

О МЕТОДАХ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ МЕСТНОСТИ

В.П. Тарасенко, В.В. Трофимов

Одним из путей автоматизации навигационных систем обзорно-сравнительного типа является использование корреляционно-экстремального метода совмещения двух изображений местности: эталонного, привязанного к некоторой фиксированной точке заданного курса, и текущего, воспроизводимого на борту объекта в момент ориентации [1]. Наиболее распространенным датчиком изображения, используемым для решения задач навигации, является индикатор радиолокационной станции (РЛС) кругового обзора. Реальные РЛС воспроизводят радиолокационные изображения (РЛИ) за конечное время и измеряют дальность между антенной и ориентиром на местности. Поэтому структура РЛИ будет зависеть не только от отражающих свойств обозреваемой РЛС поверхности, но и от высоты, скорости движения, угловой ориентации объекта в пространстве. Данная работа посвящена исследованию возможности применения РЛИ местности в корреляционно-экстремальной системе навигации (КЭСН) и выяснению влияния различных параметров движения объекта на точность местоопределения.

1. Постановка задачи

Для того, чтобы задачу анализа сформулировать математически введем функциональное описание карт местности. Будем описывать

эталонное изображение (ЭИ) функцией $\mathcal{F}_1(\vec{v})$, а реальное изображение (РИ) функцией $\mathcal{F}_2(\vec{u})$, где \vec{v} , \vec{u} - векторы, координаты которых соответствуют положению ориентиров на кадре ЭИ, и РИ соответственно, причем

$$\vec{u} = \vec{\varphi}(\vec{v}, \vec{\alpha}), \quad (1)$$

где $\vec{\alpha} = \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$ - параметры, характеризующие деформацию изображения, а функция $\vec{\varphi}(\vec{v}, \vec{\alpha})$ определяет ее вид.

Как показано в [1], для определения местоположения объекта необходимо максимизировать функционал, представляющий собой оценку взаимной корреляционной функции (ВКФ) сравниваемых изображений.

Оптический коррелятор оказался лучшим устройством, вычисляющим функцию корреляции двумерных изображений, из-за своей многоканальности - следствия его способности формировать двумерное корреляционное изображение. С другой стороны, использование фотографической пленки в качестве ЭИ представляет собой наиболее эффективный способ запоминания двумерных изображений, так как фотопленка обладает большой емкостью хранения информации. Эти два элемента весьма хорошо сочетаются, поскольку фотографическая форма записи является идеальной для дальнейшей обработки в оптическом устройстве. Поэтому в дальнейшем будем предполагать, что ВКФ в рассматриваемой КЭСН вычисляется с помощью оптического коррелятора.

Определение параметров α_i в КЭСН осуществляется с помощью автоматического оптимизатора, который ликвидирует рассогласование между картами путем поиска главного максимума ВКФ.

Введем некоторую векторную функцию $\vec{g}(\vec{v}, \vec{\beta}) = \{g_1, \dots, g_2\}$ с помощью которой будем характеризовать алгоритм работы устройства, ликвидирующего рассогласования между картами. В оптическом корреляторе очень просто ликвидируются рассогласования поворота и

переноса [1]. В этом случае значение функции $\vec{g}(\vec{v}, \vec{\beta}) = \{g_1, g_2\}$ запишется следующим образом:

$$\begin{cases} g_1 = (x - \xi) \cos \gamma + (y - \eta) \sin \gamma, \\ g_2 = -(x - \xi) \sin \gamma + (y - \eta) \cos \gamma, \end{cases} \quad (2)$$

где

$$\vec{v} = \{x, y\}; \quad \vec{\beta} = \{\beta_1, \beta_2, \beta_3\}; \quad \beta_1 = \xi; \quad \beta_2 = \eta; \quad \beta_3 = \gamma$$

Цель данной работы заключается в выборе простого описания карт местности, конкретизации вида функции $\vec{\varphi}(\vec{v}, \vec{\alpha})$ для радиолокационного изображения, в анализе точности местоопределения движущегося объекта, в зависимости от значения вектора деформаций $\vec{\alpha}$, а также в разработке методов повышения этой точности.

2. Описание изображений карт местности

Любое двумерное изображение можно представить в виде совокупности точек с координатами $\{\vec{u}_j\}$ ($j = 1, 2, \dots, n$).

