

УДК.621.396.61

М.Д. Рисаков, І.Л. Костенко, І.В. Тітов, В.Г. Карєв, С.М. Рот

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В ЗОНАХ НОРМОВАНИХ ВІДХИЛЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ РАДІОМАЯКОВИХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

У роботі пропонується методика оцінки ймовірності виведення і супроводження повітряних суден в зоні нормованих відхилень за допомогою радіомаякових систем посадки до висоти прийняття рішення по нормам I категорії метеомінімуму. Розраховані значення точності супроводження повітряних суден у двох площинах зони посадки за допомогою радіомаякової системи типу ПРМГ-5. Отримані ймовірності супроводження цією системою в зонах допустимих і нормальних відхилень.

**Ключові слова:** радіомаякові системи посадки, складні погодні умови, висота прийняття рішення, зони допустимих та нормальних відхилень, повітряні судна

### Вступ

**Постановка завдання.** В якості систем посадки можуть використовуватися радіомаякові системи (РМС) і радіолокаційними системами посадки (РСП), причому як окремо, так і комплексно. Для забезпечення в цих умовах безаварійної посадки повітряних суден (ПвС) будь-яка з цих систем повинна забезпечити відповідну точність виведення і супроводження ПвС по кутам і по висоті відносно заданої траєкторії посадки (ЗТП) та по дальності відносно розрахункової точки приземлення (РТП) у простих та складних метеорологічних умовах (СМУ).

Практичний інтерес представляє знаходження значень ймовірностей виведення ПвС в зоні нормованих відхилень за допомогою РМС дециметрового діапазону хвиль типу ПРМГ-5. Для цього необхідно знайти точність, з якою екіпаж має можливість оцінити місцеположення ПвС відносно заданої траєкторії посадки.

**Аналіз публікацій.** У статті [1] розглядаються проблемні питання визначення загальних напрямів підвищення якості радіонавігаційного забезпечення України. У роботі [2] обґрунтовуються особливості пілотування екіпажем ПвС по бортовим приладам РМС і використання координатної інформації посадкового радіолокатора (ПРЛ), що передається керівником зони посадки по каналу радіозв'язку. У роботі [3] приведений аналіз тенденцій розвитку систем посадки ПвС по сигналах супутникових радіонавігаційних систем.

**Мета статті.** Автори ставили на меті оцінити в статті точність вимірювання кутових координат та ймовірності виведення ПвС в зоні допустимих та нормальних відхилень за допомогою радіомаякової системи типу ПРМГ-5.

### Виклад основного матеріалу

При заході на посадку ПвС в СМУ, радіотехнічні системами посадки, до яких відносяться РСП та

РМС, мають вивести ПвС з високою ймовірністю в деяку область  $Q$ , перебуваючи в якій, екіпаж ПвС має можливість візуально оцінити своє місцеположення відносно ЗТП, прийняти рішення на посадку і успішно здійснити її на відповідну площу  $S_n$  ЗПС. Ця область знаходиться нижче хмар в площині, перпендикулярній до ЗТП, перед злітно-посадковою смугою (ЗПС) (рис. 1).

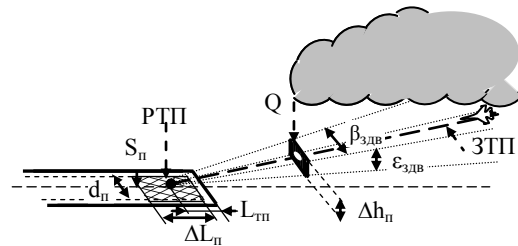


Рис. 1. Области допустимих відхилень ПвС від ЗТП по курсу  $\beta_{здв}$  і по глісаді  $\epsilon_{здв}$

На ЗПС площа  $S_n$ , центральною точкою якої є РТП, характеризується шириною  $d_n$  і довжиною  $\Delta L_n$  ( $S_n = \Delta L_n \cdot d_n$ ), а також віддаленням РТП  $L_{тп}$  від торця ЗПС.

В площі  $Q$  кутові відхилення ПвС від ЗТП по курсу (бічне відхилення) і по куту місця – глісаді зниження (поздовжнє відхилення або відхилення по висоті) не повинні перевищувати допустимих значень. Розміри площі  $Q$  залежать від максимальних значень величин кута крену, вертикальної швидкості зниження і перевантаження, допустимих для конкретного типу ПвС при виправленні похибок пілотування при заході на посадку [2].

Площину  $S_n$  називають майданчиком (смугою) точного приземлення. Ширина  $d_n$  цього майданчика зазвичай становить 60 % ширини  $d_{зпс}$  ЗПС, довжина  $\Delta L_n = 300$ м, а віддалення РТП  $L_{тп} = 195 \div 200$  м від торця ЗПС [4]. Будемо виходити із того, що

$d_{знс} = 40$  м, тоді ширина майданчика точного приземлення матиме значення  $d_n = 24$  м.

