

УДК.621.396.61

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, А.П. Кулик

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

ТРЕБОВАНИЯ К ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ПОСАДОЧНЫМ РАДИОЛОКАТОРОМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОСАДКИ САМОЛЕТОВ В УСЛОВИЯХ ПЛОХОЙ ВИДИМОСТИ ВЗЛЕТНО-ПОСАДОЧНОЙ ПОЛОСЫ

В работе обоснованы требования к точности измерения координат самолетов посадочным радиолокатором, обеспечивающие гарантированную посадку самолета на аэродром в условиях плохой видимости (или отсутствия видимости) полосы посадки. Кроме этого, проанализирована возможность выполнения этих требований. В интересах уменьшения влияния человеческого фактора на безопасность посадки, предлагается включить в состав посадочного комплекса линию передачи сигналов управления на борт самолета и соответствующим способом доработать бортовое оборудование.

Ключевые слова: посадочный радиолокатор (ПРЛ), диспетчерский радиолокатор (ДРЛ), взлетно-посадочная полоса (ВПП), фронтовая авиация (ФА), руководитель зоны посадки (РЗП), расчетная точка посадки (РТП), радиолокационная система посадки (РСП), заданная линия посадки (ЗЛП), радиолокационная информация (РЛИ), селекция движущихся целей (СДЦ).

Введение

Постановка проблемы. Системы управления Воздушными Силами должны быть способными в сложных погодных условиях не только обеспечить взлет и решение боевой задачу самолетами ФА, но и обеспечить безаварийную их посадку на основные или запасные аэродромы. Решение этой задачи выдвигает повышенные требования к ПРЛ по обеспечению расчетов пунктов управления соответствующей РЛИ.

Существующие ПРЛ в составе РСП как средства управления на этапе посадки применяются лишь до высоты 120 м (реже 60 м) принятия решения экипажем на самостоятельную посадку и не в состоянии обеспечить безопасность посадки самолета в условиях плохой или отсутствия видимости ВПП. Поэтому для обеспечения безопасности посадки самолета в таких условиях к точностным характеристикам перспективных ПРЛ необходимо предъявить повышенные требования и проанализировать возможность их выполнения.

Анализ последних исследований и публикаций. В статье [1] проанализировано общее состояние средств систем РСП и радиотехнического оборудования командно-диспетчерского пункта (КДП) с указанием их основных недостатков и высказаны перспективные направления их развития. Для ослабления влияния пассивных помех на точность измерения координат ПРЛ в статье [2] предлагается решать задачу СДЦ путем реализации доплеровской фильтрации отраженных импульсов в когерентном накопителе. С целью не допущения накоплений отражений от пассивных помех в когерентном накопителе предложена методика адаптивной настройки

временных параметров зондирующего сигнала для накопителя отраженных импульсов.

Формулирование целей статьи. Целью статьи является обоснование требований к точности измерения координат самолета локатором на этапе посадки в условиях плохой видимости ВПП и возможностей выполнения этих требований посадочным локатором с цифровым когерентным накопителем отраженных импульсов.

Изложение основного материала

Для вывода самолета в зону посадки руководитель ближней зоны пользуется информацией ДРЛ и после вывода передает управление РЗП. Для решения задач контроля и управления посадкой самолета РЗП пользуется информацией ПРЛ и ДРЛ систем РСП, отображаемой на их индикаторах.

С целью принятия правильного решения РЗП о выходе самолета на ЗЛП с требуемой точностью для самолетов ФА определены нормированные зоны отклонений самолета от ЗЛП по курсу и углу места (глиссаде). Эти зоны имеют размеры, которые позволяют экипажу исправлять ошибки пилотирования без дополнительных трудностей и которые обеспечивают точный выход в РТП. Такими зонами являются зоны допустимых (ЗДО) и нормальных (ЗНО) отклонений от ЗЛП (рис. 1).

