

УДК 621.396

О.Б. Котов, П.М. Масалітін, Н.В. Петренко, В.М. Петров

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ЗАХІД НА ПОСАДКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИЦІЛЬНО-НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ЛІТАКА

Запропоновано та обґрунтовано спосіб заходу на посадку літаків тактичної авіації на необладнаний радіотехнічними засобами аеродром у складних метеорологічних умовах. Виконаний аналіз точності визначення параметрів виводу літака на початок злітно-посадочної смуги. Надані практичні рекомендації по використанню прицільно-навігаційного комплексу літака та обладнанню аеродрому.

**Ключові слова:** маршрутний спосіб виходу у задану точку, лінія заданого шляху, корекція зчислених координат, захід на посадку, координати літака, лінійне бічне відхилення, середньоквадратична радіальна похибка, винесена точка прицілювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Удосконалення організаційно-штатної структури авіації Повітряних Сил в останні роки привела до зменшення чисельності діючих аеродромів. Для забезпечення обороноздатності держави, виконання покладених завдань авіацією у визначених ситуаціях у повному обсязі, Повітряні Сили вимушені утримувати оперативні аеродроми, які забезпечуються авіаційними комендатурами (АК) і без достатнього радіотехнічного обладнання. В особливий період виникає необхідність створення авіаційного угруповання у визначеному оперативно-стратегічному напрямі (ОСН), яка повинна здійснюватись в найкоротші терміни. При виконанні перебазування льотного ешелону авіації може виникнути ситуація, коли посадку необхідно буде здійснювати на необладнаний у радіотехнічному відношенні аеродром. Радіотехнічне обладнання аеродромів, які забезпечуються АК, може забезпечити посадку літаків тактичної авіації (ТА) тільки вдень у простих метеорологічних умовах. Для забезпечення заходу на посадку у складних метеорологічних умовах пропонується спосіб з використанням прицільно-навігаційного комплексу (ПНК) літака. Цей спосіб може використовуватись при заході на посадку на будь-який необладнаний у радіотехнічному відношенні аеродром. Для застосування даного способу використовується штатний ПНК літака, де реалізований маршрутний спосіб виводу літака у задану точку (ЗТ). **Метою статті є:** надання практичних рекомендацій екіпажам по використанню штатного обладнання літаків для виконання заходу на посадку на необладнаний у радіотехнічному відношенні аеродром при здійсненні маневру ТА на визначений ОСН.

### Викладення основного матеріалу

Сутність даного способу полягає у визначенні лінійного бічного відхилення ( $Z$ ) від лінії заданого шляху (ЛЗШ) та формуванню сигналу управління,

який поступає у систему автоматичного управління (САУ) для виводу літака на ЛЗШ. При  $Z = 0$  лінія заданого шляху співпадає з лінією фактичного шляху (ЛФШ) та забезпечується вивід літака у ЗТ з заданого напрямку, тобто заданий шляховий кут буде дорівнюватись фактичному шляховому куту ( $\beta_{\text{зад}} = \psi$ ), що є важливим при заході на посадку (рис. 1).

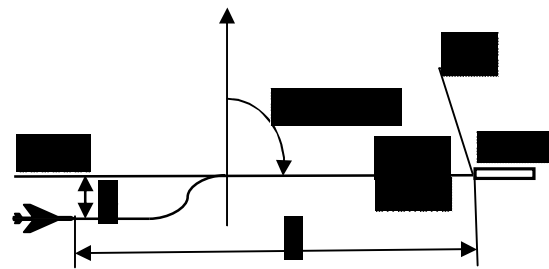


Рис. 1. Сутність маршрутного способу виводу літака у задану точку

Параметрами виводу літака на початок злітно-посадочної смуги (ЗПС) з визначеного напрямку є значення лінійного бічного відхилення  $Z$  і відстані до початку ЗПС  $S$ . Для отримання формул для визначення параметрів виводу літака на початок ЗПС маршрутним способом використаємо рис. 2.

