

О. В. Онищук¹
Д. В. Карлов²
М. В. Калан²

ПЕРЕДАВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ АЗИМУТАЛЬНОГО КАНАЛУ НАЗЕМНОГО ОБЛАДНАННЯ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ БЛИЖНЬОЇ НАВІГАЦІЇ ТИПУ TACAN

¹Вінницький національний технічний університет

¹Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Необхідність розвитку процесів управління Повітряних Сил Збройних Сил України (ПС ЗСУ), обумовлює розробку модернізованих систем ближньої навігації. Однією з актуальних задач на сучасному етапі є авіаційні радіонавігаційні засоби та системи ближньої навігації (СБН), які використовуються для забезпечення польотів авіації Повітряних Сил Збройних Сил України. Метою роботи є визначення напрямків побудови структури передавального пристрою азимутального каналу наземного обладнання внаслідок аналізу порівняння різних типів наземного обладнання радіонавігаційних систем ближньої навігації (РСБН). Важливою та ще не вирішеною проблемою є те, що на теперішній час в Україні планується переоснащення декількох базових та оперативних аеродромів системи радіотехнічного забезпечення (РТЗ), які необхідно переобладнати відповідно до вимог НАТО та International Civil Aviation Organization (ICAO). На початковому етапі передбачається закупівля отримання від країн-партнерів декількох наземних маяків СБН типу TACAN. Для переобладнання усіх аеродромів державної авіації доцільно розробити вітчизняну систему СБН відповідно до вимог НАТО та ICAO. Наземне обладнання вітчизняних СБН типу РСБН-4Н за принципами будови азимутального каналу не спроможне забезпечити вимірювання азимуту повітряного судна (ПвС) на борту літаків F-16 під час роботи бортового обладнання СБН типу TACAN. У роботі проаналізовано наївні радіотехнічні системи ближньої радіонавігації, обґрунтовані тактико-технічні вимоги до системи ближньої навігації типу TACAN, розроблено функціональну схему передавального пристрою азимутального каналу наземної апаратури радіонавігаційної системи типу TACAN.

Ключові слова: азимутальний канал, передавальний пристрій, радіотехнічна система ближньої навігації.

Вступ

Ведення бойових дій у сучасних умовах неможливе без широкого застосування авіації. В наш час для забезпечення бойових дій авіації використовуються різноманітні радіонавігаційні пристрої та системи, які дозволяють виконувати бойовим авіаційним комплексам літаків різноманітні задачі, а саме: політ по заданому маршруту, прицільне бомбометання, захід на посадку, посадку та інші.

При цьому ефективне використання всіх бойових можливостей Повітряних Сил неможливе без сучасної матеріально-технічної бази засобів забезпечення польотів. Забезпечення польотів в умовах ведення радіоелектронної боротьби різноманітними засобами супротивника значно впливає на його якість.

В період проведення бойових дій збройних сил України та інших військових формувань під час виконання практичних завдань інформаційного обміну між радіотехнічними системами на землі й у повітрі особлива увага приділяється забезпеченню скритності й конфіденційності інформації, що передається, яка в умовах радіоелектронної розвідки й протидії є одним з найважливіших критеріїв ефективності системи.

Одним з основних засобів, які забезпечують навігацію літальних апаратів в тактичній зоні дії

є радіотехнічна система ближньої навігації (РСБН). Ця система розроблялась у 60-х роках та має низку суттєвих недоліків, таких як невідповідність нормам International Civil Aviation Organization (ICAO).

В роботі досліджено можливість модернізації та поліпшення передавального пристрою далекомірного каналу наземного обладнання в РСБН

Метою роботи є розробка передавального пристрою на рівні функціональної схеми далекомірного каналу наземного обладнання РСБН типу TACAN.