Размеры этих зон были определены на основе анализа нормативных документов для летного состава, точностных характеристик ПРЛ и индикаторов, возможностями глазомерного считывания с индикаторов координат, а также статистических данных, полученных в ходе исследовательских работ по понижению минимума влияния погоды при взлете и посадки самолетов ФА [3]. ЗДО представ-

ляет собой сектор относительно ЗЛП с углом $\pm 2^\circ$ по курсу и $\pm 0,5^\circ$ по углу места, а ЗНО – примерно $\pm 0,7^\circ$ и $\pm 0,16^\circ$ соответственно. При этом, если самолет находится в ЗНО, то считается, что полет выполняется по ЗЛП, о чем и информируется экипаж.

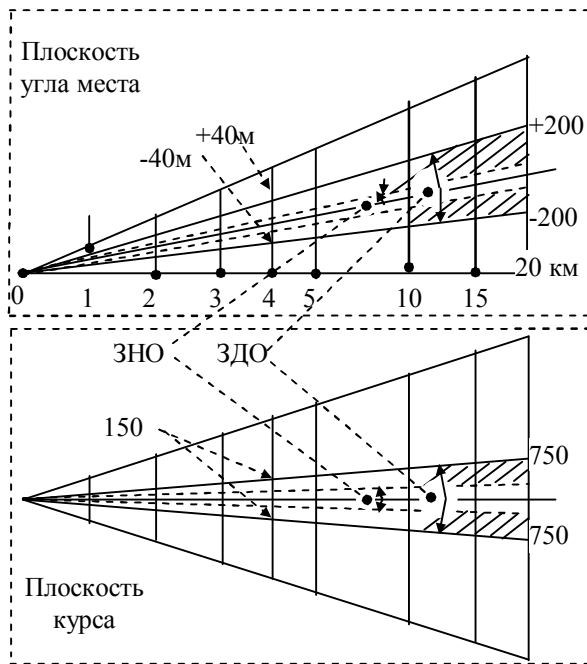


Рис. 1. Положение и размеры ЗДО и ЗНО

Если же самолет находится в ЗДО, то РЗП по индикаторам ПРЛ оценивает величину линейных отклонений от ЗЛП в метрах и на установленных рубежах 20, 10, 6, 3, 2 км (или по запросу экипажа) передает их экипажу для устранения ошибок пилотирования.

При обосновании численных значений требуемой точности измерения координат для обеспечения посадки самолета в рассматриваемых условиях будем исходить из того, что размеры этих зон приемлемы и для современных самолетов ФА. В противном случае требуемую точность измерения координат можно пересчитать по предлагаемой ниже методике.

Размеры этих зон выбраны из условия, что ПРЛ обеспечивает сопровождение самолета до высот снижения 120 м или 60 м, когда погодные условия на удалениях 2,6 км или 1,3 км от РТП обеспечивают видимость ВПП. Дальнейший вывод самолета в точку посадки экипаж осуществляет самостоятельно. Поэтому размеры зон ЗНО и ЗДО не выдвигают высоких требований к ПРЛ по точности измерения координат самолета для его сопровождения в этих зонах. Точность измерения координат локатором по курсу составляет $0,4^\circ$, а по углу места – $0,25^\circ$ [2]. При этом вероятности P_B сопровождения самолета в ЗДО по углу места до удалений от РТП 2,6 км или 1,3 км составляют величины $P_B \geq 0,8$ или $P_B \geq 0,7$ соответственно.

Очевидно, что в условиях плохой или отсутствия видимости ВПП необходимо обеспечить сопровождение самолета в ЗДО вплоть до РТП с большей вероятностью P_B (например, с $P_B > 0,95$). Требуемую точность вывода в РТП можно задавать исходя из площади прямоугольника S_{Π} на плоскости ВПП, имеющего ширину d_{Π} , равную рабочей ширине ВПП, и длину, равную удвоенному удалению РТП от торца ВПП Δl_{Π} , то есть $S_{\Pi} = 2\Delta l_{\Pi}d_{\Pi}$ (рис. 2).

