



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

**В. П. Харченко, Ю. М. Барабанов,
М. А. Міхалочкін**

СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТА НАВІГАЦІЇ

Навчальний посібник



**VIVERE!
VINCERE!
CREARE!**

Київ 2009

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

В. П. Харченко, Ю. М. Барабанов,
М. А. Міхалочкін

СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ
ТА НАВІГАЦІЇ
Навчальний посібник

Київ
Видавництво Національного авіаційного університету
«НАУ-друк»
2009

УДК 621.735.054.07(075.8)
ББК 0570я7
Х227

Рецензенти: *А. Е. Асланян* – д-р техн. наук, проф. (Національна академія оборони України)
С. Я. Жук – д-р техн. наук, проф. (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»)
Г. Ф. Конахович – д-р техн. наук, проф. (Національний авіаційний університет)

Затверджено методично-редакційною радою Національного авіаційного університету (протокол № 11 від 14.03.2008 р.).

Харченко В. П.

Х227

Системи зв'язку та навігації : навч. посіб. / В.П. Харченко, Ю. М. Барабанов, М. А. Міхалочкін. – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 216 с.

ISBN 978-966-598-535-8

Містить матеріали з основ побудови систем авіаційного електрозв'язку. Зміст посібника відповідає програмі навчальної дисципліни «Системи зв'язку і навігації». Систематизовано викладено принципи побудови і методи стабілізації частоти авіаційних радіостанцій. Розглянуто сучасний стан і перспективи розвитку ліній передавання даних HF DL та VDL, а також принципи побудови сучасної системи мобільного супутникового зв'язку INMARSAT-AERO та перспективної системи AMSS.

Подано загальні відомості про завдання радіонавігації, опис методів та видів навігації, загальні положення про принципи дії радіонавігаційних пристроїв і систем.

Для студентів технічних спеціальностей та широкого кола фахівців з авіаційного радіозв'язку та радіонавігації.

УДК 621.735.054.07(075.8)
ББК 0570я7

© Харченко В. П., Барабанов Ю. М.,
Міхалочкін М. А. , 2009
© НАУ, 2009

ISBN 978-966-598-535-8

Зміст

| | |
|--|-----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ | 5 |
| ВСТУП | 17 |
| Модуль I. СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ | 22 |
| Розділ А. МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ | 22 |
| А.1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЧАСТОТИ АВІАЦІЙНИХ РАДІОСТАНЦІЙ | 22 |
| А.1.1. Організація та структура авіаційного електрозв'язку..... | 22 |
| А.1.2. Вимоги до бортових засобів зв'язку..... | 25 |
| А.1.3. Вимоги до параметрів бортових радіостанцій декаметрових хвиль..... | 28 |
| А.1.4. Способи і види організації зв'язку..... | 30 |
| А.1.5. Структурні схеми каналів радіозв'язку..... | 33 |
| А.1.6. Методи стабілізації частоти авіаційних радіостанцій..... | 44 |
| А.1.7. Особливості побудови авіаційних радіостанцій..... | 54 |
| Контрольні запитання..... | 58 |
| А.2. ЦИФРОВА МЕРЕЖА АВІАЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ АТН | 59 |
| А.2.1. Роль цифрових каналів зв'язку..... | 59 |
| А.2.2. Сучасний стан розвитку ліній передавання даних дуже високих частот..... | 67 |
| А.2.3. Характеристика лінії передавання даних режиму VDL4..... | 78 |
| А.2.4. Характеристика високочастотної лінії передавання даних HFDFL..... | 99 |
| Контрольні запитання..... | 116 |
| А.3. ЛІНІЇ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ СУПУТНИКОВИМИ КАНАЛАМИ | 117 |
| А.3.1. Система глобального супутникового зв'язку INMARSAT | 117 |
| А.3.2. Методи організації зв'язку й керування доступом INMARSAT-AERO..... | 120 |
| А.3.3. Технічні характеристики AES та GES INMARSAT-AERO | 122 |
| А.3.4. Вимоги ICAO до системи авіаційного мобільного супутникового зв'язку AMSS..... | 127 |
| А.3.5. Формати повідомлень..... | 134 |
| Контрольні запитання..... | 141 |

