

УДК.621.396.61; 629.735.05

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, В.А. Дорощук, А.А. Павличенко

*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

## КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ НА БОРТ САМОЛЕТА СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ДОРАБОТКИ СРЕДСТВ РАДИОСВЯЗИ И ПОСАДОЧНОЙ РАДИОМАЯЧНОЙ ГРУППЫ

*Проанализирована возможность и предложены принципы построения канала передачи на борт самолета сигналов управления в составе высокоточного радиолокационного посадочного комплекса путем доработки наземного и бортового оборудования глассадного радиомаяка посадочной радиомаячной группы и использования средств радиосвязи для построения радиолинии ретрансляции сигналов управления от автоматизированного командно-диспетчерского пункта до глассадного радиомаяка. Обоснована целесообразность сохранения в каналах передачи и ретрансляции простых радиосигналов с амплитудной манипуляцией.*

**Ключевые слова:** радиолокационный посадочный комплекс, радиолокационная посадочная система, посадочная радиомаячная группа, курсовой радиомаяк, глассадный радиомаяк, радиотехническая система ближней навигации, взлетно-посадочная полоса, заданная линия посадки, расчетная точка посадки, канал передачи сигналов управления, группа руководства полетами, руководитель зоны посадки.

### Вступление

**Постановка проблемы.** Внедрение современных принципов построения и современной микроэлектронной элементной базы при создании новых радиолокационных средств посадки позволяет существенно повысить точность измерения относительных координат самолета для его вывода в расчетную точку посадки (РТП) в сложных погодных условиях. При этом возникает необходимость эти координаты передавать на борт самолета с целью оперативного исправления экипажем ошибок пилотирования. Для этого в состав посадочного комплекса должен входить канал передачи сигналов управления. Проблемность его построения состоит в необходимости доработки бортового оборудования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В статье [1] проанализированы возможные способы передачи по радиоканалу на борт сопровождаемого самолета относительных координат и дана их сравнительная характеристика. В работе также предложены возможные варианты использования средств радиотехнического обеспечения (РТО) полетов для построения такого радиоканала.

**Формулировка целей статьи.** В статье необходимо проанализировать возможность реализации канала передачи на борт самолета сигналов управления на базе наземного и бортового оборудования посадочной радиомаячной группы (ПРМГ) и радиотехнической системы ближней навигации (РСБН) путем ее незначительной доработки и использования средств радиосвязи для построения линии ретрансляции сигналов управления.

### Изложение основного материала

Контроль выполнения самолетами заданных маршрутов полетов осуществляют лица группы ру-

ководства полетами по координатной информации, отображаемой на выносных индикаторах (радиолокационных и других радиотехнических средств), размещенных на командно-диспетчерском пункте (КДП). Контроль выдерживания самолетом заданной линии (траектории) посадки осуществляет руководитель зоны посадки по радиолокационной информации (РЛИ), отображаемой на выносных индикаторах посадочного радиолокатора (ПРЛ). При этом экипаж осуществляет вывод самолета и его выдерживание на заданной линии посадки (ЗЛП) по показаниям приборов бортового оборудования ПРМГ дециметрового диапазона волн (по командно-пилотажному прибору (КПП) – отклонение от ЗЛП по курсу и углу места, а по индикатору дальности (ИД) – удаление от РТП) [3]. К сожалению, руководитель зоны посадки (РЗП) не имеет возможности контролировать достоверность информации, которую экипаж считывает с бортовых приборов. Кроме этого точность ПРМГ в сложных погодных условиях не обеспечивает гарантированный вывод самолета в РТП.

