

УДК.621.396.61

В.А. Дорошук¹, М.Д. Рисаков¹, І.В. Тітов¹, О.П. Кулик¹, М.В. Булаєнко²¹ Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків² Національна академія міського господарства, Харків

КАНАЛ ПЕРЕДАЧІ НА БОРТ ЛІТАКА СИГНАЛІВ УПРАВЛІННЯ НА ОСНОВІ КУТОМІРНОЇ РАДІОНАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ "ПАР-АРК"

В статті розглянуті питання доцільності та можливості побудови каналу передачі на борт літака сигналів управління для включення до складу високоточного радіолокаційного посадочного комплексу шляхом модернізації наземного і бортового обладнання кутомірної радіонавігаційної системи "ПАР-АРК" з використанням в каналі складних сигналів. Приведені структурні схеми такого каналу, а також формувача М-послідовності.

Ключові слова: радіолокаційний посадочний комплекс (РЛПК), радіолокаційна посадочна система (РЛПС), привідна аеродромна радіостанція (ПАР), автоматичний радіокомпас (АРК), кутомірна радіонавігаційна система (КРНС), злітно-посадочна смуга (ЗПС), задана лінія посадки (ЗЛП), розрахункова точка посадки (РТП), канал передачі сигналів управління (КПСУ), група керівництва польотами (ГКП), керівник зони посадки (КЗП), шумоподібні сигнали (ШПС).

Вступ

Постановка проблеми. Впровадження сучасних принципів побудови і сучасної мікроелектронної елементної бази при створенні нових радіолокаційних засобів посадки дозволяє істотно підвищити точність вимірювання відносних координат літального апарату (ЛА) в зоні посадки для гарантованого його виводу в розрахункову точку посадки в складних погодних умовах. Для передачі цих координат на борт керованого ЛА з метою оперативного управління екіпажем помилок пілотування у складі посадочного комплексу необхідний канал передачі сигналів управління (КПСУ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] запропонований принцип побудови у складі посадочного радіолокатора (ПРЛ) високоточного вимірника відносних координат супроводжуваного літака у формі каналу автосупроводження (КАС) літака з реалізацією оптимальної доплерівської фільтрації віддзеркалень. Основний недолік КАС у складі ПРЛ комплексу полягає в тому, що забезпечення роботи адаптивного когерентного накопичувача (АКН) істотно ускладнює роботу синхронізатора і обробку відбитих сигналів іншими каналами ПРЛ (вторинним каналом і фазовим каналом первинного приймача). До другого недоліку КАС потрібно віднести недостатню частоту оновлення координатної інформації (1÷1,2) Гц. Тому в статті [2] пропонується до складу РЛПК включати моноімпульсні РЛС (МРЛС) автосупроводження для високоточного вимірювання відносних координат літака в зоні посадки. У статті [3] проаналізовані можливі способи передачі на борт відносних координат супроводжуваного літака по радіоканалу і обґрунтовані можливі варіанти використання засобів радіотех-

нічного забезпечення (РТО) польотів для побудови КПСУ. У статтях [4,5] запропоновані варіанти побудови КПСУ на базі доопрацювання наземного і бортового устаткування радіомаяків систем посадки і КРНС "ПАР-АРК". В статті [6] розглянуті питання підвищення завадостійкості КРНС "ПАР-АРК" на основі використання широкосмугових сигналів та оптимальних методів обробки. Розроблено структурну схему комплексу бортового та наземного обладнання системи "ПАР-АРК", який має кращу потенційну точність, скритність та завадостійкість з використанням кореляційних методів обробки сигналів, та дозволяє передавати на борт ЛА допоміжної інформації.

Формулювання цілей статті. У статті проаналізована можливість реалізації каналу передачі на борт ЛА сигналів управління на основі модернізації бортового і наземного обладнання КРНС ПАР-АРК" з метою оперативного усунення екіпажем помилок пілотування і підвищення його перешкодостійкості.

