

УДК 621.396.61

М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, О.А. Кулик, С.М. Рот, О.В. Симоненко

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ СУПРОВОДЖЕННЯ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В ЗОНАХ ДОПУСТИМИХ ВІДХИЛЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

У роботі пропонується методика оцінки ймовірності виведення і супроводження повітряних суден в зонах допустимих відхилень від заданої траєкторії зниження за допомогою посадкових радіолокаторів радіолокаційних систем посадки РСП-10МН та РСП-6М2 до відповідних висот прийняття екіпажем рішення на посадку. Обґрунтовано вимоги до точності усунення екіпажем похибок пілотування по командам керівника зони посадки. Розраховані значення ймовірностей супроводження посадковими радіолокаторами цих систем в зонах допустимих відхилень для умов виконання екіпажем цих вимог.

Ключові слова: радіолокаційна система посадки, посадковий радіолокатор, складні погодні умови, висота прийняття рішення, зони допустимих та нормальних відхилень, повітряні судна.

Вступ

Постановка задачі. За безпеку польотів в районі аеродрому відповідають особи групи керівництва польотами (ГКрП) і безпосередньо екіпажі повітряних суден (ПвС). На кожному етапі польоту виконуються суворо регламентовані дії екіпажа ПвС, які контролюються і за необхідності коригуються подачею особами ГКрП по каналах радіозв'язку відповідних команд управління по виправленню похибок пілотування. Важлива роль в забезпеченні безаварійних польотів належить засобам радіотехнічного забезпечення польотів, інформацією яких користуються як екіпажі ПвС так і особи ГКрП.

Етап посадки для пілота є найбільш складним, адже наближення земної поверхні впливає як на аеродинамічні характеристики ПвС (випуск шасі, закриття), так і на умови пілотування (зміни швидкості, висоти, курсу). Тому підвищується психофізичне навантаження на екіпаж ПвС і вимоги до точності управління судном. У зв'язку з цим зростає роль систем посадки, до яких відносяться радіолокаційні системи посадки (РСП).

Можливість РСП вирішувати задачі щодо забезпечення безаварійності посадки ПвС можна оцінювати ймовірністю супроводження ПвС в зонах допустимих відхилень (ЗДВ) до відповідної висоти зниження, що забезпечується. Проведемо таку оцінку.

Аналіз публікацій. У роботі [1] запропонована методика обґрунтування вимог до ПРЛ щодо точності вимірювання координат ПвС для забезпечення їх посадки при мінімумах погоди І категорій і отриманні чисельні значення потрібної точності. У роботі [2] запропоновані доцільні напрямки удосконалення ПРЛ у складі РСП, яким оснащені аеродроми ПС. У статті [3] запропоновано і обґрунтовано склад радіолокаційного посадкового комплексу (РЛПК) для

автоматизованої посадки літаків в складних метеоумовах (СМУ). У роботі [4] обґрунтовується можливість, доцільність та напрямки модернізації посадкових радіолокаторів систем посадки для забезпечення посадки літаків в складних погодних умовах. У роботі [5] пропонується методика оцінки ймовірності виведення і супроводження повітряних суден в зоні нормованих відхилень за допомогою радіомаякових систем посадки до висоти прийняття рішення по нормам І категорії метеомінімуму.

Метою статті є оцінка ймовірності виведення ПвС в зони допустимих відхилень за допомогою ПРЛ систем РСП-10МН та РСП-6М2.

Виклад основного матеріалу

За безпеку польотів в зоні посадки відповідає керівник зони посадки (КрЗП), якій при рішенні завдань керівництва посадкою ПвС користується координатною інформацією індикаторів посадкового радіолокатора (ПРЛ).

З метою прийняття КрЗП правильного рішення про вихід ПвС на задану траєкторію зниження (ЗТЗ) з необхідною точністю у Військово-Повітряних Силах колишнього СРСР для ПвС фронтової авіації були визначені нормовані зони відхилень ПвС від ЗТЗ по курсу і куту місця (глісаді) [5]. Ці зони мають розміри, які дозволяють льотчику виправляти похибки пілотування без додаткових зусиль і забезпечити точне виведення ПвС у розрахункову точку приземлення (РТП) на злітно-посадковій смугі (ЗПС). Такими зонами є зона допустимих відхилень і зона нормальних відхилень (ЗНВ) від ЗТЗ (рис. 1). При цьому, якщо ПвС знаходиться в ЗНВ, то з достатньою для практики точністю вважається, що політ виконується по ЗТЗ і корекція траєкторії зниження не потрібна, про що й інформується льотчик. Якщо ж ПвС знаходиться в межах ЗДВ, то КрЗП по індикаторах курсу і глісаді ПРЛ оцінює величини

лінійних відхилень від ЗТЗ в метрах і на встановлених рубежах (20, 10, 6, 3 та 2 км), або по запиті з борту ПвС передає їх льотчику для усунення похибок пілотування.