Результати досліджень

Азимутально-далекомірна система ближньої навігації TACAN побудована на основі стандартизованого за нормами ICAO дальномірного обладнання Distance Measuring Equipment (DME/N). Система TACAN є подальшим розвитком системи VOR/DME з метою підвищення точності вимірювання азимуту. Систему TACAN розроблено в основному для потреб авіації США і країн НАТО. В системі реалізовані двоступеневий метод визначення азимуту повітряного судна та додаткові функції, які пов'язані з введенням режиму міжлітакової навігації.

Для цивільної авіації, відповідно до міжнародних правил, які регламентуються International Civil Aviation Organization, в якості наземних радіомаяків можуть використовуватися як найпростіші маяки типу NDB (non-directional beacon), так і точніші системи ближньої навігації типу Very High Frequency Omni Directional Radio range (VOR), DVOR (Doppler VOR), Distance Measuring Equipment (DME), VOR/DME. Для авіації країн-членів North Atlantic Treaty Organization як наземні радіомаяки використовуються радіотехнічні системи ближньої навігації РСБН типу TACAN Tactical Air Navigation System.

Отже, СБН типу TACAN є багатоканальною системою, яка будується на взаємодії бортового та наземного обладнання. Дальномірний канал СБН TACAN побудований на основі стандартизованого за нормами International Civil Aviation Organization дальномірного обладнання DME, а азимутальний канал будується за принципами азимутальних радіомаяків типу PVOR у іншому діапазоні частот (діапазоні частот DME), тобто обладнання азимутального та дальномірного каналів СБН типу TACAN працює у смузі частот від 962 до 1213 МГц. Функціональну структуру багатоканальної РСБН типу TACAN, яку розроблено відповідно до структури сигналів СБН TACAN та принципів вимірювання азимуту та похилої дальності ПвС бортовим обладнанням TACAN, показано на рис. 1.

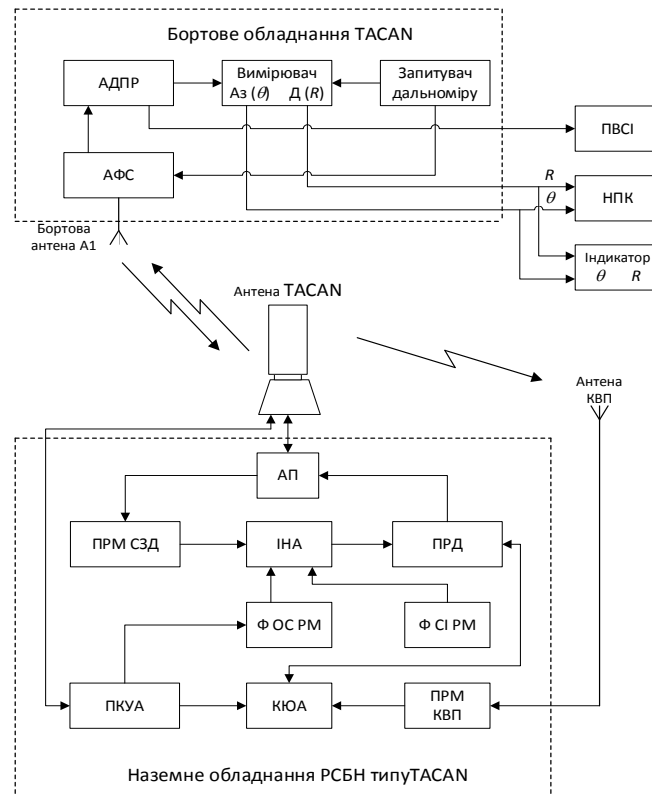


Рис. 1. Функціональна структура багатоканальної РСБН типу TACAN.

Джерело: розроблено авторами за даними [2], [5], [10]

«Відповідь індикації». На рис. 3 показано схему побудови передавального пристрою азимутального каналу, що розглядається у цій роботі.



Рис. 3. Схема побудови передавального пристрою азимутального каналу.

Джерело: розроблено авторами за даними [2], [10]

На сьогодні основними засобами ближньої навігації, які задовольняють вимогам ІКАО, є системи VOR, VOR/DME, VORTAC.

