

УДОСКОНАЛЕННЯ ВІТЧИЗНЯНИХ ВТОРИННИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

В статті розглянуті питання дообладнання ПС адресними літаковими відповідачами і системами попередження зіткнення з одночасним включенням в склад літакових відповідачів СОМ-64, СО-70, СО-72М вузлів, які забезпечують сумісну роботу з адресними відповідачами і системами попередження зіткнення. Виконання цих робіт забезпечило польоти ПС цивільної і військово-транспортної авіації в зоні дії вторинних радіолокаторів режимів RBS і S згідно з умовами ІКАО. Сумісна робота адресних і безадресних літакових відповідачів дозволила продублювати давачі значень висоти ПС для навігаційних систем на борту, що підвищує надійність роботи вторинної системи управління повітряним рухом і веде до зниження кількості конфліктних ситуацій під час польотів ПС.

Ключові слова: управління повітряним рухом, повітряне судно, прийомопередавач, шифратор.

A.K. YANOVITSKYI, A.S. YANOVITSKYI, V.F. DZIABURA
Khmelnitskyi National University

IMPROVEMENT OF NATIONAL SECONDARY RADAR SYSTEMS FOR AIR TRAFFIC CONTROL

In the article questions retrofit aircraft targeted defendants aircraft and systems against collision while turning in of aircraft defendants COM-64, SB-70, SB-72M units that provide targeted joint operation with the defendant and systems against collision. Following these works provide aircraft flying civilian and military transport aircraft in the area of secondary radar mode S and RBS under the terms of the ICAO. Joint work address and unaddressed aircraft defendants sensors allow duplicate values for the height of the aircraft navigation system on board, which increases the reliability of the secondary air traffic control system and leads to reduction in the number of conflicts when flying aircraft.

Key words: air traffic control, aircraft transceiver encoder.

В другій половині минулого століття до початку дев'яностих років забезпечення безпеки польотів повітряних суден (ПС) повністю покладають на диспетчерську службу управління повітряним рухом (УПР) літовищ. В систему управління повітряним рухом включена система вторинної радіолокації, яка є основним джерелом інформації для диспетчерів про координати ПС, висоту польоту і бортовий номер (номер екіпажу). В систему вторинної радіолокації (ВРЛ) входять наземні радіолокатори літовищ і літакові відповідачі (ЛВ), встановлені на ПС. Технічні параметри сигналів апаратури системи ВРЛ (радіолокаторів ЛВ) виготовлені в різних країнах, повинні відповідати нормам, приведеним в документах Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) [1].

Згідно конвенції про міжнародну цивільну авіацію літовища на всіх міжнародних авіаційних трасах обладнані системами вторинної радіолокації АТС RBS (Air traffic control radar beacon system). В Радянському Союзі, всі ПС цивільної авіації, які літали по міжнародних авіатрасах, були обладнані ЛВ, які мали два режими роботи: вітчизняний УПР і міжнародний RBS. Це забезпечує польоти таких ПС як у зонах дії систем ВРЛ з вітчизняною структурою сигналів, так і в зонах дії систем ВРЛ з міжнародною структурою сигналів. Принцип побудови і дії вітчизняної і міжнародної систем ВРЛ ідентичні, але мають різні частоти передавачів і приймачів, а також різну структуру сигналів запиту і відповіді.

У вітчизняній системі ВРЛ [3]:

- основна частота передавача 740 МГц;
- основна частота приймача 837,5 МГц;
- структура сигналу запиту: бортового номера – двоімпульсний код 9,4 мкс, а висоти польоту – двоімпульсний код 14 мкс;
- структура сигналу відповіді наведена рис. 1.

У міжнародній системі ВРЛ [3]: частота передавача 1090 МГц; частота приймача 1030 МГц; структура сигналу запиту: бортового номера (номер екіпажу) – двоімпульсний код 8 мкс, а висоти польоту – двоімпульсний код 21 мкс; структура сигналу відповіді наведена на рис. 2.