Если поставить в соответствие яркости свечения f -й точки значение функции $f(\vec{u} - \vec{u}_j)$, то РИ можно представить в следующем виде:

$$\mathcal{F}_2(\vec{u}) = \sum_{j=1}^n f(\vec{u} - \vec{u}_j). \quad (3)$$

Вид функции $f(\vec{u} - \vec{u}_j)$ может быть выбран, исходя из свойств индикатора РЛС. Это могут быть совокупности цилиндров, диаметры которых равны диаметру светового пятна на экране индикатора, а высота пропорциональна яркости свечения, или совокупности параболоидов вращения, или гауссоидов и т.д.

За ЭИ примем совокупность дельта-функций:

$$\mathcal{F}_1(\vec{v}) = \sum_{i=1}^n \delta(\vec{v} - \vec{v}_i). \quad (4)$$

Тогда ВКФ запишется в следующем виде:

$$\varphi(\vec{\beta}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f(\vec{v}_i' - \vec{u}_j) = \int_{\Omega} \mathcal{F}_1(\vec{v}) \mathcal{F}_2(\vec{v}) d\Omega, \quad (5)$$

где

$$\vec{v}_i' = \{v_1', v_2'\} \quad \text{и} \quad v_1' = g_1, \quad v_2' = g_2$$

в формулах (2).

Так как ЭИ и РИ получают одинаковым образом - на экране РИС, то естественным было бы принятие и их одинакового описания.

Случай задания $\mathcal{F}_1(\vec{u})$ и $\mathcal{F}_2(\vec{u})$ в одинаковом виде может быть сведен к предыдущему, при условии, что параметры функции $f(\vec{u}-\vec{u}_i)$ изменятся.

Поясним это на простом примере в одномерном случае. Пусть $f(x-x_j)$ имеет форму гауссоида, тогда функции, описывающие РИ и ЭИ примут следующий вид:

$$\mathcal{F}_1(x) = \sum_{i=1}^n \exp\left\{-\frac{(x-x_i)^2}{2c^2}\right\},$$

$$\mathcal{F}_2(z) = \sum_{j=1}^n \exp\left\{-\frac{(z-z_j)^2}{2c^2}\right\}, \quad z = x - \xi,$$

а ВКФ (5) переписется следующим образом:

$$\varphi(\xi) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k \exp\left\{\frac{(x_i - \xi - z_j)^2}{2(\sqrt{2}c)^2}\right\}, \quad k = \text{const.} \quad (6)$$

Зададим функцию $\mathcal{F}_1(x)$ в виде совокупности дельта-функций, а $\mathcal{F}_2(z)$ оставим без изменения. Подставляя значения $\mathcal{F}_1(x)$ и $\mathcal{F}_2(x)$ в формулу (5), получим

$$\varphi(\xi) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \exp\left\{\frac{(x_i - \xi - z_j)^2}{2c^2}\right\}. \quad (7)$$

Сравнивая выражения (6) и (7), видим, что вид ВКФ не меняется (в обоих случаях гауссоид), а меняется описывающие ее параметры (стала в $\sqrt{2}$ раз шире).

Корреляционная функция двумерных изображений является в общем случае многоэкстремальной функцией. Будем называть (как и [3]) главным максимумом ВКФ значение $\varphi(\vec{\beta})$ при $i=j$ и будем описывать ее в окрестности главного максимума с помощью

$$\varphi_0(\vec{\beta}) = \sum_{i=1}^n f(\vec{u}_i' - \vec{u}_i). \quad (8)$$

Местоположение объекта определяется путем поиска наибольшего значения $\varphi_0(\vec{\beta})$.

