

УДК 629.7.052

О.М. Сітков<sup>1</sup>, Ю.В. Афанасьєв<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків<sup>2</sup> Державний університет телекомунікацій, Київ

## ВИБІР ДІЛЯНКИ КОРЕКЦІЇ КООРДИНАТ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ ЛІТАКА З ВРАХУВАННЯМ ГЕОМЕТРИЧНОГО ФАКТОРУ НАВІГАЦІЙНОГО ПОЛЯ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглядаються питання впливу геометричного фактору на точність визначення координат літака, підходи до реалізації способів корекції координат в різних пілотажно-навігаційних комплексах (ПНК). Виконано експериментальне дослідження роботи приймача GPS, оцінено точнісні характеристики по визначенню координат об'єкта та напрямки модернізації бортових ПНК.

**Ключові слова:** пілотажно-навігаційний комплекс, геометричний фактор, супутникова радіонавігаційна система, математичне моделювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Головним завданням повітряної навігації є точне і надійне водіння літального апарату (ЛА) за маршрутом, вивід його на ціль точно за місцем і часом. Виконання даного завдання забезпечується шляхом застосування пілотажно-навігаційних комплексів (ПНК), в яких реалізовано автоматизоване виконання навігаційних розрахунків, що розвантажує екіпаж від виконання великої кількості операцій.

Застосування ПНК забезпечує виконання польоту в ручному, директорному або автоматичному режимах керування. Точність навігації при цьому визначається точністю числення координат в ПНК. Похибки числення, які накопичуються з часом, усуваються шляхом виконання корекції координат. Забезпечення точності повітряної навігації здійснюється за рахунок комплексного підходу до розвитку наземних та бортових засобів навігації: застосування оптимальних підходів в реалізації задач корекції координат ПНК, оснащення ЛА новими бортовими системами, модернізації навігаційного обладнання. Одним з напрямків мінімізації похибок визначення координат ЛА, підвищення ефективності рішення навігаційних завдань є застосування засобів радіонавігації з врахуванням впливу геометричного фактору [1] та шляхом проектування інтегрованих систем навігації та управління ЛА [2].

Аналіз стану розвитку ПНК ЛА військового призначення свідчить про актуальність даного питання, що підтверджується проведенням заходів модернізації ПНК, а саме обладнанням ЛА приймачами супутникових радіонавігаційних сигналів.

**Аналіз літератури.** Одним з сучасних підходів до розв'язання задачі підвищення точності визначення координат об'єктів є інтегрування до складу ПНК супутникових радіонавігаційних систем (СРНС). В

роботі [3] авторами запропоновано вирішення такого завдання за рахунок використання декількох приймачів сигналів СРНС. Іншим поглядом на вирішення цього завдання є інтегрування навігаційних систем на рівні корекції похибок визначення первинних параметрів, які використовуються в подальшому для числення координат ЛА. Так, в роботі [4] розглядаються питання підвищення точності визначення координат за рахунок компенсації впливу динамічних дрейфів гіроскопів при інтеграції серійної моделі інерціальної навігаційної системи та високоточного приймача СРНС.

Аналіз досвіду виконання польотів при вирішенні завдань в зоні проведення антитерористичної операції підтвердив важливість вирішення питання навігаційного забезпечення польоту з високою точністю та надійністю. Одним з прикладів, що підтверджує дане твердження є виконання заходу на посадку по довільній траєкторії, яку складно прогнозувати. Питання управління посадкою ЛА по довільних траєкторіях були досліджені в роботі [5], в якій розглядаються принципи ергатичності та мережецентричності і враховуються можливі конфліктні випадки в повітрі.

**Мета статті.** Обґрунтування шляхів підвищення точності навігації за рахунок врахування геометричного фактору при виборі способу корекції координат на літаках військового призначення.

