

УДК.621.396.61;629.735.05

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, В.В. Куценко, Ю.Н. Добрышкин

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ПОСТРОЕНИЮ КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ НА БОРТ САМОЛЕТА СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ ПУТЕМ ДОРАБОТКИ СРЕДСТВ КОМАНДНОЙ РАДИОСВЯЗИ

*Проанализирована возможность включения в состав радиолокационного посадочного комплекса радиосвязного канала передачи на борт самолета сигналов управления путем доработки наземного и бортового оборудования. Обоснована возможность решения задачи по построению такого канала путем доработки аварийного радиоприемника бортовой радиостанции Р-862 и наземной маломощной радиостанции связи Р-809М2. Обоснована целесообразность сохранения при этом в канале передачи координатной информации простых радиосигналов с амплитудной манипуляцией.*

**Ключевые слова:** радиолокационный посадочный комплекс, радиолокационная система посадки, взлетно-посадочная полоса, расчетная точка посадки, канал передачи сигналов управления.

### Вступление

**Постановка проблемы.** Введение в состав радиолокационных систем посадки (РСП) высокоточных моноимпульсных РЛС автосопровождения посадки самолета, позволяет превратить РСП из систем наблюдения и контроля в комплекс автоматизированного вывода самолета в расчетную точку посадки (РТП) в сложных погодных условиях. Для этого в состав такого радиолокационного посадочного комплекса (РЛПК) должен входить канал передачи сигналов управления (КПСУ) на борт самолета с целью оперативного исправления экипажем ошибок пилотирования. Проблемность создания КПСУ состоит в необходимости доработки радиоэлектронного оборудования самолета.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В статье [1] проанализированы способы передачи на борт относительных координат сопровождаемого самолета по радиоканалу и обоснованы возможные варианты использования средств радиотехнического обеспечения (РТО) полетов для построения КПСУ. В статьях [2, 3] предложены и обоснованы варианты построения КПСУ на базе доработки приводной аэродромной радиостанции (ПАР), автоматического радиоконюса (АРК) и наземного и бортового оборудования радиомаяков систем посадки. К недостатку первого варианта построения КПСУ можно отнести отключение аварийного канала связи диспетчера с экипажами самолетов во время работы КПСУ. К недостаткам обоих вариантов построения КПСУ можно отнести необходимость использования линии ретрансляции координатной информации от РЛПК до используемого средства радиотехнического обеспечения (РТО) полетов.

**Цель статьи.** Предлагается принцип построения канала передачи на борт сопровождаемого са-

молета относительных координат в зоне посадки путем несложной доработки наземной и бортовой станций командной радиосвязи.

### Изложение основного материала

В работах [2, 3] рассмотрены два варианта построения КПСУ на базе доработки наземного и бортового оборудования средств радиоканала ПАР-АРК и инструментальных систем посадки дециметрового диапазона. При этом для высокоточного измерения относительных координат самолета в зоне посадки предлагается использовать моноимпульсную РЛС (МРЛС), осуществляющую автосопровождение самолета в ходе его посадки на ВПП.

К общему недостатку таких КПСУ можно отнести наличие в составе канала линии ретрансляции (ЛРТ) координатной информации (КИ) от РЛПК до наземного средства РТО, используемого для построения КПСУ.

На рис. 1 а иллюстрируется такой вариант построения КПСУ. Здесь наземное оборудование используемого средства представлено передатчиком (ПРД), а бортовое – приемником (ПРМ) и бортовыми приборами (БП). При этом для построения ЛРТ предлагается использовать маломощные доработанные радиостанции типа Р-809М2. Наличие радиосвязной линии ЛРТ обуславливает внесение ею искажений параметров сигналов управлений (в первую очередь формы разрядных импульсов), что может приводить к ошибкам считывания переданных координат. Поэтому предпочтение можно отдать КПСУ, построенному по принципу доработки наземных и бортовых радиостанций, не требующих наличия ЛРТ. Такой вариант построения КПСУ иллюстрируется на рис. 1, б. Уточним проблемные вопросы построения такого канала и предложим пути их разрешения.