Розміри цих зон були визначені на основі аналізу нормативів з пілотування для льотного складу, точності ПРЛ щодо відображення координатної інформації на індикаторах, точності окомірного зчитування КрЗП координат ПвС з індикаторів, а також статистичних даних, отриманих в ході дослідницьких робіт щодо зниження мінімуму погоди при зльоті і посадці ПвС фронтової авіації [5].

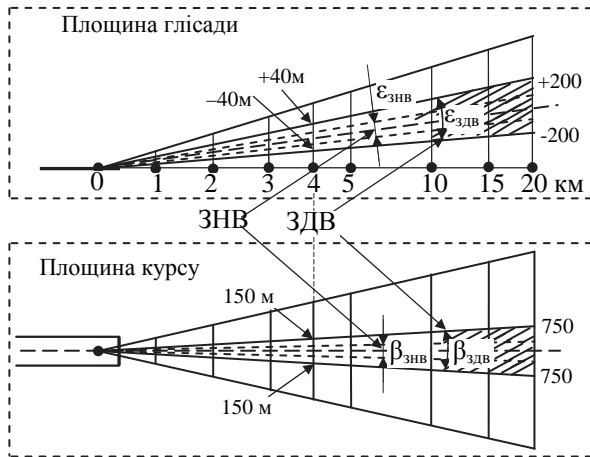


Рис. 1. Положення ЗДВ і ЗНВ та їх розміри

Виходитимемо з того, що розміри цих зон прийнятні і для ПвС ПС ЗС України, так як на їх озброєнні знаходяться ті ж самі типи ПвС, для яких проводилось визначення значень нормованих зон відхилень ПвС від ЗТЗ.

Зона допустимих відхилень у площинах курсу і глісади являє собою два сектора, розташованих відносно ЗТЗ – з кутами $\pm 2^\circ$ ($\beta_{ЗДВ} = 4^\circ$) по курсу і $\pm 0,5^\circ$ ($\epsilon_{ЗДВ} = 1^\circ$) по куту місця, а зона нормальних відхилень – в три рази менше за ЗДВ, тобто вищевказані кути дорівнюють приблизно $\pm 0,7^\circ$ ($\beta_{ЗНВ} \approx 1,4^\circ$) і $\pm 0,16^\circ$ ($\epsilon_{ЗНВ} \approx 0,32^\circ$) відповідно.

Очевидно, що по відомих значеннях точності вимірювання кутових координат, яку забезпечує ПРЛ, і точності усунення екіпажем помилок пілотування по командам управління КрЗП, можна визначити ймовірність виведення ПвС в ЗДВ ($P_{вЗДВ}$) або в ЗНВ ($P_{вЗНВ}$) за допомогою ПРЛ.

Дійсно, захід на посадку по РСП, на відміну від радіомаякових систем (РМС), ґрунтується на передачі КрЗП льотчику по каналу радіозв'язку інформації про лінійні відхилення ПвС від ЗТЗ у площинах курсу і глісади, та про його віддалення до РТП. Тобто у цьому випадку в контур управління ПвС додатково входить КрЗП, що обумовлює появу додаткової похибки при вимірюванні координат ПвС

оператором (КрЗП) по індикатору та додаткову затримку в часі через витрати льотчиком часу на виправлення похибок пілотування.

РСП на аеродромі в залежності від умов місцевості розгортається [3] праворуч або ліворуч від ЗПС на відстані 150-200 м від її осевої лінії та не далі ± 200 м від траверзу центра ЗПС з метою забезпечення посадки ПвС з обох напрямків шляхом відповідного орієнтування антен (рис. 2, а). При цьому ПРЛ встановлюється і регулюється так, щоб променем антени курсу повністю охоплювалась ділянка ЗПС, в межах якої розташовуються смуга точного приземлення та РТП у центрі. Для того щоб антена глісади для віддалень ПвС $D_{л} > D_{сп}$ (рис. 2, б) опромінювала всю ЗДВ по курсу ($\beta_{ЗДВ} = 4^\circ$) вона орієнтується паралельно вісі ЗПС.