С целью предъявления к ПРЛ реально выполнимых требований по точности измерения угловых координат обоснованным, по мнению авторов, являются требования обеспечения вероятности сопровождения самолета в ЗНО по курсу $P_B = 0,99$, а по углу места – $P_B = 0,95$. Действительно, на борту самолета имеется радиовысотомер и РЗП при управлении посадкой самолета может уточнить выдерживание экипажем заданной высоты снижения для текущего удаления самолета от РТП, измеренного ПРЛ. Кроме этого в условиях плохой или отсутствия видимости ВПП можно “переносить” РТП на большее расстояние от торца ВПП для обеспечения гарантированного вывода самолета по углу места ϵ на площадку посадки без повышения точностных требований к ПРЛ. Большая ошибка же вывода самолета по курсу β после его посадки может усложнить задачу выравнивания самолета по курсу с целью обеспечения его безопасного пробега по ВПП до остановки. При этом для $P_B = 0,99$ по β и $P_B = 0,95$ по ϵ в соответствии интегралом вероятностей [4] линейные среднеквадратические ошибки вывода самолета в РТП по оси ВПП $\sigma_{\Delta l}$ и по ширине ВПП σ_d будут иметь значения:

$$\sigma_d = 0,194d_{\Pi}, \quad \sigma_{\Delta l} = 0,398\Delta l_{\Pi}.$$

Эти требования по точности иллюстрируются на рис. 2 прямоугольником площадью $S_{\sigma} = 2\sigma_d 2\sigma_{\Delta l}$. Для обеспечения такой точности вывода самолета на плоскость ВПП нужно к ПРЛ предъявить соответствующие требования по точности определения в первую очередь угловых координат. Такие требования в рассматриваемых условиях связаны с угловыми размерами ЗНО по курсу $\Delta\beta_0$ и по углу места $\Delta\epsilon_0$ относительно места установки ПРЛ (рис. 2).

Для расчета точностных требований к ПРЛ по угловым координатам нужно знать длину l_{Π} ВПП, месторасположение ПРЛ относительно центра ВПП, заданный угол планирования ϵ_{Π} и учитывать, что:

– размеры ЗНО и ЗДО заданы из условий сопровождения самолета до определенной высоты принятия решения (например, 60 м при удалении самолета от РТП на 1,2÷1,3 км) экипажем на самостоятельную посадку;

– ПРЛ устанавливается на удалении $\Delta d_{\text{ПРЛ}} = 150 - 200$ м от центра ВПП слева или справа;

– нужно обеспечить требуемую точность измерения угловых координат до удалений D_0 от РТП, когда линейные размеры ЗНО $D_{0\varepsilon}$ по углу места и $D_{0\beta}$, по курсу пересчитанные на плоскость ВПП, становятся равными линейным размерам площадки посадки: по оси ВПП $2\Delta l_{\text{П}}$ и по ширине ВПП $d_{\text{П}}$.

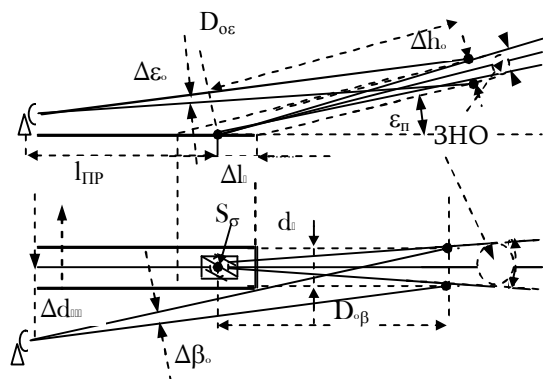


Рис. 2. Иллюстрации к обоснованию требований к точности измерения угловых координат