З трикутника  $ABC$  запишемо:

$$\begin{aligned} Z &= D \sin(\beta_{\text{зад}} - \psi); \\ S &= D \cos(\beta_{\text{зад}} - \psi), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\beta_{\text{зад}}$  – заданий шляховий кут виходу на ЗПС;

$\psi$  – фактичний шляховий кут виходу на ЗПС.

$$\begin{aligned} D \sin \psi &= X_{\text{ЗПС}} - X_{\text{ЛА}}; \\ D \cos \psi &= Y_{\text{ЗПС}} - Y_{\text{ЛА}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Розкривши значення синуса та косинуса різності кутів в (1), та враховуючи (2) отримаємо:

$$\begin{aligned} Z &= (Y_{\text{ЗПС}} - Y_{\text{ЛА}}) \sin \beta_{\text{зад}} - (X_{\text{ЗПС}} - X_{\text{ЛА}}) \cos \beta_{\text{зад}}; \\ S &= (Y_{\text{ЗПС}} - Y_{\text{ЛА}}) \cos \beta_{\text{зад}} + (X_{\text{ЗПС}} - X_{\text{ЛА}}) \sin \beta_{\text{зад}}. \end{aligned} \quad (3)$$

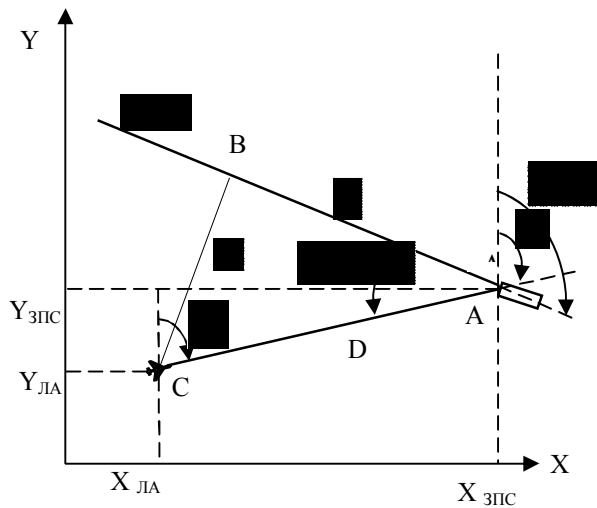


Рис. 2. Визначення параметрів виводу літака на ЗПС

Обчислення параметрів  $Z$  та  $S$  реалізовано алгоритмічно в ПНК літака, дозволяє виводити його на початок ЗПС. При цьому значення лінійного бічного відхилення ( $Z$ ) поступає у вигляді заданого крену літака на комбінований пілотажний прибор та САУ і екіпаж може в ручному, директорному або в автоматичному режимі пілотування вивести літак у горизонтальній площині на початок ЗПС. Зниження літака по глісаді здійснюється з розрахованою вертикальною швидкістю з контролем фактичної висоти літака на глісаді у контрольних точках, значення яких приведено у табл. 1.

Таблиця 1

Значення висоти літака ( $H$ ) при зниженні по глісаді в залежності від відстані до ЗПС ( $S$ )

$S$ (км)	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	1
$H$ (м)	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	100	50

Індикація повздовжньої відстані до ЗПС ( $S$ ) здійснюється на покажчиках дальності і дозволяє знижуватись по заданій глісаді в ручному режимі або в режимі сумісного пілотування з використанням САУ.

Точність виводу літака на початок ЗПС залежить від тактико-технічних характеристик ПНК, що обумовлюють точність зчислення поточних координат літака  $X_{ЛА}$ ,  $Y_{ЛА}$ . Тому фактична відстань до ЗТ буде визначатись:

$$S_{\phi} = S + \Delta S_{зч}, \quad (4)$$

де  $\Delta S_{зч}$  – похибка зчислення відстані польоту літака без виконання корекції поточних координат (в кілометрах).

Похибка зчислення координат літака існуючими ПНК характеризується виразом

$$\Delta S_{зч} = 0,5 + 0,05 S_{пр}, \quad (5)$$

де  $S_{пр}$  – відстань, яка пройдена літаком без виконання корекції поточних координат (в кілометрах);

0,5 – систематична похибка зчислення, яка введена в ПНК конструктивно (в кілометрах).