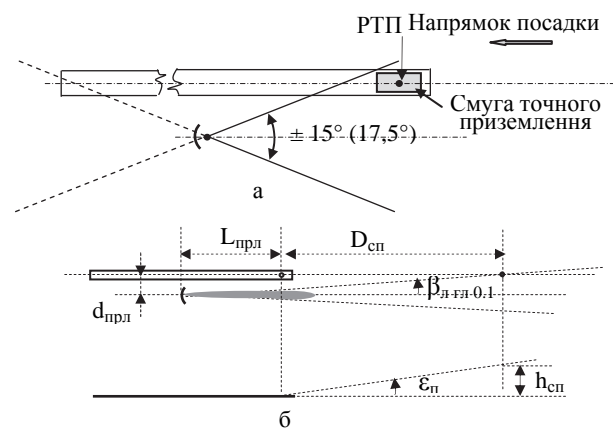


Рис. 2. Розміщення антенної системи ПРЛ

При заході на посадку по РСП льотчик по бортових приладах та з урахуванням інформації ПРЛ, яка передається йому КрЗП у разі, якщо відхилення ПвС від ЗТЗ є в допустимих межах, або команд управління на їх усунення, якщо відхилення перевищують допустимі межі, пілотує ПвС до певної висоти $h_{в}$ (дальності $D_{в}$) виведення, до якої забезпечується задана точність вимірювання оператором кутових координат по індикаторам ПРЛ. Для ПРЛ-10МН та ПРЛ-6М2 $h_{в} = 150$ м та 120 м відповідно. Після зниження ПвС до висот $h_{в}$ льотчик продовжує пілотування ПвС по бортових приладах до висоти прийняття рішення (ВПР), а у КрЗП залишається лише можливість спостереження міток ПвС по індикатору курсу до нульової висоти і по індикатору глісади до висоти $h_{сп}$ (дальності $D_{сп}$) спостереження, яка обмежується шириною діаграми спрямованості (ДС) на рівні ($\approx 0,1$) перших бокових пелюстків. Ширини ДС по курсу антен глісади ПРЛ-10МН та ПРЛ-6М2 на рівні 0,1 мають значення: $\beta_{л-гп 0.1}^{10} = 7,4^\circ$ та $\beta_{л-гп 0.1}^6 = 8,3^\circ$ [7–8].

Для нульового положення антени глісади по курсу для розрахунку значень мінімальних відда-

лень $D_{\text{сп}}$ спостереження ПвС від РТП та висоти $h_{\text{сп}}$ спостереження можна користуватись виразами:

$$D_{\text{сп}} = \frac{d_{\text{прл}}}{\text{tg}(0,5\beta_{\text{л гл 0.1}})} - L_{\text{прл}}; \quad (1)$$

$$h_{\text{сп}} = D_{\text{сп}} \text{tg}\varepsilon_{\text{п}},$$

де $d_{\text{прл}}$, $L_{\text{прл}}$ – розміщення ПРЛ відносно ЗПС (рис. 2, б);

$\varepsilon_{\text{п}}$ – кут глісади.

При цьому віддалення $L_{\text{прл}}$ залежить від довжини $L_{\text{зпс}}$ ЗПС та віддалення $l_{\text{тп}}$ РТП від торця ЗПС:

$$L_{\text{прл}} = 0,5L_{\text{зпс}} - l_{\text{тп}}. \quad (2)$$

Для довжини ЗПС $L_{\text{зпс}} = 2,5$ км та для віддалення $l_{\text{тп}} = 200$ м згідно виразу (2) маємо: $L_{\text{прл}} = 1050$ м. Для $L_{\text{прл}} = 1050$ м, $d_{\text{прл}} = 175$ м, $\beta_{\text{л гл 0.1}}^{10} = 7,4^\circ$, $\beta_{\text{л гл 0.1}}^6 = 8,3^\circ$ та для $\varepsilon_{\text{п}} = 2^\circ 40'$ згідно виразів (1) маємо по два значення віддалень та висот спостереження: $D_{\text{сп}}^{10} \approx 1656$ м, $D_{\text{сп}}^6 \approx 1362$ м та $h_{\text{сп}}^{10} \approx 77$ м, $h_{\text{сп}}^6 \approx 63$ м.

Отримані значення висот спостереження свідчать про те, що вони більше ВПР (60 м) по нормам І категорії метеомінімуму [3]. З ілюстрацій розміщення ПРЛ відносно ЗПС видно, що для зменшення значень мінімальних висот спостереження необхідно розгорнути ПРЛ на мінімальному віддаленні від ЗПС $d_{\text{прл}} = 150$ м, що обмежується вимогами до розміщення засобів радіотехнічного забезпечення (РТЗ) польотів ПвС [3]. При $d_{\text{прл}} = 150$ м згідно виразів (1) отримаємо $D_{\text{сп}}^{10} \approx 1270$ м, $D_{\text{сп}}^6 \approx 1017$ м та $h_{\text{сп}}^{10} \approx 59$ м, $h_{\text{сп}}^6 \approx 47$ м. У цьому випадку дійсно у КрЗП є можливість спостерігати мітку ПвС на індикаторі глісади до ВПР 60 м, після якої льотчик переходить до візуального пілотування. Однак ці висоти не є висотами $h_{\text{в}}$ виведення в ЗДВ за допомогою ПРЛ, до яких гарантується відповідна точність [7–8] вимірювання координат ПвС.