Радіотехнічна система VOR/DME призначена для безперервного і автоматичного визначення азимута відносно наземного радіомаяка і дальності від радіомаяка до літака. Система утворюється територіальним поєднанням всеспрямованого радіомаяка Very High Frequency Omnidirectional Radio Range і відповідача далекоміра Distance Measuring Equipment та складається з кутомірного і далекомірного каналів, до яких входить наземна і бортова апаратура. Канали працюють у різних частотних діапазонах і є самостійними радіонавігаційними пристроями, які інколи використовуються самостійно для виконання окремих навігаційних завдань.

VOR — всеспрямований радіомаяк ультракоротко хвилового (УКХ) діапазону для визначення азимуту ПвС;

DME — всеспрямований дальномірний радіомаяк для визначення дальності ПвС;

VOR/DME — комплексна радіонавігаційна система, яка утворюється у разі територіального поєднання VOR і DME. Канали цих систем працюють у різних частотних діапазонах і є самостійними радіонавігаційними пристроями, які використовуються інколи самостійно для виконання окремих навігаційних завдань;

Основні параметри систем ближньої навігації подано у таблиці.

Основні параметри систем ближньої навігації

Параметр	РСБН-4Н		VOR/DME		TACAN
	Канал азимуту (КА)	Канал дальності (КД)	КА, град	КД, м	КА, град
Точність визначення НП					
Прогнозована	0,25°	200	4,7 (0,5)	185	1,5 (1)
Що повторюється	—	—	4,3	185	4,5 (1)
Відносна	—	—	2,33	185	4,5 (1)
Діапазон частот, МГц					
Канал азимута	873,6...935	—	108...118	—	960...1215
Канал дальності (запит)	—	772...812,8	—	1025...1150	—
Канал дальності (відповідь)	—	939,6...1000,5	—	960...1215	—
Кількість частотно-кодових каналів	88	88	160	252	252
Пропускна здатність, кількість повітряних суден	∞	100	∞	100	∞

Джерело: розроблено авторами за даними [1], [2], [11].

У зв'язку з невідповідністю частотного діапазону РСБН-4Н вимогам International Civil Aviation Organization, міжнародною організацією цивільної авіації запропоновано здійснити удосконалення системи. Проведений огляд та аналіз радіотехнічних систем навігації, що використовуються на території України, як цивільною авіацією, так і військовою, показав, що вони потребують оновлення з урахуванням вибраного шляху до Європейського союзу й НАТО. Позитивна реалізація поставлених завдань у цьому напрямку залежить насамперед від типу літаків, що використовуються або планують використовуватися у Повітряних Силах ЗС України, а також від комплектації

літаків відповідним обладнанням, сумісним з наземними системами радіотехнічного забезпечення. Функціональна схема азимутально-опорного передавача показана на рис. 4. Передавач азимутально-опорного каналу побудований за принципом послідовного підсилення сигналу та множення частоти у двох трактах: безперервних та імпульсних сигналів. Датчик опорних частот (ДОЧ) передавача побудований за інтерполяційним методом. Робоча частота формується внаслідок виділення в змішувачі різницевої частоти двох допоміжних частот f_1 і f_2 , що виробляються задавальними кварцовими генераторами Г1 і Г2 з подальшим множенням частоти.