При середньої відстані заходу на посадку 20 кілометрів похибка зчислення ( $\Delta S_{зч}$ ) без виконання корекції, яка розрахована по формулі (5), складає 1,5 кілометра, що не дозволяє у СМУ без корекції виконати нормальну посадку.

Точність польоту по ЛЗШ маршрутним способом (а значить і точність виходу на початок ЗПС) залежить від частоти виконання корекцій зчислених координат літака при його зниженні на посадочному курсі. При використанні даного способу літак виконує політ по ЛЗШ з точністю, з якою величина лінійного бічного відхилення  $Z$  може бути обчислена і при управлінні польотом утримуватись рівною нулю ( $Z=0$ ). ЛЗШ вводиться в ПНК заданим шляховим кутом виходу у ЗТ ЗПС ( $\beta_{зад}$ ) та координатами ЗТ ( $X_{ЗПС}$ ,  $Y_{ЗПС}$ ). Тому бічні відхилення літака визиваються перш за все похибками у вказаних параметрах. Розглянемо вплив кожної з вказаних похибок.

Вплив похибки визначення та утримування заданого шляхового кута виходу у ЗТ ЗПС зводиться до того, що в ПНК буде враховуватись фіктивна лінія шляху (ФЛШ), яка відхилена від заданої на величину кутової похибки  $\Delta\beta_{зад}$  (рис. 3).

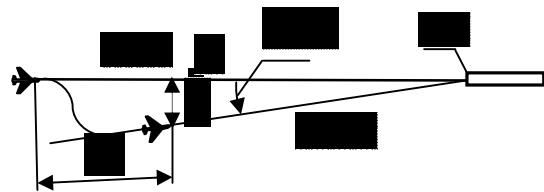


Рис. 3. Вплив похибки визначення та утримування заданого шляхового кута виходу у ЗТ ЗПС

Враховуючи середньоквадратичне значення похибки у шляховому куті  $\sigma_{\beta_{зад}}$ , отримаємо:

$$y_{z_{\beta}} = (S - S_{пр}) y_{\beta_{зад}}, \quad (6)$$

де  $y_{z_{\beta}}$  – середньоквадратичне значення лінійного бічного відхилення за рахунок похибки визначення та утримування заданого шляхового кута виходу у ЗТ ЗПС.

Значення середньоквадратичної похибки у шляховому куті  $\sigma_{\beta_{зад}}$  при використанні малогабаритної інерціальної системи (МІС) для визначення та витримування курсу польоту складає 15 хвилин. Значення середньоквадратичного лінійного бічного відхилення за рахунок похибки визначення та утримування заданого шляхового кута виходу у ЗТ ( $y_{z_{\beta}}$ ) (при її розрахунку) залежать від початкової відстані

до ЗПС та пройденої літаком відстані  $S_{пр}$  і знаходяться у межах декількох десятків метрів (табл. 2).

Таблиця 2

Значення середньоквадратичного лінійного бічного відхилення за рахунок похибки визначення та утримування заданого шляхового кута виходу у ЗТ ( $y_{z_а}$ ) при інтервалі корекції 5 км

S (км)	20	15	10	5
$S_{пр}$ (км)	5	5	5	5
$y_{z_а}$ (м)	66	44	22	0

У момент кожної корекції похибка  $\sigma_{z_e}$  буде обнулятися і траєкторія польоту літака буде залежати тільки від точності корекції зчислених координат літака.

Наявність бічної похибки у визначенні координат ЗТ приводить до того, що в ПНК враховується ФЛШ, яка розташована від ЛЗШ на величину лінійної похибки  $\ell_{ЗТ}$ . При відсутності інших похибок ФЛШ буде паралельна ЛЗШ, тому отримаємо:

$$\sigma_{ЗТ} = \sigma_{\ell_{ЗТ}}, \quad (7)$$

де  $\sigma_{\ell_{ЗТ}}$  – середньоквадратичне значення похибки у координатах заданої точки (рис. 4).