Необходимым условием экстремума является равенство нулю градиента выражения (8), которое записывается в следующем виде:

$$\frac{\partial \varphi(\vec{\beta})}{\partial \beta_k} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f(\vec{u}_i' - \vec{u}_i)}{\partial (\vec{u}_i' - \vec{u}_i)} \cdot \frac{\partial \vec{u}_i'}{\partial \beta_k} = 0 \quad (9)$$

$(k=1, 2, 3).$

Решая систему уравнений (9) относительно β_k , мы можем найти координаты главного максимума. Будем выбирать вид функции $f(\vec{u}_i' - \vec{u}_i)$, исходя из простоты решения (9). Например, так, чтобы $\partial f(\vec{u}_i' - \vec{u}_i) / \partial (\vec{u}_i' - \vec{u}_i) = (\vec{u}_i' - \vec{u}_i)$. Этому условию удовлетворяют квадратичные зависимости, в частности, задание РИ совокупностью параболоидов вращения

$$\mathcal{F}_2(\vec{u}) = \begin{cases} \sum_{i=1}^n \{a_i - b_i \|\vec{u}' - \vec{u}_i\|^2\}, & \frac{a_i}{b_i} > \|\vec{u}' - \vec{u}_i\|^2, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (10)$$

где $\|\vec{u}' - \vec{u}_i\|^2$ метрика в Евклидовом пространстве, а величины a_i и b_i характеризуют яркость и диаметр i -й точки на РИ.

С учетом выражений (1), (2), (10) выражение (9) переписется в следующем простом виде:

$$\sum_{i=1}^n b_i [\vec{\varphi}(\vec{u}_i, \vec{\beta}) - \vec{\varphi}(\vec{u}_i, \vec{\alpha})] \frac{\partial \vec{\varphi}(\vec{u}_i, \vec{\beta})}{\partial \beta_k} = 0. \quad (11)$$

Итак, задавая описание эталонного изображения в виде совокупности дельта-функций (4), а РИ в виде совокупности параболоидов вращения (10), удалось упростить выражение (9), не вводя существенных ограничений на вид функции, описывающей изображение. Для дальнейшего анализа ВКФ двух изображений необходимо конкретизировать вид функции $\vec{\varphi}(\vec{u}, \vec{\alpha})$.

3. Связь между координатами ориентиров на местности и на РИ

Получим вид функции $\vec{\varphi}(\vec{u}, \vec{\alpha})$ для РИ. Предположим, что поверхность, над которой находится объект, состоит из совокупности отражателей, координаты которых заданы в топоцентрической

системе координат, определяемой базисом \vec{e} . База системы координат, жестко связанную с объектом базисом \vec{b} . Тогда подвижная относительно \vec{e} ; вспомогательная система координат \vec{g} получается фиксацией \vec{b} в момент начала воспроизведения РЛИ. Связь между базисами запишется в следующем виде:

$$\vec{b} = \vec{g} - \vec{z} = A(\vec{e} - \vec{a}) - \vec{z}.$$

В случае установки антенны РЛС на гиросtabilизированную платформу, которая не может быть выставлена идеальным образом выражение (12) переписывается следующим образом:

$$\vec{e} = \Delta A \cdot B \vec{b}.$$

Здесь и в (12) приняты следующие обозначения:

\vec{e} - базис системы координат, связанный с платформой;

$\Delta A, B, A$ - девятичленные матрицы направляющих косинусов;

\vec{a} - вектор начальных рассогласований;

$$\vec{z} = \{v \cdot t, 0, 0\}.$$

t - текущее время, которое является корнем уравнения

$$-x_g + vt + y_g \operatorname{ctg} \omega t = 0;$$

v - вектор скорости, взятый для простоты совпадающим с осью Ox_g ;

ω - круговая скорость вращения антенны РЛС.

Индекс компонент вектора указывает на соответствующий базис, в котором производится его измерение, в частности, индекс "g" говорит о том, что координаты x_g, y_g вычислены в системе \vec{g} .

Так как РЛС измеряет дальность, между антенной и ориентиром на местности (наклонную дальность), то координаты отражателя РЛИ запишутся так:

$$\begin{cases} R_{n_i} = \sqrt{x_{c_i}^2 + y_{c_i}^2 + z_{c_i}^2}; \\ \varphi_i = \operatorname{arctg}(y_{c_i}/x_{c_i}); \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} x_i = R_{n_i} \cos \varphi_i \\ y_i = R_{n_i} \sin \varphi_i \end{cases} \quad (16)$$

Здесь через R_{n_i} обозначена наклонная дальность от антенны РЛС до i -го ориентира, а через φ_i - угол между направлением на i -й ориентир и путевой скоростью самолета. Для простоты дальнейших рассуждений углы атаки и сноса полагаются равными нулю.