Прокомментируем последнее утверждение. Как видно из иллюстраций на рис. 2, такие размеры Δh_0 на удалении $D_{0\varepsilon}$ и $d_{\text{П}}$ на удалении $D_{0\beta}$ составляют минимальные угловые сектора $\Delta\varepsilon_0$ и $\Delta\beta_0$ относительно ПРЛ. Действительно на меньших дальностях достаточно обеспечить сопровождение самолета в зоне, представляющей собой прямоугольный параллелепипед с размерами Δh_0 и Δd_0 в сечении, компланарном ЗЛП. Поэтому на меньших дальностях можно осуществлять сопровождение самолета с заданной вероятностью $P_{\text{в}} \geq 0,99$ по курсу и $P_{\text{в}} \geq 0,95$ по углу места, не предъявляя более высоких требований к точности измерения угловых координат.

Таким образом, на удалениях самолета от РТП $D_{0\varepsilon}$ в вертикальной плоскости и $D_{0\beta}$ в горизонтальной плоскости предъявляются наиболее высокие требования к точности измерения угловых координат. При этом:

$$D_{0\beta} \approx 43d_{\text{П}}, \quad D_{0\varepsilon} \approx 343\Delta l_{\text{П}} \sin \varepsilon_{\text{П}}. \quad (1)$$

Из таблицы значений интеграла вероятностей требуемые значения точности измерения угловых характеристик по курсу σ_{β} и по углу места σ_{ε} , исходя из обеспечения вероятностей вывода $P_{\text{в}} \geq 0,99$ ($0,5\Delta\beta_0 / \sigma_{\beta} = 2,58$) по курсу и $P_{\text{в}} \geq 0,95$ ($0,5\Delta\varepsilon_0 / \sigma_{\varepsilon} = 1,96$) по углу места, можно рассчитать по приближенным формулам:

$$\sigma_{\beta} \approx \arctg \left(\frac{d_{\text{П}}}{5,16(l_{\text{ПРЛ}} + 43d_{\text{П}})} \right),$$

$$\sigma_{\varepsilon} \approx \arctg \left(\frac{\Delta l_{\text{П}} \sin \varepsilon_{\text{П}}}{1,96 \cdot (l_{\text{ПРЛ}} + 343,8\Delta l_{\text{П}} \sin \varepsilon_{\text{П}})} \right). \quad (2)$$

Проведем расчет требуемых значений точности по угловым координатам для типовых характеристик ВПП: $l_{\text{П}} = 2,5$ км, $d_{\text{П}} = 30$ м, $\varepsilon_{\text{П}} = 2^{\circ}40'$, $\Delta l_{\text{П}} = 150$ м, $\Delta d_{\text{ПРЛ}} = 150$ м. При этом $l_{\text{ПРЛ}} \approx 1100$ м. Тогда в соответствии с выражениями (1) и (2) получим: $D_{0\beta} \approx 1720$ м, $D_{0\varepsilon} \approx 2400$ м и $\sigma_{\beta} \approx 8,36'$, $\sigma_{\varepsilon} = 3,343'$.

Из расчетных значений видно, что требования к точности измерения угла места самолета в 2,5 раза выше требований по курсу, несмотря на то, что в расчетах вероятность вывода по углу места ЗНО выбрана меньше чем по курсу. В этой связи можно уточнить, с какими вероятностями по курсу $P_{0\beta}$ и по углу места $P_{0\varepsilon}$ при таких точностных характеристиках ПРЛ самолет будет выведен на площадку посадки $S_{\text{П}} = 2\Delta l_{\text{П}}d_{\text{П}}$ при условии, что он находился в ЗНО на удалении $D_{0\beta}$ по курсу и $D_{0\varepsilon}$ по углу места. Для этого допустимые линейные отклонения от РТП $d_{\text{П}}/2$ и $\Delta l_{\text{П}}$ пересчитываем в угловые отклонения относительно ПРЛ $\Delta\beta_0/2$ по курсу и $\Delta\varepsilon_0/2$ по углу места

$$\frac{\Delta\beta_0}{2} \approx \arcsin \left(\frac{d_{\text{П}}}{2l_{\text{ПРЛ}}} \right) = 46,9',$$

$$\frac{\Delta\varepsilon_0}{2} \approx \arcsin \left(\frac{\Delta l_{\text{П}} \sin \varepsilon_{\text{П}}}{l_{\text{ПРЛ}}} \right) = 21,8',$$