Викладення основного матеріалу

Контроль дотримання літаком заданої лінії (траєкторії) посадки (ЗЛП) здійснює керівник зони посадки (КЗП) за радіолокаційною інформацією (РЛІ), що відображається на виносних індикаторах посадочного радіолокатора (ПРЛ). При цьому екіпаж здійснює вивід і витримку ЛА на ЗЛП за свідченнями приладів навігаційного бортового обладнання [7]. На жаль РЗП не має можливості контролювати достовірність інформації, яку екіпаж зчитує по бортовим приладам і окрім цього точність координатної інформації, що відображається, в складних погодних умовах не забезпечує гарантоване виведення ЛА в розрахункову точку посадки (РТП).

Для оперативного усунення екіпажем помилок пілотування необхідно координатну інформацію автоматично передавати на борт ЛА і представляти екіпажу в звичному вигляді - на існуючих приладах бортового обладнання. Для цього доцільно побудувати цифровий КПСУ для передачі на борт ЛА відносних координат, які вимірюються. Одночасно для контролю достовірності передаваної координатної інформації доцільно її відображати і на робочому місці КЗП шляхом її передачі по лінії трансляції інформації від РЛПК до АКДП.

У статті [3] висловлено доцільність КПСУ будувати шляхом нескладного доопрацювання наземного і бортового обладнання відповідних систем навігації і зв'язку. У статті [5] пропонується КПСУ будувати шляхом доопрацювання приводної аерод-

ромної радіостанції і автоматичного радіокомпаса. Проте в цьому випадку при використанні цих засобів для побудови КПСУ блокується передача позивних радіостанції. Тому представляє інтерес запропонувати КПСУ на базі модернізованих засобів із збереженням можливості передачі позивних радіостанції.

На рис. 1 наведений склад РЛПК у формі спрощеної структурної схеми. До складу РЛПК входить радіолокаційна посадочна система (РЛПС), обладнання робочого місця (РМ) КЗП на АКДП, лінія трансляції координат супроводжуваного літака (ЛТКСЛ) на КДП для її відображення на моніторі РМ КЗП, лінія ретрансляції (ЛРТ) координат супроводжуваного літака з КДП на ПАР і канал передачі сигналів управління (КПСУ) на борт.

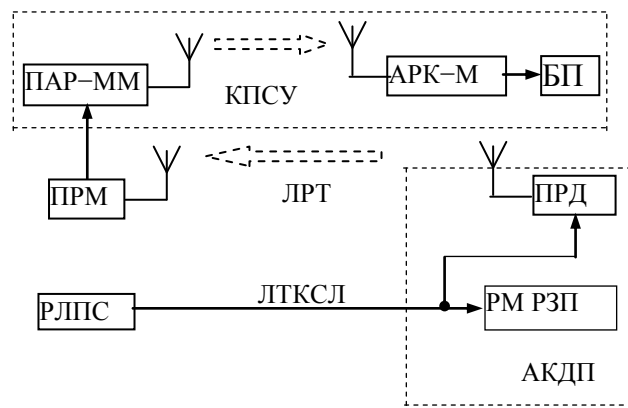


Рис. 1. Склад РЛПК

Для використання передавального тракту приводної аеродромної радіостанції (ПАР) при побудові КПСУ, яка розміщується на позиції приводного радіомаркерного пункту [7] на віддаленні 2-2,5 км, виникає необхідність ретрансляції високоточної координатної інформації супроводжуваного ЛА від РЛСП до ПАР по додатковій лінії. Такою лінією може служити додатковий канал радіозв'язку (на рис.1 канал ілюструється передавачем ПРД і приймачем ПРМ) на базі УКВ радіостанції Р-809М2 (100-150 МГц), яка входить як до складу ПАР так і до складу обладнання КДП. При цьому в таких радіостанціях передбачений режим їх використання в якості лінії ретрансляції команд управління з КДП на борт літака в аварійній ситуації. Для побудови ЛРТ доопрацювання передавального тракту (ПРД) радіостанції на КДП зводиться до введення до складу ПРД відеопідсилювача напруги розрядних імпульсів координатної інформації і подачі цих імпульсів замість напруги модулятора. При цьому доопрацювання приймального (ПРМ) тракту радіостанції Р-809М2 ПАР не потрібне - достатньо радіостанцію зв'язку перевести в режим "Зв'язок" [8].