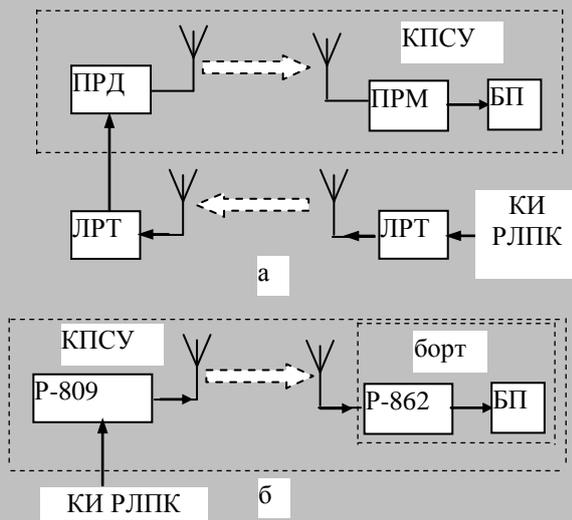


Рис. 1. Варианты построения КПСУ

В интересах реализации КПСУ путем незначительных доработок используемых средств нужно использовать виды модуляции несущих колебаний, которые предусмотрены в этих средствах. Однако для средств командной радиосвязи желательно предусмотреть возможность одновременного их использования для обеспечения переговоров между руководителем зоны посадки (РЗП) и экипажем. Для этого нужно предусмотреть двухканальный режим работы радиостанций: КПСУ и канал радиосвязи. В станциях командной радиосвязи Р - 863(2) во всех режимах работы (амплитудная АМ или частотная ЧМ модуляция или частотная телеграфия ЧТ) осуществляется модуляция несущего колебания на частоте выбранного канала. Поэтому обеспечение двухканального режима работы радиостанций по линии “Земля-борт” путем незначительных их доработок (с сохранением принципа модуляции) представляется не возможным [4]. Однако в состав названных радиостанций входит аварийный приемник (АП), который может служить на борту вторым приемным каналом – приемником КПСУ. Для использования АП в составе КПСУ необходимо создать передающий тракт канала. Можно предложить для построения такого тракта использование передатчика радиостанции типа Р-809М2 путем его доработки и настройки на рабочую частоту АП 121,5 или 243 МГц.

Такой вариант построения КПСУ отражает структурная схема канала на рис.2. Обоснуем целесообразный принцип построения такого КПСУ. Как следует из технической документации радиостанций Р-863 и Р-809М2 принцип их построения является аналогичным, а рабочие диапазоны и частотные каналы совпадают. При этом радиостанцию Р-809М2 можно настраивать на частоту аварийного приемника и использовать ее в режиме амплитудной модуляции (АМ) колебаний на рабочей частоте. Оценим

возможность сохранения в КПСУ режима амплитудной телеграфии (АТ) (эквивалентного режиму АМ). Для этого учтем, что значения технических характеристик аварийного и основного приемников радиостанции Р-863 одинаковы, а характеристики передающих трактов радиостанций отличаются лишь мощностью излучения: 0,5 Вт у Р-809М2 и 10 Вт у Р-863.

С учетом того, что радиостанции Р-863 обеспечивают радиосвязь на дальностях до 180-200 км, КПСУ, построенный путем использования Р-809М2 и доработки АП бортовой радиостанции Р-862, обеспечит максимальную дальность действия

$$D_{\max} \approx 40 \text{ ч } 45 \text{ км.}$$

Однако в предлагаемых РЛПК [1, 5] начальная дальность автосопровождения посадки самолета не превышает 12 км, то есть требуемая дальность действия КПСУ  $D_{\text{кп}} \leq 12 \text{ км}$ . Оценим приемлемость достоверности передачи по КПСУ координатной информации на дальностях  $D_{\text{кп}} < D_{\max}$ .

Как показано в работе [6] зависимость значения вероятности  $P_{\text{л.АТ}}$  ложного приема от отношения  $h$  напряжений сигнала и помехи (с/п) для АТ описывается выражением:

$$P_{\text{л.АТ}} \approx 0,5 \exp(-0,25h^2). \quad (1)$$

Для анализа помехоустойчивости радиосигнала в режиме АТ можно принять, что на дальностях  $D_{\max} = 45 \text{ км}$  обеспечивается

$$h = h_{\text{кр}} = \sqrt{2}.$$

Тогда критическое значение вероятности ложного приема цифровой информации  $P_{\text{л.АТ}}$  составит величину  $P_{\text{л.АТ}} = P_{\text{л.кр}} = 0,303$ . Учитывая обратно пропорциональную зависимость отношения  $h$  от удаления самолета  $D_c$ :