### Основна частина

Алгоритми траєкторного управління на маршруті характеризуються способами виводу ЛА на поворотні пункти маршруту – курсовий, шляховий, маршрутний. Курсовий спосіб реалізовано в радіотехнічній системі ближньої навігації РСБН-6С. Основними параметрами числення шляху є істина швидкість та курс літака, а значення азимуту та відстані використовується для корекції координат по параметру – швидкість:.

$$X = X_0 + \int_0^t (V_X + \Delta V_X) dt, \quad (1)$$

$$Y = Y_0 + \int_0^t \left( \frac{V_Y + \Delta V_Y}{\cos(X/R)} \right) dt, \quad (2)$$

де  $V_x, V_y$  – складові істинної швидкості;  $X, Y$  – зчислені координати;  $\cos(X/R)$  – коефіцієнт для перерахунку координат з площини на сферу;  $\Delta V_x, \Delta V_y$  – виправлення до повітряної швидкості.

Шляховий спосіб реалізується шляхом врахування впливу вітру (шляхової швидкості ( $W$ ) та кута зносу в алгоритмах розрахунку параметрів управління, що забезпечує формування траєкторії виводу літака безпосередньо в задану точку:

$$X_{\text{пот.}} = X_0 + \sum_{i=1}^n W_{x_i} \cdot \Delta t, \quad (3)$$

$$Z_{\text{пот.}} = Z_0 + \sum_{i=1}^n W_{z_i} \cdot \Delta t. \quad (4)$$

Задача польоту за заданою траєкторією – маршрутний спосіб, коли політ здійснюється по лінії заданого шляху, вирішується в ПНК шляхом формування команд для системи автоматичного управління на основі реалізації складних математичних моделей.

Для виконання польоту за заданим маршрутом необхідно попереднє програмування координат поворотних точок, даних заходу на посадку в бортову апаратуру.

ПНК літаків військового призначення забезпечують виконання польоту в автономному режимі, тобто в умовах часткової або повної відсутності за-

собів навігаційного забезпечення польотів. Корегування зчислених координат забезпечується за рахунок використання різних способів корекції, які застосовуються в залежності від умов виконання польоту. Порівняльна характеристика реалізованих в ПНК способів корекції наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика способів корекції числення координат в ПНК

Засіб корекції	Характеристика та обмеження			
	Наземна складова	Радіозамітність	Умови застосування	
			ПМУ	СМУ
РСБН	+	+	+	+
РСДН	+	–	+	+
Візири:				
РЛС	–	+	+	+
ЛТПС	–	–	+	–

Якщо наявність явних обмежень (складні метеорологічні умови, відсутність ознаки знаходження ЛА в зоні дії радіотехнічних засобів навігації) дозволяє обрати необхідний спосіб корекції координат, то при можливості застосовувати декількох способів виникає завдання вибору найбільш точного способу.

Дослідження точносних характеристик числення координат в інерціальних навігаційних системах, способів корекції з врахуванням геометричного фактору (DOP) радіотехнічних систем дальньої навігації РСДН, РСБН, свідчить про необхідність обґрунтування вибору ділянки та способу корекції (рис. 1).

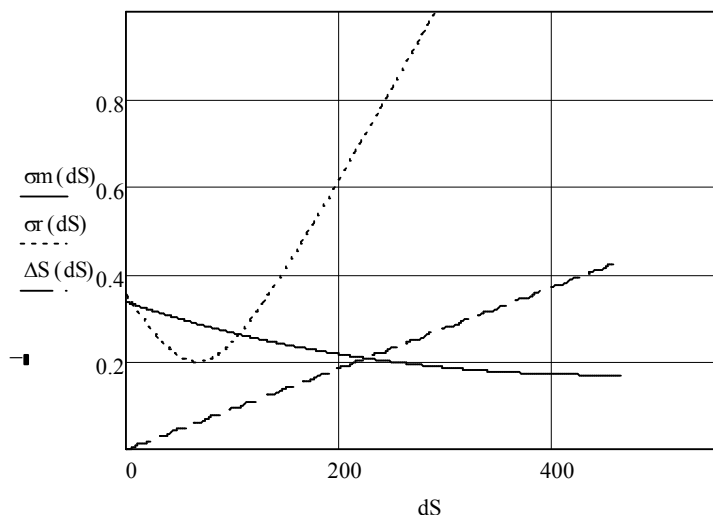


Рис. 1. Точнісні характеристики РСБН ( $\sigma$ ), РСДН ( $\sigma_m$ ), ІНС ( $\Delta S$ )

З результатів моделювання видно, що неправильний вибір засобу корекції приводить до погіршення точності числення координат ЛА.