находим соотношения $\Delta\beta_0/2\sigma_{\beta} = 5,61$ и $\Delta\varepsilon_0/2\sigma_{\varepsilon} = 6,36$ и в соответствии с интегралом вероятности убеждаемся, что при таких точностных характеристиках ПРЛ вероятность вывода самолета на площадку посадки практически равна 1.

Проанализируем возможность выполнения требований к точности по курсу $\sigma_{\beta} \approx 8,36'$ и по углу места $\sigma_{\varepsilon} \approx 3,43'$ при решении в ПРЛ задачи СДЦ путем доплеровской фильтрации отраженных импульсов в когерентном накопителе.

Взятие на автосопровождение самолета когерентным накопителем на заключительном этапе посадки, когерентное накопление отраженных импульсов и подавление мешающих отражений и шумов в накопителе, прохождение накопленных импульсов адаптивного порога ограничение и критерийная обработка пачки импульсов позволяет допустить, что влиянием на точность измерения угловых координат мешающих сигналов можно пренебречь. Тогда ошибки измерения угловых координат будут зависеть от ошибок дискретизации $\sigma_{\beta\text{д}}$, $\sigma_{\varepsilon\text{д}}$ цифровых датчиков углового положения антенн и

ошибок дискретизации $\sigma_{\beta\pi}$, $\sigma_{\varepsilon\pi}$, обусловленных периодом следования $T_0 = NT_{\pi}$ накопленных в КН импульсов пачки таким образом:

$$\sigma_{\beta}^2 = \sigma_{\beta d}^2 + \sigma_{\beta\pi}^2, \quad \sigma_{\varepsilon}^2 = \sigma_{\varepsilon d}^2 + \sigma_{\varepsilon\pi}^2. \quad (3)$$

Для расчета ошибок дискретизации $\sigma_{\beta\pi}$ и $\sigma_{\varepsilon\pi}$ можно получить следующие выражения:

$$\sigma_{\beta\pi} = \frac{N\Delta\beta_p T_{0m}}{2\sqrt{3}\Delta t_{p\beta}}, \quad \sigma_{\varepsilon\pi} = \frac{N\Delta\varepsilon_p T_{0m}}{2\sqrt{3}\Delta t_{p\varepsilon}}, \quad (4)$$

где $\Delta\beta_p$, $\Delta\varepsilon_p$ – рабочие сектора антенн курса и глиссады; $\Delta t_{p\beta}$, $\Delta t_{p\varepsilon}$ – время сканирования антеннами рабочих секторов; T_{0m} – наибольшее значение дискретно изменяемого периода зондирования $T_{\pi j}$ ($j=1,2,3\dots$) с целью не допущения накоплений отражений от пассивных помех в когерентном накопителе.

Для ПРЛ системы РСР-6М2 имеем: $\Delta\beta_p = 35^\circ$, $\Delta\varepsilon_p = 9^\circ$, $\Delta t_{p\beta} = 0,54$ с, $\Delta t_{p\varepsilon} = 0,33$ с. Из рассчитанного набора периодов [2] имеем $T_{0m} = 0,378$ мс.