Якщо ПвС при посадці приземляється в цьому майданчику, то така посадка вважається оптимальною (точною). Для такого приземлення ПвС перед посадкою і повинно бути виведено у площину Q. При цьому ширина  $d_n$  площини Q співпадає з шириною майданчика  $S_{тп}$ , а висота  $\Delta h_n$  пов'язана з її довжиною  $\Delta L_n$  і кутом глісади  $\epsilon_n$  виразом:

$$\Delta h_n = \Delta L_n \cdot \sin \epsilon_n \quad (1)$$

Для кута глісади  $\epsilon_n = 2^\circ 40'$  і  $\Delta L_n = 300$  м згідно (1) отримаємо:  $\Delta h_n \approx 14$  м.

Кутові розміри площі Q відносно РТП (рис. 1) у двох площинах отримали назву зон допустимих відхилень (ЗДВ) по курсу  $\beta_{зdv}$  та по глісаді  $\epsilon_{зdv}$ .

При цьому розміри ЗДВ по курсу  $\beta_{зdv}$  визначаються по допустимих значеннях кута крену, а розміри  $\epsilon_{зdv}$  – по допустимих значеннях вертикальної швидкості конкретного типу ПвС. Тобто розміри ЗДВ в двох площинах для конкретного типу ПвС мають різні значення і крім цього залежать від досвідченості льотчика. Дійсно, досвідчені льотчики можуть успішно здійснювати виправлення похибок виведення ПвС на ЗТП з кутом крену і при вертикальній швидкості, значення яких дещо перевищують допустимі.

З метою прийняття керівником зони посадки (КрЗП) правильного рішення про вихід ПвС на ЗТП з необхідною точністю, для ПвС фронтової авіації ВПС колишнього СРСР були визначені усереднені значення нормованих зон відхилень ПвС від ЗТП по курсу і куту місця (глісаді) [5]. Ці зони мають розміри, які дозволяють екіпажу виправляти похибки пілотування без додаткових труднощів і забезпечити точне виведення ПвС на майданчик  $S_{тп}$  ЗПС (рис. 1). Такими зонами є вже названі зони допустимих відхилень і зони нормальних відхилень (ЗНВ) від ЗТП, розміри яких приблизно у три рази менші розмірів ЗДВ. При цьому, якщо ПвС знаходиться в ЗНВ, то вважається, що політ виконується по ЗТП і в корекції траєкторії зниження відсутня потреба, про що й інформується екіпаж. Якщо ж ПвС знаходиться в ЗДВ, то КрЗП по індикаторах ПРЛ оцінює величину лінійних відхилень від ЗТП в метрах і на встановлених рубежах 20, 10, 6, 3 та 2 км (або по запиту екіпажу) по засобам радіозв'язку передає їх екіпажу для усунення похибок пілотування.

Розміри цих зон були визначені на основі аналізу нормативних документів для льотного складу, характеристик точності ПРЛ, точності окомірного зчитування з індикаторів координат, а також статистичних даних, отриманих в ході дослідницьких робіт щодо зниження мінімуму погоди під час зльоту і

посадки ПвС.

ЗДВ у двох площинах являють собою два сектора відносно ЗТП: з кутами  $\pm 2^\circ$  по курсу ( $\beta_{зdv} = 4^\circ$ ) і  $\pm 0,5^\circ$  по куту місця ( $\epsilon_{зdv} = 1^\circ$ ), а ЗНВ – по курсу  $\pm 0,7^\circ$  ( $\beta_{зdv} \approx 1,4^\circ$ ) і по куту місця  $\pm 0,16^\circ$  ( $\epsilon_{зdv} \approx 0,32^\circ$ ).

При розрахунку чисельних значень ймовірностей  $P_v$  виведення і супроводження ПвС (у подальшому виведення) на етапі посадки в ЗДВ або в ЗНВ за допомогою систем посадки виходитимемо з того, що розміри цих зон прийнятні і для ПвС ПС ЗСУ. Очевидно, що по відомих значеннях точності вимірювання кутових координат по бортових приладах РМС та точності втримання в просторі ЗТП наземним обладнанням РМС типу посадкової радіомаякової групи ПРМГ-5 можна визначити ймовірності  $P_v$  виведення ПвС льотчиком в зони ЗДВ або ЗНВ.

Проаналізуємо такі можливості ПРМГ-5 та бортового обладнання РМС щодо виведення ПвС в ЗДВ  $P_{взdv}$  та в ЗНВ  $P_{взнв}$  у двох площинах.

До складу ПРМГ-5 входять глісадний радіомаяк (ГРМ), курсовий радіомаяк (КРМ) та ретранслятор дальноміра (РД). ГРМ і КРМ створюють у просторі площини глісади і курсу – площини рівносигнального випромінювання (РСВ) двох радіосигналів з частотою модуляції 2100 Гц і 1300 Гц (рис. 2).

Захід на посадку по РМС ґрунтується на вимірюванні льотчиком по бортових приладах РМС відхилень ПвС від площин РСВ двох пелюсток діаграм спрямованості (ДС) курсового (від площини курсу) і глісадного (від площини глісади) радіомаяків. Лінія перетину цих двох площин називається рівносигнальним напрямком (РСН) і утворює в просторі лінію (траєкторію) посадки.

Відповідно до вимог [6] КРМ розгортається на продовженні осьової лінії ЗПС на відстані  $L_{км} = 500 \div 1200$  м від торця ЗПС з боку, протилежного заходженню на посадку ПвС, а ГРМ розгортається на відстанях  $L_{гм} = 200 \div 450$  м від торця ЗПС і  $d_{гм} = 120 \div 180$  м від осьової лінії ЗПС з боку заходження на посадку.

