

УДК.621.396.61;629.735.05

Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, И.Л. Костенко, А.П. Кулик, В.Г. Карев

Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОСВЯЗНОГО КАНАЛА ПЕРЕДАЧИ НА БОРТ САМОЛЕТА СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ФАЗОВОЙ МАНИПУЛЯЦИИ НЕСУЩЕЙ

Проанализирована возможность построения в составе 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 и введения в состав наземной станции радиосвязи дополнительного малоомощного передатчика с реализацией относительной фазовой манипуляции несущей и передачей разрядных импульсов 7-ми элементным кодом Баркера.

Ключевые слова: радиолокационный посадочный комплекс, радиолокационная система посадки, моноимпульсная радиолокационная станция, взлетно-посадочная полоса, расчетная точка посадки, канал передачи сигналов управления, аварийный приемник, относительная фазовая манипуляция.

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] и [3] предложены и обоснованы варианты построения КПСУ на базе доработки приводной аэродромной радиостанции (ПАР), автоматического радиоконпаса (АРК), 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. Недостатками обоих вариантов построения КПСУ можно считать необходимость использования линии ретрансляции координатной информации от РЛПК до используемого средства РТО. В статье [4] обоснована возможность построения КПСУ путем несложной доработки ава-

рийного приемника бортовой радиостанции Р-862 и наземной радиостанции Р-809М2. Основной недостаток такого варианта построения КПСУ состоит в ограниченной дальности его действия.

Цель статьи. Предлагается принцип построения канала передачи на борт относительных координат путем доработки наземной и бортовой станций радиосвязи с реализацией относительной фазовой манипуляции несущей и передачей разрядных импульсов кодом Баркера.

Изложение основного материала

При построении КПСУ путем доработки средств радиосвязи желательно предусмотреть возможность их одновременного использования для переговоров руководителя зоны посадки (РЗП) с экипажем. Для этого нужно предусмотреть двухканальный режим работы радиостанций КПСУ и канал радиосвязи. В станциях радиосвязи Р-863(2) во всех режимах работы осуществляется модуляция несущего колебания на частоте выбранного канала. Поэтому обеспечение двухканального режима работы радиостанций по линии "Земля-борт" путем незначительных их доработок не представляется возможным [4]. В состав упомянутых выше радиостанций входит аварийный приемник (АП), который может служить на борту приемником КПСУ. Для использования АП в составе КПСУ необходимо создать передающий тракт. Для этого можно предложить ввести в состав радиостанции Р-863 дополнительный передатчик на частоте настройки АП (121,5 МГц или 243 МГц), а для снижения необходимой мощности передатчика реализовать относительную фазовую манипуляцию (ОФМ) несущей в соответствии с кодом Баркера. При этом на борту нужно предусмотреть декодер такого сигнала.

Уточним возможные принципы построения такого КПСУ.

Для начала обоснуем необходимую мощность $W_{тр}$ излучения передатчика КПСУ для обеспечения $P_{л} \leq 10^{-6}$ на дальности $D_{вв} \approx 12$ км. Как показано в работе [5] зависимость значения вероятности $P_{л} = P_{л.ОФМ}$ ложного приема при реализации ОФМ от отношения h напряжений сигнала и помехи (с/п) описывается выражением:

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

С учетом того, что радиостанции Р-863 при мощности излучения $W_{прд} = 10$ Вт обеспечивают максимальную дальность радиосвязи $D_{max} = 200$ км, а отношение напряжений с/п на этой дальности имеет значение $h=h_{кр}=1,41$, в соответствии с (1) критическое значение вероятности $P_{л.ОФМ}$ на дальности D_{max} будет иметь значение $P_{л.ОФМ} = P_{лкр} \approx 0,07$.

