

**МОДЕЛЬ КОМПЕНСАЦИИ ПОГРЕШНОСТИ РАДИОВЫСОТОМЕРА
В ЗАДАЧЕ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ**

С. А. Косяченко (г. Москва)

Предлагается подход для компенсации измерений радиовысотомера в интересах задачи корреляционно-экстремальной навигации.

Применение корреляционно-экстремальных навигационных систем (КЭНС) в составе бортового навигационного комплекса летательного аппарата (ЛА) является практической альтернативой спутниковой навигационной системе при обеспечении режима высокоточной навигации. Применение КЭНС позволяет поддерживать высокую точность автономной навигации путем сравнения эталонной и измеренной информации об интенсивности одного из геофизических полей. Наибольшее распространение в связи с высокой степенью стабильности поля и его изученностью получили рельефометрические КЭНС.

Наибольшее влияние на точностные характеристики КЭНС оказывают точность эталонной картографической информации и измерений. Анализ результатов проведенных исследований точности современных цифровых карт[] свидетельствует, что их точность практически не зависит от района применения... Ошибка измерения высоты рельефа в точке текущего местоположения ЛА определяется, в основном, ошибками измерений бортового радиовысотомера (РВ), обусловленных в том числе тем, что применяемые РВ имеют широкую диаграмму направленности антенны (ДНА). Данная работа продолжает цикл работ []-[] и имеет целью разработку методов компенсации ошибок измерения РВ.

Высота рельефа местности на борту определяется косвенно как разность измерений абсолютной и истинной высот полета:

$$h_p = h_{ABC} - h_{PB}, \quad (1)$$

тогда ошибка измерения высоты рельефа представляется выражением:

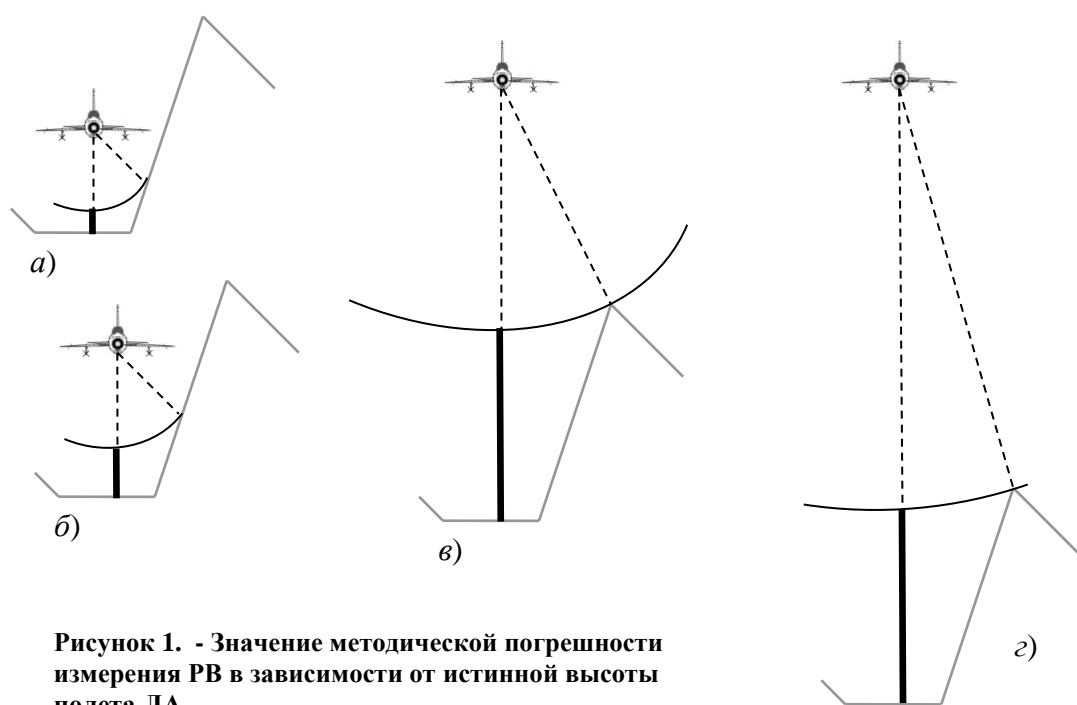
$$\delta h_p = \delta(h_{ABC}) - \delta(h_{PB}), \quad (2)$$