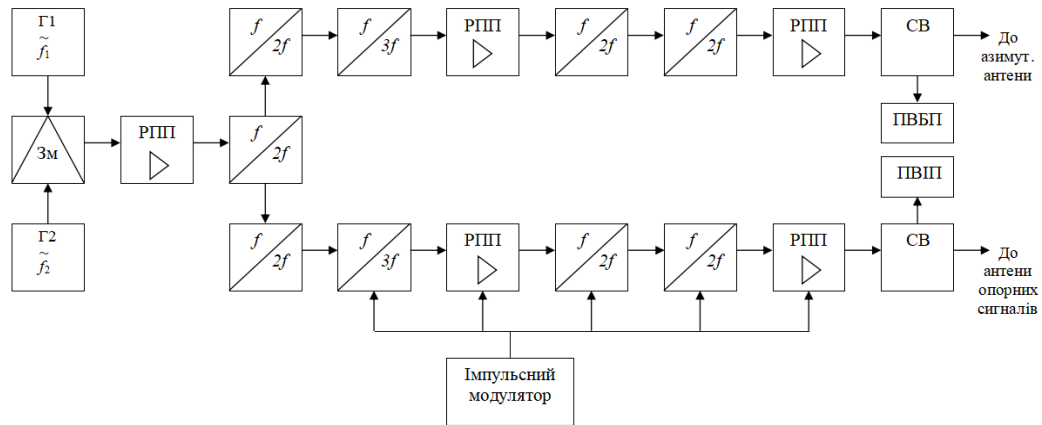


Рис. 4. Функціональна схема передавача азимутально-опорного каналу РСБН-4Н:
Г — кварцовий генератор; ЗМ — змішувач; РПП — підсилювач; f_2/f_3 — подвоювач/потроювач;
СВ — спрямований відгалужувач; ПББП — пристрій вимірювання безперервної потужності;
ПВП — пристрій вимірювання імпульсної потужності.

Джерело: розроблено авторами за даними [2]—[11]

Після першого подвоювача частоти високочастотні коливання поділяються на два тракту: безперервних та імпульсних сигналів. Тракти сигналів відрізняються один від одного тим, що, починаючи з потроювача, у всіх подальших каскадах тракту імпульсних сигналів здійснюється імпульсна модуляція. У тракті імпульсних сигналів застосовані анодно-екранна та анодна імпульсні модуляції.

На рис. 5 показано розроблену функціональну схему, у якій сигнал каналу азимуту формується у формувачі сигналів азимутального каналу і через спрямований відгалужувач подається на широко-смуговий підсилювач потужності. До складу формувача сигналу азимутального каналу входять: високостабільний генератор, кварцовий синтезатор сітки опорних частот, помножувач частоти, пристрій, що здійснює імпульсну модуляцію, а також пристрій, який ним керує. Обґрунтуємо необхідність у складі передавача азимутального каналу широкосмугового узгоджувального пристрою.

Кварцовий генератор (термостатований) повинен забезпечувати відносну нестабільність частоти, не гірше ніж 10^{-7} . Пристрій, що здійснює імпульсну модуляцію, перетворює високостабільні безперервні високочастотні коливання на радіоімпульси, але він керується пристроєм керування, на який подаються опорні сигнали азимута «ПІВНІЧ 15Гц» і «ТОЧНО 135Гц», ідентифікаційні сигнали та сквіттер-сигнали від пристрою формування сигналів наземного обладнання.

Частина сигналу з ФС АК через спрямований відгалужувач надходить на пристрій контролю сигналів (ПКС), призначений для контролю частоти та структури сигналів азимутального каналу. Після підсилення в ШПП сигнали через широкосмуговий узгоджувальний пристрій (ШУП) надходять на антено-фідерний пристрій. Частина підсиленого сигналу через спрямований відгалужувач подається на пристрій контролю за потужністю сигналів (ПКПС).

Для цього здійснимо розрахунок активної та реактивної складової вхідного опору антени азимутального каналу у смузі частот від 960 до 1215 МГц, в якій працює наземна апаратура радіонавігаційної системи ТАСАН. Оскільки висока точність розрахунків у цій ситуації не потрібна, впливом пасивних вібраторів антени на величину вхідного опору знехтуємо. Таким чином, навантаженням вихідного каскаду ШПП є чвертьхвильовий несиметричний вібратор. Зробимо його чвертьхвильовим у середині робочої смуги частот. Нехай його довжина $L = 7$ см, а радіус поперечного перерізу $a = 3$ мм.