В соответствии с (1) для обеспечения $P_{л.ОФМ} = P_{лтр} \leq 10^{-6}$ нужно иметь отношение $h_{тр} \approx 3,62$. Исходя из обратной пропорциональности отношения h от удаления D_c самолета и прямой пропорциональности квадрата дальности действия канала радиосвязи $D_{св}$ с требуемой достоверностью $P_{лтр}$ от мощности передатчика можно получить следующее расчетное выражение для требуемой мощности $W_{тр}$ излучения передатчика КПСУ:

$$W_{тр} = \frac{W_{прд}}{N_B} \frac{D_{КП}^2}{D_{max}^2} \frac{h_{тр}^2}{h_{кр}^2}, \quad (2)$$

где N_B – число элементов кода Баркера.

Из (2) видно, что для определения значения мощности $W_{тр}$ излучения передатчика КПСУ нужно выбрать приемлемое значение N_B . Для этого выберем длительность τ_3 одного элемента кода Баркера.

При любом способе манипуляции несущего колебания нужно обеспечить, чтобы полоса пропускания ΔF_k радиоканала была согласована с шириной спектра $\Delta F_{сн}$ сигнала и учитывала нестабильность σ_f частот передатчика и гетеродинов приемного тракта:

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

Как показано в статье [1] за оптимальное значение ширины спектра $\Delta F_{сн} = \Delta F_{opt}$ в режиме ОФМ следует принять полосу, которая связана с длительностью τ_3 одного элемента информации выражением:

$$\Delta F_{opt} = \frac{3}{\tau_3}. \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) вытекает следующее расчетное выражение для длительности τ_3 :

$$\tau_3 \geq \frac{3}{(\Delta F_k - 2\sigma_f)}. \quad (5)$$

Очевидно, что полоса пропускания ΔF_k любого радиоканала, состоящего из передающего и приемного трактов, будет совпадать с полосой пропускания приемного тракта. В нашем случае полоса пропускания аварийного приемника составляет величину

$\Delta F_k \approx 18$ кГц, а стабильность несущих и гетеродинных частот составляет величину $\sigma_{гн} = 1,2$ кГц. Подставляя эти значения в выражение (5) получим возможные значения длительности $\tau_3 \geq 0,18$ мс.

Примем $\tau_3 = 0,2$ мс. Тогда значение периодичности T_k передачи на борт цифровой информации должно удовлетворять условию:

$$T_{БП} \geq T_k \geq n_p N_B \tau_3, \quad (6)$$

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

В работе [1] предложено передавать координатную информацию 35-ью разрядами, из которых выделить 5 разрядов для кодирования ключа к информации и 10 разрядов времени для обозначения паузы между циклами передачи координат. С учетом этих предложений имеем $T_k \geq 10 N_B$ мс. В качестве бортового прибора для отображения угловых отклонений самолета от ЗЛП используется командно-пилотажный прибор (КПП), который и предлагается использовать для отображения переданных по КПСУ линейных отклонений от ЗЛП. При этом инерционность КПП составляет интервал времени $T_{БП} = 80$ мс [3]. В соответствии с (6) целесообразным значением N_B может быть $N_B = 7$. Тогда периодичность $T_k = 70$ мс. Подставляя значения $N_B = 7$, $W_{прд} = 10$ Вт, $D_{max} = 200$ км, $D_{КП} = 12$ км, $h_{тр} = 3,62$ и $h_{кр} = 1,41$ в выражение (2) получим требуемое значение мощности передатчика $W_{тр}$ канала передачи $W_{тр} \approx 0,034$ Вт.

Таким образом, реализация режима ОФМ и семиэлементного кода Баркера для передачи одного разрядного импульса информации позволит использовать маломощный передатчик ($W_{тр} \approx 0,034$ Вт). На рис. 1 представлена функциональная схема передающего устройства КПСУ, а бортовое оборудование представлено в форме структурной схемы.