При создании новых радиолокационных приборных комплексов (РЛПК) можно существенно повысить точность измерения относительных координат самолета в зоне посадки для вывода самолета в РТП. Для оперативного устранения экипажем ошибок пилотирования высокоточную координатную информацию необходимо автоматически передавать на борт и представлять экипажу в привычном виде – на существующих приборах бортового оборудования, то есть нужно построить канал передачи сигналов управления на борт. Одновременно для контроля достоверности передаваемой информации целесообразно ее отображать и на рабочем месте РЗП путем ее передачи по линии трансляции информации от РЛПК к автоматизированный команд-

но-диспетчерский пункт (АКДП). Очевидно, представляет практический интерес, в первую очередь, вариант построения канала передачи сигналов управления (КПСУ) на базе средств РТО без их существенной доработки. Проанализируем возможность построения КПСУ путем доработки наземного и бортового оборудования ПРМГ и РСБН [2,4].

На рис. 1 представлена структурная схема РЛПК, в состав которого входит радиолокационная посадочная система (РЛПС), оборудование рабочего места (РМ) РЗП на АКДП, три линии передачи сигналов и команд между РЛПС и АКДП (ТУ–ТС – линия телеуправления – телесигнализации, по которой передаются с КДП сигналы управления локоотрами РЛСП, а с РЛСП на КДП – сигналы управления отображением РЛИ на мониторе РМ РЗП и сигналы, сигнализирующие о состоянии, выбранном режиме работы и т.п. локоотров и других средств РЛСП; ЛТРЛИ – линия трансляции РЛИ на КДП посадочного и диспетчерского радиолокаторов; ЛТКСС – линия трансляции координатной информации на КДП сопровождаемого самолета для ее отображения на мониторе РМ РЗП).

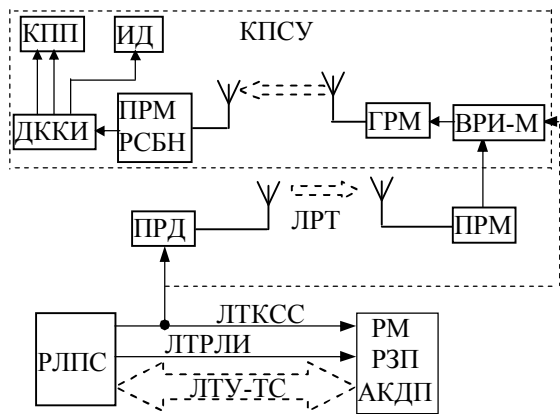


Рис. 1. Состав РЛПК

Из однотипности построения курсового радиомаяка (КРМ) и глиссадного радиомаяка (ГРМ) следует, что для построения КПСУ можно использовать любой из радиомаяков с одинаковой доработкой. Высокоточную координатную информацию сопровождаемого самолета, передаваемую по ЛТКСС, в обоих случаях нужно передавать по линии ретрансляции (ЛРТ) до ГРМ или КРМ. Такой линией может служить линия радиосвязи или наземные каналы типа модемов [3,5]. Для построения такой линии радиосвязи можно использовать маломощные радиостанции связи типа Р-809М2. Охарактеризуем предлагаемый принцип построения КПСУ на базе ГРМ.

Для реализации КПСУ на основе ГРМ и ЛРТ на базе радиостанции путем незначительных доработок этих средств нужно использовать виды модуляции несущих колебаний, которые предусмотрены в этих

средствах. Для этого при передаче сигналов управления по радиосвязной ЛРТ и по КПСУ целесообразно использовать амплитудную манипуляцию (АМ) несущих колебаний. Низкая помехоустойчивость [1] АМ радиосигнала в нашем случае вполне приемлема, поскольку ЛРТ и КПСУ применяются на дальностях меньших, чем дальности действия используемых средств.

При любом способе манипуляции нужно обеспечить, согласование полосы пропускания  $\Delta F_k$  радиоканала с шириной спектра  $\Delta F_{сн}$  сигнала и учесть нестабильность  $\sigma_f$  частот несущего колебания и гетеродинов приемного тракта:

$$\Delta F_k \geq \Delta F_{сн} + 2\sigma_f. \quad (1)$$

В радиоканалах передачи двоичной информации с АМ около 90% всей мощности сигнала заключено в полосе  $\Delta F_{пАТ}$  частот, охватывающей несущую частоту и боковые частоты, создаваемые первой гармоникой частоты  $F_m$  манипуляции [4]:

$$\Delta F_{пАТ} = 2F_m = 1/\tau_p, \quad (2)$$

где  $\tau_p$  – длительность одного разряда передаваемой цифровой информации.