| | |
|--|-----|
| Модуль II. СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ | 142 |
| Розділ Б. АВІАЦІЙНІ РАДІОНАВІГАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ І СИСТЕМИ | 142 |
| ВСТУП | 142 |
| Б.1. ЗАВДАННЯ, ВИРІШУВАНІ РАДІОНАВІГАЦІЙНИМИ ПРИСТРОЯМИ І СИСТЕМАМИ В АВІАЦІЇ. МЕТОДИ, ВИДИ НАВІГАЦІЇ | 144 |
| Б.1.1. Основні навігаційні елементи | 148 |
| Контрольні завдання | 158 |
| Б.1.2. Основні тактико-технічні характеристики радіонавігаційних пристроїв і систем | 159 |
| Б.2. РАДІОПЕЛЕНГАТОРИ | 163 |
| Б.2.1. Загальні відомості..... | 163 |
| Контрольні завдання | 165 |
| Б.2.2. Літакові автоматичні радіокомпаси..... | 166 |
| Контрольні завдання | 172 |
| Б.3. РАДІОМАЯКИ | 173 |
| Б.3.1. Загальні відомості..... | 173 |
| Б.3.2. Глісадні радіомаяки..... | 175 |
| Б.3.3. Курсові радіомаяки | 177 |
| Контрольні завдання | 179 |
| Б.4. РАДІОНАВІГАЦІЙНІ ДАЛЕКОМІРНІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ | 179 |
| Б.4.1. Загальні відомості..... | 179 |
| Б.4.2. Імпульсні радіонавігаційні далекомірні системи | 179 |
| Б.4.3. Імпульсні радіовисотоміри | 181 |
| Б.4.4. Радіовисотоміри з частотною модуляцією..... | 182 |
| Б.4.5. Різницево-далекомірні радіонавігаційні системи..... | 185 |
| Б.5. АВІАЦІЙНІ ДОПЛЕРІВСЬКІ ВИМІРЮВАЧІ ШЛЯХОВОЇ ШВИДКОСТІ І КУТА ЗНОСУ | 188 |
| Контрольні завдання | 191 |
| Б.6. СУПУТНИКОВІ РАДІОНАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ | 192 |
| Б.6.1. Загальні відомості..... | 192 |
| Б.6.2. Методи навігаційних вимірювань..... | 194 |
| Контрольні завдання | 196 |
| Б.7. ОСНОВНІ ВИМОГИ СПОЖИВАЧІВ ПОСЛУГ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ | 197 |
| Б.7.1. Загальні технічні вимоги | 197 |
| Б.7.2. Вимоги повітряних споживачів до радіонавігаційних систем | 199 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ | 207 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Україномовні аббревіатури

| | |
|-------|--|
| АДП | – аеродромний диспетчерський пункт |
| АЕЗ | – авіаційний електрозв’язок |
| АК | – антенний комутатор |
| АМ | – амплітудна модуляція |
| АНЕЗ | – авіаційний наземний електрозв’язок |
| АО | – амплітудний обмежувач |
| АОЗ | – авіаційний оперативний зв’язок |
| АОК | – авіаційний оперативний контроль |
| АПЕЗ | – авіаційний повітряний електрозв’язок |
| АПЧ | – автопідстроювання частоти |
| АРК | – автоматичний радіокомпас |
| АС | – абонентська станція |
| АЧХ | – амплітудно-частотна характеристика |
| БВДП | – безпосередня взаємодія диспетчерських пунктів |
| БВЧ | – блок високої частоти |
| БД | – блок даних |
| БМ | – балансовий модулятор |
| БДГ | – блок двигуна і гоніометра |
| БНЧ | – блок низької частоти |
| БО | – бортове обладнання |
| БПРС | – ближня привідна радіостанція |
| БРА | – блок рамкових антен |
| БС | – базова станція |
| БЦОМ | – бортова цифрова обчислювана машина |
| БФМ | – багатопозиційна фазова модуляція |
| ВБС | – верхня бічна смуга |
| ВОРЛ | – вторинний оглядовий радіолокатор |
| ВРК | – відлік радіокомпаса |
| ВФМ | – відносна фазова модуляція |
| ВЧ | – високі частоти, високочастотний |
| Г | – гоніометр |
| ГВЧ | – генератор високої частоти |
| ГКН | – генератор керований напругою |
| ГР | – головна радіостанція |
| ГРМ | – глісадний радіомаяк |
| Д | – двигун |
| ДВЧ | – дуже високі частоти |
| ДВШКЗ | – доплерівський вимірювач швидкості і кута зносу |

| | |
|-------|---|
| ДГ | – допоміжний генератор |
| ДЛ | – диференціальна ланка |
| ДКМХ | – декаметрові хвилі |
| ДОЧ | – датчик опорних частот |
| ДП | – диспетчерський пункт |
| ЕІВП | – еквівалентна ізотропна випромінювана потужність |
| ЕМВВС | – еталонна модель взаємодії відкритих систем |
| ЕМС | – електромагнітна сумісність |
| ЕМХ | – електромагнітна хвиля |
| ЕРС | – електрорушійна сила |
| ЗН | – зональна навігація |
| ІК | – істинний курс |
| ІКМ | – імпульсно-кодова модуляція |
| ІНС | – інерціальна навігаційна система |
| ІПЛ | – істинний пеленг літака |
| ІПР | – істинний пеленг радіостанції |
| ІР | – імпульсний радіовисотомір |
| ІРДС | – імпульсна різницево-далекомірна система |
| ІФАПЧ | – імпульсно-фазове автопідстроювання частоти |
| ІФД | – імпульсно-фазовий детектор |
| ІШК | – істинний шляховий кут |
| КВК | – командно-вимірювальний комплекс |
| КВС | – контрольно-вимірювальна система |
| КЕ | – керувальний елемент |
| КЗ | – кут зносу |
| КІП | – колова імовірнісна помилка |
| КК | – компасний курс |
| ККР | – курсовий кут радіостанції |
| КЛА | – космічні літальні апарати |
| КОЦ | – координаційно обчислювальний центр |
| КП | – комутація пакетів |
| КПО | – комутація повідомлень |
| КПР | – керування повітряним рухом |
| КРМ | – курсовий радіомаяк |
| ЛА | – літальний апарат |
| ЛЗШ | – лінія заданого шляху |
| ЛІД | – лінія імпульсних даних |
| ЛІПД | – лінія передачі даних |
| ЛФШ | – лінія фактичного шляху |
| ЛШ | – лінія шляху |
| МК | – магнітний курс |

