X}_n – вектор измеряемых первичными измерителями входных параметров;

$\bar{V}(\bar{X}_{n-1}, \dots, \bar{X}_{n-k})$ – вектор неких имеющихся псевдоизменяемых параметров, полученных по нескольким предыдущим значениям входных параметров и имеющихся в базе данных БРЭО.

В том случае, если компоненты x_1, x_2, \dots, x_m вектора \bar{X}_n измеряются с ошибками

$$\begin{aligned} \Delta x_1 &= x_1 - x_{1u}, \\ \Delta x_2 &= x_2 - x_{2u}, \\ &\vdots \\ \Delta x_m &= x_m - x_{mu}, \end{aligned}$$

то, следовательно, выходной параметр y_n также определяется с некоторой ошибкой

$$\Delta y_n = y_n - y_{nu},$$

где $y_u, x_{1u}, x_{2u}, \dots, x_{mu}$ – истинные значения параметров y, x_1, x_2, \dots, x_m .

Известны вероятностные характеристики ошибок измерений $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_m$:
 $m(\Delta x_1), m(\Delta x_2), \dots, m(\Delta x_m)$ – математические ожидания ошибок измерения входных параметров;
 $\sigma(\Delta x_1), \sigma(\Delta x_2), \dots, \sigma(\Delta x_m)$ – среднеквадратические отклонения ошибок измерения входных параметров;
 $K_{\Delta x_i \Delta x_j} (i < j; i, j = \overline{1, m})$ – корреляционные моменты ошибок измерения параметров.

2. Необходимо определить

Вероятностные характеристики ошибки определения выходного параметра Δy_n :

- математическое ожидание $m[\Delta y_n]$;
- среднеквадратическое отклонение $\sigma[\Delta y_n]$.

3. Решение поставленной задачи

Напрямую использовать известный метод аналитической оценки точности функции, заданной явно, “мешает” наличие в постановке задачи компоненты $\bar{V}(\bar{X}_{n-1}, \dots, \bar{X}_{n-k})$.
 Расширим вектор входных параметров за счет псевдоизмерений:

$$\bar{X}_{p_n} = \begin{pmatrix} \bar{X}_n \\ \bar{V}_n \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Введем так называемые коэффициенты влияния первичных ошибок:

$$N_i = \frac{\partial y}{\partial x_{p_i}}. \quad (3)$$

Коэффициенты влияния первичных ошибок N_i учитывают влияние условий боевого применения АСП на точность ОПС. Значения этих коэффициентов зависят от:

- способа атаки цели;
- значений параметров полёта;
- дальности цели;
- типа канала зрения (наведения) и др.

Тогда

$$\Delta y_n = \sum_{i=1}^{m_p} N_i \Delta x_{p_i}, \quad (4)$$

где Δx_{p_i} – это первичные ошибки; Δy_n – полная (суммарная) ошибка.

Применив к левой и правой частям, операцию математического ожидания, получим выражение для $m[\Delta y_n]$:

$$m[\Delta y_n] = \sum_{i=1}^{m_p} N_i m[\Delta x_{p_i}]. \quad (5)$$

Следовательно, выражение для $\sigma[\Delta y_n]$ будет следующим:

$$\sigma[\Delta y_n] = \sqrt{D[\Delta y_n]} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m_p} N_i^2 \sigma^2[\Delta x_{p_i}] + \sum_{i=2}^{m_p} 2N_{i-1}N_i K_{\Delta x_{p_{i-1}}\Delta x_{p_i}}}. \quad (6)$$

В том случае, если ошибки Δx_{p_i} независимы, выражение для среднеквадратического отклонения имеет вид:

$$\sigma[\Delta y_n] = \sqrt{D[\Delta y_n]} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m_p} N_i^2 \sigma^2[\Delta x_{p_i}]}. \quad (7)$$

Определить вероятностные характеристики ошибок псевдоизмерений с той или иной степенью точности можно различными способами. Как вариант, оценку этих характеристик методом математического моделирования можно сделать по множеству предыдущих значений \bar{V} , так сказать, на “скользящем интервале”.

Математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение суммарных величин можно получить, также, используя метод математического моделирования, когда, подавая в “черный ящик” или подставляя в известную функцию входные величины с заданными вероятностными характеристиками, по выходным величинам можно рассчитать их вероятностные характеристики. Однако определить влияние ошибок измерения каждого из входных параметров на выходной параметр относительно простым способом не представляется возможным.

При использовании аналитического метода для оценки степени влияния первичной ошибки на суммарную, используют удельные веса, определяемые по формуле:

$$\gamma_i = \frac{N_i^2 \sigma^2[\Delta x_{p_i}]}{\sigma^2[\Delta y_n]}. \quad (8)$$

Нетрудно видеть, что это влияние оценивается в долях единицы.

Авторами было проведено сравнение метода математического моделирования и аналитического метода оценки точности применительно к построению прицельной марки. Угловые координаты прицельной марки β_M, ε_M представляют собой суммарные параметры по отношению к измеряемым первичным величинам. Псевдоизмерениями при этом являются координаты параметров движения цели, которые датчиками первичной информации не определяются.

В таблице 1 приведены множества условий боевого применения НАР при использовании ОПС с вертолета типа Ми-8 (рис. 1). Соответственно, по порядку идут: тангаж, крен, модуль воздушной скорости, вертикальная скорость, модуль земной скорости, угол сноса, барометрическая высота вертолета и дальность до цели. По этим данным определяется положение прицельной марки, например, в вертикальном канале относительно связанной системы вертолета $\varphi_{ЗМ}$ для детерминированной модели. Используя стохастическую модель при моделировании взаимного положения летательного аппарата и цели с учетом датчиков и накопления информации, получим математическое ожидание $M\varphi_{ЗМ}$ этой же величины методом математического моделирования. Из приведенных в таблице данных видно, что разница между ними проявляется только в 3-5 знаке после запятой. При отъюстированных датчиках информации математическое ожидание ошибок, полученное по аналитическим формулам, будет близко к нулю и в таблице не приводится. В оставшихся двух колонках приведены среднеквадратические отклонения ошибок определения $\varphi_{ЗМ}$, полученные соответственно аналитическим методом и методом математического регулирования. Обе вероятностные характеристики попарно близки между собой.



Рис. 1. Применение НАР с вертолета типа Ми-8

Из этого можно сделать два основных вывода:

- оценка точностных характеристик определения угловых координат прицельной марки хорошо описывается аналитическим методом;
- полученные аналитическим методом удельные веса первичных ошибок являются достоверными.

Это позволяет использовать простой метод аналитической оценки точности в задачах прицеливания при наличии псевдоизмерений.

Использование на этапе проектирования ОПС вертолета удельных весов, как части аналитического метода, позволит:

- обоснованно сформулировать требования к датчикам первичной информации и алгоритмам ее обработки;
- выявить и учесть критические режимы прицеливания, связанные с показаниями датчиков информации;
- выявить степень влияния исходных величин алгоритма построения прицельной марки в ОПС для различных условий ее применения.

В полете на борту вертолета использование аналитического метода оценки точности в ОПС для определения вероятностных характеристик, с учетом удельных весов, позволило бы своевременно принимать решение о применении алгоритмических методов улучшения точностных характеристик тех или иных величин.

Окончательная проверка достоверности полученных для ОПС вертолета результатов проводится полунатурными и экспериментальными методами.

Библиографический список

1. Краснов А.М. Авиационные прицельно-навигационные системы. – М: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006. – 623 с.