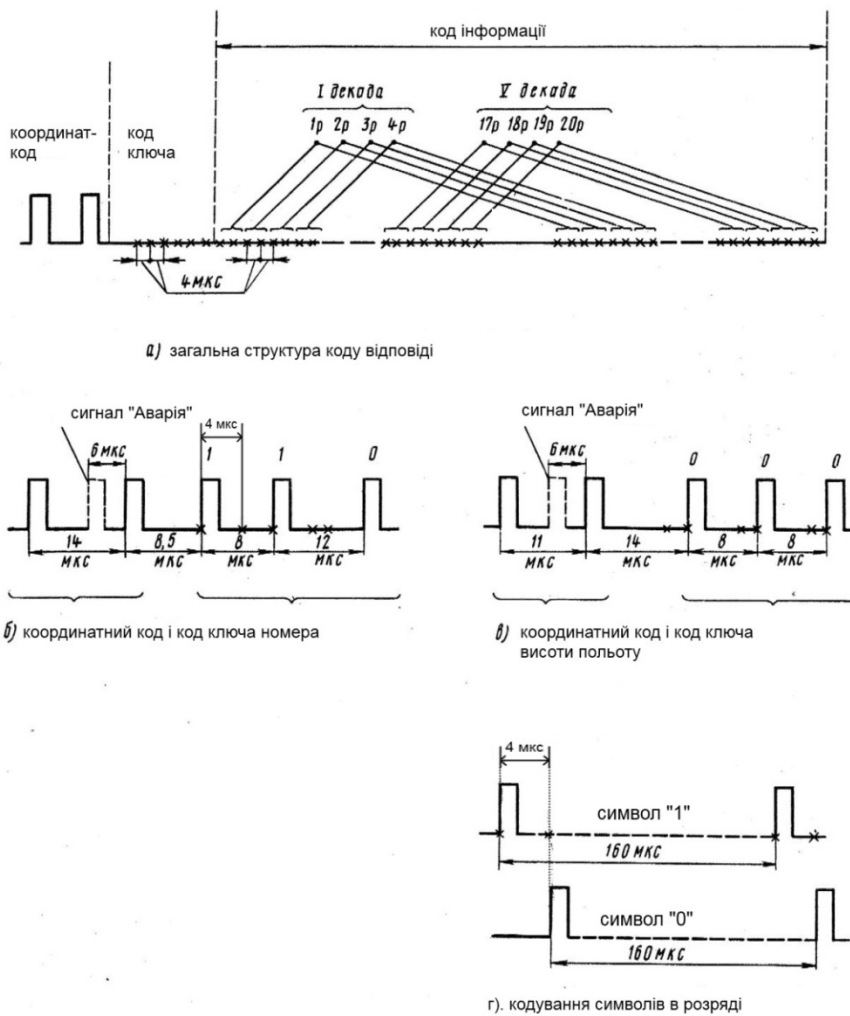


Рис. 1. Структур коду відповіді

Примітки:

1. Код ключа номера чи висоти має три розряди. Розряд розміщується на часовому інтервалі 8 мкс. При значенні розряду «1» імпульс розміщується на позиції 0 мкс, а при значенні розряду «0» імпульс розміщується на позиції 4 мкс (рис. 1 г).
2. Інформація про номер (або висоту польоту і паливо) передається двійково-десятковим кодом (чотири розряди в декаді).
3. Код ключа і код інформації передається з розрядкою, тобто, передається приблизно з кожним п'ятим кодом відповіді ЛВ.

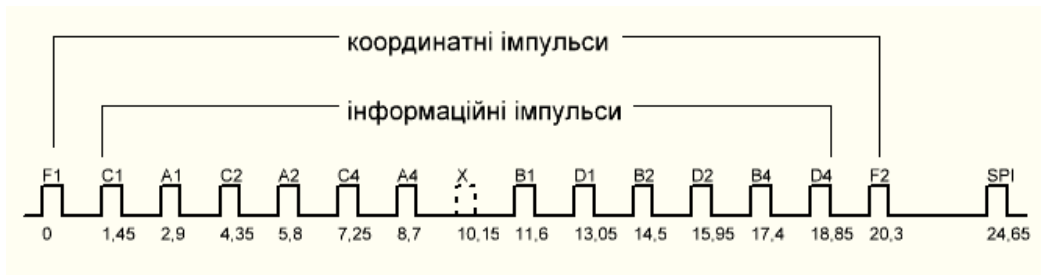


Рис. 2. Коди відповіді ЛВ

Примітки:

1. На позиції 0 мкс і 20,3 мкс розміщуються координатні імпульси.
2. На позиції 1,45 ... 8,7 мкс; 11,6 ... 18,85 мкс розміщуються інформаційні імпульси бортового номера, або висоти.
3. Позиція 10, 15 мкс зарезервована і до теперішнього часу не використовується.
4. Імпульс SPI на позиції 24, 65 мкс передається з ЛВ по запиту диспетчера.

Для збільшення дальності дії і автоматичного одержання з борту ПС інформації в міжнародній і вітчизняній системах ВРЛ використовується метод роботи з активною відповіддю. Наземні радіолокатори за допомогою обертової антени постійно опитують всі ПС, які знаходяться в зоні дії і обладнані ЛВ. Запит проводиться двох імпульсними кодами. Режим запиту (запит номера чи висоти) закодований часовим інтервалом між цими імпульсами.

Кодовані відповіді (рис. 1 або рис. 2) випромінюються бортовим ЛВ на частотах 740 МГц або 1090 МГц і поступають на наземні радіолокатори.

По положенню обертової антени в момент прийому відповіді і по часу між запитом і прийомом відповіді на наземних радіолокаторах вираховують азимут і дальність до ПС (координати ПС).

Декодована інформація про бортовий номер або висоту польоту, а також інформація про координати ПС поступають на робоче місце диспетчера. Керуючись одержаною інформацією про ПС на авіатрасі, диспетчер приймає рішення по уточненню курсів і ешелонів руху ПС для забезпечення безпеки їх польоту.

Значне збільшення інтенсивності польотів ПС і безадресні запити наземних радіолокаторів, а також безадресні відповіді ЛВ, уже в шестидесятих роках минулого століття визвали значні труднощі в роботі диспетчерської служби УПР по попередженню небезпечних зближень ПС в повітрі. Диспетчери і пілоти не завжди своєчасно приймали рішення по виключенню конфліктних ситуацій.

З цілю покращення роботи систем УПР почали проводитись роботи в двох напрямках:

- розробка систем адресного обміну інформацією між наземними радіолокаторами і ПС;
- розробка систем попередження зіткнень (СПЗ) ПС в повітрі.

На 7-й аеронавігаційній конференції міжнародної організації цивільної авіації були вироблені вимоги до СПЗ [2]. Основні з них наступні:

- СПЗ повинна бути повністю сумісна з системою УПР і забезпечувати автоматичне попередження диспетчерів УПР про маневри виконуваних ПС, згідно з командами, виробленими СПЗ;

- СПЗ повинна бути придатна для розміщення на всіх класах ПС, тобто економічна і практична.

Системи для вимірів різних характеристик на різних класах ПС повинні бути сумісними;

- СПЗ повинна сигналізувати пілоту про загрозу зіткнення і указувати маневр по попередженню зіткнення;

- вироблені в СПЗ команди на маневри відхилення від зіткнення повинні бути сумісними з характеристиками ПС на всіх етапах польоту і передаватись в реальному масштабі часу;

- маневри, виконувани ПС по командах СПЗ, не повинні приводити до зменшення еталонування між ПС;

- СПЗ не повинна служити джерелом радіо завад при роботі других систем;

- система повинна забезпечувати попередження зіткнень при одночасному знаходженні великої кількості ПС в межах радіусу дії і забезпечувати відсутність насичення робочих частот;

- СПЗ повинна бути дієздатною при будь-яких метеорологічних умовах.

Восьмидесятих роках минулого століття в США були розроблені і виготовлені адресні літакові відповідачі (АЛВ) і системи СПЗ. Міжнародною організацією ІКАО було прийнято рішення про поетапне упровадження АЛВ і систем СПЗ в різних регіонах. В перший регіон входили США, Канада і Західна Європа. Літовища цього регіону були переобладнані на початку 90-х років минулого століття.