| | |
|------|---|
| МНР | – магнітний пеленг радіостанції |
| НБС | – нижня бічна смуга |
| МОД | – модулятор |
| МХ | – метрові хвилі |
| МЧ | – множник частоти |
| НВ | – напрямок вітру |
| НШСЗ | – навколосезонний штучний супутник Землі |
| НВЧ | – надвисокі частоти, надвисокочастотний |
| ОБМ | – обмежувач |
| ОГ | – опорний генератор |
| ОМ | – односмугова модуляція |
| ОПР | – обслуговування повітряного руху |
| ПВ | – показник висоти |
| ПВЧ | – підсилювач високої частоти |
| ПЗКД | – подільник із змінним коефіцієнтом ділення |
| ПК | – повітряний корабель |
| ПЛ | – пеленг літака |
| ПНЧ | – підсилювач низької частоти |
| ПП | – підсилювач потужності |
| ППЧ | – підсилювач проміжної частоти |
| ПРД | – передавач |
| ПРМ | – приймач |
| ПРС | – привідна радіостанція |
| РК | – радіокомпас |
| РМ | – радіомаяк |
| РНС | – радіонавігаційна система |
| РНТ | – радіонавігаційна точка |
| РПП | – рамковий погоджувальний пристрій |
| РТЗ | – радіотехнічні засоби |
| РЦ | – районний центр |
| СДК | – система дистанційного керування |
| СПСІ | – станція передачі службової інформації |
| СРНС | – супутникова радіонавігаційна система |
| СС | – станція спостереження |
| ССЗ | – система супутникового зв'язку |
| СФ | – смуговий фільтр |
| СЧ | – синтезатор частот |
| ТТП | – тактико-технічні показники |
| ТХГ | – тахогенератор |
| УКХ | – ультракороткі хвилі, ультракороткохвильовий |
| ФАПЧ | – фазове автопідстроювання частоти |

| | |
|------|--------------------------------|
| ФВБС | – фільтр верхньої бічної смуги |
| ФД | – фазовий детектор |
| ФЗС | – фільтр зосередженої селекції |
| ФМ | – фазова модуляція |
| ФШК | – фактичний шляховий кут |
| ФНЧ | – фільтр низьких частот |
| ЦА | – цивільна авіація |
| ЧД | – частотний детектор |
| ЧМ | – частотна модуляція |
| ЧРВ | – частотний радіовисотомір |
| ШСЗ | – штучний супутник Землі |

Англомовні абрєвіатури

AAC – Aeronautical Administrative Communication (авіаційний адміністративний зв'язок)

A/A – AIR/AIR («повітря–повітря»)

A-BPSK – Aviation Binary PSK (авіаційна двопозиційна фазова модуляція)

ACARS – Aircraft Communication Addressing & Reporting System (система зв'язку повітряних кораблів для адресації і передавання повідомлень)

ASCII – American Standard Code for Information Interchange (Американський стандартний код обміну інформацією)

ADPCM – Adaptive Differential Pulse Code Modulation (адаптивна диференційна ІКМ)

ADS – Automatic Dependent Surveillance (автоматичне залежне спостереження)

AES – Airborne Earth Station (бортова земна станція)

AFS – Aeronautical Fixed service (авіаційна фіксована служба)

AFTN – Aeronautical Fixed Telecommunication Network (мережа авіаційного фіксованого електровз'язку)

A/G – Air/Ground («повітря – земля»)

AIDC – Air Traffic Service Interfacility Data Communications (цифровий зв'язок між центрами ОІР)

AIRSAW – Airborne Situational Awareness (ситуативне уявлення екіпажу про стан ПК та простору навколо нього, в т.ч координати ПК, погода, стан АТМ)

AM/MSK – Amplitude Modulation/Minimum Shift Keying (амплітудна модуляція/маніпуляція з мінімальним фазовим зсувом)

AMRS – Aeronautical Mobile Route Service (авіаційна рухома маршрут-на служба)

AMS – Aeronautical Mobile Service (авіаційна рухома служба)
AMSS – Aeronautical Mobile Satellite Service (авіаційна рухома супутникова служба)
AM/DSB – Amplitude Modulation /Double-Side Band (амплітудна модуляція (AM) з двома бічними смугами або двосмугова AM)
AM/MSK – Amplitude Modulation / Minimum Shift Keying (амплітудна модуляція / маніпуляція з мінімальним фазовим зсувом)
AM/SSB – Amplitude Modulation/Single Side Band (AM з однією бічною смугою або односмугова AM)
AOC – Aeronautical Operation Control (авіаційний оперативний контроль)
APC – Aeronautical Passenger Communication (авіаційний зв'язок для пасажирів)
APDU – Application Protocol Data Unit (блок даних протоколу прикладного рівня)
ARINC – Aeronautical Radio Inc. (компанія ARINC)
ARQ – Automatic Repeat reQuest (автоматичний запит повторної передачі)
ASAS – Airborne Separations Assurance System (додаток збереження безпечної дистанції у повітряному просторі)
A-SMGCS – Advanced Surface Movement Guidance and Control System (система керування і контролю руху по поверхні землі)
ATC – Air Traffic Control (керування повітряним рухом)
ATIS – Automatic Terminal Information Service (автоматичне інформаційне обслуговування в районі аеродрому)
ATM – Air Traffic Management (організація повітряного руху)
ATN – Aeronautical Telecommunication Network (мережа авіаційного електрозв'язку)
ATNR – ATN Router (роутер мережі ATN)
ATS – Air Traffic Service (обслуговування повітряного руху)
ATSC – Air Traffic Service Communication (зв'язок для цілей ОПП)
ATSMHS – Air Traffic Service Message Handling Service (служба обробки повідомлень ОПП)
A-QPSK – Aviation Quaternary Phase-Shift Keying (авіаційна чотирипозиційна фазова маніпуляція)
BER – Bit Error Rate (коефіцієнт розрядних (бітових) помилок)
BOD – Bandwidth On Demand (смуга частот за вимогою)
BPSK – Binary PSK (двопозиційна фазова модуляція)
BSS – Broadcast Satellite Services (радіомовні супутникові служби)
CAA – Civil Aviation Administrations (органи керування цивільної авіації)