Подставляя эти значения в выражения (4), получим $\sigma_{\beta\pi} \approx 3,4'$, $\sigma_{\varepsilon\pi} \approx 1,43'$ и по формуле (3) получим следующие допустимые значения ошибок дискретизации цифровых датчиков углов: $\sigma_{\beta d} \approx 7,64'$ и $\sigma_{\varepsilon d} \approx 3,12'$. Тогда шаги дискретизации цифровых датчиков углового положения антенн курса $\Delta\beta_d$ и глиссады $\Delta\varepsilon_d$ должны удовлетворять условиям: $\Delta\beta_d \leq 26,5'$ и $\Delta\varepsilon_d \leq 10,8'$. Из целесообразности применения одинаковых цифровых датчиков углов антенн курса и глиссады можно использовать датчики с угловым шагом дискретизации $\Delta\theta_d = 6'$.

Выводы

В работе обоснованы требования к точности измерения координат самолета локатором на этапе посадки в условиях плохой видимости ВПП и возможность выполнения этих требований посадочным локатором с цифровым когерентным накопителем отраженных импульсов и цифровыми датчиками углового положения антенн.

Высокая точность измерения координат ПРЛ является недостаточным условием для обеспечения безопасности посадки самолета на аэродром в условиях плохой или отсутствия видимости ВПП. В интересах уменьшения влияния человеческого фактора на безопасность посадки в состав посадочного комплекса нужно включить линию передачи сигналов управления на борт самолета и соответствующим способом доработать бортовое оборудование.

Список литературы

1. Висоцький О.В. Стан та перспективи розвитку радіолокаційних систем посадки / О.В. Висоцький, С.А. Макаров // Збірник наукових праць ХУ ІС. – Х.: ХУ ІС, 2005. – Вип. 1(11). – С. 53-58.
2. Рисаков М.Д. Посадковий радіолокатор з адаптивним настроюванням когерентного накопичувача / М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, С.А. Макаров // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – №2(22). – С. 143-148.
3. Управление полетами в частях авиации Вооруженных Сил СССР: Методическое пособие. – М.: Воениздат, 1985. – 196 с.
4. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973. – 831 с.

Поступила в редколлегию 14.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Барышев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ВИМОГИ ДО ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ КООРДИНАТ ПОСАДКОВИМ РАДІОЛОКАТОРОМ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОСАДКИ ЛІТАКІВ В УМОВАХ ПОГАНОЇ ВИДИМОСТІ ЗЛІТНО-ПОСАДКОВОЇ СМУГИ

М.Д. Рисаков, І.В. Тітов, О.П. Кулик

В роботі обґрунтовані вимоги до точності вимірювання координат літаків посадковим радіолокатором, які забезпечують гарантовану посадку літака на аеродром в умовах поганої видимості (або відсутності видимості) смуги посадки. Крім цього проаналізована можливість виконання цих умов. В інтересах зменшення впливу людського фактору на безпеку посадки, пропонується включити до складу посадкового комплексу лінію передачі сигналів управління на борт літака та відповідним чином допрацювати бортове обладнання.

Ключові слова: посадковий радіолокатор (ПРЛ), диспетчерський радіолокатор (ДРЛ), злітно-посадкова смуга (ЗПС), фронтова авіація (ФА), керівник зони посадки (КЗП), розрахункова точка посадки (РТП), радіолокаційна система посадки (РСП), задана лінія посадки (ЗЛП), радіолокаційна інформація (РЛІ), селекція рухомих цілей (СРЦ).

REQUIREMENTS FOR THE ACCURACY OF MEASURING THE COORDINATES OF LANDING RADAR FOR LANDING IN POOR VISIBILITY CONDITIONS RUNWAY

N.D. Risakov, I.V. Titov, A.P. Kulik

We justify the requirement for the accuracy of measuring the coordinates of aircraft landing radar, providing a guaranteed landing at an airfield in poor visibility (or lack of visibility) landing strip. In addition, analyzed the possibility of meeting these requirements. In order to reduce the influence of human factors on the safety of landing, it is proposed to include in the planting of the complex transmission line control signals on board the aircraft and appropriate way to modify avionics.

Keywords: landing radar, control radar, runway, Frontal Aviation, the head of landing area, the estimated point of landing, radar landing system, a given line of landing, radar data, selection of moving targets.