Повернемося до оцінки ймовірностей супроводження ПвС в ЗДВ за допомогою ПРЛ двох систем РСР-10МН та РСР-6М2. Для розрахунку ймовірності виведення ПвС до певних висот зниження $h_{\text{в}}$ за допомогою ПРЛ необхідно скористуватись іншою по відношенню до РМС методикою, пов'язаною розміщенням ПРЛ відносно ЗПС. Обґрунтуємо таку необхідність.

Раніше відмічалось, що ПРЛ-10МН забезпечує супроводження міток ПвС на індикаторах до висоти зниження $h_{\text{в}} = 150$ м, а ПРЛ-6М2 – до $h_{\text{в}} = 120$ м з відповідною точністю. Поточна висота зниження ПвС $h_{\text{л}}$ в зоні посадки при постійному значенні

кута $\varepsilon_{\text{п}}$ глісади пов'язана з його віддаленням $D_{\text{оє}}$ від РТП у площині глісади (рис. 3) очевидним виразом:

$$D_{\text{оє}} = \frac{h_{\text{л}}}{\sin \varepsilon_{\text{п}}}. \quad (3)$$

Оцінімо значення ймовірностей супроводження $P_{\text{в}}$ ПвС в ЗДВ до висот виведення $h_{\text{л}} = h_{\text{в}}$ за допомогою ПРЛ названих систем.

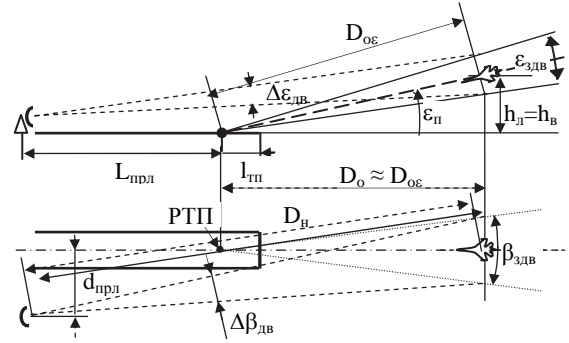


Рис. 3. Ілюстрації до перерахунку ЗДВ в кутові розміри секторів спостереження цих зон за допомогою ПРЛ

Для висот ПвС $h_{\text{л}} = h_{\text{в}}$, що дорівнюють 150 м (120 м), і кута глісади $\varepsilon_{\text{п}} = 2^\circ 40'$ згідно з виразом (3) маємо два значення віддалення ПвС від РТП: $D_{\text{оє}} = 3220$ м для ПРЛ-10МН та $D_{\text{оє}} = 2580$ м для ПРЛ-6М2.

Для розрахунку ймовірностей $P_{\text{в}}$ виведення ПвС в ЗДВ до висот $h_{\text{в}}$ за допомогою названих ПРЛ необхідно оцінити значення точностей супроводження ПвС в ЗДВ за допомогою ПРЛ до висот $h_{\text{в}}$ виведення і перерахувати ЗДВ за курсом $\beta_{\text{здв}}$ і за глісадою $\varepsilon_{\text{здв}}$ в секторі “спостереження” $\Delta\beta_{\text{дв}}$ і $\Delta\varepsilon_{\text{дв}}$ (рис. 3).

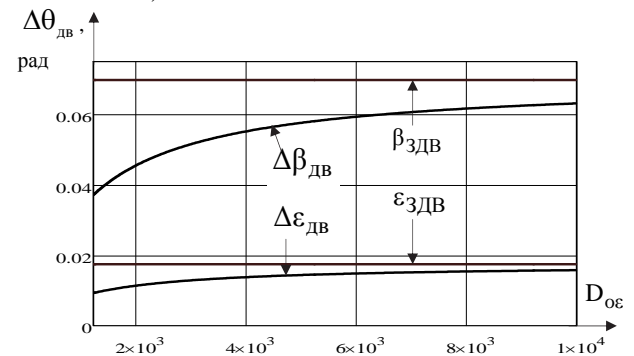


Рис. 4. Графіки залежності розмірів секторів $\Delta\beta_{\text{дв}}$ і $\Delta\varepsilon_{\text{дв}}$ спостереження від віддалення ПвС до РТП

Для такого перерахунку скористаємося ілюстраціями на рис. 3. З ілюстрацій видно, що для заданого кута глісади $\varepsilon_{\text{п}}$ розміри секторів спостереження

$\Delta\beta_{дв}$ і $\Delta\epsilon_{дв}$ залежать як від віддалення ПвС до РТП у площинах курсу $D_{оc}$ та глісади $D_{н}$, так і від розміщення ПРЛ відносно ЗПС $L_{прл}$ та $d_{прл}$, а також від віддалення $l_{тп}$ РТП від торця ЗПС.