Искомую связь (1) можно получить, подставляя соотношения (12) ÷ (15) в (16). Координаты отражателей на кадре РЛИ будут зависеть от параметров $\alpha_1, \dots, \alpha_m$. В рассматриваемом случае это углы курса, крена, тангажа, координаты вектора начальных рассогласований, скорость движения объекта, ошибки выставления гиropлатформы.

4. Анализ точности местоопределения движущегося объекта

Как отмечалось выше, за координаты, определяющие местоположение объекта, будем принимать значение вектора $\vec{\beta}_0$, соответствующего наибольшему значению выражения (8). Для нахождения координат главного максимума ВКФ необходимо соотношения (12) + (16), (2) подставить в (11). После взятия частных производных и несложных преобразований получим

$$\xi_0 = \bar{x}_g - \bar{x}_p \cos \gamma_0 + \bar{y}_p \sin \gamma_0, \quad (17)$$

$$\eta_0 = \bar{y}_g - \bar{x}_p \sin \gamma_0 - \bar{y}_p \cos \gamma_0,$$

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = \frac{\bar{x}_p \bar{y}_g - \bar{x}_g \bar{y}_p}{\bar{x}_g \bar{x}_p + \bar{y}_g \bar{y}_p}.$$

Здесь индекс "g" означает принадлежность координат к эталонному изображению, а индекс "p" - к реальному. $\vec{\beta}_0 = \{\xi_0, \eta_0, \gamma_0\}$ - координаты главного максимума ВКФ.

$$\bar{x}_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i} \sum_{i=1}^n b_i x_{0i}; \dots; \bar{y}_0 \bar{y}'_0 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i} \sum_{i=1}^n b_i (y_{0i} - \bar{y}_0)(y_{0i} - \bar{y}'_0).$$

Рассмотрим случай, когда вид функции $\bar{g}(\bar{v}, \beta)$ и $\bar{\varphi}(\bar{v}, \alpha)$ аналогичен и они удовлетворяют соотношениям (2), а в качестве компонент вектора деформации $\vec{\alpha} = \{\alpha_1, \dots, \alpha_m\}$ взяты величины, характеризующие перенос и поворот ($\alpha_1 = x_0, \alpha_2 = y_0, \alpha_3 = \psi$) одного изображения относительно другого. Это справедливо, когда, получая ЭИ и РИ, объект находится на поверхности Земли ($\mathcal{H} = 0$) и неподвижен ($\mathcal{U} = 0$). Тогда, делая аналогичные преобразования, как и при получении формулы (I7), находим, что координаты главного максимума ВКФ совпадают с истинным положением объекта

$$\xi_0 = x_0, \eta_0 = y_0, \text{tg } \gamma_0 = \text{tg } \psi. \quad (\text{I8})$$

Будем предполагать, что все условия предыдущего случая выполняются за исключением одного: при получении РИ $\mathcal{H} \neq 0$. Делая аналогичные преобразования, получим выражения для координат главного максимума ВКФ

$$\begin{aligned} \xi_0 &= \bar{x}_0 - (\bar{u} - n x_0) \cos(\gamma_0 - \psi) + (\bar{v} - n y_0) \sin(\gamma_0 - \psi), \\ \eta_0 &= \bar{y}_0 - (\bar{u} - n x_0) \sin(\gamma_0 - \psi) - (\bar{v} - n y_0) \cos(\gamma_0 - \psi), \\ \text{tg } \gamma_0 &= \frac{\bar{y}'_0 \bar{u} - \bar{x}'_0 \bar{v} + \text{tg } \psi (\bar{x}'_0 \bar{u} + \bar{y}'_0 \bar{v})}{\bar{x}'_0 \bar{u} + \bar{y}'_0 \bar{v} + \text{tg } \psi (\bar{y}'_0 \bar{u} - \bar{x}'_0 \bar{v})} \end{aligned} \quad (\text{I9})$$

Здесь приняты следующие обозначения:

$$\bar{u} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i} \sum_{i=1}^n b_i u_i, \quad \bar{v} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i} \sum_{i=1}^n b_i v_i, \quad n = \frac{\sum_{i=1}^n b_i s_c \gamma_i}{\sum_{i=1}^n b_i}$$

$$u_i = s_c \gamma_i x_i, \quad v_i = s_c \gamma_i y_i; \quad \bar{x}'_0 \bar{u} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n b_i} \sum_{i=1}^n b_i (x_{0i} -$$

$$- \bar{x}_0)(u_i - \bar{u}); \quad s_c \gamma_i = \sqrt{1 + \frac{\mathcal{H}^2}{(x_{0i} - x_0)^2 + (y_{0i} - y_0)^2}}$$