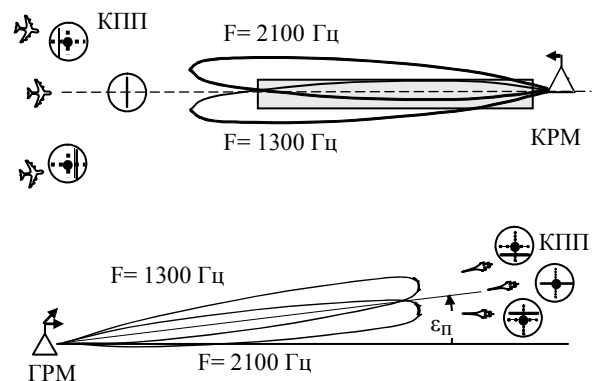


Рис. 2. Принцип розміщення та використання наземного та бортового обладнання РМС

Таке розміщення ГРМ при  $L_{ГМ} > 200$  м обумовлює зміщення по висоті на  $\Delta h$  лінії РСН відносно ЗТП, яка закінчується в РТП. Особливість розміщення ГРМ в площині ЗПС і зміщення РСН відносно ЗТП в площині курсу ілюструється на рис. 3.

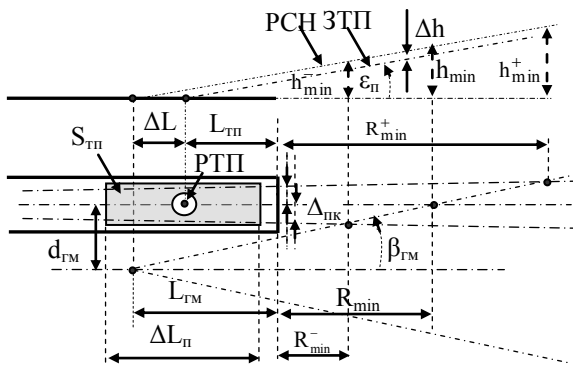


Рис. 3. Особливість розміщення ГРМ в площині ЗПС і площин РСВ ГРМ та КРМ

Із ілюстрацій видно, що зміщення по висоті на  $\Delta h$  РСН відносно РТП можна розрахувати за виразом:

$$\Delta h = (L_{ГМ} - L_{РТП}) \operatorname{tg} \epsilon_{П}. \quad (2)$$

Для середнього значення  $L_{ГМ} = 325$  м і значень  $L_{РТП} = 200$  м та  $\epsilon_{П} = 2^{\circ}40'$  згідно виразу (2) отримуємо:  $\Delta h \approx 6$  м. При цьому ЗТП над опорною точкою ЗПС проходить на висоті 9,3 м, що нижче допуску  $15 \pm 3$  м. З урахуванням того, що таке зміщення РСН відносно ЗТП до віддалень ПвС  $\geq 2150$  м від РТП і умовах відсутності викривлень РСН, відповідає його знаходженню в межах ЗНВ, таке зміщення РСН відносно ЗТП не приводить на висоті прийняття рішення (ВІР) до труднощів у екіпажу щодо подальшого виводу ПвС на потрібну висоту над опорною точкою ЗПС.

Крім цього таке розміщення ГРМ обумовлює те, що ПвС під час посадки виходить із зони дії ГРМ в точці глісади з мінімальною висотою  $h_{\min}$ , яка знаходиться на відстані  $R_{\min}$  від торця ЗПС. Ця висота для РМС називається ВІР ( $h_{\text{пр}}$ ).

До цієї висоти система посадки спроможна виконувати супроводження ПвС. Значення цих параметрів можна розрахувати по формулам, які впливають із просторової геометрії розміщення ГРМ в площині ЗПС і допустимих значень відхилення  $\Delta_{ПК} = \pm 10,5$  м площини курсу від вісі ЗПС у початку ЗПС [7]. Якщо ширина зони дії ГРМ у горизонтальній площині відносно РСН складає кут  $\pm \beta_{ГМ}$ , а заданий кут глісади  $\epsilon_{П} = 2^{\circ}40'$ , то в ідеалі (площина курсу співпадає з віссю ЗПС –  $\Delta_{ПК} = 0$ ) мінімальні значення відстані  $R_{\min}$  можна описати виразами:

$$R_{\min} = d_{ГМ} / \operatorname{tg} \beta_{ГМ} - L_{ГМ}. \quad (3)$$

З (3) видно, що в ідеалі ( $\Delta_{ПК} = 0$ ) мінімальне

віддалення ПвС від торця ЗПС, до якого можна виконувати виведення ПвС за сигналами ГРМ, залежить від ширини зони дії ГРМ і від розміщення ГРМ відносно ЗПС.

В технічній документації [7] РМС типу ПРМГ-5 приводяться допустимі значення підтримання апаратурою радіомаяків ПРМГ кутового положення площини курсу  $\Delta \beta_{ПК}$  відносно точки розміщення КРМ (лінійне відхилення  $\Delta_{ПК}$  в опорній точці відносно осової лінії ЗПС  $\pm 10,5$  м) та площини глісади  $\Delta \epsilon_{П} = \pm 0,075 \epsilon_{П}$  від встановлених за результатами обльоту положень. На рис. 4 ілюструються допустимі значення лінійних  $\Delta_{ПК}$  та кутових  $\Delta \beta_{ПК}$  відхилень площини (середньої лінії) курсу КРМ від курсу посадки, а також поточне значення лінійного відхилення  $\Delta$  площини курсу від курсу посадки в опорній точці ЗПС.