В удосконалену систему УПР стали входити: наземний радіолокатор, який міг працювати в адресному (S) і безадресному (RBS) режимах; два адресні АЛВ (один працюючий, а другий в «гарячому» резерві) і система СПЗ на ПС.

Структура запиту загального виклику режимів RBS і S наземного радіолокатора приведена на рис.

3.

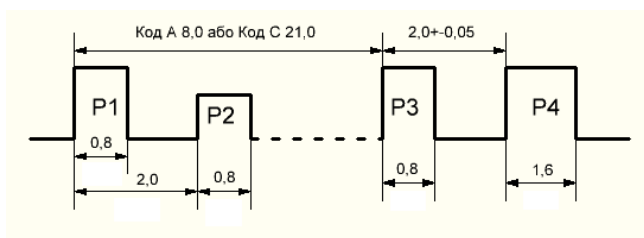


Рис. 3. Одночасний запит ЛВ режимів RBS і S

Примітки:

1. Всі часові параметри приведені в мкс.

2. В ЛВ режиму RBS після закодування імпульсу P3 вхід дешифратора бланкується і імпульс P4 не поступає на дешифратор.

3. АЛВ режиму S декодує імпульс P4 і передає в відповідь на цей запит адресу згідно нормативним документам на наземний радіолокатор. Між АЛВ на ПС і наземним радіолокатором встановлюється адресний обмін інформацією.

Для забезпечення польотів українських і російських ПС на міжнародних авіатрасах в 90-х роках минулого століття було прийнято наступне рішення:

- на ПС були розміщені експортні АЛВ і СПЗ;

- ЛВ СО-70, СОМ-64, СО-72М доопрацьовані шляхом установки: в шифраторі ІКАО перетворювача висоти код-код (ЛВ СО-70 і СОМ-64), а в рамі амортизаційній ЛВ СО-72М пристрій сполучення (ЛЗ). Це доопрацювання дозволило проводити польоти на території України чи Росії в режимів УПР або RBS, а при польотах за кордоном по міжнародних авіатрасах в режимах RBS або S.

Структурна схема ЛВ СО-70 з перетворювачем висоти код-код приведена на рис. 4. Принцип роботи перетворювача висоти код-код вписаний у статті [4].

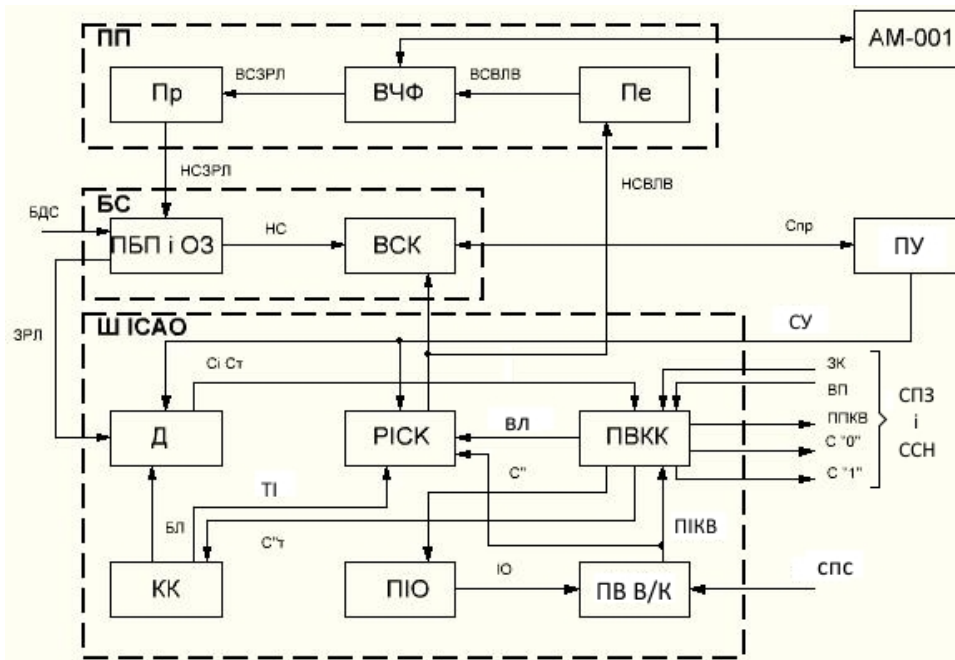


Рис. 4. Структурна схема ЛВ СО-70 з перетворювачем висоти код-код.