Анализируя выражения (I8) и (I9) можно сказать, что когда вид функции $\bar{\varphi}(\bar{v}, \alpha)$ и $\bar{g}(\bar{v}, \beta)$ одинаков, то координаты главного максимума ВКФ и местоположения объекта совпадают. В противном случае координаты объекта будут вычисляться с погрешностями. Величины этих погрешностей будут зависеть от значения тех параметров деформации, которые мы не можем определить в оптическом координаторе с помощью устройства, ликвидирующего рассогласования между изображениями по соотношениям (2). Следовательно, для повышения точности местоопределения необходимо, чтобы вид функций $\bar{\varphi}(\bar{v}, \alpha)$ и $\bar{g}(\bar{v}, \beta)$ был одинаков.

Если размерность вектора деформаций больше трех ($\vec{\alpha} = \{\alpha_1, \dots, \alpha_k\}, k > 3$), то для точного местоопределения приходим к необходимости выбора нового устройства, ликвидирующего рассогласования между картами. На практике это приведет к хранению информации о РИ, с целью ее дальнейшего преобразования и неоднократного воспроизведения на индикаторе. Как отмечалось выше, наиболее просто реализуемым является соотношение (2). В этом случае для точного местоопределения необходимо: понизить размерность вектора $\vec{\alpha}$, измеряя те параметры, которые не могут быть определены в оптическом корреляторе, исходя из поиска главного максимума ВКФ, и скорректировать РЛИ, используя измеренные величины. Рассмотрим случай коррекции РЛИ с целью повышения точности местоопределения.

5. Коррекция РЛИ

В зависимости от технических возможностей коррекции РЛИ можно осуществлять как грубую, так и точную. В обычных РИС грубая коррекция по высоте предусматривает задержку начала развертки по дальности на время $t_g = \mathcal{H}/c$ [5]. Для коррекции изображения по скорости предлагается перемещать центр развертки в направлении, обратном движению, со скоростью, пропорциональной

скорости движения объекта. С учетом этих коррекций выражения (15), (16) переписываются в следующем виде:

$$\begin{cases} \hat{R}_{\kappa_i} = R_{\kappa_i} - \kappa/2, \\ \varphi_i = \arctg(y_{c_i}/x_{c_i}), \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \hat{x}_{\rho_i} &= \hat{R}_{\kappa_i} \cos \varphi_i + v \cdot (\varphi_i / \omega), \\ \hat{y}_{\rho_i} &= \hat{R}_{\kappa_i} \sin \varphi_i. \end{aligned}$$

Под точной коррекцией по высоте будем понимать преобразование РЛИ в план местности, то есть такое преобразование, РЛИ, при котором наклонная дальность (R_{κ}) до ориентиров пересчитывается в горизонтальную дальность (R_{ρ}). Для этого случая соотношения (15) переписываются так:

$$\begin{aligned} R_{\rho_i} &= \sqrt{R_{\kappa_i}^2 - \kappa^2}, \\ \varphi_i &= \arctg(y_{c_i}/x_{c_i}). \end{aligned} \quad (22)$$

При этом устройство, реализующее соотношение (21), будет осуществлять точную коррекцию по скорости. В случае точной коррекции по высоте и скорости на экране РЛС движущегося объекта будем получать изображение, соответствующее плану местности.

Для уменьшения времени местоопределения объекта в КЭСН используются запоминающие трубки. Как правило, эти трубки имеют две градации яркости. Изображения, воспроизводимые на этих трубках, будут состоять из совокупности точек, яркости которых одинаковы. Поэтому изменение амплитуды отраженного от земной поверхности сигнала, обусловленное различными факторами, приводит к появлению (или пропаданию) точек на экране индикатора. Изображение местности на экране такой трубки может быть представлено совокупностью постоянных точек (сигналы от радиолокационно-контрастных целей) и совокупностью точек, появляющихся случайно. В дальнейшем предполагается отсутствие случайно появ-

ляющихся точек (помех).