Однако если ограничить спектр АМ сигналов столь узкими пределами  $\Delta F_{пАТ}$ , то возникает растягивание фронтов восстановленных разрядных импульсов, что недопустимо при больших скоростях манипуляции. В нашем случае такие искажения разрядных импульсов в радиосвязной ЛРТ могут привести к ошибкам восстановления разрядных импульсов на выходе ЛРТ, и как следствие, к передаче по КПСУ искаженной координатной информации. Поэтому за оптимальное значение  $\Delta F_{пАТ} = \Delta F_{optАТ}$  можно принять полосу частот  $\Delta F_{снАТ}$  радиолинии и радиоканала канала, которая охватывает боковые частоты третьей гармоникой частоты манипуляции:

$$\Delta F_{снАТ} = \Delta F_{optАТ} = 3/\tau_p. \quad (3)$$

Из выражений (1) и (3) вытекает следующее расчетное выражение для длительности  $\tau_p$ :

$$\tau_p \geq \frac{3}{(\Delta F_k - 2\sigma_f)}. \quad (4)$$

Очевидно, что полосы пропускания  $\Delta F_k$  любого радиоканала, состоящего из передающего и приемного радиотрактов, будет совпадать с полосами пропускания этих приемников. В нашем случае полоса пропускания приемника РСБН, используемого в КПСУ, составляет величину

$$\Delta F_{кк} = (300-400) \text{ кГц} [4],$$

а “широкая” полоса пропускания приемников станций радиосвязи составляет величину

$$\Delta F_{кл} \approx 40 \text{ кГц}.$$

Для определения необходимой длительности  $\tau_p$  разрядных импульсов (4) воспользуемся усреднен-

ными значениями стабильности  $\sigma_f$  частоты  $f_n$  несущего и гетеродинных колебаний радиоканалов  $\sigma_f/f_n = 2 \cdot 10^{-5}$ .

Тогда с учетом наибольших значений несущих частот [2, 5]  $f_{нк} = 970$  МГц ГРМ и  $f_{нд} = 150$  МГц радиостанции получим:

$$\sigma_{fk} = 20 \text{ кГц для КПСУ и } \sigma_{fd} = 3 \text{ кГц для ЛРТ.}$$

Подставляя эти значения в выражение (4) получим следующие возможные значения длительности  $\tau_p$ :  $\tau_{рк} \geq 12 \text{ мс}$  для КПСУ и  $\tau_{рд} \geq 88 \text{ мс}$  для ЛРТ. Очевидно, что полученные минимальные значения длительности  $\tau_p$  для радиосвязной ЛРТ  $\tau_{рд} = 88 \text{ мс}$  будут определять минимальное значение длительности  $\tau_{рк}$  разрядных импульсов и для КПСУ. Поэтому можно принять следующее значение длительности  $\tau_p = 100 \text{ мс}$  для передачи координатной информации для передачи как по ЛРТ так и по КПСУ.

По значению длительности одного разряда и известному количеству разрядов цифровой координатной информации  $n_p$  можно определить минимальное значение периодичности  $T_k$  передачи на борт этой информации:

$$T_k \geq n_p \tau_p. \quad (5)$$

В работе [1] предложено передавать координатную информацию 35-ью разрядами и выделить 5 разрядов для обозначения начала информации – ключа к информации и 10 разрядов времени для обозначения паузы между циклами передачи очередной измеренной информации. С учетом этих обоснованных предложений имеем:  $T_k \geq 5 \text{ мс}$ . В зависимости от значения периодичности  $T_{изм}$  измерений информации можно предложить следующий алгоритм выбора периодичности  $T_k$  передачи на борт сигналов управления:

$$T_k = \begin{cases} n T_{изм} \geq 5 \text{ мс, если } T_{изм} < 5 \text{ мс,} \\ T_{изм}, \text{ если } T_{изм} > 5 \text{ мс,} \end{cases} \quad (6)$$

где  $n$  – минимальное целое число, удовлетворяющее условию  $n T_{изм} \geq 5 \text{ мс}$ .