Передающий тракт канала представлен балансным манипулятором (БМ), фильтром промежуточной частоты (ФПЧ), первым смесителем **См.1**, усилителем на 1-ой промежуточной частоте (УПЧ1), вторым смесителем **См.2**, усилителем на рабочей частоте (УРЧ), усилителем мощности (УМ) и фильтром развязки (ФР). Для построения этого тракта предлагается использовать опорные частоты синтезатора частот (СЧ) радиостанции Р-863 10 МГц и 20 МГц, а также частоту первого гетеродина АП. На рис. 1 тракт представлен для случая, когда в радиостанциях используется АП, работающий на частоте 121,5 МГц. В качестве первичного гармонического сигнала используется опорное колебание с частотой 5 МГц, снимаемое с делителя частоты на два $f/2$. В БМ фаза этого колебания скачкообразно изменяется по закону сигнала манипуляции, подаваемого с формирователя кода Баркера (ФКБ). После ФПЧ частота этого ФМ колебания в См.1 повышается до 25 МГц. В качестве гетеродин-

довательность, преобразованная “по закону” ОФМ, – эпюрой 6, где первый разрядный импульс стал неинформативным (окрашен фоном). Выходные импульсы сумматора Σ поступают на формирователь кода Баркера, собранный на цифровой линии задержки. К особенности ФКД относится, что он формирует 7-ми элементные разрядные импульсы для двух полярностей: положительный входной импульс кодируется по принципу $- + + + - - + -$, отрицательный импульс $- - - - + + - +$. Выходная последовательность разрядных импульсов ФКД, состоящих из 7-ми элементов разной полярности по 0,2 мс, и служит для БМ сигналом манипуляции фазы опорного колебания.

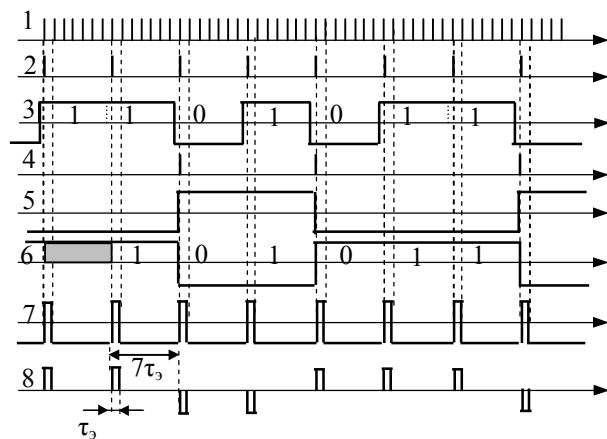


Рис. 2. Иллюстрация работы преобразователя разрядных импульсов

Таким образом, в соответствии с предлагаемой структурой кодограммы и принципами кодирования разрядных импульсов, координатная информация самолета с периодом 70 мс передается на борт посылками из 280 элементов по 0,2 мс. То есть длительность каждой посылки составляет 56 мс. Далее уточним предложения по построению бортового оборудования.

Приемником бортового оборудования КПСУ служит приемник АП радиостанции Р-862 (рис.3 а). Основной проблемой практической реализации метода фазовой манипуляции несущего колебания является создание в приемнике синфазного опорного напряжения для фазового детектора (ФД). Действительно в любых каналах связи фаза принимаемого сигнала получает случайное приращение и поэтому создание автономного генератора опорного напряжения исключается в принципе. Поэтому для исключения влияния случайных приращений фазы на достоверность приема переданной информации опорное напряжение нужно формировать из самого сигнала. Широкое применение в каналах связи находит схема построения ФД с таким формирователем опорного напряжения, собранным по схеме А.А. Пистолькорса [6]. Схема включает удвоитель

частоты, узкополосный фильтр и делитель частоты на два.