За відсутності навігаційного забезпечення в районі виконання польотів, складних метеорологічних умов, які обмежують ведення візуального орієнту-

вання, визначення координат ЛА, корекція координат в пілотажно-навігаційних комплексах можливе за рахунок застосування супутникових радіонавігаційних систем.

На даний час інтеграція приймачів супутникових радіонавігаційних систем в ПНК реалізована тільки на рівні видачі навігаційних параметрів польоту в бортові пілотажно-навігаційні прилади.

При цьому комплексна обробка інформації в бортових цифрових обчислювальних системах не здійснюється.

Сучасні вимоги до рішення завдань навігації та бойового застосування характеризуються високими точнісними показниками.

Для оцінки точнісних характеристик супутникових радіонавігаційних систем та подальшого обґрунтування напрямків створення та удосконалення математичних моделей з питань комплексної обробки інформації, в роботі проведено експериментальне дослідження показань стаціонарно розташованого приймача супутникової радіонавігаційної системи (GPS модуль GY-NEO6MV2).

Дані досліджень точності визначення геодезичних координат, висоти об'єкта, параметрів геометричного коефіцієнту HDOP наведено на рис. 2 – 5.

```

$GPGGA,182004.00,4959.24565,N,03604.02596,E,1,05,2.87,16
0.3,M,17.3,M,,*52
$GPGSA,A,3,28,30,17,19,13,,,,,,,,4.46,2.87,3.41*0A
$GPGSV,2,1,06,13,49,197,31,15,50,262,23,17,56,125,36,19,54,
122,34*71
$GPGSV,2,2,06,28,52,060,44,30,19,112,45*7C
$GPGLL,4959.24565,N,03604.02596,E,182004.00,A,A*6E
$GPRMC,182005.00,A,4959.24554,N,03604.02696,E,0.110,,13
0116,,A*73
$GPVTG,,T,,M,0.110,N,0.204,K,A*25
    
```