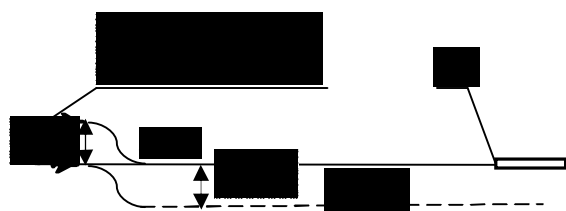


Рис. 4. Вплив похибки в координатах ЗТ ЗПС

Так як координати ЗТ ЗПС відомі, тому похибок за рахунок завдання координат ЗТ не буде (середньоквадратичні значення похибки у координатах заданої точки  $\sigma_{\ell_{ЗТ}} = 0$ ).

Бічна похибка може виникнути лише за рахунок неточної корекції зчислених координат літака, тобто  $\ell_{ЗТ} = \Delta S_{кор}$ . Точність корекції з РПО характеризується середньоквадратичною радіальною похибкою, яка визначається за допомогою виразу (8).

Звідси слідує, що є необхідність на посадочному курсі виконувати корекцію поточних координат з використанням радіолокатора переднього огляду (РПО).

Точність корекції з РПО залежить від точності визначення за його допомогою нахиленої дальності та пеленгу до ЗПС і характеризується середньоквадратичною радіальною похибкою

$$y_r = \sqrt{y_D^2 + (0,0175y_{пD})^2}, \quad (8)$$

де  $\sigma_D$ ,  $\sigma_{п}$  – середньоквадратичні похибки визначення дальності та пеленгу до ЗТ ЗПС відповідно.

Середньоквадратична похибка визначення дальності за допомогою РПО при роботі його у сантиметровому діапазоні (режим Б) складає  $\sigma_D^B = 50$  м, при роботі у міліметровому діапазоні (режим А) –  $\sigma_D^A = 25$  м.

Середньоквадратична похибка визначення пеленгу при роботі РПО у сантиметровому діапазоні складає  $\sigma_{п}^B = 40'$ , при роботі у міліметровому діапазоні –  $\sigma_{п}^A = 15'$ .

Значення середньоквадратичної радіальної похибки корекції поточних координат з РПО приведена у табл. 3.

Таблиця 3

Точність корекції зчислених координат літака за допомогою РПО

Діапазон роботи РПО	Значення середньоквадратичної радіальної похибки $\sigma_r$ (м) при відстані до ЗПС					
	20 км	15 км	10 км	5 км	2 км	1 км
Б	239	182	127	77	55	51
А	91	71	51	33	27	25

З таблиці видно, що похибка корекції зчислених координат літака  $\sigma_r$  зменшується (підвищується точність визначення поточних координат літака) при зменшенні відстані до ЗПС та при використанні режиму „А” роботи РПО. З відстані до ЗПС менше 2 кілометрів (дальність прийняття рішення на посадку) зчислені координати літака визначаються не гірше ніж 27 – 25 метрів. Така точність дозволяє екіпажу вийти на початок ЗПС, візуально її визначити та виконати нормальну посадку.

Недоліками використання РПО для корекції зчислених координат літака є: ЗПС (особливо ґрунтова) має слабку контрастність у радіолокаційному відношенні і вимагає високу підготовку екіпажу для її визначення та впізнання; на малих відстанях (менше 1000 м) на відео-контрольному пристрої (екрані прицілу) РПО відмітка від будь-якого радіолокаційно-контрастного орієнтиру починає «розпливатися», тому виникають труднощі в утриманні цілі у перехресті та додаткові похибки у визначенні координат. Для уникнення недоліків пропонується додаткове обладнання аеродрому шляхом установки у безпечному місці кутових відбивачів, які використовуються на авіаційних полігонах в якості радіолокаційних мішенів.

Вид та розміри їх додаються у Настанові з полігонної служби Повітряних Сил Збройних Сил України (НПС-2007), яка введена в дію наказом командувача Повітряних Сил Збройних Сил України від 29.08.2007 № 318.