ПП – прийомопередавач; АМ-001 – прийомопередавача антена на частотах 1030, 1090 МГц; Пр – приймач; ВСЗРЛ – високочастотний запит радіолокатора; ВЧФ – високочастотний фільтр; ВСВЛВ – високочастотний сигнал відповіді ЛВ; Пе – передавач; НСЗРЛ – низькочастотний сигнал запиту радіолокатора; НСВЛВ – низькочастотний сигнал відповіді ЛВ; БС – блок сполучення; БДС – бланки других систем; ПБП і ОЗ – подавлення бокових пелюсток і обмеження завантаження; НС – наведений сигнал; ВСК – вбудована схема контролю; Спр. – справність; ПУ – пульт управління; СУ – сигнал управління; ЗРЛ – запит радіолокатора; Ш ІСАО – шифратор ІСАО; С і Ст. – запит висоти і старт; ЗК – загальний кодера; ВП – відключення передавача; Д – дешифратор; РІСК – реєстр і схема контролю; ПІКВ – паралельний потенціальний код висоти; ПВКК – перетворювач висоти код-код; С «0» – справність «0»; С «1» – справність «1»; Бл – бланк; ТІ – тактові імпульси; Ст – старт сумарний; С'' – запит висоти сумарний; ПІКВ – паралельний імпульсний код висоти; КК – кварцовий калібратор; ПІО – підсилювач імпульсу опитування; Ю – імпульс опитування; ПВ В/К – перетворювач висоти вал/код; СПС – система повторних сигналів; СПЗ – система проти зіткнення; ССН – система супутникової навігації

Структурна схема основного комплексу ЛВ СО-72М з пристроєм сполучення приведена на рис.5. Принцип роботи пристрою сполучення описаний в статті [4].

В основний комплект ЛВ СО-72М входять: рама амортизаційна з пристроєм сполучення; БПІ на РА – блок перетворення інформації на рамі амортизаційній; ПУ – пульт управління; ПНН – пристрій набору номера; ПБ – пристрій бланкування; АФС – антено-фідерна система.

ПС, обладнані ЛВ, СОМ-64 СО-70 з ПВКК або ЛВ СО-72М з ПСп. здійснюють в залежності від радіолокаторів литовищ країн СНД, польоти в режимах УПР або RBS, а на міжнародних авіатрасах, літовища яких обладнані радіолокаторами режиму «S», в ЛВ з режимом RBS по команді з системи СПЗ автоматично відключається передавач і забезпечується видача значень висоти по нормах ІСАО для дублювання других систем видачі висоти для АЛВ. Додаткове дублювання забезпечує підвищення надійності систем видачі про параметри польоту ПС.

Удосконалення вторинних радіолокаційних систем управління повітряним рухом в дев'яності роки минулого століття і послідовні роки захопило не тільки цивільну авіацію, а також військову. В країнах СНД (в тому числі і в Україні) планувалось дообладнати: ПС військово-транспортної авіації АЛВ і СПЗ, а винищувачі і учбові літаки ЛВ з режимом RBS [1].

Для часткової реалізації цього плану в Україні і Російській Федерації по ініціативи авторів статті були виконані наступні роботи:

- на базі ЛВ СО-69 з основним режимом УПР був розроблений ЛВ СО-69М з режимом RBS. ЛВ СО-69М можливо розміщувати на ПВ на місці ЛВ СО-69 без доопрацювання міжсистемного монтажу на ПС і заміни АФС;

- для ЛВ А-511 з основним режимом УПР був розроблений шифратор з додатково введеним режимом RBS. Після заміни старого шифратора на розроблений міжсистемний монтаж і АФС на ПС залишаються без зміни;

- в Україні в 2010 р. були виготовлені перші зразки АЛВ і СПЗ на ПО «Новатор» (розробник НДУ «Бурани», м. Київ);

- в середині 90-х років минулого століття на ПО «Новатор» на базі ЛВ СО-72М був розроблений і виготовлений контрольний літаковий відповідач (КЛВ).