Розрахуємо хвильовий опір вібратора за запропонованою авторами формулою

$$p = 60 \left(\ln \left(\frac{L}{a} \right) - 1 \right). \tag{1}$$

Отримаємо $p = 129 \text{ Ом}$.

Розрахуємо реактивну складову вхідного опору вібратора за авторською формулою

$$X_A = -p \cdot \cot(k \cdot L), \tag{2}$$

де $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — хвильове число.

Отримаємо, що на нижній частоті робочої смуги X_A носить ємнісний характер і дорівнює — 21,3 Ом; а на верхній частоті X_A має індуктивний характер і дорівнює 27,6 Ом. Розрахуємо активну складову вхідного опору вібратора за формулою, розробленою авторами

$$R_A = 40 \text{tg}^2 \left(\frac{kL}{2} \right). \tag{3}$$

Отримані результати вказують що на нижній частоті робочої смуги $R_A = 28,81 \text{ Ом}$, на верхній частоті $R_A = 61,13 \text{ Ом}$.

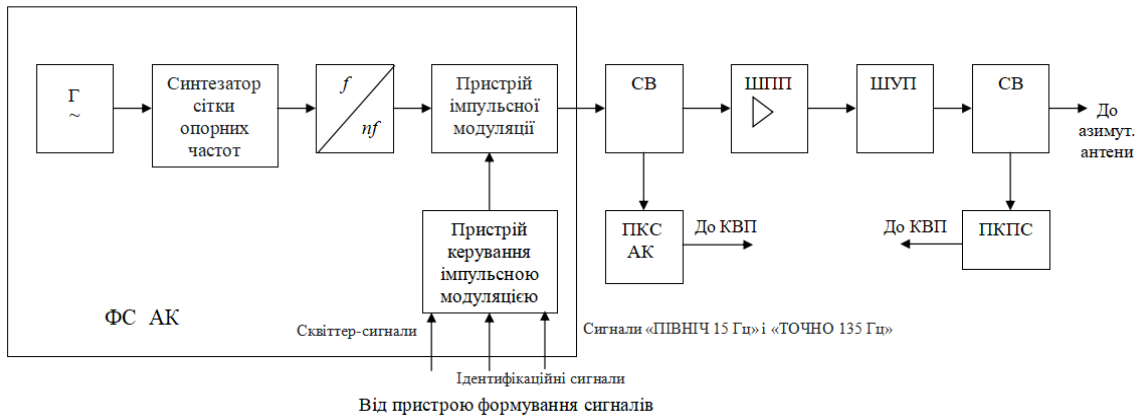


Рис. 5. Розроблена функціональна схема передавального пристрою азимутального каналу наземної апаратури радіонавігаційної системи типу TACAN: Г — генератор; СВ — спрямований відгалуджувач; ШПП — широкопasmовий підсилювач потужності; ШУП — широкопasmовий узгоджувальний пристрій; ПКПС — пристрій контролю за потужністю сигналів; ПКС — пристрій контролю сигналів.

Джерело: розроблено авторами

Графіки залежностей активної та реактивної складової вхідного опору вібратора від його відносноної довжини $\frac{L}{\lambda}$ показані на рис. 6.