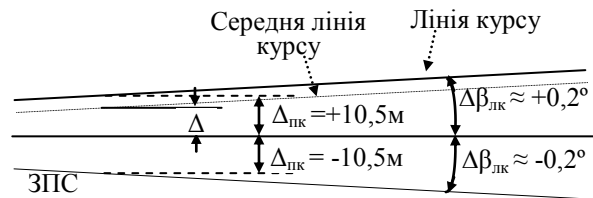


Рис. 4. Приклад викривлення площини (лінії) курсу, що формується КРМ

Аналогічний вигляд має площина (середня лінія) глісади [8]. Допустимі значення кутових відхилень площини курсу  $\Delta \beta_{ПК}$  КРМ від курсу посадки залежать від відстані  $L_{КМ}$  встановлення КРМ від кінця ЗПС та від довжини  $L_{ЗПС}$ :

$$\Delta \beta_{ПК} = \pm \operatorname{arctg} \left( \frac{\Delta_{ПК}}{L_{КМ} + L_{ЗПС}} \right). \quad (4)$$

Для  $L_{ЗПС} = 2500$  м,  $\Delta_{ПК} = 10,5$  м та трьох значень  $L_{КМ} = 500$  м; 850 м; 1200 м, із виразу (4) отримаємо три значення  $\Delta \beta_{ПК} \approx \pm 0,2^{\circ}; \pm 0,18^{\circ}; \pm 0,16^{\circ}$ .

Очевидно, що при розрахунку мінімальної відстані  $R_{\min}$  від початку ЗПС гарантованого супроводження ПвС у СМУ в зонах нормованих відхилень необхідно ураховувати допустимі значення відхилення  $\Delta_{ПК} = \pm 10,5$  м в опорній точці ЗПС. Такий облік відхилень  $\pm \Delta_{ПК}$  при визначенні віддалення і висоти виведення ПвС від торця ЗПС ілюструється на рис. 3. Для  $\Delta_{ПК} = +10,5$  м віддалення і висота виведення ПвС позначено  $R_{\min}^+$  і  $h_{\min}^+$  і  $R_{\min}^-$  та  $h_{\min}^-$  для  $\Delta_{ПК} = -10,5$  м.

Для розрахунку  $R_{\min}^+$  і  $R_{\min}^-$  можна отримати наступні вирази:

$$R_{\min}^{\pm} = \frac{L_{КМ}^{\text{от}}}{L_{КМ}^{\text{от}} \sin \beta_{ГМ} - \Delta_{ПК}} (d_{ГМ} + \Delta_{ПК} - L_{ГМ} \sin \beta_{ГМ}); \quad (5)$$

$$R_{\min}^- = \frac{L_{\text{KM}}^{\text{OT}}}{L_{\text{KM}}^{\text{OT}} \sin \beta_{\text{ГМ}} + \Delta_{\text{ПК}}} (d_{\text{ГМ}} - \Delta_{\text{ПК}} - L_{\text{ГМ}} \sin \beta_{\text{ГМ}}), \quad (6)$$

де  $L_{\text{KM}}^{\text{OT}} = L_{\text{KM}} + L_{\text{ЗПС}}$  – відстань КРМ від опорної точки ЗПС.

Підставляючи у вирази (3; 5–6) значення  $L_{\text{KM}}=850$  м;  $\beta_{\text{ГМ}}=8^\circ$ ;  $\Delta_{\text{ПК}}=10,5$  м;  $L_{\text{ЗПС}}=2500$  м;  $L_{\text{ГМ}}=325$  м;  $d_{\text{ГМ}}=150$  м отримаємо:

$$R_{\min}^- \approx 742 \text{ м}, R_{\min}^+ \approx 847 \text{ м}, R_{\min}^- \approx 662 \text{ м}.$$

Тоді для розрахунку мінімальних висот виведення ПвС  $h_{\min}^-$ ,  $h_{\min}^+$ ,  $h_{\min}^-$  (рис. 3) можна користуватись виразом:

$$h_i = (R_i + L_{\text{ГМ}}) \text{tg} \varepsilon_n. \quad (7)$$

де  $R_i$  – мінімальні віддалення  $R_{\min}^-$ ,  $R_{\min}^+$  і  $R_{\min}^-$ ;  $h_i$  – мінімальні висоти  $h_{\min}^-$ ,  $h_{\min}^+$  і  $h_{\min}^-$ .

Підставляючи в вираз (7) значення  $R_{\min}^- \approx 742$  м;  $R_{\min}^+ \approx 847$  м і  $R_{\min}^- \approx 662$  м,  $L_{\text{ГМ}}=325$  м та  $\varepsilon_n=2^\circ 40'$  отримаємо:  $h_{\min}^- \approx 50$  м,  $h_{\min}^+ \approx 55$  м і  $h_{\min}^- \approx 46$  м.