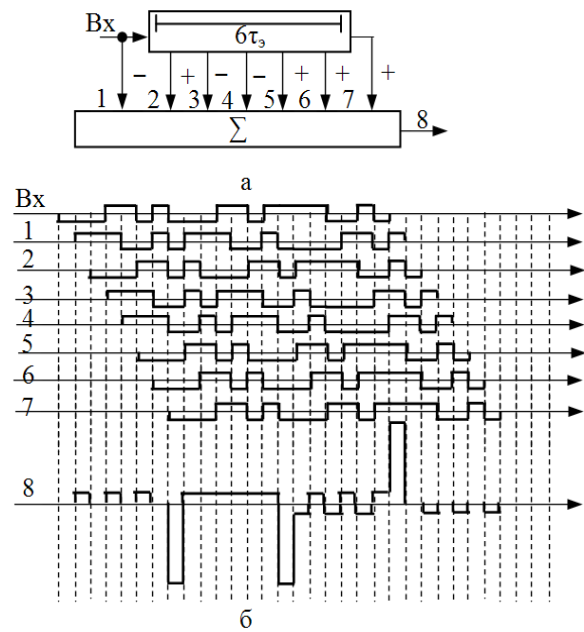


Рис. 3. Иллюстрация работы СФБ

К особенности такого формирователя относится то, что фаза опорного колебания может принимать значение, совпадающее с начальной фазой передаваемого сигнала, либо отличаться на 180° . Однако реализация метода ОФМ позволяет снять эту неоднозначность. Поэтому радиосигнал, снимаемый с выхода АП на промежуточной частоте $f_{пр}=1,6\text{МГц}$ подается на ФД, построенный по схеме Пистолькорса – ФД-П.

С выхода ФД-П видеосигналы поступают на фильтр кода Баркера (ФКБ), вычисляющий автокорреляционную функцию входного видеосигнала. ФКБ представляет собой совокупность шестиотводной линии задержки (ЛЗ) по 0,2 мс и суммирующее устройство с законом суммирования в отводах, зеркальным относительно кода входного сигнала (рис. 3 а). Как отмечалось, особенности построения ФД-П обуславливают с вероятностью 0,5 возможность изменения полярности видеоимпульсов, полученных путем детектирования несущей. Но путем реализации метода ОФМ несущей можно ликвидировать такую неоднозначность. Убедимся в этом. Для этого представим, что ФД-П детектирует входной радиосигнал в режиме “обратной работы”: переданная последовательность элементов положительного импульса кодом Баркера $+ + + - - + -$ на выходе ФД-П преобразовывается в последовательность $- - - + + - +$, и наоборот – последовательность отрицательного видеоимпульса $- - - + + - +$ преобразовывается в последовательность $+ + + - - + -$.

На рис. 3, б эпюрами напряжений поясняется работа ФКБ для первых трех разрядов переданной информации (110) для такого случая.

С выхода СФБ видеосигнал подается на формирователь разрядных импульсов (**ФРИ**). ФРИ решает задачу преобразования импульсов СФБ в импульсы, поступающие на вход ФКБ (эюра 6 на рис.2). Возможный принцип построения и работы ФРИ иллюстрируется на рис. 4а и 4б. ФРИ на схеме представлен 4-мя RS триггерами **T1, T2, T3, T4**, двумя цифровыми линиями задержки **ЦЛЗ1, ЦЛЗ2**, пятью схемами совпадения **&i, i=1,2,3,4,5** логическим сумматором Σ и ограничителями положительных **ОПИ** и отрицательных **ООИ** импульсов. Принцип работы названных ограничителей иллюстрируется эюрами **1** (импульсы СФБ), **2** и **3**. Входные импульсы **1** представлены для случая “обратной” работы детектора ФДБ – имеют противоположную полярность относительно преобразованной информации в соответствии с режимом ОФМ (эюра 6, рис. 2). Предлагаемая схема построения ФРИ обеспечивает преобразование входных импульсов в одинаковые выходные разрядные импульсы (эюра 8) при условии как правильной, так обратной работы ФДП. В первом случае входные импульсы имели бы противоположную полярность по сравнению с эюрой 1.