CDMA – Code Division Multiple Access (множинний доступ з кодовим розподілом)

CDTI – Cockpit Display of Traffic Information (кабінний дисплей інформації руху)

CELP – Code Excited Linear Prediction (кодове збудження з лінійним завбаченням)

CIDIN – Common ICAO Data Interchange Network (загальна мережа обміну даними ICAO)

CLNP – Connectionless Network Protocol (протокол мережевого рівня без встановлення з'єднання)

CLNS – Connectionless Network Service (послуги мережевого рівня без встановлення з'єднання)

CLTP – Connectionless Transport Protocol (протокол транспортного рівня без встановлення з'єднання)

CM – Context Management (контекстне керування)

CMIP – Common Management Information Protocol (інформаційний протокол загального керування)

CMU – Communications Management Unit (блок керування зв'язком)

CNS/ATN – Communication, Navigation & Surveillance/Air Traffic Management (концепція зв'язку, навігації і спостереження для цілей організації повітряного руху)

CONS – Connection Oriented Network Service (послуги мережевого рівня, орієнтовані на встановлення з'єднання)

COTP – Connection Oriented Transport Protocol (протокол транспортного рівня з встановленням з'єднання)

CPDLC – Controller Pilot Data Link Communication (зв'язок «диспетчер–пілот» по лінії передачі даних)

CRC – Cyclic Redundancy Check (циклічний надлишковий код)

CSC – Common Signaling Channel (канал загальної сигналізації)

CSMA – Carrier Sense Multiple Access (множинний доступ з прослуховуванням несучої)

DCL – Departure Clearances (дозвіл на відправлення)

D8PSK – Differentially Encoded 8-Phase Shift Keying (відносна кодована восьмипозиційна фазова маніпуляція)

DAMA – Demand Assignment Multiple Access (множинний доступ за вимогою)

DDR – Downlink Data Rate (поле інформації в пакеті про швидкість ПД «вниз»)

DGNSS – Differential GNSS (диференційна глобальна система навігації та визначення місцезнаходження)

DGPS – Differential GPS (диференційна глобальна система навігації та визначення місцезнаходження)

DoS – Directory of Services (директорія обслуговування)

DL – Data Link (лінія (канал) передачі даних або лінія (канал) цифрового зв'язку)

DL – Downlink (зв'язок «вниз»)

DL RA – Downlink Random Access (слот кадру зв'язку прямого доступу по лінії «вниз»)

DL RES – Downlink Random Reserved (зарезервовані слот кадру зв'язку прямого доступу по лінії «вниз»)

DPSK – Differential Phase Shift Keying (відносна фазова маніпуляція)

DLS – VDL Mode4 Data Link Services (широкомовна служба зв'язку VDL4)

DLS – Direct Link Service (обслуговування прямого зв'язку в ЛПД HFDL)

DME – Distance Measuring Equipment (обладнання для визначення дальності)

DPSK – Differential Phase Shift Keying (відносна фазова маніпуляція)

DTE – Data Terminal Equipment (кінцеве обладнання даних)

DTMF – Dual Tone Multiple Frequency (двотональний багаточастотний)

DVOR – Doppler VOR (доплерівський всеспрямований маяк)

EIRP – Effective Isotropic Radiated Power (потужність еквівалентного ізотропного випромінювача)

EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service (Європейська геостационарна навігаційна система)

ES – End System (кінцева система)

FAA – Federal Aviation Administration (Федеральне авіаційне управління США)

FANS – Special Committee on Future Air Navigation Systems (Спеціальний комітет з майбутніх аеронавігаційних систем)

FCS – Frame Check Sequence (кадрова контрольна послідовність – аналог CRC)

FDMA – Frequency Division Multiple Access (множинний доступ з частотним розподілом)

FEC – Forward Error Control (пряме виправлення помилок)

FIR – Flight Information Region (район польотної інформації)

FIS – Flight Information Service (польотно-інформаційне обслуговування)

FL – Flight Level (ешелон польоту – висота в сотнях футів)

FMS – Flight Management System (система керування польотом)

FSS – Fixed Satellite Services (фіксовані супутникові служби)

GATEL – Gate Aircraft Terminating Environment Link (канал зв'язку у зоні обслуговування повітряних суден на поверхні аеродрому)

GEO – Geostationary Earth Orbit (геостационарна орбіта)

GES – Ground Earth System (наземна земна станція)

GFSK – Gaussian-filtered Frequency Shift Keying (гаусівська частотна маніпуляція)

G/G – Ground /Ground («земля–земля»)

GLONASS – Global Orbiting Navigation Satellite System (глобальна орбітальна навігаційна супутникова система)

GLONASS – Global Navigation Satellite System (глобальна навігаційна супутникова система)