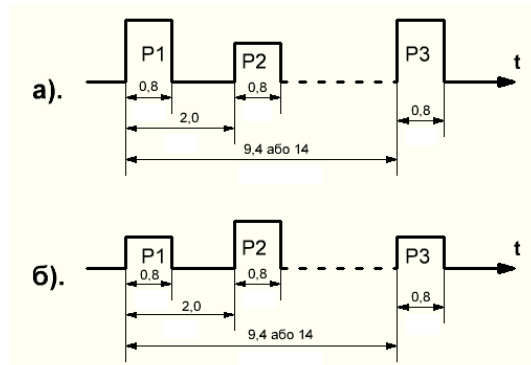


Рис. 7. Коды запиту радіолокаторам на виході ПП в режимі УПР

Примітки:

1. Всі часові інтервали на малюнку в мікросекундах.
2. Імпульси P1, P3 передають в основному пелюстку діаграми направленості антени.
3. Імпульс P2 передається в круговій діаграмі направленості антени.
4. а) співвідношення імпульсів P1, P3, P2 при прийомі імпульсів P1, P3 від основного пелюстка антени;
5. б) співвідношення імпульсів P1, P3, P2 при прийомі імпульсів P1, P2 від побічних пелюсток антени.

При розробці КЛВ для режиму RBS прийняли рішення використати ЛВ СО-72М як базовий (рис. 8). Для спрощення схеми затримки коду запиту радіолокатора вирішили ввести затримку декодованого імпульсу коду запиту. Для зменшення габаритів і маси пристрою затримки дальності для його розробки була використана сучасна елементна база.