Безпосередньо КПСУ є радіоканал, передавальним трактом якого служить модернізована ПАР -

ПАР-М, а приймальним - модернізований АРК - АРК-М. З виходу АРК-М декодована координатна інформація подається і відображається на бортових приладах (БП).

У роботі [5] запропоновано передавати координатну інформацію РЛСП 35-ю розрядами, виділити 5 розрядів для кодування ключа до інформації і 10 розрядів часу для позначення паузи між циклами передачі чергової зміряної інформації. Охарактеризуємо пропонуваний принцип використання ПАР-М і АРК-М для побудови КПСУ з урахуванням цих пропозицій за цифровим уявленням інформації.

В [6] запропоновано метод застосування шумоподібних сигналів (ШПС) та оптимальних методів обробки, що дозволяють досягнути високої завадозахищеності та прихованості радіоліній, отримати ефективне використання ШПС в частотному діапазоні, який призначено для роботи.

Завдяки використанню даних сигналів і сучасної елементної бази з'являється можливість покращення таких технічних характеристик КРНС "ПАР-АРК" як завадостійкість, прихованість (за рахунок зниження потужності випромінювання передавача), вагогабаритні показники (значне зниження їх), обсяг

інформації, що передається на борт ЛА (передавання додаткової інформації).

Як показано в [6], найбільш перспективним для каналу "ПАР-АРК" є ШПС сигнал с ФМ_n. База фазоманіпульованого сигналу буде дорівнювати:

$$B = FT = N, \quad (1)$$

де T – довжина всього сигналу; N – кількість елементів у сигналі.

Слід відмітити, що використання ФМ_n сигналів в якості ШПС з великими базами $B = 10^4 \dots 10^6$ обмежене у зв'язку зі складністю апаратури обробки. При використанні узгоджених фільтрів, можлива побудова оптимального приймача ФМ_n сигналів з базою від $B = 1000 \dots 2000$.

Серед ФМ_n сигналів особливе місце займають сигнали, кодова послідовність яких має максимальну довжину. Ці сигнали називаються M-послідовністю. Основними властивостями M-послідовності є [8]:

- M-послідовність є періодичною з періодами з N-імпульсів;

- бокові піки періодичної автокореляційної функції сигналів, утворюючих M-послідовність, дорівнюють 1/N ;

- M-послідовність в загальному випадку складається з кількох видів імпульсів.

Імпульси різних видів зустрічаються за період приблизно однаково кількість разів, тому M-послідовність утворюють за допомогою лінійних перемикаючих регістрів.

Для формування необхідної M-послідовності необхідний пристрій формування відео імпульсів (ФВІ), який складається з формувача тактових імпульсів (ФТІ) та генератора псевдовипадкової послідовності (ГПВП), який управляється пристроєм набору кодової послідовності (ПНКП). Структурна схема формувача M-послідовності показана на рис. 2.