GNSS – Global Navigation Satellite System(глобальна навігаційна супутникова система)

GPS – Global Positioning System (глобальна система навігації та визначення місцезнаходження)

GRAS – Ground Region Augmentation System (наземна регіональна система доповнення)

GSC – Global Signalling Channel (глобальний канал сигналізації)

HDLC – High Level Data Link Control (високорівневий протокол керування каналом передачі даних)

HF – High Frequency (діапазон високих частот)

HFDL – High Frequency Data Link (ВЧ канал цифрового зв'язку)

HFDR – HF Data Radio (бортова ВЧ радіостанція)

HFDU – HF Data Unit (блок ВЧ даних)

HFGS – HF Ground Station (наземна ВЧ станція)

HDLC – High Level Data Link Control (протокол високорівневого керування каналом передачі даних)

IATA – International Air Transport Association (Міжнародна асоціація повітряного транспорту)

ICAO – International Civil Aviation Organization (Міжнародна організація цивільної авіації)

IDU – Inter Data Unit (внутрішній цифровий блок)

IDRP – Inter-Domain Routing Information Exchange Protocol (протокол міжобласного обміну маршрутною інформацією)

IFL – Inter Facility Link (внутрішній засіб зв'язку)

ILS – Instrumental Landing System (система посадки за приладами (інструментальна))

INMARSAT – International Maritime Satellite Organization (Міжнародна морська супутникова організація)

IP – Internet Protocol (протокол міжмережної передачі даних)

IPX/SPX – Internet Packet Exchange/Sequenced Packet Exchange (протокол міжмережевого пакетного обміну/ впорядкованого пакетного обміну)

IS – Intermediate System (проміжна система)

ICS – Internet Communications Service (служба міжмережевого зв'язку)
ISL – Interstation Signaling Line (лінія міжстанційної сигналізації)
ISDN – Integrated Services Digital Network (цифрова мережа інтегрованого обслуговування)
ISO – International Standardization Organization (Міжнародна організація зі стандартизації)
ITU – International Telecommunications Union (Міжнародний союз з електрозв'язку)
IW – Interworking (взаємодія)
IWF – Interworking Function (функція взаємодії)
LAN – Local Array Network (локальна обчислювальна мережа)
LAP – Link Access Procedure (процедура доступу до каналу передачі даних)
LAPB – Link Access Procedure Balanced (збалансований протокол доступу до каналу передачі даних)
LAPD – LAP D-channel (протокол доступу до D-каналу)
LAPX – LAP eXtension (протокол доступу до каналу у термінальних системах)
LSC – Local Signalling Channel (локальний канал сигналізації)
LLC – Logical Link Control (протокол керування логічним каналом)
LPC – Linear Predictive Coding (кодування з лінійним завбаченням)
LPDU – Link Protocol Data Unit (блок даних протоколу канального рівня)
MAC – Medium Access Control (керування доступом до середовища передачі даних)
MCDU – Multipurpose Control & Display Unit (багатоцільовий блок – індикатор)
MPDU – Medium Access Control Protocol Data Unit (блок даних протоколу підрівня керування доступом до середовища)
MEO – Medium Earth Orbit (середня навколосезна орбіта)
MES – Micro Earth Station (мала земна станція)
M-PSK – Multilevel Phase-Shift Keying (багаторівнева фазова маніпуляція)
MLS – Microwave LS (мікрохвильова система посадки)
MMSS – Mariner Mobile Satellite Service (морська мобільна супутникова служба)
MSAS – Multi-functional Satellite Augmentation System (багатофункціональна супутникова система)
MSK – Minimum Shift Keying (маніпуляція з мінімальним фазовим зсувом)
M-SNDCF – Mobile SubNetwork Independent Convergence Function (мобільна незалежна від підмережі функція конвергенції)
MSS – Mobile Satellite Services (рухомі супутникові служби)

MMSS – Mariner Mobile Satellite Services (морська рухома супутникова служба)

NOTAM – NOTice To AirMen (сповіщення пілотам/авіаспеціалістам)

NPDU – Network Protocol Data Unit (блок даних протоколу мережевого рівня)

NSAP – Network Service Access Point (точка доступу до обслуговування мережевого рівня)

NCS – Network Coordinating Station (координуюча станція)

NSC – Network Service Center (центр обслуговування мережі)

OSI – Open System Interconnection (взаємодія відкритих систем)

PDN – Packet Data Network (мережа пакетної передачі даних)

PDU – Protocol Data Unit (блок даних протоколу)

PTT – Press-to-Transmit (нажати тангенту для передавання при напівдуплексному зв'язку)

PSK – Phase Shift Keying (фазова маніпуляція)

PSTN – Public Switched Telephone Network (громадська комутована телефонна мережа)

GND – Ground Signalling Channel (наземний канал сигналізації)

QoS – Quality of Service (якість обслуговування)

QPSK – Quaternary Phase-Shift Keying (чотирипозиційна фазова маніпуляція)

RCP – Required Communication Performance (необхідні характеристики зв'язку)

RNP – Required Navigation Performance (потрібні навігаційні характеристики)

RSC – Regional Signalling Channel (регіональний канал сигналізації)

SAR – Search and Rescue (пошук та рятування)

SARPs – Standards And Recommended Practices (стандарти та рекомендації щодо їх використання)

SCPC – Single Channel Per Carrier (один канал на несучу)

SDMA – Space Division Multiple Access (множинний доступ з просторовим розподілом)