В первом случае  $n$  результатов измерений можно усреднять с целью снижения ошибок, обусловленных мешающими факторами, а во втором на борт информация передается с периодичностью ее обновления в РЛСП. Уточним принцип доработки средств радиосвязи для построения ЛРТ, а также ГРМ и бортового оборудования для построения КПСУ.

Для построения ЛРТ доработка передающего тракта ПРД маломощной радиостанции связи сводится к вводу в состав ПРД видеоусилителя напряжений разрядных импульсов координатной информации и подаче этих импульсов вместо напряжения модулятора. При этом доработка приемного ПРМ тракта сводится лишь к вводу в состав ПРМ коммутатора, обеспечивающего отключение телефона и

подачу напряжения выходного усилителя низкой частоты в передающий тракт КПСУ.

На рис. 1 КПСУ представлен восстановителем разрядных импульсов, модулятором Ф-М, передающим трактом глассадного радиомаяка ГРМ с антенной и приемником ПРМ РСБН с антенной, декодером координатной информации ДККИ, а также бортовыми приборами – командно-пилотажным прибором КПП с индикатором дальности ИД.

Уточним принцип построения КПСУ (рис. 2). Передающий тракт канала предлагается строить на базе аппаратуры ГРМ путем незначительной ее доработки.

На схеме аппаратура ГРМ представлена существующими устройствами и устройствами доработки. К первым относятся:

- генераторы прямоугольных импульсов (ГПИ) 1,3 и 2,1 кГц;
- ключевые каскады “Ключ-1” и “Ключ-2” и схема ИЛИ;
- коммутатор “К-12,5” с частотой 12,5 Гц;
- коммутатор фазы (КФ);
- генератор (ГВЧ) и усилитель (УВЧ) высокой частоты;
- делитель мощности (ДМ); фазовращатель (ФВ) и две антенны – верхняя (разностная)  $A_\Delta$  и нижняя (суммарная)  $A_\Sigma$ .

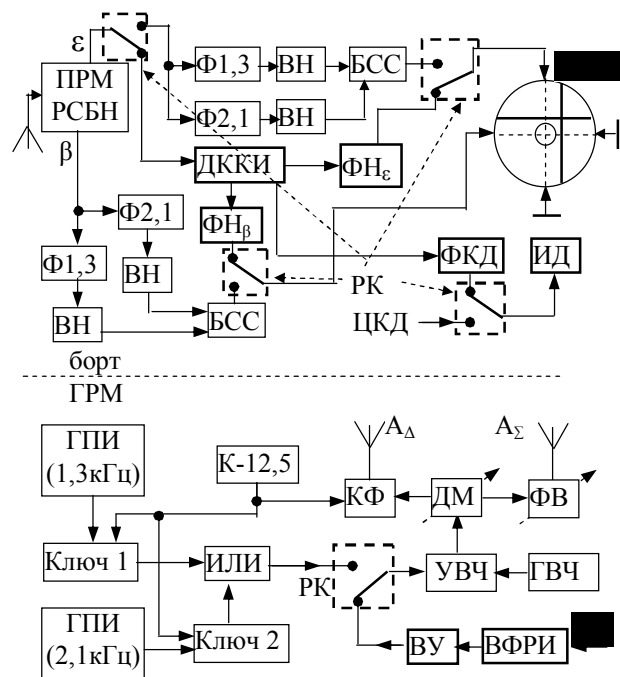


Рис. 2. Структурная схема КПСУ

Принцип формирования ДН ГРМ иллюстрируется на рис. 3 и состоит в последовательном (с частотой 12,5 Гц) формировании одного из двух лепестков “2100”, “1300” и их коммутации с частотой 25 Гц. Уточним роль перечисленных устройств структурной схемы в формировании такой ДН.