**Практичні рекомендації по використанню РПО в якості датчика-коректора та обладнанню аеродрому.** Для уникнення від перелічених недоліків необхідно знов таки використовувати ПНК літака, де реалізований спосіб прицілювання по винесеній точці.

Сутність даного способу полягає у тому, що в якості точки прицілювання береться природний або штучний радіолокаційний орієнтир – винесена точка прицілювання (ВТП) і від нього вирішується задача прицілювання по цілі, яка не має контрастності у радіолокаційному відношенні. Від ВТП на ціль (задану точку) у ПНК програмується («зашивається») у визначеному напрямку  $\theta$  винос цілі  $B$  (відстань, на якій знаходиться ЗТ від ВТП) (рис.5). При такому способі прицілювання здійснюється по контрастній ВТП, який легко пізнається, а літак маршрутним способом виводиться у ЗТ, враховуючи напрямку ( $\theta$ ) та відстань ( $B$ ) до ЗТ ЗПС. ПНК літака у штатному режимі прицілювання по ВТП вирішує задачу по виводу літака у ЗТ після визначення відмітки від кутових відбивачів (радіолокаційної мішені) по відео-контрольному пристрою та виконання прив'язки по ньому. При цьому прив'язка здійснюється по ВТП<sub>2</sub> при заході на посадку з напрямку по ЛЗШ<sub>1</sub>, та навпаки. Це надає можливість «бачити» ВТП до моменту посадки (торкання літаком ЗПС).

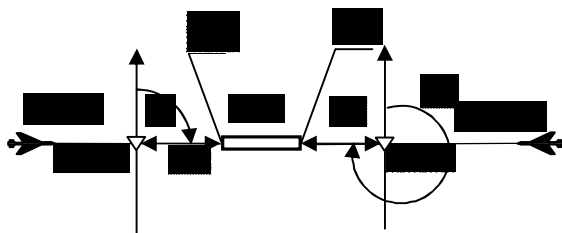


Рис. 5. Сутність способу прицілювання по винесеній точці для виводу літака у задану точку

На аеродромі, за межами ЗПС у безпечних місцях, обираються ВТП<sub>1</sub> та ВТП<sub>2</sub>, які маркуються (обладнуються) кутовими відбивачами. У якості ЗТ<sub>1</sub> та ЗТ<sub>2</sub> обираються середини початків ЗПС з обома напрямками посадки. З кожної ВТП на кожну ЗТ вимірюються та прошиваються в ПНК напрямки ( $\theta_1, \theta_2$ ) та відстані ( $B_1, B_2$ ).

На аеродромі може бути обладнана одна ВТП, яка забезпечить захід на посадку з обома напрямками заходу (рис. 6).

Схема обладнання аеродрому кутовими відбивачами показана на рис. 7. Кутові відбивачі (1, 2, 3, 4) встановлюються з нахилом до площини горизонту: 1 –  $-25^\circ$ ; 2 –  $-10^\circ$ ; 3 –  $+25^\circ$ ; 4 –  $+10^\circ$ . Такий нахил забезпечує їх гарантовану видимість за допомогою РПО з висот от 0 до 2000 метрів на відстань до 30 кілометрів.