$$h \equiv \frac{1}{D_c}. \quad (2)$$

Для дальности  $D_c = D_{\text{кп}} = 12 \text{ км}$  отношение  $h$  будет иметь значение  $h \approx 5,3$  и в соответствии с (1) получим:

$$P_{\text{л.АТ}} \approx 4,4 \cdot 10^{-4}.$$

То есть на дальности взятия самолета на автосопровождение  $D_c = D_{\text{кп}} = 12 \text{ км}$  обеспечивается недостаточная вероятность  $P_{\text{л.АТ}}$  ложного приема цифровой координатной информации. Если за допустимое значение принять  $P_{\text{л.АТ}} \leq 10^{-6}$ , то в соответствии с выражениями (1) и (2) получим:  $D_{\text{кп}} \leq 8,8 \text{ км}$ . Исходя из зависимости дальности действия канала радиосвязи  $D_{\text{св}}$ , не ограниченной дальностью прямой видимости, от мощности  $P_{\text{прд}}$  передатчика  $D_{\text{св}} \equiv \sqrt{P_{\text{прд}}}$  и с учетом выражений (1) и (2) можно получить требуемое значение  $P_{\text{тр}}$  мощности передатчика  $P_{\text{тр}} \approx 0,93 \text{ Вт}$  для обеспечения вероятности  $P_{\text{л.АТ}} \leq 10^{-6}$  ложного приема на дальности  $D_{\text{кп}} = 12 \text{ км}$ .

Таким образом, предлагаемый вариант построения КПСУ путем несложной доработки средств радиосвязи может обеспечить приемлемую достоверность передачи координатной информации ( $P_{\text{ЛАТ}}^{\text{А}} \leq 10^{-6}$ ) на борт самолета на дальностях  $D_{\text{кпн}} \leq 8,8$  км. С учетом того, что высокие точность и достоверность передачи координатной информации нужна на заключительном этапе посадки (при удалении самолета от РТП  $D_c < 6$  км), рассматриваемый вариант построения КПСУ вполне приемлем. Уточним другие вопросы его реализации.

При любом способе манипуляции (телеграфии) несущего колебания нужно обеспечить, чтобы полоса пропускания  $\Delta F_k$  радиоканала была согласована с шириной спектра  $\Delta F_{\text{сп}}$  сигнала и учитывала нестабильность  $y_f$  частот передатчика и гетеродинов приемного тракта:

$$\Delta F_k \geq \Delta F_{\text{сп}} + 2\sigma_f. \quad (3)$$

Как показано в статье [3] за оптимальное значение ширины спектра  $\Delta F_{\text{сп}}^{\text{АТ}} = \Delta F_{\text{опт}}$  в режиме АТ следует принять значение полосы, которая связана с длительностью  $\phi_p$  разрядного импульса выражением:

$$\Delta F_{\text{опт}} = \frac{3}{\tau_p}. \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) вытекает следующее расчетное выражение для длительности  $\phi_p$ :

$$\tau_p \geq \frac{3}{(\Delta F_k - 2\sigma_f)}. \quad (5)$$

Очевидно, что полосы  $\Delta F_k$  любого радиоканала, состоящего из передающего и приемного трактов, будут совпадать с полосой пропускания приемного тракта. В нашем случае полоса пропускания аварийного приемника составляет величину  $\Delta F_k^{\text{КПСУ}} \approx 18$  кГц, а стабильность несущих и гетеродинных частот составляет величину  $y_{\text{гг}} = 1,2$  кГц. Подставляя эти значения в выражение (5) получим следующие возможные значения длительности  $\phi_p \geq 0,18$  мс. За приемлемое значение длительности разрядного импульса примем:  $\phi_p = 0,2$  мс. Тогда значение периодичности  $T_k$  передачи на борт цифровой информации должно удовлетворять условию:

$$T_{\text{БП}} \geq T_k \geq n_p \tau_p, \quad (6)$$

где  $n_p$  – число разрядов координатной информации;  $T_{\text{БП}}$  – среднее время запоминания значения сигнала управления бортовыми приборами.