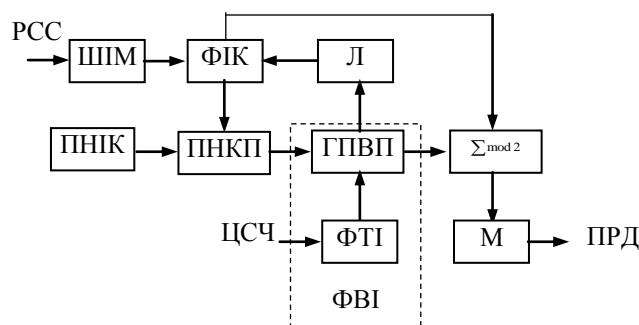


Рис. 2. Структурна схема формувача M-послідовності

Синхронізується ГПВП сигналом з цифрового синтезатора частот (ЦСЧ). Пристрій набору індифікаційного коду (ПНІК) дозволяє формувати сигнал індифікації ПАР або 2-х літерний код аеродрому. Формувач інформаційного коду (ФІК) призначений для трансформації інформаційного коду з паралельного у послідовний. Лічильник (Л) визначає час злічення інформації з ФІК. Розрядність лічильника дорівнює 10. До приходу 1023 імпульсу з ГПВП він оновлює вихідним імпульсом інформацію з ФІК. З ГПВП сформована M-послідовність поступає на суматор по модулю 2 ($\sum \text{mod } 2$), на другий вхід якого поступає з ФІК послідовність логічних "0" та "1". У суматорі здійснюється кінцеве формування вихідного сигналу на відео частоті. На виході суматора отримуємо послідовність відеоімпульсів, промодульованих за законом зміни фази відеосигналу, яка далі надходить на модулятор (М).

У схемі можливе використання шістдесяти послідовностей. Вибір необхідної послідовності здійснюється шляхом зміни зворотних зв'язків у ГПВП, при цьому тривалість сигналу та його база не змінюються. Для формування з аналогового сигналу

дискретного можливо використання широтно-імпульсного модулятора (ШІМ), довжина імпульсів на виході якого залежить від частоти на вході. При цьому частота тактуючих імпульсів на вході широтно-імпульсного модулятора за теоремою Котельникова повинна бути:

$$f_{ТІ} \geq 2f_{\text{max}}, \quad (2)$$

де f_{max} – максимальна частота на вході ШІМ.

Як показано в [4], з огляду на мінімально необхідну частоту відновлення інформації на високодинамічних об'єктах (літальних апаратах), тривалість (період) M-послідовності може скласти $T = 2 \cdot 10^{-1}$ с, а елементу цієї послідовності $\tau = 2 \cdot 10^{-4}$ с.

Тривалість елементарного сигналу в M-послідовності дорівнює 142,5 мкс, кількість елементарних сигналів – 1024. Частота модуляції ШІМ для неспотвореної передачі інформації на борт ЛА за формулою:

$$f = 1/\tau_1 = 3.5 \text{кГц}. \quad (3)$$

В результаті на виході фазового модулятора можливо формування коливання, яке математично можна записати у вигляді:

$$S(t) = A[M(t) \oplus D(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4)$$

де A – амплітуда сигналу;

$D(t)$ – модулююча інформаційна послідовність, яка має вигляд бінарного коду ± 1 та довжину T_0 ;

$M(t)$ – модулююча псевдовипадкова послідовність з довжиною елемента T_1 ;

\oplus – знак суматора за модулем 2;

φ_0 – рівномірно розповсюджена випадкова початкова фраза сигналу $S(t)$, $\varphi_0 \in [0; 2\pi]$.

Зобразимо сигнал $S(t)$ в еквівалентному вигляді, враховуючи, що $f(t) = A \cdot M(t)$ – обвідна коду псевдовипадкової послідовності, а $D(t) \cos(\omega_0 t + \Theta\pi + \varphi_0)$ – інформаційний код внесений в ВЧ заповнення.

Тоді $S(t) = f(t) \cos(\omega_0 t + \Theta\pi + \varphi_0)$, (6)
де t – час;

$$\Theta = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \text{ – дискретний інформаційний параметр,}$$

який змінюється за законом D -коду.

З виходу M цей сигнал подається на підсилювач ПАР, який збільшує амплітуду вхідного сигналу до необхідного рівня. Цей сигнал через антенний перемикач надходить у антенний контур, а потім в антену.

Розглянемо більш детально принцип побудови наземного та бортового обладнання КПСУ по структурній схемі, що наведена на рис. 3.

ПАР представлена антенною системою, основним і резервним передавачем (ПРД1 і ПРД2), антенним реле (АР), радіостанцією зв'язку Р-809М2 (РСС), за допомогою якої приймається координатна інформація з КДП. Кожний передавач представлений збуджувачем (ЗБ), блоком формувача ширококутового сигналу (БФШСС), підсилювачем потужності (ПП) і антенним контуром (АК).