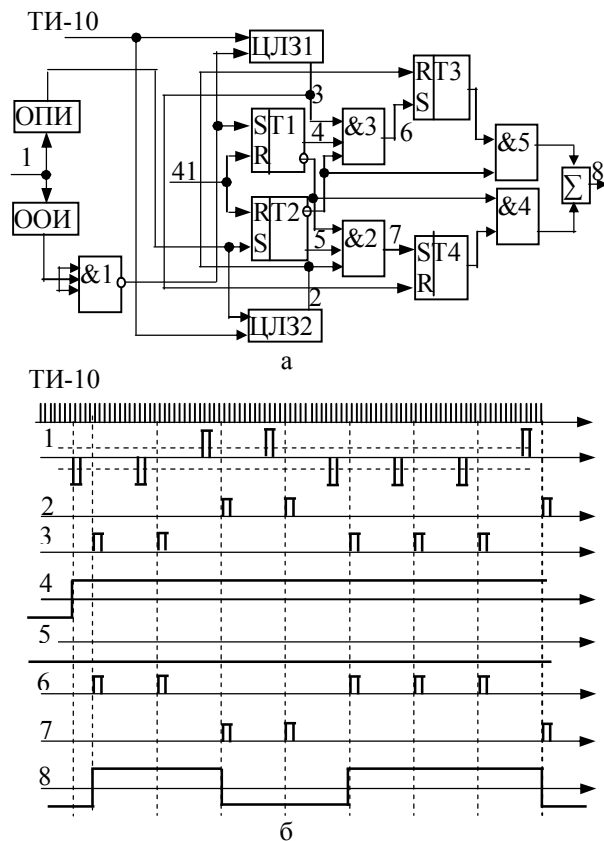


Рис. 4. Принцип построения и работы ФРИ

Общий принцип построения ФРИ состоит в следующем. Если первый импульс, превысивший порог ограничения, является отрицательным, то непосредственно разрядные импульсы формирует RS

триггер **T3** в соответствии с последовательностью входных импульсов, задержанных ЦЛЗ2. При этом RS триггер **T1** открывает для импульсов 3 схему **&3** и закрывает схему **&2**. Такой принцип их работы иллюстрируется эюрами 4 ÷ 8. Если же первый импульс положительный, то формирователем выходных разрядных импульсов служит RS триггер **T4**, а RS триггер **T2** открывает для задержанных в ЦЛЗ1 входных импульсов 2 схему **&2** и закрывает схему **&3**. Можно убедиться, что и в этом случае будет формироваться такой выходной сигнал (эюра 8), если входные импульсы (эюра 1) имели бы противоположную полярность. Работа ЦЛЗ обеспечивается тактовыми импульсами **ТИ-10** (частота 10 кГц), поступающими с формирователя ТИ (**ФТИ**, рис. 1). Входным сигналом для ФТИ служит гармонический сигнал синтезатора частот (**СЧ**) радиостанции Р-862 (рис. 1). Очевидно, что RS триггеры **T1** или **T2** должны обеспечить работу формирующих триггеров **T3** или **T4** в течение времени обработки 40 разрядов цифровой информации и останавливать их работу на 41-ом разряде. Опрокидывание триггеров **T1** или **T2** в нулевое состояние осуществляется соответствующим импульсом 41, поступающим с декодера ДККИ (рис. 1).

С выхода ФРИ сигнал поступает и обрабатывается преобразователем разрядных импульсов (**ПРИ**). ПРИ решает задачу преобразования импульсов ФРИ в импульсы, считываемые с ЗУК передающего устройства (рис.1, эюра 3 на рис. 2). В состав ПРИ (рис.5 а) входит: цифровая линия задержки на 1,4 мс **ЦЛЗ-1,4**, дифференцирующая цепочка – ограничитель **ДЦ-О**, RS триггер и схемы совпадения **&1, &2, &3, &4**.