Рис. 2. Дані запису протоколу NMEA 0183

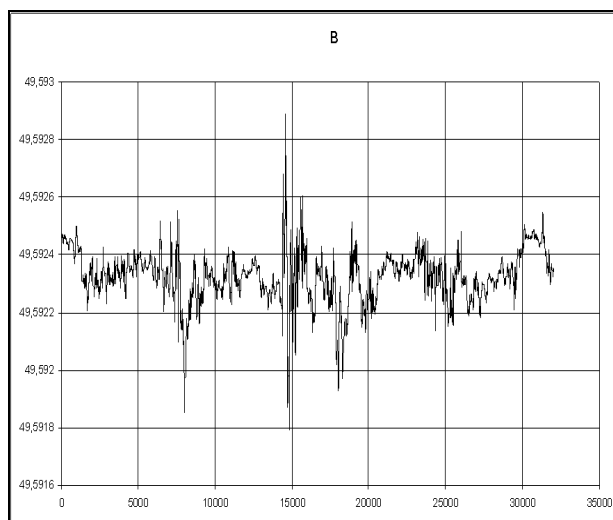


Рис. 3. Дані запису геодезичної широти

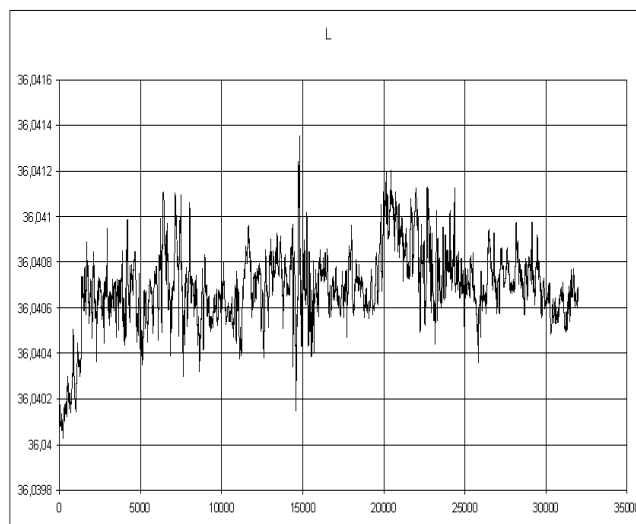


Рис. 4. Дані запису геодезичної довготи

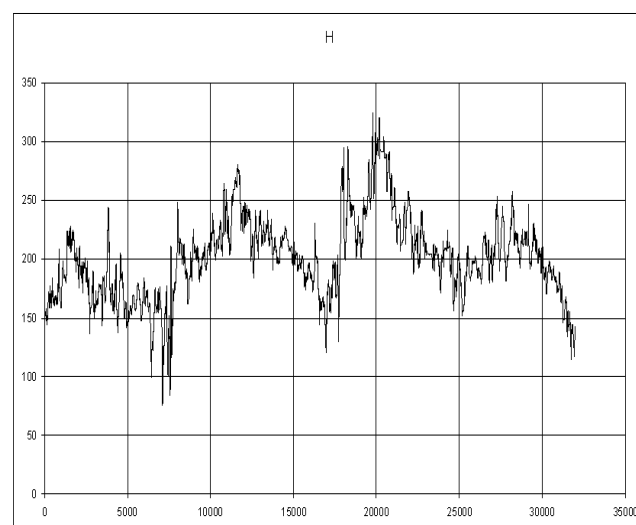


Рис. 5. Дані запису висоти

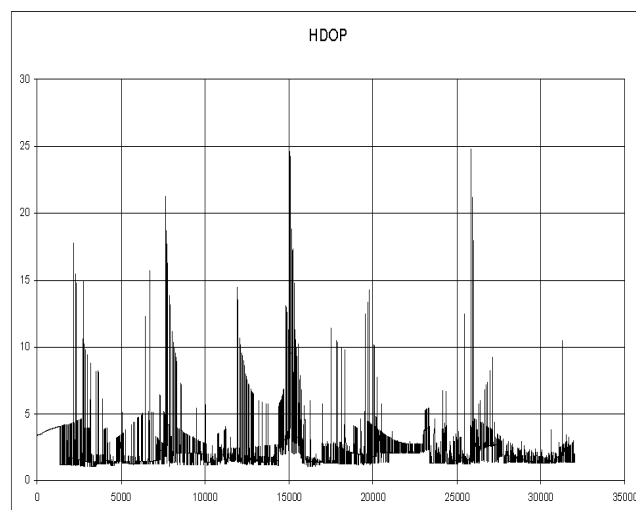


Рис. 6. Дані запису коефіцієнту HDOP

В результаті аналізу даних роботи СРНС визначено, що автономне застосування апаратури СРНС не забезпечує надійне визначення просторо-

вих координат об'єкта. З графіків видно, що абсолютна похибка вимірювання даних знаходиться в межах 50 – 200 м, що не може бути основою для вирішення задач безпеки польотів, навігації і бойового застосування.

Дослідження зміни коефіцієнту HDOP в часі свідчить про наявність періодів, коли точність роботи найгірша, але є періоди, коли точність максимальна і складає одиниці метрів.

Довільне використання даних апаратури супутникових радіонавігаційних систем в окремих випадках може привести до погіршення точності числення координат. Враховуючи циклічність зміни точності роботи СРНС (рис. 6), запропоновано на підставі комплексного аналізу даних для визначення ділянки виконання корекції координат здійснювати прогноз руху супутників – тобто на підставі оцінки параметрів їх руху прогнозувати зміну коефіцієнту HDOP.