Таким чином, висоти виведення ПвС в ЗДВ залежать не тільки від розміщення ГРМ та КРМ відносно ЗПС, але і від кутового положення площини курсу відносно курсу посадки.

Однак, отримані значення  $h_{\min}^- \approx 50$  м для  $\Delta_{\text{ПК}}=0$  (ідеальний випадок)  $h_{\min}^+ \approx 55$  м та  $h_{\min}^- \approx 46$  м (відхилення площини курсу  $d$  опорної точки ЗПС досягає допустимих значень  $\Delta_{\text{ПК}}=\pm 10,5$  м) не є висотами  $h_{\text{пр}}$  (прийняття рішення), до яких по бортовим приладам РМС екіпажу дозволяється виводити ПвС в ЗДВ із заданою ймовірністю. Згідно вимог [6] категорія мінімуму для РМС (висота  $h_{\text{пр}}$ ) встановлюється за результатами обльоту системи. Однак отримані значення висот виведення свідчать про те, що шляхом заданого розміщення маяків ПРМГ на амі і відповідного орієнтування антен можна ;  
 0.023  
 0.02  
 0.015  
 0.01  
 0  
 5.321  $\times 10^{-3}$

Точність виведення і супроводження ЗДВ при заході на посадку по РМС по курсу глісаді  $\sigma_\varepsilon$  залежить від похибок пілотування льотчиком по курсу  $\sigma_{\text{ПК}}$  і по глісаді  $\sigma_{\text{ПК}}$  не показань бортових приладів та від точності манявання наземними маяками РСН площини (лірсу  $\sigma_{\text{ПК}}$  та площини (ліній) глісаді  $\sigma_{\text{ПК}}$ .

Перейдемо до оцінки можливої точності виведення ПвС в ЗДВ по РМС типу ПРМГ-5.

З урахуванням допусків  $\Delta \varepsilon_n = \pm 0,075 \varepsilon_n$  щодо підтримання зо допомогою ГРМ положення середньої лінії глісади від встановлених за результатами обльоту положення у якості точності утримання

середньої лінії (площини) глісади  $\sigma_{\text{ПК}}$  можна прийняти значення, які пов'язані зі  $\Delta \varepsilon_n$  виразом:

$$\sigma_{\text{ПК}} = \Delta \varepsilon_n / \sqrt{3} \approx 0,0433 \varepsilon_n. \quad (8)$$

Підставляючи у (8) значення  $\varepsilon_n=2^\circ 40'$  отримуємо  $\sigma_{\text{ПК}} \approx 0,115^\circ$ . Для розрахунку точності утримання КРМ площини курсу  $\sigma_{\text{ПК}}$  необхідно перерахувати допустимі значення кутових відхилень  $\Delta \beta_{\text{ПК}}$  площини курсу відносно місцеположення КРМ в кутові відхилення  $\Delta \beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  відносно РТП. Дійсно, для розрахунку ймовірності виведення ПвС в ЗДВ (або ЗНВ) (рис. 1) необхідно знати точність  $\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  утримання КРМ площини курсу в ЗДВ (або ЗНВ) відносно ЗТП. Необхідність такого перерахунку ілюструється на рис. 5.

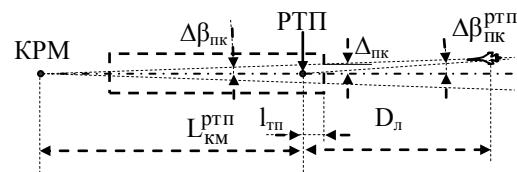


Рис. 5. Ілюстрації щодо перерахунку допустимого відхилення площини курсу відносно РТП

З ілюстрацій видно, що допустимі кутові відхилення  $\Delta \beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  площини курсу відносно РТП залежать від віддалення ПвС  $D_L$  та КРМ  $L_{\text{KM}}^{\text{РТП}}$  від РТП. Таку залежність можна описати виразом:

$$\Delta \beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}} = \arctg \left( \frac{\Delta_{\text{ПК}}}{D_L} \frac{1 + D_L / L_{\text{KM}}^{\text{РТП}}}{1 + l_{\text{TTP}} / L_{\text{KM}}^{\text{РТП}}} \right). \quad (9)$$

На рис. 6 наведені графіки залежності (9) для трьох значень  $L_{\text{KM}}^{\text{РТП}}=2800$  м; 3150 м; 3500 м і для  $\Delta_{\text{ПК}}=10,5$  м та  $l_{\text{TTP}}=200$  м.