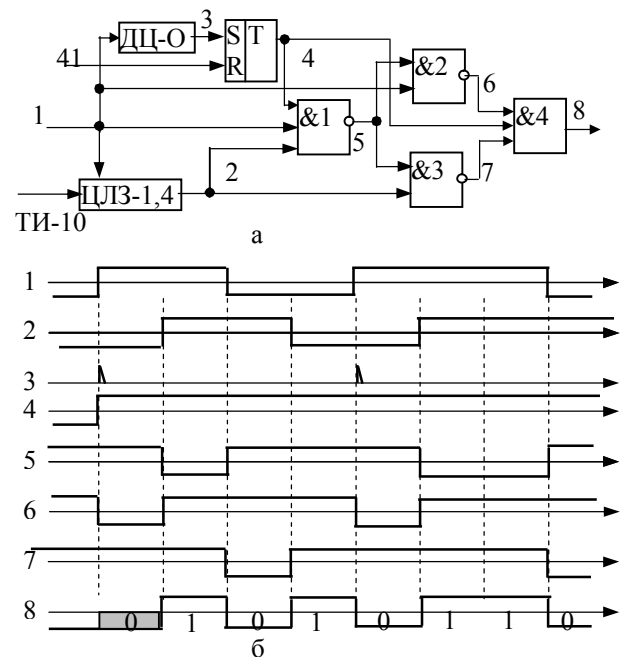


Рис. 5. Принцип построения и работы ПРИ

Из иллюстраций работы преобразователя разрядных импульсов (рис. 5 б) видно, что предлагаемая схема построения ПРИ восстанавливает переданную цифровую информацию шестью разрядами (эпюра 3 на рис. 2), кроме первого разряда (эпюра 8 на рис.5 б), который в режиме ОФМ стал отсчетным, не информативным.

С выхода преобразователя разрядных импульсов сигнал поступает и обрабатывается устройствами обработки координатной информации. К ним относятся: декодер координатной информации (ДККИ), формирователи напряжений Φ_{H_e} , Φ_{H_p} отклонения стрелок командно-пилотажного прибора, формирователь кода дальности (ФКД) для отображения на индикаторе дальности (ИД) и набор коммутируемых контактов релейного коммутатора (РК).

Релейный коммутатор осуществляет указанное на схеме отключение выходов бортового оборудования радиомаяков [3] (угловые отклонения от равносигнального направления антенн ПРМГ по курсу β и углу места ϵ и приближенное удаление от РТП D_c) и подключение выходов соответствующих устройств доработки.

Выводы

Предложенный принцип построения радиосвязного канала передачи на борт высокоточных относительных координат с использованием относительной фазовой манипуляции несущей и передачей разрядных импульсов семиэлементным кодом Баркера заслуживает внимания дальнейшей реализации.

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.: ДП ЦНДІ НіУ, 2012. – Вип. 1 (23), т. 2. – 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.: ДП 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. Дороцук, А.А. Павличенко // Системы обробки 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.: ДП 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 23.01.2014

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

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ РАДІОЗВ'ЯЗКОВОГО КАНАЛУ ПЕРЕДАЧІ НА БОРТ ЛІТАКА СИГНАЛІВ УПРАВЛІННЯ З РЕАЛІЗАЦІЄЮ ВІДНОСНОЇ ФАЗОВОЇ МАНІПУЛЯЦІЇ НЕСУЧОЇ

М.Д. Рысаков, І.В. Тітов, І.Л. Костенко, О.П. Кулик, В.Г. Карев

Проаналізована можливість побудови у складі радіолокаційного посадкового комплексу радіозв'язкового каналу передачі на борт літака сигналів управління шляхом доробки наземного і бортового обладнання. Обґрунтована можливість рішення задачі щодо побудови такого каналу шляхом доробки аварійного радіоприймача бортової радіостанції та введення до складу наземної станції радіозв'язку додаткового малопотужного передавача з реалізацією відносної фазової маніпуляції несучої та передаванням розрядних імпульсів семиелементним кодом Баркера.

Ключові слова: радіолокаційний посадковий комплекс, радіолокаційна система посадки, моноімпульсна радіолокаційна станція, злітно-посадкова смуга, розрахункова точка посадки, канал передачі сигналів управління, аварійний приймач, відносна фазова маніпуляція.

PRINCIPLES OF TRANSMISSION CHANNEL RADIO ABOARD AIRCRAFT CONTROL SIGNAL IMPLEMENTATION RELATIVE PHASE SHIFT KEYING CARRIER

N.D. Risakov, I.V. Titov, I.L. Kostenko, O.P. Kulik, V.G. Karev

The possibility of building consisting of radar landing complex radio communication transmission channel on the plane control signals by completion of ground and airborne equipment. The possibility of solving the problem by the construction of such a channel by completion of the emergency radio station board and the introduction of the ground station radio transmitter with an additional low-power implementation of the relative phase-shift keying transmission carrier and discharge pulses 7-elemental Barker code.

Keywords: radar boarding complex, radar landing system, monopulse radar, landing strip, estimated landing point, signaling channel management, emergency receiver, the relative phase shift keying.