В работе [1] предложено передавать координатную информацию 35-ью разрядами, выделить 5 разрядов для кодирования ключа к информации и 10 разрядов времени для обозначения паузы между циклами передачи очередной измеренной информации. С учетом этих предложений имеем:  $T_k \geq 10$  мс. Бортовым прибором для отображения угловых от-

клонений самолета от ЗЛП является командно-пилотажный прибор (КПП), который и предлагается использовать для отображения переданных по КПСУ линейных отклонений от ЗЛП. При этом инерционность КПП составляет интервал времени  $T_{\text{БП}} = 80$  мс [3]. В соответствии с (6) за целесообразное значение периодичности  $T_k$  передачи на борт цифровой информации можно принять  $T_k = 40$  мс.

В случае использования в составе РЛПК МЛЛС автосопровождения самолета в качестве измерителя координат [5], периодичность измерений

$$T_{\text{ИЗМ}} = 1ч1,2 \text{ мс.}$$

Поэтому  $n_p = T_k/T_{\text{ИЗМ}}$  результатов измерений для передачи по КПСУ можно усреднять с целью снижения ошибок, обусловленных мешающими факторами.

Уточним сущность доработки средств радиосвязи при построении КПСУ (рис. 2). Координатная информация КИ самолета от РЛПК передается на борт передающим трактом радиостанции Р-809М2. На рис.2 этот тракт представлен радиотрактом, состоящим из возбуждателя ВЗБ, усилителя мощности УМ, антенного контура АК с антенной и трактом модулирующего сигнала (цифровой КИ) из усилителя низкой частоты УНЧ и модулятора М.

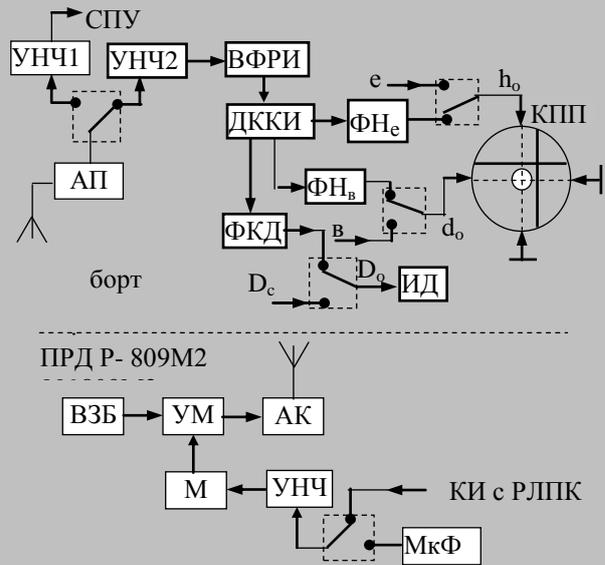


Рис. 2. Структурная схема КПСУ (вариант 1)

Приемником бортового оборудования КПСУ служит аварийный приемник АП радиостанции Р-862. Выход АП с помощью релейного коммутатора отключается от УНЧ1 с телефоном самолетного переговорного устройства (СПУ) и подключается к УНЧ2. С выхода УНЧ2 сигнал поступает и обрабатывается устройствами обработки координатной информации. К ним относятся: восстановитель формы разрядных импульсов (ВФРИ), декодер координатной информации (ДККИ), формирователи напряжений  $\Phi_{\text{Нe}}$ ,  $\Phi_{\text{Нв}}$  отклонения стрелок КПП,

формирователем кода дальности (ФКД) для отображения на индикаторе дальности (ИД) и набор коммутируемых контактов релейного коммутатора РК. РК осуществляет указанное на схеме отключение выходов бортового оборудования радиомаяков [3] (угловые отклонения от равноточного направления антенн ПРМГ по курсу  $v$  и углу места  $e$  и приближенное удаление от РТП  $D_c$ ) и подключение выходов соответствующих устройств доработки. Уточним и обоснуем роль устройств доработки.

При передаче на борт координатной информации из-за мешающего влияния внешних и внутренних шумов КПСУ может искажаться прямоугольная форма разрядных импульсов. Эти искажения компенсируются восстановителем формы ВФРИ. ДККИ выделяет информацию трех координат (линейные отклонения по углу места  $h_0$ , по курсу  $d_0$  и удаление от РТП  $D_0$ ), преобразовывает ее в ЦК двоично-десятичной системы счисления и передает трем преобразователям. Формирователи  $ФН_v$  и  $ФН_e$  путем преобразования последовательного кода в параллельный код и его цифро-аналогового преобразования формируют для КПП напряжения, пропорциональные измеренным линейным отклонениям самолета от ЗЛП по высоте  $h_0$  и по курсу  $d_0$ . Поэтому нужно соответствующим образом изменить шкалу КПП. ФКД преобразовывает ЦК измеренного удаления в форму ИД.