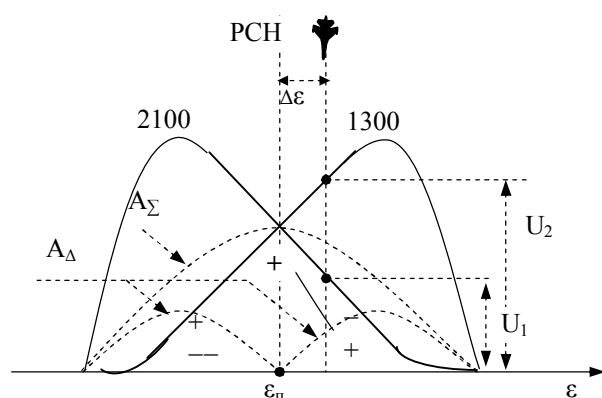


Рис. 3. Принцип формирования ДН ГРМ

Если бы в обе антенны поступал один и тот же ВЧ сигнал, то в пространстве ДН нижней  $A_{\Sigma}$  и верхней  $A_{\Delta}$  антенн имели бы вид, представленный пунктирными линиями. “Разнополярность” лепестков  $A_{\Delta}$  обусловило бы формирование результирующей ДН двух антенн в виде не симметричного лепестка “2100”. Форму лепестка можно регулировать соответствующим делением мощности ВЧ сигнала, подводимого к двум антеннам. Если же поменять полярность лепестков  $A_{\Delta}$ , то результирующая ДН имела бы вид лепестка “1300”. Поскольку информация об угле отклонения  $\Delta\epsilon$  заложена в соотношении (разности) амплитуд  $u_1$  и  $u_2$  ВЧ сигналов двух результирующих лепестков в аппаратуре ГРМ (аналогично и в КРМ) осуществляется “окраска” и коммутация этих лепестков с частотой 12,5 Гц. Модуляция ВЧ колебаний в УВЧ (“окраска” лепестков) импульсами ГПИ с частотами 2100 Гц и 1300 Гц, обеспечивается ключами “Ключ-1”, “Ключ-2” и схемой “ИЛИ”. Для этого “Ключ-2” срабатывает на прямые импульсы коммутатора, а “Ключ-1” – на инверсные импульсы. ВЧ сигналы, промодулированные импульсами ГПИ с частотами 2,1 кГц или 1,3 кГц, в нижнюю антенну  $A_{\Sigma}$  поступают через регулируемые ДМ и фазовращатель ФВ, а в верхнюю антенну  $A_{\Delta}$  – через ДМ и КФ. Изменением в ДМ соотношения мощностей ВЧ сигнала, подводимых к двум антеннам можно подбирать форму результирующих лепестков.

С помощью ФВ выравнивается фазовая длина двух ВЧ трактов между УВЧ и антеннами, а в случае наличия наклонов земной поверхности в зоне посадки с помощью ФВ можно скомпенсировать наклон равносигнального направления (РСН) двух коммутируемых лепестков.

Для приема на борту ВЧ сигналов глассадного ГРМ маяка, а также ретранслятора дальномера (РД) (939,6 – 966,9 МГц) и курсового КРМ радиомаяка (905,1 – 932,4 МГц) используется двухканальный приемник РСБН в режиме “Посадка” [3,5]. Принцип действия бортового оборудования сводится к сравнению амплитуд двух сигналов с разными частота-

ми модуляции и определению коэффициента  $k_{pc}$  разнослышимости:

$$k_{pc} = \frac{U_2 - U_1}{U_2 + U_1} = \frac{1 - U_1/U_2}{1 + U_1/U_2}. \quad (7)$$

Сигналы ГРМ и КРМ после обработки и детектирования соответствующим каналом приемника разделяются фильтрами “Ф1,3”, “Ф2,1” по частотам модуляции, преобразуются выпрямителями напряжения (ВН) в напряжение постоянного тока и подаются в балансные схемы сравнения (БСС).