З урахуванням малих значень всіх кутових розмірів зон $\theta_{зdv}$ ($\beta_{зdv}$ і $\epsilon_{зdv}$), секторів $\Delta\theta_{дв}$ ($\Delta\beta_{дв}$ і $\Delta\epsilon_{дв}$) та заданого кута глісади $\epsilon_{н}$ для названого перерахунку відповідно до ілюстрацій на рис. 3 можна отримати наступні розрахункові вирази для розміру секторів спостереження:

$$D_{н} \approx (D_{оc} + L_{прл}) \left(1 + \frac{d_{прл}^2}{2(D_{оc} + L_{прл})^2}\right);$$

$$\Delta\theta_{дв} \approx \arcsin \frac{D_{оc} \sin \theta_{зdv}}{D_{н}}. \quad (4)$$

Виконуємо розрахунок і отримуємо графіки залежності (рис. 4) кутових розмірів секторів $\Delta\beta_{дв}$ і $\Delta\epsilon_{дв}$ від віддалення ПвС до РТП $D_{оc} = 1200\text{--}5000$ м для типових параметрів посадки: $L_{зпс} = 2,5$ км, $\epsilon_{н} = 2^{\circ}40'$, $l_{тп} = 200$ м та $d_{прл} = 175$ м.

Із графіків видно суттєву залежність кутових розмірів секторів спостереження $\Delta\beta_{дв}$ і $\Delta\epsilon_{дв}$ від віддалення ПвС до РТП. З урахуванням того, що розміри цих секторів зменшуються з приближенням ПвС до РТП, для розрахунку ймовірностей виведення ПвС в ЗДВ до відповідних висот $h_{в} = 150$ м (ПРЛ-10МН) та $h_{в} = 120$ м (ПРЛ-6М2) необхідно брати значення $\Delta\beta_{дв}$ і $\Delta\epsilon_{дв}$ для цих висот.

Згідно виразу (3) для двох висот $h_{в}$ отримаємо два значення віддалень ПвС від РТП $D_{оc} = 3,22$ км (ПРЛ-10МН) і $D_{оc} = 2,58$ км (ПРЛ-6М2). Тоді згідно виразів (4) отримуємо наступні значення секторів спостереження:

$$\text{для } D_{оc} = 3,22 \text{ км (ПРЛ-10МН)}$$

$$\Delta\beta_{дв} \approx 3,013^{\circ}; \quad \Delta\epsilon_{дв} \approx 0,754^{\circ}, \quad (5)$$

а для $D_{оc} = 2,58$ км (ПРЛ-6М2)

$$\Delta\beta_{дв} \approx 2,839^{\circ}; \quad \Delta\epsilon_{дв} \approx 0,71^{\circ}. \quad (6)$$

Точність виведення ПвС в ЗДВ σ_{θ} за допомогою ПРЛ буде залежати від точності $\sigma_{\theta i}$ вимірювання кутових координат оператором (КрЗП) по індикаторах ПРЛ та від точності $\sigma_{\text{пн}\theta}$ усунення екіпажем похибок пілотування, тобто

$$\sigma_{\theta} = \sqrt{\sigma_{\theta i}^2 + \sigma_{\text{пн}\theta}^2}. \quad (7)$$

Точності вимірювання координат оператором (КрЗП) по індикаторах ПРЛ-10МН та ПРЛ-6М2 відповідно складають значення [7–8] по курсу $\sigma_{\beta i} = 0,4^{\circ}$

та $\sigma_{\beta i} = 0,38^{\circ}$ і по глісаді $\sigma_{\epsilon i} = 0,25^{\circ}$ та $\sigma_{\epsilon i} = 0,2^{\circ}$.

З урахуванням того, що КрЗП команди управління екіпажу передає у формі лінійних відхилень ПвС від ЗТП, то для визначення значень кутової точності $\sigma_{\text{пн}\theta}$ усунення екіпажем похибок пілотування необхідно знати точності усунення екіпажем лінійних відхилень ПвС від ЗТП у площині курсу $\sigma_{\text{пнд}}$ та у площині глісади (по висоті) $\sigma_{\text{пnh}}$.

Для забезпечення посадки ПвС по нормам I категорії метеомінімуму приймемо, що екіпаж повинен бути здібним усувати похибки пілотування по командам КрЗП з точністю не гірше ніж лінійні розміри ЗНВ на висоті 60 м. З ілюстрацій розмірів ЗДВ та ЗНВ на рис. 1 впливає, що при $\epsilon_{н} = 2^{\circ}40'$ такі лінійні розміри ЗНВ на висоті 60 м ($D_{оc} \approx 1290$ м) складають 15,8 м по курсу і 3,6 м по глісаді. Тому приймемо, що досвідчений екіпаж забезпечує точності усунення лінійних похибок пілотування по курсу $\sigma_{\text{пнд}} \leq 15$ м та $\sigma_{\text{пnh}} \leq 3,5$ м.