Використання запропонованого підходу разом із оцінкою точностних характеристик різних способів корекції дозволить підвищити точність польоту по маршруту та розрахунку довільної траєкторії польоту ЛА на етапі виходу в район аеродрому та при заході на посадку.

## Висновки

Моделювання впливу геометричного коефіцієнту на точність визначення координат підтвердило можливість мінімізації похибок за рахунок вибору не тільки більш точного способу корекції, а й обґрунтування вибору ділянки маршруту, на якій необхідно її виконати.

Модернізація ПНК за рахунок введення до її складу апаратури СРНС не повинна завершуватись формальною видачею пілотажно-навігаційної інформації на прилади в кабіні екіпажу.

Необхідно здійснювати модернізацію апаратної частини БЦВС ПНК та реалізовувати сучасні алгоритми комплексної обробки інформації.

## Список літератури

1. Хусаинов Н.Ш. Выбор участка коррекции местоположения летательного аппарата с учетом геометрического фактора навигационного поля для автономной системы ближней радионавигации / Н.Ш. Хусаинов // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. – 2010. – № 3. – С. 60-62
2. Щербинин В.В., Кравченко П.П., Хусаинов Н.Ш.. Разработка и моделирование бортовой интегрированной системы управления движением с коррекцией координат по автоматической системе ближней радионавигации для перспективных летательных аппаратов / В.В. Щербинин, П.П. Кравченко, Н.Ш. Хусаинов // Известия ЮФУ. Технические науки. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ. – 2008. – № 12/ том 89. – С. 43-52
3. Шестаков И.Н.. Повышение точности позиционирования подвижных объектов с применением нескольких приемных устройств СРНС на борту ВС / И.Н. Шестаков // Научный вестник МГТУ ГА сер. Радиопизика и радиотехника. – 2006. – № 107. – С. 180-189
4. Бабиченко А.В. Математическое моделирование при обеспечении точности решения информационных задач в модернизируемых бортовых комплексах высокоманевренных летательных аппаратов / А.В. Бабиченко // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. сер. «Приборостроение». – 2009. – № 3(76). – С. 55-66
5. Павлов В.В. Концепция сетцентрического управления посадкой самолетов по свободным траекториям с технологией решения конфликтных ситуаций / В.В. Павлов, Д.А. Волошенко, А.Е. Волков // Кибернетика и вычислительная техника. – 2014. – Вып. 178. – С. 36-51.

Надійшла до редколегії 18.02.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.І. Тимочко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ВЫБОР УЧАСТКА КОРРЕКЦИИ КООРДИНАТ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ САМОЛЕТА С УЧЕТОМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ФАКТОРА НАВИГАЦИОННОГО ПОЛЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

А.М. Ситков, Ю.В. Афанасьев

*Рассматриваются вопросы влияния геометрического фактора на точность определения координат самолета, подходы к реализации способов коррекции координат в различных пилотажно-навигационных комплексах (ПНК). Проведено экспериментальное исследование работы приемника GPS, выполнена оценка точностных характеристик по определению координат объекта и определены пути модернизации бортовых ПНК.*

**Ключевые слова:** пилотажно-навигационный комплекс, геометрический фактор, спутниковая радионавигационная система, математическое моделирование.

## SITE SELECTION CORRECTION COORDINATE LOCATION OF THE AIRCRAFT TAKING INTO ACCOUNT THE GEOMETRIC FACTOR OF THE NAVIGATION FIELD NAVIGATION SYSTEMS

A.M. Sitkov, Y.V. Afanasiev

*Discusses the influence of geometric factor on the accuracy of determination of coordinates of the aircraft. Approaches to the implementation of the correction methods of position in various pilot navigation system (PNS). An experimental study of the operation of the GPS receiver, estimation of accuracy characteristics of the coordinates of the object and the ways of modernization of the PNS.*

**Keywords:** pilot navigation system, geometric factor, satellite navigation system, mathematical modeling.