## Выводы

Предложенный принцип построения канала передачи на борт высокоточных относительных координат самолета в зоне посадки заслуживает внимания для реализации из-за его простоты: требуются не сложная доработка аварийного приемника бортовой радиостанции связи Р-863 и наземной радиостанции Р-809М2. Основной недостаток такого ва-

рианта построения КПСУ заключается в недостаточной достоверности передачи цифровой информации на дальностях  $D_c \geq 8,4$  км, что ограничивает дальность действия канала.

## Список литературы

1. Рысаков Н.Д. Обоснование возможных принципов построения высокоточного 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 // Системы управління, навігації та зв'язку. - К.: ЦНДІ НіУ, 2012. - Вип. 1 (21). - С. 62 - 67.
2. Рысаков Н.Д. Предложения по построению канала передачи на борт самолета сигналов управления путем доработки приводной аэродромной радиостанции и автоматического радиоконуса / Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, В.Ж. Яценко, В.Г. Карев // Системы управління, навігації та зв'язку. - К.: ЦНДІ НіУ, 2012. - Вип. 3 (23). - С. 251 - 254.
3. Рысаков Н.Д. Канал передачи на борт самолета сигналов управления на базе доработки средств радиосвязи и посадочной радиомаячной группы / Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, В.А. Дорошук, А.А. Павличенко // Системы обработки інформації. - Х.: ХУПС, 2012. - Вип. 3 (101). - С. 94 - 98.
4. Военная техника радиосвязи. Учебник для вузов войск связи. - М: Воениздат, 1982, - 440 с.
5. Рысаков Н.Д. Анализ возможности реализации в составе радиолокационного посадочного комплекса моноимпульсного канала автосопровождения самолета на заключительном этапе посадки / Н.Д. Рысаков, В.В. Куценко, И.В.Титов, С.А. Макаров // Системы управління, навігації та зв'язку. - К.: ЦНДІ НіУ, 2011. - Вип.4(20). - С. 57 - 61.
6. Гойхман Э.Ш. Передача информации в АСУ / Э.Ш. Гойхман, Ю.И. Лосев, - М: Связь, 1976, - 279 с.

Поступила в редколлегию 29.01.2013

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

## ПРОПОЗИЦІЯ ЩОДО ПОБУДОВИ КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ НА БОРТ ЛІТАКА СИГНАЛІВ УПРАВЛІННЯ ШЛЯХОМ ДООПРАЦЮВАННЯ ЗАСОБІВ КОМАНДНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

М.Д. Рысаков, І.В. Тітов, В.В. Куценко, Ю.М. Добришкін

Проаналізована можливість включення до складу радіолокаційного посадкового комплексу радіозв'язкового каналу передачі на борт літака сигналів управління шляхом доопрацювання наземного та бортового обладнання. Обґрунтована можливість рішення завдання щодо побудови такого каналу шляхом доопрацювання аварійного радіоприймача бортової радіостанції Р-862 та наземної малопотужної радіостанції Р-809М2. Обґрунтована доцільність залишення при цьому в каналі передачі координатної інформації простих радіоімпульсів з амплітудною маніпуляцією.

**Ключові слова:** радіолокаційний посадковий комплекс, радіолокаційна система посадки, злітно-посадкова смуга, розрахункова точка посадки, канал передачі сигналів управління.

## FOR THE CONSTRUCTION OF TRANSMISSION CHANNEL IN AIRCRAFT CONTROL SIGNALS BY MEANS NECESSARY COMMAND RADIO

N.D. Rysakov, I.V. Titov, V.V. Kutsenko, U.N. Dobryshkin

The possibility of inclusion in the radar landing complex radio communication channel on the plane control signals through the completion of ground and airborne equipment. A possibility of the task of building such a channel by further developing emergency onboard radio station R-862 low-power stations, and ground of the P-809M2. The expediency of saving while in the channel coordinate information of simple signals with amplitude manipulation.

**Keywords:** landing radar complex radar system landing runway, the estimated landing point, the channel control signaling.