SITA – Societe Internationale de Telecommunications Aeronautiques (Міжнародне товариство з авіаційного електрозв'язку)

SLC – Synchronous Link Control (протокол контролю синхронних ліній IATA)

SMS – Short Message Service (послуги передачі коротких повідомлень)

SMT – Standard Message Text (стандартний текст повідомлень)

SN – SubNetwork (підмережа)

SNAC – Satellite Network Access (доступ до супутникової мережі)

SNACP – SubNetwork Access Protocol (протокол доступу до підмережі)

SNDCF – SubNetwork Dependant Convergence Function (залежна від підмережі функція конвергенції)

SNICF – SubNetwork Independent Convergence Function (незалежна від підмережі функція конвергенції)

SNICP – SubNetwork Independent Protocol (незалежний від підмережі протокол)

SNMP – Simple Network Management Protocol (протокол спрощеного керування мережею)

SNPA – SubNetwork Point for Attachment (точка приєднання підмережі)

SNPDU – SubNetwork Dependent Protocol Data Unit (залежний від підмережі протокольний блок даних)

SNR – Signal-to-Noise Ratio (співвідношення сигнал/шум)

SNS – Subnetwork Service (підмережа обслуговування)

SNSDU – Subnetwork Service Data Unit (блок службових даних підмережі)

SSB – Single Side Band (модуляція з однією бічною смугою)

SSND – Satellite Subnetwork Dependent Protocol (залежна від супутникової підмережі функція)

SSNDP – Satellite Subnetwork Dependent Protocol (залежний від супутникової підмережі протокол)

SSR Mode S – Secondary Surveillance Radar Mode S (вторинний оглядовий радіолокатор режиму S)

SPDU – Squitter PDU (сквітер пакету даних HFDL)

STDMA – Self-organizing Time Division Multiple Access (множинний доступ з самоорганізованим часовим розподілом)

TIS-B – Traffic Information Service Broadcast (широкомовна служба інформування екіпажу про спостереження повітряної обстановки за даними радарів)

TCP – Transmission Control Protocol (протокол керування передачею даних)

TMA – Terminal Movement Area (термінальна зона руху)

TT&C – Telemetry Tracking and Telecommand (станція телеметрії, спостереження і керування)

TPDU – Transport Protocol Data Unit (блок даних протоколу транспортного рівня)

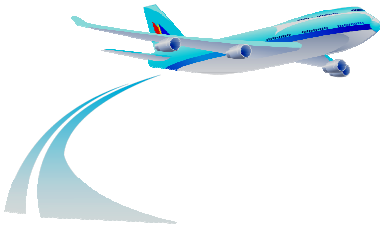
TDM – Time Division Multiplexing (ущільнення з часовим розподілом)

TDMA – Time Division Multiple Access (множинний доступ з часовим розподілом)

UDR – Uplink Data Rate (поле інформації в пакеті про швидкість ПД «вгору»)

UHF – Ultra High Frequency (діапазон ультрависоких частот)

UL – Uplink (зв'язок «вгору»)
ULCS – Upper Layer Communications Service (служба зв'язку верхнього рівня)
UTC – Universal Coordinated Time (всесвітній координований час)
VCS – Voice Communication System (система мовного зв'язку)
VSS – VDL Mode4 Specific Services (служба зв'язку VDL4 «точка–точка»)
VDL – Very High Frequency Data Link (ДВЧ канал цифрового зв'язку)
VDR – VHF Datalink Radiocommunication (цифровий ДВЧ радіо-зв'язок)
VHF – Very High Frequency (діапазон дуже високих частот)
WAAS – Wide Area Augmentations System (широкозонна система)
XID – Exchange Identity frames (розширена ідентифікація кадрів)



ВСТУП

Сучасна радіоелектроніка є потужним рушієм науково-технічного прогресу. Методи і засоби радіоелектроніки широко застосовують в усіх галузях науки і техніки, народному господарстві, військовій справі, культурі та побуті. Сучасна радіоелектроніка – це комплекс галузей застосування, який включає разом з радіотехнікою і електронною технікою оптоелектроніку, рентгеноелектроніку, гамма-електроніку та ін. Творцем і засновником радіотехніки є наш співвітчизник Олександр Степанович Попов.

Найбільшому винаходу О. С. Попова (1897) передували фундаментальні роботи вчених-фізиків, які створили класичну теорію електродинаміки і передбачили існування електромагнітних хвиль. Велика заслуга О. С. Попова полягає передусім у тому, що він показав, яким чином можна використовувати досягнення електродинаміки для передавання повідомлень на відстань за допомогою електромагнітних хвиль, створивши першу в світі лінію радіозв'язку.

XX століття, особливо його кінець, і початок XXI століття ознаменувалися швидким розвитком радіотехніки як за кількістю, так і за якістю та складністю функцій, що виконуються радіотехнічними системами і засобами. Потреби радіотехніки сприяли розвитку електронної техніки, і навпаки, поява нових електронних приладів, особливо надвисокочастотних і квантових електронних лазерів, мазерів та інших привела до стрімкого розширення можливостей радіоелектроніки. Тому поняття «радіотехніка» стали замінювати більш широким поняттям – «радіоелектроніка».

Радіотехніка – галузь науки і техніки, яка пов'язана з генерацією, випромінюванням, прийманням і перетворенням електромагнітних хвиль радіодіапазону.