Схемы БСС путем названной обработки выходных сигналов двух каналов приемника формируют напряжения  $U_{pc}$ , пропорциональное коэффициенту  $k_{pc}$  (7) и с определенной точностью углу отклонения  $\Delta\epsilon_c$  ( $\Delta\beta_c$ ) самолета от РСН:

$$U_{pc} = k_{pc} U_{ш} \approx \Delta\epsilon_c \xi, \quad (8)$$

где  $U_{ш}$  – постоянное напряжение, обеспечивающее отклонение стрелок КПП на всю шкалу прибора;  $\xi$  – крутизна результирующей ДН в области угла РСН.

Из выражений (7) и (8) вытекает:

$$\Delta\epsilon_c \approx \frac{U_{ш}}{\mu} \frac{1 - U_1/U_2}{1 + U_1/U_2}. \quad (9)$$

Таким образом КПП при работе с ГРМ (и КРМ) приближенно показывает угол отклонения самолета от ЗЛП, а не линейное отклонение, которое для экипажа в сложных погодных условиях является более информативной для исправления ошибок пилотирования.

Ретранслятор РД в комплексе с бортовым оборудованием РСБН образуют канал дальности (КД), позволяющий с невысокой точностью (погрешность  $\approx 200$  м) измерять дальность самолета до РТП. Принцип работы канала дальности сводится к подсчету тактовых импульсов с частотой повторения около 1 МГц между импульсами бортового запросчика и наземного ответчика – РД. Периодичность измерения дальности составляет 1/30 с [4]. Невысокая точность КД свидетельствует о необходимости на заключительном этапе посадки в условиях плохой видимости ВПП на бортовом ИД отображать дальность, измеренную более точным измерителем. Уточним сущность предлагаемой доработки ГРМ и бортового оборудования (рис. 2).

При использовании ГРМ для построения КПСУ достаточно сохранить коммутацию двух результирующих лепестков и отпадает необходимость в названной их окраске: ВЧ сигнал ГРМ будет использоваться для передачи на борт относительных координат самолета в зоне посадки, измеренных высокоточным измерителем в составе РЛПС (рис.1). Сущность предлагаемой доработки аппаратуры ГРМ сводится к следующему. С помощью релейного коммутатора РК вход модуляции УВЧ отключается

от выхода “ИЛИ” и подключается к выходу видеосигнала ВУ разрядных импульсов информации относительных координат. Координатную информацию КИ на позицию ГРМ предлагается транслировать по ЛТР, построенной на базе маломощных станций радиосвязи. При этом в ЛТР будет искажаться прямоугольная форма разрядных импульсов. Поэтому эти искажения целесообразно компенсировать. Такую задачу решает восстановитель формы разрядных импульсов (ВФРИ), а ВУ играет роль модулятора: нормирует выходные импульсы ВФРИ по амплитуде.

Доработка бортового оборудования сводится к следующему. В состав бортового оборудования вводятся 4-х канальный релейный (или другой) коммутатор (РК), декодер координатной информации (ДККИ), формирователи напряжений линейного отклонения в плоскостях курса  $\Phi_{Нв}$  и глиссады  $\Phi_{Нг}$ , формирователь кода дальности (ФКД). РК осуществляет указанное на схеме (рис.2) переключение трактов. С учетом предложенной [1] последовательности передачи координатной информации (линейные отклонения по углу места, по курсу и удалению от РТП) ДККИ выделяет цифровую информацию трех координат, преобразовывает ее в ЦК двоично-десятичной системы счисления и передает трем преобразователям. Формирователи  $\Phi_{Нв}$  и  $\Phi_{Нг}$  по принципу преобразования последовательного ЦК в параллельный и цифро-аналогового преобразования ЦК формируют для КПП напряжения, пропорциональные измеренным линейным отклонениям. Поэтому соответствующим образом нужно изменить шкалу КПП. ФКД преобразовывает ЦК измеренного удаления в форму ИД.