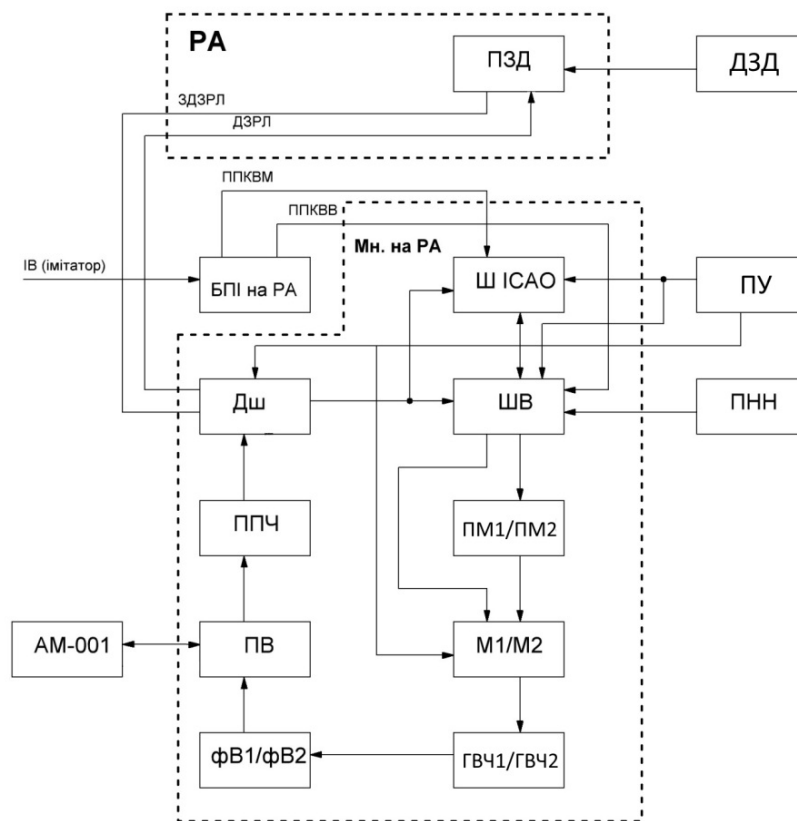


Рис. 8. Схема структурна контрольного літакового відповідача в режимі RBS

РА – рама амортизаційна; ПЗД – пристрій затримки дальності; ДЗД – давач заданої дальності; ЗДЗРЛ – затриманий декодований запит радіолокатора; ДЗРЛ – декодований запит радіолокатора; ППКВМ – паралельний потенціальний код висоти міжнародний; ППКВВ – паралельний потенціальний код висоти вітчизняний; ІВ – інформація про висоту; БПІ на РА – блок перетворення інформації на рамі амортизаційній; Мн. на РА – моноблок на рамі амортизаційній; Ш ІСАО – шифратор ІСАО; ПУ – пульт управління; Дш – дешифратор; ШВ – шифратор вітчизняний; ПНН – пристрій набору номера; ППЧ – підсилювач проміжної частоти; ПМ – підмодулятор; АМ-001 – антена з круговою діаграмою направленості; ПВ – підсилювач високочастотний; М – модулятор; ФВ – феритовий вентиль; ГВЧ – генератор високої частоти

Висновки. Дообладнання ПС цивільної і військово-транспортної авіації України системами СПЗ і ССН з одночасним введенням в ЛВ СОМ-64, СО-70, СО-72М вузлів, які забезпечують їх сумісну роботу з системами СПЗ і ССН, дозволяє забезпечити польоти в зонах дії радіолокаторів режимів RBS і S в Україні і

на міжнародних авіатрасах згідно з умовами ІКАО. При цьому підвищилась надійність роботи диспетчерської служби УПП завдяки додатковому дублюванню каналів видачі висоти польоту навігаційним системам.

Введення режиму RBS в літакові відповідачі СО-69, А-511, розміщені на військових одно- і двохмісних ПС, а також замір вузлів закриття на літовищах за допомогою розробленого і виготовленого КЛВ режиму RBS забезпечує більш повну оцінку диспетчерами завантаження повітряного простору ПС, а також веде до зниження конфліктних ситуацій під час польотів ПС.

Література

1. Яновицький О.К. Розвиток радіосистем ближньої навігації в Україні / О.К. Яновицький, О.С. Яновицький, В.Ф. Дзябура // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : матеріали XV Міжнар. конф., 10–14 верес. 2015 р., Одеса / Мін-во освіти і науки України, Укр. технол. акад., Одес. нац. акад. зв'язку ім. О.С. Попова [та ін.] ; [редкол. : В.І. Водотовка, В.Б. Дудикевич, Ж.Е. Желкобаев та ін. – 2015. – С. 30–31.
2. Бычков С.И. Радиотехнические системы предупреждения столкновений самолетов / С.И. Бычков, Е.А. Пахолков, В.Н. Яковлев. – М. : Советское радио, 1977. – 205 с.
3. ГОСТ 21800-89. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением. Общие технические требования. – Введ. 1990-07-01 – М. : Изд.-во стандартов, 1990.
4. Яновицький О.К. Підвищення систем надійності управління повітряним рухом при реалізації сумісної роботи з системами попередження зіткнень повітряних суден / О.К. Яновицький, О.С. Яновицький, В.Ф. Дзябура // Вісник ТУП, технічні науки. – 2016. – № 6. – С. 206–209.
5. А. с. 682015 СССР, МКИ²G01S 9/56. Устройство для подавления запроса боковыми лепестками систем УВД / Н.И. Жиган, А.К. Яновицкий, А.К. Харкевич. – № 2549422/18-23 ; заявл. 05.12.77.
6. Яновицький О.К. Методи підвищення стабільності три імпульсного подавлення в радіотехнічних системах управління повітряним рухом / О.К. Яновицький, С.О. Яновицький, М.Й. Жиган // Актуальні проблеми техніки та суспільства : збірник статей викладачів та наукових співробітників технологічного університету Поділля. – Хмельницький, 1996. – С. 243–250.

Рецензія/Peer review : 18.3.2017 р.

Надрукована/Printed : 23.4.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Любчик В.Р.