где $\delta(h_{ABC})$ - погрешность измерения абсолютной высоты, $\delta(h_{PB})$ - погрешность измерения истинной высоты полета (РВ). Погрешность измерения абсолютной высоты носит постоянный характер и может успешно компенсироваться путем перехода от измерения h_{ABC} к измерению первой производной h_{ABC} []. Компенсировать $\delta(h_{PB})$ гораздо сложнее, эта погрешность зависит как от характера подстилающего рельефа, так и от истинной высоты полета (рисунк 1). В [1] предложен метод компенсации погрешности РВ, основанный на идее плоскостной аппроксимации рельефа в окрестности точки текущего местоположения ЛА. Авторам удалось обеспечить уменьшение методической ошибки измерения РВ, особенно в условиях горного рельефа, но в то же

время очевидны и ограничения данного подхода, связанные с применяемой процедурой локальной линейаризации поля рельефа местности при выполнении компенсации.

Очевидно, что лучшего результата можно добиться путем построения поля эталонных показаний РВ. Сделать это представляется возможным только численно путем реализации модели измерений РВ с широкой ДНА. Для этого в окрестности точки текущего местоположения ЛА необходимо построить сеть дискретного разбиения и вычислить расстояние от антенны РВ до каждого узла сети. Показания РВ будут соответствовать минимальному из рассчитанных расстояний. Данная процедура является ресурсоемкой, в следствие чего в данный момент не реализуема на борту, особенно для поисковых алгоритмов КЭНС. Представляется целесообразной реализация процедуры построения поля эталонных показаний РВ заранее в процессе подготовки полетного задания, но она осложнена тем, что для формирования эталонных значений измерений необходимо знать абсолютную высоту полета ЛА, которая заранее неизвестна.

В данной работе мы рассмотрим экономичный в вычислительном смысле алгоритм, который позволяет на борту в реальном времени строить поле эталонных показаний РВ и тем самым компенсировать ошибку $\delta(h_{РВ})$.



Рассмотрим зависимость методической погрешности измерения РВ от абсолютной высоты ЛА. Как видно из рисунка 1 при малых истинных высотах полета ЛА погрешность РВ быстро растет с увеличением высоты (рис. 1а - 1б). При дальнейшем увеличении высоты методическая погрешность измерения РВ выходит на некий постоянный уровень и далее с увеличением высоты полета практически не меняется (рис. 1в - 1з). Качественная зависимость между величиной методической погрешности РВ и истинной высотой полета ЛА представлена на рисунке 2.

$k_{\text{АСИМП}}$

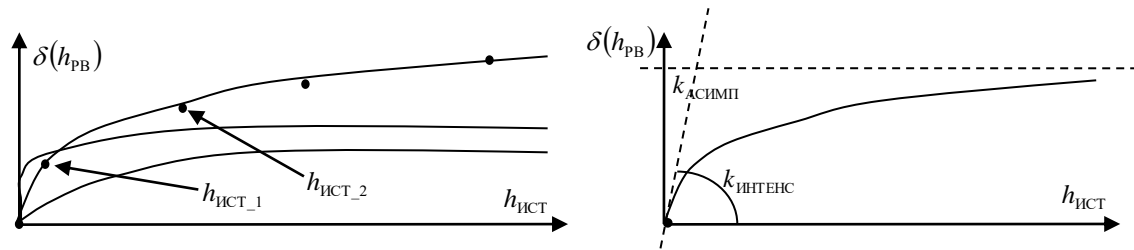


Рисунок 2. - Зависимость погрешности РВ от истинной высоты полета

Данная зависимость может быть определена только численно путем моделирования полета ЛА на некотором диапазоне истинных высот полета ($h_{\text{ИСТ}_1} \dots h_{\text{ИСТ}_N}$), с применением алгоритма определения расстояния до блестящей точки (описан выше). Аппроксимация данной зависимости может быть выполнена с помощью функции:

$$\delta(h_{\text{РВ}}) = k_{\text{АСИМП}} (h_{\text{ИСТ}} / k_{\text{ИНТЕНС}} + 1). \quad (3)$$

В представлении (3) есть 2 неизвестные величины: $k_{\text{АСИМП}}$ и $k_{\text{ИНТЕНС}}$, графически смысл которых поясняет рисунок 2. Используя результаты моделирования полета ЛА на высотах $h_{\text{ИСТ}_1} \dots h_{\text{ИСТ}_N}$, коэффициенты $k_{\text{АСИМП}}$ и $k_{\text{ИНТЕНС}}$ могут быть найдены с помощью метода наименьших квадратов.