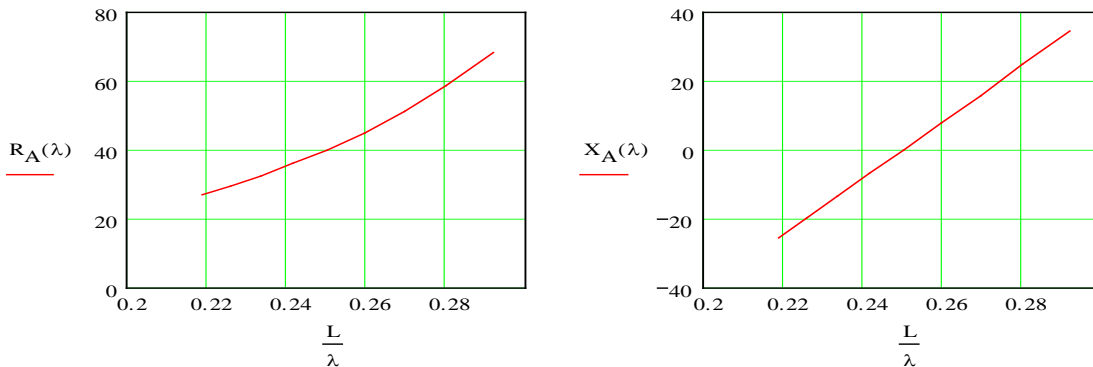


Рис. 6. Залежність активної та реактивної складової вхідного опору вібратора.

Джерело: розроблено авторами

З графіків видно, що активна складова вхідного опору вібратора в робочій смузі частот змінюється більше ніж у 2 рази, а реактивна складова вхідного опору на краях робочої смуги за абсолют-

тною величиною порівняна з величиною активної складової і має при цьому різний характер (то ємнісний, то індуктивний).

Це зумовлює необхідність застосування узгоджувального пристрою як елемента функціональної схеми, інакше потужність відбитої від антени хвилі буде занадто великою і робота передавача буде неефективною.

Наземне обладнання СБН типу РСБН-4Н за принципами будови азимутального каналу не спроможне забезпечити вимірювання азимуту ПвС на борту літаків типу F-16 під час роботи бортового обладнання СБН типу ТАСАН, тому це зумовлює необхідність застосування розробленої функціональної схеми передавального пристрою азимутального каналу наземної апаратури.

Висновки

В результаті виконаного дослідження встановлено: досліджені навігаційні системи, які відповідають вимогам International Civil Aviation Organization показують, що є можливість підвищити тактико-технічні вимоги до РСБН типу Tactical Air Navigation System. Реалізація поставлених завдань в цьому напрямку залежить насамперед від типу літаків, що використовуються або планують використовуватися у Повітряних Силах ЗС України, а також від комплектації літаків відповідним обладнанням, сумісним з наземними системами радіотехнічного забезпечення. Розроблено пропозиції побудови на рівні функціональної схеми передавального пристрою азимутального каналу наземної апаратури радіонавігаційної системи типу ТАСАН. Обґрунтовано необхідність увести у склад передавача азимутального каналу узгоджувального пристрою як елемента функціональної схеми. Математично обґрунтовано необхідність застосування широко-смугового узгоджувального пристрою. Проаналізовано наявні далекомірні канали РСБН, що дало змогу завдяки отриманим даним розробити модифікований передавальний пристрій, який високими технічними характеристиками, надійністю та використанням сучасної елементної бази, відповідає нормам ІКАО та є можливим для модернізації РСБН-4Н.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] П. Ю. Костенко, О. В. Висоцький, В. І. Васишин, і О. В. Нікітін, *Теорія радіонавігаційних систем. Частина 1*, навч. посіб. Харків, Україна: ХУПС, 2013, 120 с.
- [2] О. В. Нікітін, С. І. Сивашенко, В. І. Васишин, і М. М. Хмуров, *Військова техніка радіотехнічного забезпечення авіації Повітряних Сил. Частина 1. Пристрої і системи ближньої навігації та інструментальної посадки*, навч. посіб. Харків, Україна: ХУПС імені І Кожедуба, 2007, 142 с.: іл.
- [3] П. В. Олянюк, Г. П. Остаф'єв, і В. В. Грачев, *Радіотехнічні пристрої і системи цивільної авіації*, підруч. для вузів. Миколаїв, Україна, 2007.
- [4] А. Д. Трояновский, А. М. Клуга, і Б. Я. Циклер, *Бортове обладнання радіосистем ближньої навігації*, підруч. для вузів. Миколаїв, Україна, 2009.
- [5] С. І. Сивашенко, та ін. *Радіонавігаційні системи. Ч.1. Радіонавігаційні системи ближньої навігації*, навч. посіб. Харків, Україна: ХУПС, 2014, 164 с.
- [6] А. А. Сосновский, И. А. Хаймович, Э. А. Лутин, і И. Б. Максимов, *Авіаційна радіонавігація*, навч. посіб. Миколаїв, Україна, 2008.
- [7] *Опорний генератор Гиацинт-М*, технічний опис. ИГ2, 2010, 98с.
- [8] О. В. Мурашкин, *Основи побудови радіотехнічної системи дальньої навігації. Частина VII. Пункт контрольний пересувний наземної станції РСДН-10*, навч. посіб. ХІЛ ВПС, 2007.
- [9] Я. Д. Ширман, *Теоретичні основи радіолокації*: посібник для вузів. Миколаїв, Україна: 2007.
- [10] С. І. Сивашенко, В. М. Субота, О. В. Нікітін, А. В. Лопатін, і В. О. Лебедев, *Радіонавігаційні системи. Частина 1. Радіонавігаційні системи ближньої навігації*, навч. посіб. Харків, Україна, 2014.
- [11] О. В. Нікітін, В. О. Лебедев, С. І. Сивашенко, В. В. Захарченко, і О. А. Павліченко, *Радіонавігаційні системи. Частина 1. Радіонавігаційні системи ближньої навігації*, навч. посіб. Харків, Україна, 2018.