При оцінюванні точності виведення ПвС в ЗДВ σ_{θ} у двох площинах за допомогою ПРЛ необхідно значення лінійних похибок пілотування за курсом $\sigma_{\text{пнд}}$ та за глісадою $\sigma_{\text{пnh}}$ перерахувати в значення похибок за кутами $\sigma_{\text{пн}\beta}$ та $\sigma_{\text{пн}\epsilon}$ відносно ПРЛ згідно виразів:

$$\sigma_{\text{пн}\beta} \approx \arcsin \frac{\sigma_{\text{пнд}}}{D_{н}}, \quad \sigma_{\text{пн}\epsilon} \approx \arcsin \frac{\sigma_{\text{пnh}}}{D_{н}}, \quad (8)$$

де $D_{н}$ – віддалення ПвС від ПРЛ для висот $h_{н} = 150$ м (120 м).

Для розрахунку значень похибок (8) необхідно знайти значення віддалень $D_{н}$ ПвС від ПРЛ для висот виведення $h_{в} = 15$ м ($D_{оc} = 3220$ м) для ПРЛ - 10МН і $h_{в} = 120$ м ($D_{оc} = 2580$ м) для ПРЛ - 6М2.

На основі виразів (4) та (8) для віддалень ПвС $D_{оc} = 2580$ м та $D_{оc} = 3220$ м отримаємо: $\sigma_{\text{пн}\beta} \approx 0,24^{\circ}$; $\sigma_{\text{пн}\epsilon} \approx 0,055^{\circ}$ для ПРЛ-6М2 та $\sigma_{\text{пн}\beta} \approx 0,2^{\circ}$; $\sigma_{\text{пн}\epsilon} \approx 0,047^{\circ}$ для ПРЛ-10МН.

Тоді кутові точності виведення та супроводження ПвС в ЗДВ по курсу σ_{β} та по глісаді σ_{ϵ} , розраховані згідно виразу (7), для отриманих значень похибок $\sigma_{\text{пн}\beta}$, $\sigma_{\text{пн}\epsilon}$ і для точностей вимірювання по індикаторах координат $\sigma_{\beta i} = 0,4^{\circ}$, $\sigma_{\epsilon i} = 0,25^{\circ}$ (ПРЛ-10МН) та $\sigma_{\beta i} = 0,38^{\circ}$, $\sigma_{\epsilon i} = 0,2^{\circ}$ (ПРЛ-6М2) відповідно будуть мати значення: $\sigma_{\beta} \approx 0,447^{\circ}$; $\sigma_{\epsilon} \approx 0,254^{\circ}$ та $\sigma_{\beta} \approx 0,449^{\circ}$; $\sigma_{\epsilon} \approx 0,207^{\circ}$.

Виконуємо розрахунок значень ймовірності виведення ПвС $P_{взdv}$ в зони ЗДВ у площинах курсу

та глісади при віддаленнях ПвС до РТП 3220 м (ПРЛ-10МН) та 2580 м (ПРЛ-6М2).

Для визначення ймовірності виведення ПвС у ЗДВ по курсу $P_{\text{вздв}}^{\beta}$ або по глісаді $P_{\text{вздв}}^{\epsilon}$ потрібно знайти відношення $q_{\text{д}}^{\theta}$ розміру половини отриманих (5), (6) секторів спостережень $\Delta\theta_{\text{дв}}$ ($\Delta\beta_{\text{дв}}$, $\Delta\epsilon_{\text{дв}}$) двох ПРЛ зон ЗДВ до похибок σ_{θ} (σ_{β} , σ_{ϵ}) виведення ПвС в ЗДВ $\sigma_{\beta} \approx 0,447^{\circ}$; $\sigma_{\epsilon} \approx 0,254^{\circ}$ (для ПРЛ-10МН, $D_{\text{оє}}=3220\text{м}$) та $\sigma_{\beta} \approx 0,449^{\circ}$; $\sigma_{\epsilon} \approx 0,207^{\circ}$ (для ПРЛ-6М2, $D_{\text{оє}}=2580\text{м}$):

$$q_{\text{д}}^{\theta} = \frac{\Delta\theta_{\text{дв}}}{2\sigma_{\theta}}. \quad (9)$$

Згідно виразу (9) знаходимо наступні значення відношення $q_{\text{д}}^{\theta}$:

– для ПРЛ-10МН $q_{\text{д}}^{\beta} = 3,37$, $q_{\text{д}}^{\epsilon} = 1,484$;

– для ПРЛ-6М2 $q_{\text{д}}^{\beta} = 3,161$, $q_{\text{д}}^{\epsilon} = 1,715$.