Влияния различных параметров движения на точность местоопределения объекта показаны на рис. 1-5. Вычисления проводились по формулам (12) + (17), (20) + (22) в предположении, что за единицу длины выбран радиус индикатора РЛИ, круговая скорость развертки $\omega = 0,5$ об/сек, параметры параболоидов выбраны одинаковыми. ($\alpha_i = \alpha, \beta_i = \beta$) и радиус светового пятна на экране РЛС принят равным $4 \cdot 10^{-3}$. В качестве координат ориентиров взяты совокупность из десяти векторов, компоненты которых распределены по равномерному закону (взята одна реализация). На графиках приняты следующие обозначения: цифрой 1 помечена кривая Δz , цифрой 2 - Δy , 3 - Δx . $\Delta z = \xi_0 - x_0$; $\Delta y = \eta_0 - y_0$; $\Delta x = \zeta_0 - \psi$ - точность определения соответствующих параметров.

На рис. 3,4 приведены зависимости точности определения координат, соответствующие случаю грубой коррекции по высоте и скорости соответственно. Для сравнения на рис. 1,2 приведены эти же зависимости, но без коррекции. Из сравнения этих зависимостей видно, что при введении грубой коррекции точность местоопределения повысилась почти в два раза.

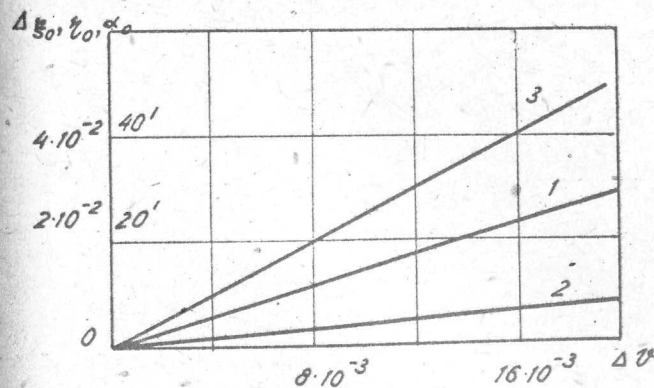


Рис. 1

При точной коррекции по скорости и высоте, координаты главного максимума будут зависеть только от точности стабилизации

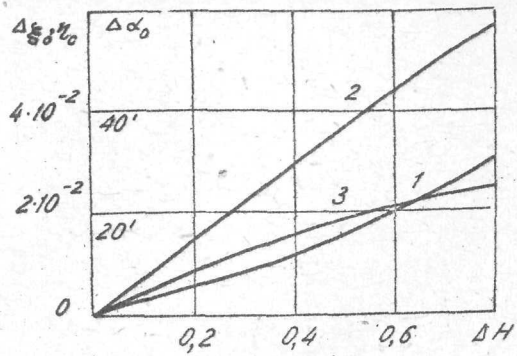


Рис. 2

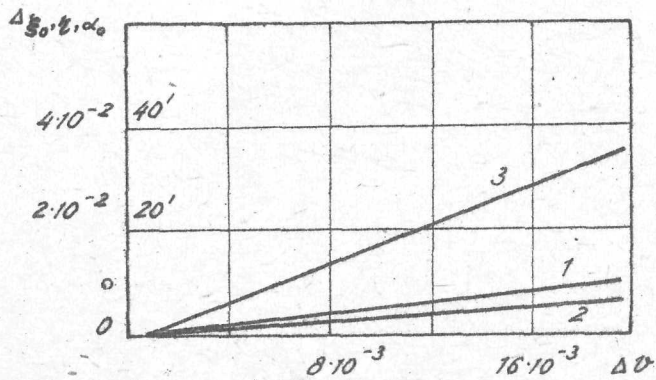


Рис. 3

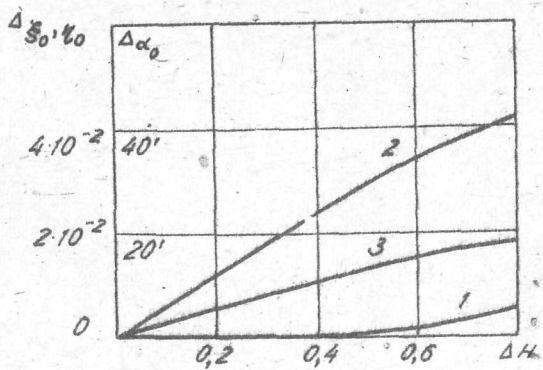


Рис. 4

гироплатформы. На рис.5 приведены зависимости Δg , Δz , $\Delta \gamma$ от неточности ее выставления по тангажу, в случае $H = 0,6$.