Рекомендована кафедрою інформаційних радіоелектронних технологій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 21.02.2024

Онищук Олег Володимирович — канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій та систем, e-mail: onyschukoleg@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Карлов Дмитро Володимирович — д-р техн. наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри авіаційних радіотехнічних систем навігації та посадки, e-mail: zeroua108@ukr.net ;

Калан Михайло Вадимович — студент, слухач магістратури, e-mail: kentforeversk@gmail.com .

Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

O. V. Onyschuk¹
D. V. Karlov²
M. V. Kalan²

Transmitting Device of the Azimuthal Channel for the Ground Equipment of the Tacan-Type Radio Navigation System

¹Vinnitsia National Technical University;

²Kharkiv National Air Force University named after Ivan Kozhedub

The need to develop Air Force management processes of the Armed Forces of Ukraine determines the development of modernized short-range navigation systems. One of the urgent tasks at the present stage is aviation radio navigation aids and short-range navigation systems which are used to ensure the flights of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. The purpose of the work is to analyze the existing radio technical systems of short-range radio navigation, to determine directions regarding the construction structure of the transmission device of the azimuth channel of ground equipment by analyzing the comparison of different types of ground equipment of short-range radio navigation systems. An important and still unsolved problem is that currently in Ukraine it is planned to re-equip several bases and operational airfields with a radio technical support system, which must be converted in accordance with NATO and ICAO requirements. At the initial stage, the purchase of several ground beacons of short-range navigation systems of the TACAN-type from partner countries is envisaged. To refurbish all state aviation airfields, it is advisable to develop a domestic air traffic control system in accordance with NATO and ICAO requirements. According to the principles of the structure of the azimuth channel, the ground equipment of the domestic SBNs of the RSBN-4N type is not capable of providing azimuth measurement on board F-16 aircraft during operation of TACAN-type SBN onboard equipment. In the work, the existing short-range radio navigation systems are analyzed, the tactical and technical requirements for the short-range navigation system of the TACAN-type are substantiated, and the functional scheme of the transmitting device of the azimuth channel of the ground equipment of the TACAN-type radio navigation system is developed.

Keywords: azimuth channel, radio technical system of short-range navigation, transmitting device.

Onyshchuk Oleh V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Information Radio-Electronic Technologies and Systems, e-mail: onyschukoleg@gmail.com ;

Karlov Dmytro V. — Dr. Sc. (Eng.), Senior Researcher, Head of the Chair of Aviation Radio Navigation and Landing Systems, e-mail: zeroua108@ukr.net ;

Kalan Mykhailo V. — Master's Student of the Kharkiv National University of the Air Force named after Ivan Kozheduba, e-mail: kentforeversk@gmail.com