Тоді по таблиці інтеграла ймовірності для отриманих значень відношення $q_{\text{д}}^{\theta}$ (9) знаходимо для відповідних висот $h_{\text{д}}$ виведення (120 м; 150 м) значення ймовірності виведення ПвС за допомогою відповідних ПРЛ у ЗДВ по курсу $P_{\text{вздв}}^{\beta}$ та по глісаді $P_{\text{вздв}}^{\epsilon}$:

– для ПРЛ-10МН $P_{\text{вздв}}^{\beta} = 0,99925$ та

$P_{\text{вздв}}^{\epsilon} = 0,8622$;

– для ПРЛ-6М2 $P_{\text{вздв}}^{\beta} = 0,99842$ та $P_{\text{вздв}}^{\epsilon} = 0,9137$.

Очевидно, що ймовірність сумісного виведення в ЗДВ $P_{\text{вздв}}$ у двох площинах буде розраховуватися по формулі:

$$P_{\text{вздв}} = P_{\text{вздв}}^{\beta} \cdot P_{\text{вздв}}^{\epsilon}. \quad (10)$$

Згідно виразу (10) для отриманих значень $P_{\text{вздв}}^{\beta}$ та $P_{\text{вздв}}^{\epsilon}$ маємо:

– $P_{\text{вздв}} \approx 0,861$ для ПРЛ-10МН;

– $P_{\text{вздв}} \approx 0,912$ для ПРЛ-6М2.

Отримані значення ймовірностей виведення ПвС в ЗДВ за допомогою ПРЛ-10МН до висоти $h_{\text{в}}=150\text{ м}$ $P_{\text{вздв}} \approx 0,861$ і ПРЛ-6М2 до висоти $h_{\text{в}}=120\text{ м}$ $P_{\text{вздв}} \approx 0,912$ характеризують здатність ПРЛ щодо автономного забезпечення супроводження ПвС в ЗДВ до висот $h_{\text{в}}$.

Очевидно, що ймовірність виведення ПвС в ЗДВ за допомогою ПРЛ по мірі подальшого зниження ПвС ($h_{\text{в}} < 150$ (120) м) зменшуватиметься через зменшення розмірів секторів спостереження ПРЛ за ЗДВ (рис. 3). Так, наприклад, для $h_{\text{д}}=60\text{ м}$

($\Delta\beta_{\text{дв}} \approx 2,198^{\circ}$, $\Delta\epsilon_{\text{дв}} \approx 0,55^{\circ}$) для отриманих точностей $\sigma_{\beta} \approx 0,447^{\circ}$; $\sigma_{\epsilon} \approx 0,254^{\circ}$ (ПРЛ-10МН) та $\sigma_{\beta} \approx 0,449^{\circ}$; $\sigma_{\epsilon} \approx 0,207^{\circ}$ (ПРЛ-6М2) по вищевикладеній методиці можемо отримати значення ймовірностей виведення в ЗДВ по курсу $P_{\text{вздв}}^{\beta} = 0,9854$ і по глісаді $P_{\text{вздв}}^{\epsilon} = 0,8164$ для ПРЛ-6М2 та відповідно $P_{\text{вздв}}^{\beta} = 0,9861$, $P_{\text{вздв}}^{\epsilon} = 0,7198$ для ПРЛ-10МН. Тоді згідно виразу (10) отримаємо для ПРЛ-6М2 – $P_{\text{вздв}} \approx 0,8$ та для ПРЛ-10МН – $P_{\text{вздв}} = 0,71$. Проте такі значення ймовірностей виведення ПвС в ЗДВ до $h_{\text{д}}=60\text{ м}$ за допомогою ПРЛ у двох площинах є недостатніми для забезпечення безаварійної посадки ПвС на ЗПС в СМУ.

Таким чином, отримані вище результати підтверджують обмеження щодо висоти до якої КрЗП може здійснювати управління ПвС до висот $h_{\text{в}}$ ($h_{\text{в}}=150\text{ м}$ для ПРЛ-10МН та $h_{\text{в}}=120\text{ м}$ для ПРЛ-6М2) шляхом подачі команд управління для усунення екіпажем похибок пілотування. Це пов'язано з тим, що інтенсивні віддзеркалення від землі поблизу РТП і недостатній коефіцієнт придушення цих віддзеркалень в ПРЛ ($\approx 15\text{ дБ}$) зумовлюють маскування відбитих імпульсів (міток) від ПвС. В результаті цього істотно знижується окомірною точність вимірювання КрЗП координат ПвС або такі вимірювання стають навіть неможливими.