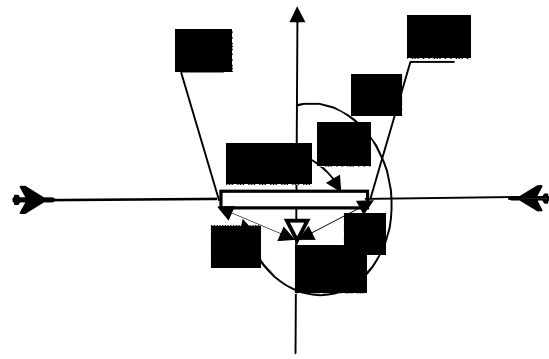


Рис. 6. Варіант обладнання аеродрому однією ВТП

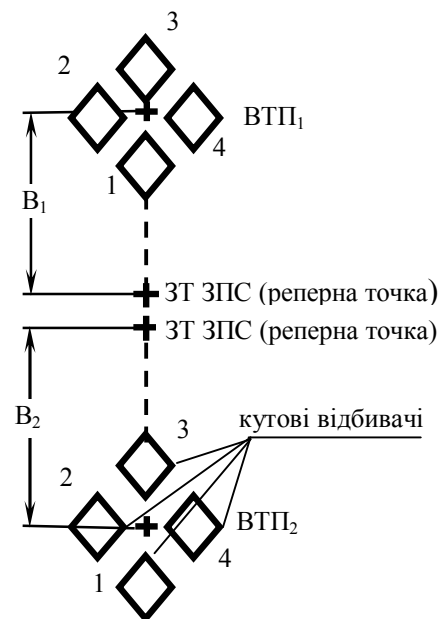


Рис. 7. Схема обладнання аеродрому кутовими відбивачами (винесеними точками прицілювання)

Величина виносу ВТП ( $B$ ) від реперної точки (ЗТ) обирається виходячи із розмірів ЗПС та місця розташування кутових відбивачів.

Для кожного аеродрому кути установки уточнюються під час практичного обльоту ВТП.

## Висновки

Таким чином, використання прицільно-навігаційного комплексу літаків тактичної авіації та установка на оперативних аеродромах кутових відбивачів дозволить підвищити їх можливості по перебазуванню, виконувати посадку у складних метеорологічних умовах на необладнані у радіотехнічному відношенні аеродроми.

Запропонований спосіб заходу на посадку можливо використовувати в умовах фінансових обмежень бойової підготовки не тільки на оперативних, але і стаціонарних аеродромах.

## Список літератури

1. Молоканов Г.Ф. Комплексные системы навигации и их применение / Г.Ф. Молоканов, Н.Г. Рачковский. – Монино, 1969. – 255 с.

2. Молоканов Г.Ф. Автоматизация самолетовождения и комплексные навигационные системы / Г.Ф. Молоканов. – Монино, 1977. – 495 с.

3. Романовский А.П. Применение геотехнических средств воздушной навигации / А.П. Романовский, Ю.А. Матвеев, Е.П. Ремяников. – М.: Воениздат МО СССР, 1992. – 304 с.

4. Методическое пособие. Техника пилотирования, самолетовождение, боевое применение самолета Су-24 (Су-24М). – М.: Воениздат МО СССР, 1985. – 720 с.

5. Настанова з полігонної служби Повітряних Сил Збройних Сил України (НПС-2007) – Вінниця, 2007. – 191 с.

Надійшла до редколегії 17.12.2009

Рецензент: д-р техн. наук, с.н.с. О.Б. Леонтьев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ЗАХОД НА ПОСАДКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИЦЕЛЬНО- НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА САМОЛЕТА

О.Б. Котов, П.М. Масалітін, Н.В. Петренко, В.М. Петров

Предложен и обоснован способ захода на посадку самолета тактической авиации на необорудованный радиотехническими средствами аэродром в сложных метеорологических условиях. Выполнен анализ точности определения параметров вывода самолета на начало взлетно-посадочной полосы. Даны практические рекомендации по использованию прицельно-навигационного комплекса самолета и оборудованию аэродрома.

**Ключевые слова:** маршрутный способ выхода в заданную точку, линия заданного пути, коррекция счисленных координат, координаты самолета, линейное боковое уклонение, среднеквадратическая радиальная ошибка, вынесенная точка прицеливания.

### STOPPING ON LANDING WITH THE USE OF AIMING-NAVIGATION COMPLEX OF AIRPLANE

O.B. Kotov, P.M. Masalitin, N.V. Petrenko, V.M. Petrov

Method of stopping on landing of airplane of tactical aviation on unequipped radio engineering facilities the air field in difficult meteorological terms is offered and grounded. The analysis of exactness of determination of parameters of conclusion of airplane on beginning of air strip is executed. Practical recommendations on drawing on the aiming-navigation complex of airplane and equipment of the air field are given.

**Keywords:** rout method of output in the set point, line of the set way, correction of calculated coordinates, coordinates of airplane, linear lateral deviation, radial error, taken away point of aiming.