Таким образом, способ компенсации методической погрешности РВ заключается в выполнении следующих процедур. В процессе наземной подготовки полетных данных происходит численное определение зависимости ошибки РВ от абсолютной высоты полета. Такое моделирование необходимо выполнить во всей области предполагаемого полета с некоторым дискретом. Моделирование должно происходить для заданного конечного набора высот полета $h_{\text{ИСТ}_1} \dots h_{\text{ИСТ}_N}$ (как показали численные исследования достаточно $N = 4..5$). После этого информация о величине погрешности РВ для каждой точки области должна быть записана на борт в виде таблицы или в виде 2-х коэффициентов аппроксимирующей функции $k_{\text{АСИМП}}$ и $k_{\text{ИНТЕНС}}$. Запись коэффициентов аппроксимирующей функции требует меньше памяти, но ведет к снижению точности компенсации погрешности. В случае хранения информации в табличном виде восстановление информации о погрешности РВ в процессе полета происходит путем линейной аппроксимации табличной функции.

Данная процедура компенсации была проверена для условий полета над горной местностью с использованием материалов регистрации реального полета ЛА, результаты летного эксперимента и численного моделирования представлены на рисунке 3.

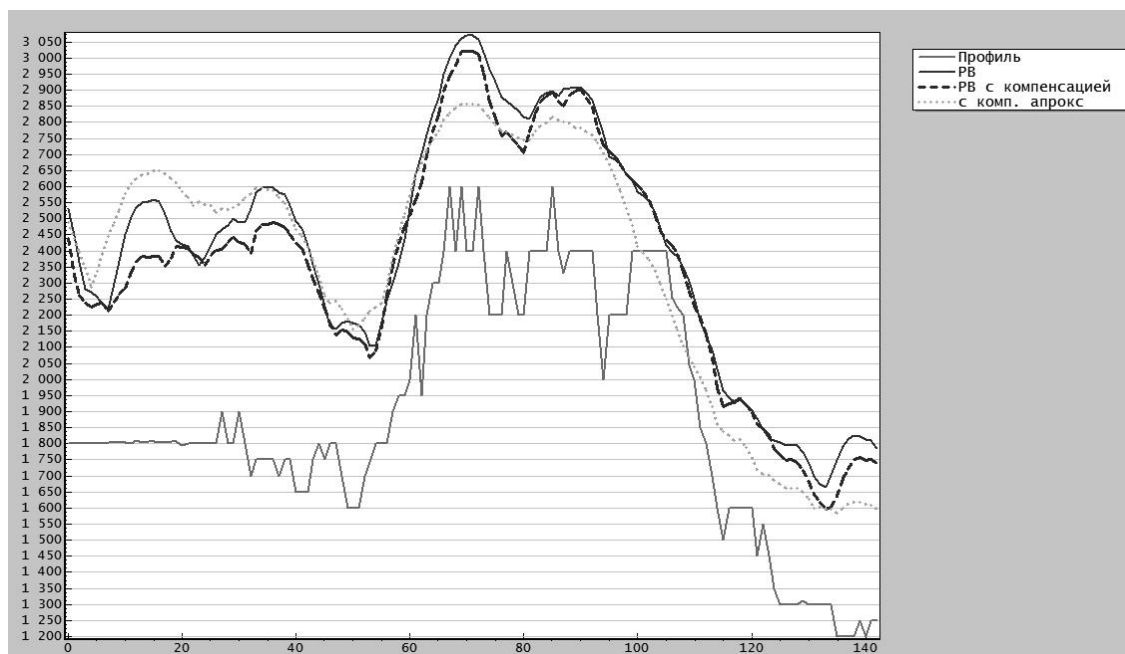


Рисунок 3. – Результаты численного моделирования процедуры компенсации методической ошибки измерения РВ с широкой ДНА при полете над горной местностью

Среднеквадратичные отклонение (СКО) по результатам моделирования составили:

СКО (Рельеф – РВ без компенсации) = 548.1 м.;

СКО (Рельеф – РВ с компенсацией по табличным значениям) = 69.4 м.;

СКО (Рельеф – РВ с компенсацией по аппроксимирующей функции) = 126.3 м.

Таким образом, методическую погрешность измерения РВ в случае применения модели компенсации удалось уменьшить более, чем в 7 раз. Данный график характерен и для других полетов над горной местностью. В условиях среднепересеченного рельефа эффект компенсации методической погрешности РВ численно значительно меньше.

Список использованной литературы

1. А.И. Наумов, А.Н. Микрюков. Особенности использования беспойскового алгоритма корреляционно-экстремальной навигационной системы в условиях горного рельефа. XI конференция молодых ученых «Навигация и управление движением», март 2009. СПб.: Изд-во ЦНИИ «Электронприбор», 2009 г.