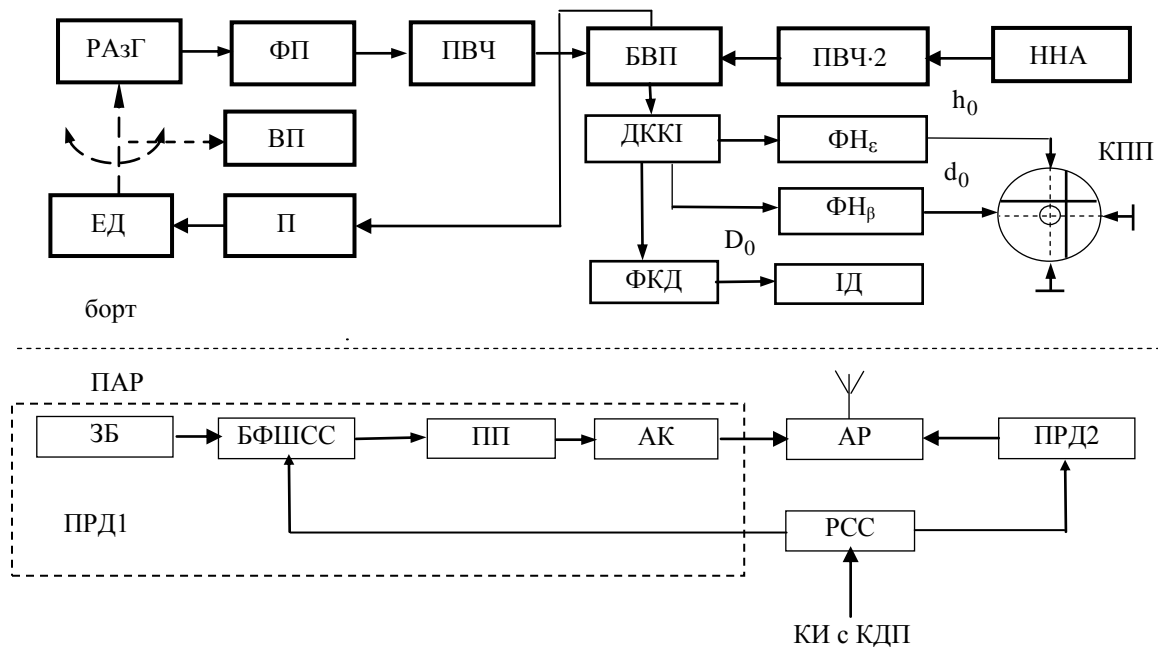


Рис. 3. Принцип побудови наземного та бортового обладнання КПСУ

На прийомній стороні на вхід підсилювача високої частоти (ПВЧ2) АРК адитивна суміш корисного сигналу та шуму подається з ненаправленої антени (ННА). Цей сигнал подається на другий вхід блоку вимірювача пеленгу (БВП). При прийомі високочастотних коливань рамковою антеною з гоніометром (РАЗГ) АРК в роторній котушці гоніометру (на виході рамкової антени) виникає напруга, яка є результатом неузгодженості між пеленгом (ККР) і кутовим положенням роторної котушки гоніометра. Після повороту фази на 90° фазуючим пристроєм (ФП) і підсилення в першому ПВЧ (ПВЧ1), на перший вхід БВП подається напруга, в якій міститься інформація про ККР [6].

У блоці БВП формуються дві напруги:

- напруга неузгодженості, яка через підсилювач (П) впливає на керований електродвигун (ЕД) АРК та повертає ротор РАЗГ на ККР Θ ;
- коливання, в яких міститься КІ с КДП.

З урахуванням [3] пропозицій передачі координатної інформації (лінійні відхилення по куту місця h_0 , по курсу d_0 і віддалення від РТП) ДДКІ виділяє цифрову інформацію трьох координат, перетворює її в цифровий код (ЦК) двійково-десятичної системи числення і передає відповідно перетворювачам. Формувачі $\Phi_{H\beta}$ і $\Phi_{H\epsilon}$ формують напруги, які пропорційні лінійним відхиленням. Тому відповідним чином необхідно змінити шкалу командно-пілотаж-

ного пристрою (КПП). Формувач коду дальності (ФКД) перетворює ЦК віддалення, яке вимірюване, в формат індикатора дальності (ІД).