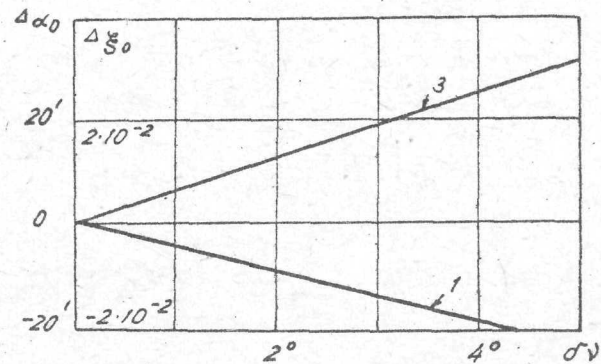


Рис. 5

При получении всех выше перечисленных характеристик мы пользовались вполне конкретным описанием кадра РИ, задавая его в виде совокупности параболоидов. На рис.6 показано влияние разрешающей способности индикатора на вид функции корреляции. Кривая 1 соответствует случаю, когда радиус светового пятна на экране РЛС равен $4 \cdot 10^{-3}$, а кривая 2 - $13 \cdot 10^{-3}$. Другими словами, при ухудшении разрешающей способности датчика РЛИ ширина корреляционной функции увеличивается, а координаты главного максимума не изменяются.

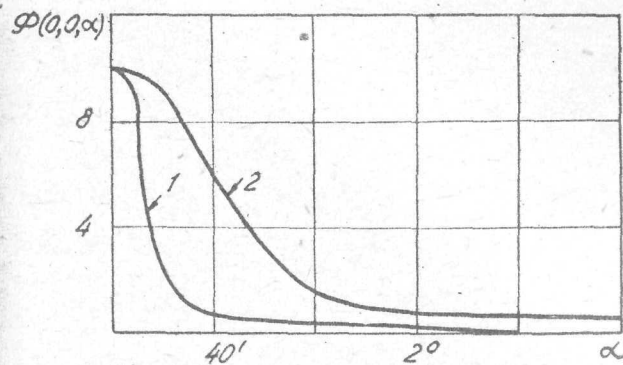


Рис. 6

В реальных системах увеличение ширины главного максимума ВКФ будет приводить к ухудшению точности, так как поисковое устройство обладает некоторым порогом нечувствительности.

6. Заключение

В данной работе получены следующие результаты:

1. Предложено описание изображений карт местности на экране индикатора РЛС и эталонного изображения на фотопленке, позволявшие сравнительно просто найти вид функции взаимной корреляции этих изображений и получить соотношения для координат главного максимума этой функции.

2. Получена функциональная связь между координатами ориентиров на местности и их координатами на РЛИ с учетом параметров движения объекта. Данные соотношения позволили сформулировать задачу о необходимости коррекции РЛИ с целью повышения точности местопределения объекта.

3. Рассмотрены случаи грубой и точной коррекции РЛИ по скорости и высоте движения объекта. С помощью вычисления на ЭВМ проведен анализ, позволивший оценить степени влияния этих коррекций на точность местопределения. Одновременно рассмотрен вопрос о влиянии разрешающей способности трубки индикатора РЛС.

Развитый в данной работе подход к исследованию КЭСН может служить основой для анализа помехоустойчивости подобных систем, а также их динамических свойств.

Л и т е р а т у р а

1. Медведев Г.А., Тарасенко В.П. Вероятностные методы исследования экстремальных систем. М., Изд-во "Наука", 1967.
2. Матушевский В.В., Тарасенко В.П. Моделирование экстремальной системы совмещения двух изображений. В сб.: Адаптивные системы, большие системы. М., Изд-во "Наука", 1971.
3. Корилов А.М. Исследование КЭС, использующей точечные изображения. В настоящем сборнике.
4. Кольер Р., Беркхарт К., Лип Л. Оптическая голография. Изд-во "Мир", М., 1973.
5. Ангелов М.П. и др. Вопросы построения индикаторов для КЭСН. В настоящем сборнике.