Згідно з прийнятою класифікацією до радіохвиль належать електромагнітні коливання з довжиною хвилі $\lambda \geq 10^{-4}$ (м). Електромагнітні випромінювання з довжиною хвилі $10^{-8} \leq \lambda \leq 10^{-4}$ (м) належать до оптичного діапазону, випромінювання з довжиною хвилі $10^{-11} \leq \lambda \leq 10^{-8}$ (м) – до рентгенівського, а електромагнітні випромінювання з довжиною хвилі $\lambda < 10^{-4}$ (м) – до гамма-діапазону. Відповідно галузі науки і техніки, які пов'язані з генерацією, випромінюванням, прийманням і перетворенням електромагнітних хвиль, що виходять за межі радіохвиль, належать не до радіотехніки, а до оптоелектроніки, рентгеноелектроніки і гамма-електроніки.

Сучасна радіоелектроніка включає всі названі галузі науки і техніки, а також акустоелектроніку, до якої належать акустичні (пружні) коливання ($f \leq 30$ кГц), електровз'язок і електронну обчислювальну техніку.

Серед різних завдань, що вирішуються радіоелектронікою, одне з найважливіших – передавання повідомлень (інформації) від джерела до одержувача на значні відстані за допомогою електромагнітних хвиль, які вільно поширюються у просторі (радіомовлення, службовий радіозв'язок, телебачення та інші види радіозв'язку). Ця галузь застосування радіоелектроніки, яка називається радіозв'язком, набула найбільшого поширення. Проникнення у космічний простір було б неможливе без розвитку космічного радіозв'язку і радіокерування.

Бурхливий розвиток засобів зв'язку останнім часом привів до корінної зміни як елементної бази, так і принципів передавання, приймання та обробки інформації. Особливо це стосується систем передавання даних. Нині розробляються дедалі нові й нові високоєфективні телекомунікаційні системи різного призначення. Найбільш бурхливо розвивається галузь авіаційного електровз'язку, яка охоплює системи зв'язку та передавання даних дуже високих частот (ДВЧ), супутникові канали зв'язку та інші системи.

Новітні технології систем мобільного авіаційного електровз'язку, стандарти та рекомендації в цій галузі, структура та організація систем знаходять відображення в різних періодичних виданнях, проспектах фірм, науково-технічних збірниках і журналах, документах ІСАО, Міжнародного союзу з електровз'язку ІТУ (International Telecommunication Union), Міжнародного консультативного комітету з телефонії і телеграфії та ін.

Набули широкого розвитку і такі галузі радіоелектроніки, як радіолокація, радіонавігація, радіокерування та багато інших.

Радіолокація – виявлення, розпізнавання і визначення координат рухомих або нерухомих об'єктів за допомогою випромінюваних або відбитих цими об'єктами електромагнітних радіохвиль. Разом з радіолокацією розвивається акустична локація, де носієм інформації про об'єкти є акустичні хвилі.

Радіонавігація – водіння рухомих об'єктів (літальних апаратів, морських та річкових суден, підводних і інших об'єктів) за допомогою методів і засобів радіоелектроніки.

Радіокерування – керування процесами або об'єктами, пристроями (повітряними кораблями (ПК), ракетами, снарядами, морськими суднами та іншими рухомими об'єктами) за допомогою методів і засобів радіоелектроніки.

Оснащення літаків сучасним обладнанням, зокрема й радіонавігаційним, дає змогу виконувати польотні завдання в різних умовах застосування авіації з високою ефективністю.

Завдання літаководіння відрізняються винятковою різноманітністю і вирішуються за допомогою великого переліку радіонавігаційних пристроїв і систем. Навігаційні системи і пристрої призначені для вимірювання параметрів руху об'єктів відносно Землі, небесних тіл або навколишнього середовища на всіх етапах процесу навігації. Їх застосовують для навігації підводних човнів, сухопутного транспорту, літаків, ракет, космічних кораблів і роботів на інших планетах. Чим важчі і складніші умови навігації, тим більша роль навігаційних систем і пристроїв.

До навігаційних пристроїв належать датчики первинної інформації, перетворювальні й обчислювальні пристрої, системи відображення інформації і органи керування. Завдяки використанню новітніх досягнень в галузі науки і техніки застосовують більш різноманітні і досконалі навігаційні пристрої, що ґрунтуються на автономних і неавтономних методах вимірювання. Особливо велику увагу почали приділяти розвитку таких автономних навігаційних пристроїв, як астрономічні орієнтатори, інерціальні, доплерівські, курсові системи тощо, які вимірюють параметри поступального і обертального рухів об'єкта.

Зростання швидкостей, висот і дальності польоту, а також необхідність підвищення надійності і точності вирішення навігаційних

завдань, особливо під час виконання польотів уночі, у складних метеорологічних умовах і над безорієнтирною місцевістю зумовлюють високі вимоги до теорії навігації, навігаційних методів, засобів і методики їх застосування.

Із виведенням космічних кораблів у космічний простір ще більше розширилася галузь застосування засобів навігації. Потрібним стало виконання нових, властивих космічним польотам навігаційних завдань, підвищились вимоги до комплексних систем навігації.

Інтенсивний розвиток усіх видів транспорту, особливо літальних і космічних апаратів, морських суден, автомобілів, а також засобів автоматизованого устаткування (роботів, гнучких переналагоджуваних виробництв), супроводжується безперервним підвищенням вимог до точності, надійності і автономності навігаційних засобів. Навігаційні засоби є складним комплексом технічних пристроїв і систем, що ґрунтуються на новітніх досягненнях автоматичної, радіоелектроніки, обчислювальної та іншої техніки.