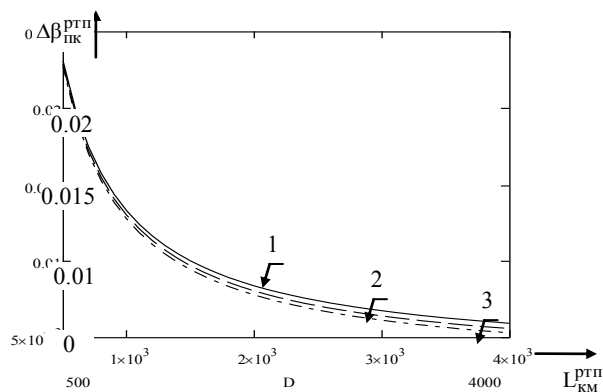


Рис. 6. Графіки функції  $\Delta \beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}(D_L)$ :

- 1 – при  $L_{\text{KM}}^{\text{РТП}}=2800$  м; 2 – при  $L_{\text{KM}}^{\text{РТП}}=3150$  м;
- 3 – при  $L_{\text{KM}}^{\text{РТП}}=3500$  м

Кутові значення відхилень  $\Delta \beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  на графіках дані в радіанах. Із графіків видно, що значення відхилень

$\Delta\beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  площини курсу відносно РТП суттєво залежать від віддалення  $D_{\text{л}}$  ПвС від РТП. При цьому з збільшенням віддалення зростає залежність кутових відхилень  $\Delta\beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  від віддалення  $L_{\text{км}}^{\text{РТП}}$  КРМ до РТП.

З метою оцінки ймовірностей виведення ПвС за допомогою РМС в зоні нормованих відхилень і супроводження до висоти  $h_{\text{пр}}=60$  м (І категорія метеомінімуму) для розрахунку точності КРМ утримання площини курсу  $\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  можна прийняти значення, які пов'язані зі  $\Delta\beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  для віддалення  $D_{\text{л}}=1290$  м ПвС, що відповідає висоті  $h_{\text{л}}=h_{\text{пр}}=60$  м.

По аналогії з виразом (8) зв'язок  $\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  зі  $\Delta\beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  можна описати виразом:

$$\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}} = \frac{\Delta\beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}(D_{\text{л}})}{\sqrt{3}}. \quad (10)$$

На основі виразу (9) для значень параметрів:  $D_{\text{л}}=1290$  м (4000 м, 10000 м),  $L_{\text{км}}^{\text{РТП}}=3150$  м,  $\Delta_{\text{ПК}}=10,5$  м,  $l_{\text{тп}}=200$  м отримуємо три значення відхилень:  $\Delta\beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}} \approx 0,618^\circ$ ;  $0,321^\circ$ ;  $0,236^\circ$ . Однак, для розрахунку точності  $\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}}$  КРМ щодо виведення ПвС до  $h_{\text{л}}=h_{\text{пр}}=60$  м необхідно в вираз (10) підставляти перше значення відхилень  $\Delta\beta_{\text{ПК}}^{\text{РТП}} \approx 0,618^\circ$ . В результаті отримуємо  $\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}} \approx 0,357^\circ$ .

Для знаходження точностей виведення ПвС в ЗДВ по курсу  $\sigma_{\beta}$  та по глісаді  $\sigma_{\epsilon}$  до висоти 60 м можна користуватись виразами:

$$\begin{aligned} \sigma_{\beta} &= \sqrt{\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}2} + \sigma_{\text{ПНБ}}^2} = \sqrt{\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}2} + \sigma_{\beta_{\text{ПЛ}}}^2 + \sigma_{\beta_{\text{ПОЛ}}}^2}; \\ \sigma_{\epsilon} &= \sqrt{\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}2} + \sigma_{\text{ПНБ}}^2} = \sqrt{\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}2} + \sigma_{\epsilon_{\text{ПЛ}}}^2 + \sigma_{\epsilon_{\text{ПОЛ}}}^2}, \end{aligned} \quad (11)$$

де  $\sigma_{\text{ПНБ}}$ ,  $\sigma_{\text{ПНБ}}$  – точність пілотування ПвС льотчиком по курсу і по глісаді на основі показань бортових приладів типу командно-пілотажного приладу (КПП).

Точності  $\sigma_{\text{ПНБ}}$  та  $\sigma_{\text{ПНБ}}$  залежать від точностей індикаторів струму каналів курсу  $\sigma_{\beta_{\text{СТР}}}=15$  мкА та глісади  $\sigma_{\epsilon_{\text{СТР}}}=13$  мкА [8] та від точностей оцінки льотчиком кутового положення на КПП планок курсу  $\sigma_{\beta_{\text{ПОЛ}}}$  та глісади  $\sigma_{\epsilon_{\text{ПОЛ}}}$  (11).

Для перерахунку точностей індикаторів струму  $\sigma_{\beta_{\text{СТР}}}$  та  $\sigma_{\epsilon_{\text{СТР}}}$  в точності відхилення планок курсу  $\sigma_{\beta_{\text{ПЛ}}}$  та глісади  $\sigma_{\epsilon_{\text{ПЛ}}}$  за кутами можна користуватись наступними виразами:

$$\sigma_{\beta_{\text{ПЛ}}} = \frac{\beta_{\text{ГР}} \cdot \sigma_{\beta_{\text{СТР}}}}{\Delta\beta_{\text{СТР}}}, \quad \sigma_{\epsilon_{\text{ПЛ}}} = \frac{\epsilon_{\text{ГР}} \cdot \sigma_{\epsilon_{\text{СТР}}}}{\Delta\epsilon_{\text{СТР}}}, \quad (12)$$

де  $\beta_{\text{ГР}}$ ,  $\epsilon_{\text{ГР}}$  – граничні кутові значення поля секторів

робочих зон курсу і глісади КПП;  $\Delta\beta_{\text{СТР}}$ ,  $\Delta\epsilon_{\text{СТР}}$  – показники відповідних індикаторів струму на краях робочих зон курсу і глісади.