## Выводы

Предложенный принцип построения канала передачи на борт высокоточных относительных координат заслуживает внимания для реализации из-за его простоты: требуются не сложные доработки как наземного, так и бортового оборудования систем посадки и навигации. К недостатку можно отнести необходимость для реализации канала линии ретрансляции информации от РЛСП до ГРМ.

## Список литературы

1. Рысаков Н.Д. Обоснование возможных принципов построения высокоточного радиолокационного посадочного комплекса с каналом автоматической передачи на борт самолета координатной информации на заключительном этапе посадки / Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, А.П. Кулик, В.Г. Карев // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2012. – Вип. 1 (21), т. 2. – С.46-52.
2. Військова техніка радіотехнічного забезпечення авіації Повітряних Сил. Навчальний посібник. Частина 1: Пристрої і системи ближньої навігації та інструментальної посадки / О.В. Нікітін, С.І. Сиващенко, В.І. Василюшин та інші. - Х.: ХУПС; 2006, - 147 с.
3. Гойхман Э.Ш. Передача информации в АСУ / Э.Ш. Гойхман, Ю.И. Лосев. – М.: Связь, 1976, - 279 с.
4. Сосновский А.А. Авиационная радионавигация: Справочник / А.А. Сосновский, И.А. Хаймович, Э.А. Лукин та інші. – М.: Транспорт; 1990. - 254 с.
5. Военная техника радиосвязи. Учебник для вузов войск связи. – М.: Воениздат, 1982. – 440 с.

Поступила в редколлегию 14.03.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. П.Ю. Костенко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### КАНАЛ ПЕРЕДАВАННЯ НА БОРТ ЛІТАКА СИГНАЛІВ УПРАВЛІННЯ НА БАЗІ ДОРОБКИ ЗАСОБІВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ТА ПОСАДКОВОЇ РАДІОМАЯЧНОЇ ГРУПИ

М.Д. Рысаков, І.В. Тітов, В.А. Дорошук, О.А. Павліченко

*Проаналізована можливість та запропоновані принципи побудови каналу передавання на борт літака сигналів управління у складі високоточного радіолокаційного посадкового комплексу шляхом доробки наземного та бортового обладнання глиссадного радіомаяка посадкової радіо маячної групи та використання засобів радіозв'язку для побудови радіолінії ретрансляції сигналів управління від автоматизованого командно-диспетчерського пункту до глиссадного радіомаяка.*

**Ключові слова:** радіолокаційний посадковий комплекс, радіолокаційна посадкова система, посадкова радіомаячна група, курсовий радіомаяк, глиссадний радіомаяк, радіотехнічна систем ближньої навігації, злітно-посадкова смуга, задана лінія посадки, розрахункова точка посадки, канал передавання сигналів управління, група керівництва польотами, керівник зони посадки.

### CHANNEL TRANSMISSION IN AIRCRAFT CONTROL SIGNALS BASED ON MODIFICATIONS OF RADIO GROUP ILS AND PLANTING

M.D. Rysakov, I.V. Titov, V.A. Doroschuk, A.A. Pavlichenko

*The possibility and proposed principles of the transmission channel on the plane of control signals in the high-precision radar landing complex through completion of ground and airborne equipment ILS glideslope beacon landing and the use of radio communications equipment for the construction of radio relay control signals from the automated command and control center to the glideslope beacon. The expediency of preservation in the channels of transmission and retransmission of radio signals with an amplitude of simple manipulation.*

**Keywords:** landing radar range, radar landing system ILS landing group, localizer, glideslope beacon, radio system range navigation, runway, landing a given line, the estimated point of landing, the channel signal management, flight management team, the head of the landing area.