Висновки

Таким чином, використання шумоподібних сигналів в каналі КРНС "ПАР – АРК", та оптимальних методів обробки на борту ЛА дозволяє здійснювати передачу на борт ЛА сигналів управління в складі високоточного радіолокаційного посадочного комплексу для оперативного усунення екіпажем помилок пілотування, підвищити скритність та завадостійкість каналу.

Список літератури

1. Рысаков Н.Д. 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 Повітряних Сил Збройних Сил України: науковий журнал. – 2011. - №2(6). - С. 115-120.
2. 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. 57-60.
3. 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(21), том 2. – С. 62-67.

4. 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 обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2012. – Вип. 3 (101). – С. 94-98.

5. Рысаков Н.Д. Алгоритм работы измерителя угловых координат повышенной точности в составе радиолокационного посадочного комплекса / Н.Д. Рысаков, В.В. Куценко, И.В. Титов, Ю.Н. Добрышкин // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУ ПС, 2011. – Вип. 3(29). – С. 67-71.

6. Дорошук В.А. Кутомірна радіонавігаційна система "ПАР-АРК" на основі використання ширококуглових сигналів / В.А. Дорошук, О.П. Кулик, О.В. Нікітін, І.В. Тітов // Збірник наукових праць ХУПС. Х.: ХУ ПС, 2010. – Вип. 3(25). – С. 47-50.

7. 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 ін. – Х.: ХУ ПС; 2006. – 147 с.

8. Авиационная радионавигация: Справочник / А.А. Сосновский, И.А. Хаймович, Э.А. Лукин, И.Б. Максимов; под ред. А.А. Сосновского. – М.: Транспорт, 1990. – 254 с.

9. Лосев Ю.И. Передача информации в АСУ / Ю.И. Лосев, Э.Ш. Гойхман. – М.: Связь, 1976. – 279 с.

10. Пестряков В.Б. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации / В.Б. Пестряков, В.П. Афанасьев, В.Л. Гурвиц и др.; под ред. проф. В.Б. Пестрякова. – М.: Сов. радио, 1973. – 424 с.

Надійшла до редколегії: 22.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.В. Барішев, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

КАНАЛ ПЕРЕДАЧИ НА БОРТ САМОЛЕТА СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ УГЛОМЕРНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ "ПАР-АРК"

В.А. Дорошук, Н.Д. Рысаков, И.В. Титов, А.П. Кулик, Н.В. Булаенко

В статье рассмотрены вопросы целесообразности и возможности построения канала передачи на борт самолета сигналов управления для включения в состав высокоточного радиолокационного посадочного комплекса путем модернизации наземного и бортового оборудования угломерной радионавигационной системы "ПАР-АРК" с использованием в канале сложных сигналов. Приведены структурные схемы такого канала, а так же формирователя M-последовательности.

Ключевые слова: радиолокационный посадочный комплекс, радиолокационная посадочная система, приводная аэродромная радиостанция, автоматический радиоконпас, угломерная радионавигационная система, взлетно-посадочная полоса, заданная линия посадки, расчетная точка посадки, канал передачи сигналов управления, группа руководства полетами, руководитель зоны посадки, шумоподобные сигналы.

CHANNEL TRANSMISSION IN AIRCRAFT CONTROL SIGNALS BASED ON THE RADIO SYSTEMS AZIMUTH "PAR-ARC"

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

The questions of the desirability and feasibility of constructing the transmission channel on the plane of control signals for inclusion in high-precision radar landing complex by upgrading the avionics and ground-based radio navigation system goniometric "PAR-ARC", using a channel of complex signals. Shows the structural scheme of such a channel, as well as the shaper of the M-sequence.

Keywords: landing radar complex, radar landing system, Drive aerodrome radio station, automatic direction finder, an angular radio-navigation system, runway, defined by the line fits, the calculated point of landing, channel control signals, a group of flight manual, head of the landing zone, noise-like signals.