Підставляючи значення [8]  $\beta_{\text{ГР}}=2^\circ$ ,  $\epsilon_{\text{ГР}}=33'$  та  $\Delta\beta_{\text{СТР}}=250$  мкА,  $\Delta\epsilon_{\text{СТР}}=125$  мкА у вирази (12). отримуємо:  $\sigma_{\beta_{\text{ПЛ}}}=0,12^\circ$ ,  $\sigma_{\epsilon_{\text{ПЛ}}}=0,0572^\circ$ .

Точності оцінки льотчиком кутового положення на КПП планок курсу  $\sigma_{\beta_{\text{ПОЛ}}}$  та глісади  $\sigma_{\epsilon_{\text{ПОЛ}}}$  (11) будуть залежати від досвіду пілотування льотчика та від кутової ширини планок курсу  $\Delta_{\beta_{\text{ПЛ}}}$  та глісади  $\Delta_{\epsilon_{\text{ПЛ}}}$ . Прийемо, що ширина планок курсу та глісади складає  $1/20$  граничних кутів  $\beta_{\text{ГР}}$ ,  $\epsilon_{\text{ГР}}$ :  $\Delta_{\beta_{\text{ПЛ}}} \approx 0,1^\circ$  та  $\Delta_{\epsilon_{\text{ПЛ}}} \approx 1,7'$ . З урахуванням кутової ширини планок прийемо, що значення оцінок льотчиком кутових положень на КПП планок курсу  $\sigma_{\beta_{\text{ПОЛ}}}$  та глісади  $\sigma_{\epsilon_{\text{ПОЛ}}}$  дорівнюють половині ширини планок, тобто:  $\sigma_{\beta_{\text{ПОЛ}}} \approx 0,05^\circ$  та  $\sigma_{\epsilon_{\text{ПОЛ}}} \approx 0,85'$ .

Підставляючи в перший вираз (8) значення  $\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}} \approx 0,357^\circ$ ;  $\sigma_{\beta_{\text{ПЛ}}}=0,12^\circ$ ;  $\sigma_{\beta_{\text{ПОЛ}}} \approx 0,05^\circ$  та в другий вираз  $\sigma_{\text{ПК}}^{\text{РТП}} \approx 0,357^\circ$ ;  $\sigma_{\epsilon_{\text{ПЛ}}}=0,0572^\circ$ ;  $\sigma_{\epsilon_{\text{ПОЛ}}} \approx 0,85'$  отримуємо:  $\sigma_{\beta} \approx 0,38^\circ$  і  $\sigma_{\epsilon} \approx 0,129^\circ$ .

Для визначення ймовірності виведення ПвС в ЗДВ  $P_{\text{в ЗДВ}}$  по інформації РМС необхідно знайти відношення  $q_{\text{л}}$  половини кутових розмірів ЗДВ по курсу  $\beta_{\text{ЗДВ}}=4^\circ$  та по глісаді  $\epsilon_{\text{ЗДВ}}=1^\circ$  до похибок  $\sigma_{\beta} \approx 0,38^\circ$  і  $\sigma_{\epsilon} \approx 0,129^\circ$  вимірювання відповідної кутової координати (11):

$$q_{\text{лв}} = \frac{\beta_{\text{ЗДВ}}}{2\sigma_{\beta}} \approx 5,26; \quad q_{\text{де}} = \frac{\epsilon_{\text{ЗДВ}}}{2\sigma_{\epsilon}} \approx 3,88. \quad (13)$$

Використовуючи результати розрахунку відношень  $q_{\text{л}}$  (13), ймовірності виведення ПвС в ЗДВ по інформації РМС по курсу  $P_{\text{вк ЗДВ}}$  та по глісаді  $P_{\text{вг ЗДВ}}$  можуть бути знайдені за табличними значеннями інтеграла ймовірностей. А саме для значень  $q_{\text{лв}}$  та  $q_{\text{де}}$  (13) за табличними значеннями інтеграла ймовірностей знаходимо, що РМС (її наземне і бортове обладнання) може забезпечити виведення ПвС в ЗДВ по курсу і по глісаді практично з ймовірностями  $P_{\text{вк ЗДВ}}=1$ ,  $P_{\text{вг ЗДВ}}=0,9999$ . Тоді ймовірність виведення ПвС за допомогою РМС в ЗДВ одночасно у двох площинах  $P_{\text{в ЗДВ}}$  буде мати значення:  $P_{\text{в ЗДВ}}=P_{\text{вк ЗДВ}} \cdot P_{\text{вг ЗДВ}} \approx 0,9999$ .

Отримана значення ймовірності  $P_{\text{в ЗДВ}} \approx 0,9999$  свідчать про те, що РМС спроможні забезпечувати гарантоване виведення ПвС в ЗДВ і його супроводження до висоти зниження 60 м.