Висновки

Проведена оцінка ймовірності виведення ПвС в зону допустимих відхилень за допомогою радіолокаційних систем посадки свідчить про необхідність удосконалення ПРЛ у напрямку суттєвого підвищення точностей вимірювання координат ПвС в зоні посадки. Однак застарілі принципи побудови ПРЛ-10МН та ПРЛ-6М2 у складі РСП виробництва колишнього СРСР, відпрацювання переважної більшості з них призначеного ресурсу і наявність сучасного ПРЛ-10МА державного виробництва обумовлюють недоцільність суттєвої модернізації ПРЛ систем посадки застарілого парку. Тому у наступних роботах автори планують проаналізувати можливості ПРЛ-10МА щодо забезпечення виведення ПвС в ЗДВ до висоти 60 м в СМУ.

Список літератури

1. Методика обґрунтування вимог до посадочного радіолокатору щодо точності вимірювання координат для забезпечення посадки літаків при мінімумах погоди I та II категорій / М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, І.Л. Костенко, В.Г.Карев, О.П.Кулик, Ю.М. Добришкін // Наука і техніка ПС ЗСУ. – Х.: ХУПС. - 2015. - Вип. 1(38). - С. 35-41.
2. Пропозиції щодо напрямків удосконалення посадкових радіолокаторів для забезпечення посадки літаків у складних погодних умовах / М.Д. Рисаков, І.Л. Костенко,

С.М. Рот, В.Г. Карев, О.П. Кулик // Інформаційні системи '15. ЗНП ЖВІ. - 2015. - Вип. 12. - С. 157-167.

3. Особенности построения радиолокационного посадочного комплекса для автоматизированного управления посадкой самолета / Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, В.В. Куценко, А.П. Кулик // Наука і техніка ПС ЗСУ. - Х.: ХУПС. - 2011. - Вип. 2(6). - С. 115-120.

4. Обоснование возможных принципов построения высоко точного радиолокационного посадочного комплекса с каналом автоматической передачи на борт координатной информации на заключительном этапе посадки / Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, А.П. Кулик, В.Г. Карев // Системи управління, навігації та зв'язку. - Київ. - 2012. - Вип. 1(21), том 2. - С. 62-67.

5. Оцінка ймовірності супроводження повітряних суден в зонах нормованих відхилень за допомогою радіомаякових систем посадки / М.Д. Рисаков, І.Л. Костенко, І.В. Тітов, В.Г. Карев, І.В. Московченко // Збірник наукових праць ХНУПС. - Х.: ХНУПС. - 2017. - Вип. 1(50). - С. 29-34.

6. Управление полетами в частях авиации Вооруженных Сил СССР. Методическое пособие. - М: Воениздат, 1985. - 196 с.

7. Радиолокационная система посадки самолетов РСП-10МН. Техническое описание. ЕИ1.001.013 ТО1, ТО2, ТО3.

8. Техническое описание РСП-6М2. - Изд. №3/157393р-П87.

Надійшла до редколегії 30.05.2017

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

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ СОПРОВОЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ В ЗОНАХ ДОПУСТИМЫХ ОТКЛОНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, А.П. Кулик, С.Н. Рот, А.В. Симоненко

В работе предлагается методика оценки вероятности вывода и сопровождения воздушных судов в зонах допустимых отклонений от заданной траектории снижения с помощью посадочных радиолокаторов радиолокационных систем посадки РСП-10МН и РСП-6М2 до соответствующих высот принятия экипажем решения на посадку. Обоснованы требования к точности устранения экипажем погрешностей пилотирования по командам руководителя зоны посадки. Рассчитаны значения вероятностей сопровождения посадочными радиолокаторами этих систем в зонах допустимых отклонений для условий выполнения экипажем этих требований.

Ключевые слова: радиолокационная система посадки, посадочный радиолокатор, сложные погодные условия, высота принятия решения, зоны допустимых и нормальных отклонений, воздушные суда.

ESTIMATION OF PROBABILITY OF ACCOMPANIMENT OF AIR COURTS IN AREAS OF POSSIBLE REJECTIONS BY RADAR LANDING SYSTEMS

N. Rysakov, I. Titov, A. Kulik, S. Rot, A. Simonenko

The method of estimation of probability of conclusion and accompaniment of air courts is in-process offered in the areas of possible deviations from the set trajectory of decline by the precision approach radars of the radar landing systems PCIP-10MH and PCIP-6M2 to the proper decision altitudes a crew on landing. Grounded requirement to exactness of removal of errors of aviating on the commands of leader of landing area a crew. The values of probabilities of accompaniment of these systems landings radio-locators are expected in the areas of possible rejections for the terms of implementation of these requirements a crew.

Keywords: radar landing system, precision approach radar, difficult weather conditions, decision altitude, areas of possible and normal rejections, aircrafts.