Оцінімо аналогічну можливість РМС щодо виведення ПвС в ЗНВ. Для цього для розмірів ЗНВ у площині курсу  $\beta_{\text{ЗНВ}} \approx 1,4^\circ$  і площині глісади  $\epsilon_{\text{ЗНВ}} \approx 0,32^\circ$  по аналогічним з (12) виразам знаходимо:  $q_{\text{нр}} \approx 1,84$  та  $q_{\text{не}} \approx 1,24$ . Тоді по табличних значеннях інтеграла ймовірностей знаходимо:  $P_{\text{вк ЗНВ}} \approx 0,934$  та  $P_{\text{вг ЗНВ}} = 0,785$ . Тому ймовірність виведення ПвС за допомогою РМС в ЗНВ одночасно у двох площинах  $P_{\text{в ЗНВ}}$  буде мати значення:  $P_{\text{в ЗНВ}} \approx 0,733$ .

Очевидно, що значення 0,9999 ймовірності виведення ПвС в ЗДВ по сигналам РМС дає підставу стверджувати, що РМС спроможні забезпечувати гарантоване супроводження ПвС до висоти 60 м в ЗДВ. Одночасно недостатня значення 0,733 ймовірності виведення ПвС в ЗНВ свідчить про те, що для забезпечення безпечної посадки ПвС по нормам I категорії необхідно на борт ПвС передавати команд управління щодо виправлення помилок пілотування у випадку виходу ПвС за межі ЗНВ у будь-якій площині. Рішення цього завдання покладається на ПРЛ у складі РСР шляхом забезпечення КрЗП інформацією про повітряну обстановку, поточні координати ПвС в зоні посадки для контролю за дотриманням екіпажем встановлених допусків безпечної посадки ПвС.

## Висновки

Результати оцінки ймовірності виведення і супроводження ПвС в зонах допустимих та нормальних відхилень за допомогою РМС свідчить, що для екіпажа ці системи на аеродромах ПС є основними системами забезпечення гарантованої посадки.

В той же час радіолокаційні системи посадки

грають не менш важливу роль – забезпечують КрЗП інформацією про повітряну обстановку, поточними координатами ПвС в зоні посадки для контролю за дотриманням екіпажем встановлених допусків безпечної посадки.

## Список літератури

1. Проблеми розвитку радіонавігаційного забезпечення / С.В. Козелков, С.М. Кучерук, Б.А. Костенко, В.І. Богом'я // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2009. – Вип. 4(20). – С. 120-124.
2. Микоян С.А. Заход на посадку по приборам / С.А. Микоян, А.Г. Корбут. – М.: Воениздат, 1979 – 71 с.
3. Состояние и тенденции развития систем посадки самолетов по сигналам спутниковых радионавигационных систем. / В.И. Васишин, В.В. Афанасьев, А.В. Никитин, Н.Д. Рысаков // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – Х.: ХАІ, 2007. – № 4 (23). – С. 15-22.
4. Правила визначення придатності до експлуатації аеродромів та злітно-посадкових майданчиків державної авіації України. Затвердженні 17.11.2014 наказом Міністра оборони № 811, зареєстровано в Міністерстві юстиції України 08 грудня 2014 р. за № 1571/26348.
5. Управление полетами в частях авиации Вооруженных Сил СССР: метод. пособ. – М: Воениздат, 1985. – 196 с.
6. Витяг з Правил організації зв'язку та радіотехнічного забезпечення польотів державної авіації України. Затверджено Наказом Міністерства оборони України № 770 від 21 листопада 2012 року.
7. Посадочная радиомаячная группа ПРМГ-5. Наземное оборудование инструментальной посадки. Кн. 1. Техническое описание ТЖ2. 006.019.ТО – 90 с.
8. Хафизов А.В. Радиооборудование. Ч. 2. Средства радионавигации / А.В. Хафизов. – Кировоград: КЛА НАУ. – 2014. – 176 с.

Надійшла до редколегії 7.02.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук доц. В.І. Васишин, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків.

## ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ СОПРОВОЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЗОНАХ НОРМИРОВАННЫХ ОТКЛОНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РАДИОМАЯЧНЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

М.Д. Рысаков, И.Л. Костенко, И.В. Титов, В.Г. Карев, С.Н. Рот

*В работе предлагается методика оценки вероятности вывода и сопровождения воздушных судов в зонах нормированных отклонений с помощью радиомаячных систем посадки до высоты принятия решения по нормам I категории метеоминимума. Рассчитаны значения точности сопровождения воздушных судов в двух плоскостях зоны посадки с помощью радиомаячной системы типа ПРМГ-5. Получены вероятности сопровождения этой системой в зонах допустимых и нормальных отклонений.*

**Ключевые слова:** радиомаячные системы посадки, сложные погодные условия, высота принятия решения, зоны допустимых и нормальных отклонений, воздушные суда.

## ESTIMATION OF PROBABILITY OF ACCOMPANIMENT OF AIR COURTS IN AREAS OF THE RATIONED REJECTIONS BY RADIOLIGHTHOUSE SYSTEMS OF LANDING

N. Rysakov, I. Kostenko, I. Titov, V. Karev, S. Rot

*This paper concentrates on the aircraft placing and tracking probability assessment tool in areas of normal deviations using Instrument Landing Systems to a decision altitude on the norms of category I of meteorology minimum. The values of tracking accuracy two-plane area of landing by the Instrument Landing System ПРМГ-5. Probabilities of accompaniment this system is got in the areas of possible and normal rejections.*

**Keywords:** Instrument Landing Systems, difficult weather terms, decision altitude, areas of admissible and normal deviations, aircraft.