Цей навчальний посібник містить два модулі: 1) системи зв'язку і 2) системи навігації, що складаються з двох розділів.

У першому розділі узагальнено матеріали з основ побудови супутникових та радіосистем авіаційного електрозв'язку, які опубліковано у багатьох закордонних та вітчизняних літературних джерелах. Перспективні супутникові системи зв'язку широко використовують для побудови регіональних та глобальних телекомунікаційних систем. Через обмежений обсяг навчального посібника головну увагу приділено трьом основним темам:

- ✓ системам зв'язку;
- ✓ цифровій мережі авіаційного електрозв'язку АТН;
- ✓ системам глобального авіаційного мобільного супутникового зв'язку.

У другому розділі подано загальні відомості про авіаційні радіонавігаційні пристрої і системи, опис методів та видів навігації, принципи дії радіонавігаційних пристроїв і систем. У підрозділах, присвячених авіаційним навігаційним пристроям та системам, розглянуто автоматичні радіокомпаси, радіомаяки, глісадні радіомаяки, курсові радіомаяки, радіонавігаційні далекомірні системи і пристрої, імпульсні радіонавігаційні далекомірні системи, імпульсні радіовисотоміри, радіовисотоміри з частотною модуляцією, різницево-далекомірні радіонавігаційні системи, авіаційні доплерівські

вимірювачі шляхової швидкості й кута зносу, супутникові радіонавігаційні системи.

Автори вдячні рецензентам професорам А. Е. Асланяну, С.Я. Жуку і Г.Ф.Конаховичу за слушні зауваження та висловлюють щире подяку студентам: І. А. Ковальчук, Н. А. Неклюдовій, М. П. Гальовському, В. В. Уланову й Л. В. Бурлаці за суттєву допомогу в оформленні видання.

Модуль I

СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ

Розділ А. МЕРЕЖІ ТА СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ



А.1. ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА МЕТОДИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЧАСТОТИ АВІАЦІЙНИХ РАДІОСТАНЦІЙ

А.1.1. Організація та структура авіаційного електрозв'язку

Організація авіаційного електрозв'язку здійснюється згідно з вимогами чинного законодавства України, нормативно-правових актів, які регулюють діяльність цивільної авіації (ЦА) України, положень Конвенції про міжнародну цивільну авіацію.

Основні призначення авіаційного електрозв'язку:

- ✓ обмін повідомленнями між органами обслуговування повітряного руху (ОПР) та повітряними кораблями (ПК) протягом усього польоту;
- ✓ взаємодія органів ОПР під час планування використання повітряного простору України та ОПР;
- ✓ взаємодія між службами підприємств, організацій та установ ЦА під час передавання (приймання) адміністративної та виробничої інформації;
- ✓ автоматизований обмін даними з ПК та наземними користувачами, які забезпечують польоти;
- ✓ передавання (приймання) повідомлень, які містять оперативну метеорологічну інформацію;
- ✓ взаємодія з підрозділами відповідних органів Міністерства оборони України, Міністерства надзвичайних ситуацій України, Міністерства внутрішніх справ України та інших центральних органів виконавчої влади.

До авіаційного електрозв'язку ставляться такі основні вимоги: своєчасність організації мереж авіаційного електрозв'язку та встановлення електрозв'язку, швидкість обміну повідомленнями, надійність та вірогідність передавання інформації, ефективність та економічність зв'язку.

Організаційна структура авіаційного електрозв'язку. В цілому функціонування авіаційного електрозв'язку забезпечують:

- ✓ авіаційна фіксована служба (AFS);
- ✓ авіаційна рухома служба (AMS);
- ✓ служба авіаційного радіомовлення;
- ✓ авіаційна рухома супутникова служба (AMSS).

Організаційно до складу авіаційного електрозв'язку входять авіаційний наземний електрозв'язок та авіаційний повітряний електрозв'язок.

Авіаційний наземний електрозв'язок є основним засобом забезпечення взаємодії органів ОНР, підприємств ЦА в процесі виробничої діяльності, він організовується згідно з прийнятою структурою ОНР України та структурою виробничо-технологічної діяльності кожного підприємства, організації та установи ЦА, а також з урахуванням положень Правил авіаційного електрозв'язку в цивільній авіації України 2003 р.

Для організації авіаційного наземного електрозв'язку застосовуються засоби проводового електрозв'язку, радіозв'язку, радіорелейного зв'язку, супутникового електрозв'язку та ін.

Авіаційний наземний електрозв'язок поділяють на такі види:

- ✓ авіаційний телефонний електрозв'язок;
- ✓ авіаційний телеграфний електрозв'язок;
- ✓ авіаційний електрозв'язок автоматизованого обміну даними.

Авіаційний повітряний електрозв'язок є основним засобом зв'язку органів ОНР з екіпажами ПК (двосторонній електрозв'язок «повітря–земля») та між екіпажами ПК, які перебувають у польоті, а також засобом отримання сигналів радіомаяків з місця лиха. Його організовують згідно зі структурою повітряного простору України, визначеною державними нормативними документами. В органах ОНР, підприємствах, організаціях та установах ЦА на підставі прийнятої структури повітряного руху розробляють схеми організації авіаційного повітряного електрозв'язку.

Авіаційний повітряний електрозв'язок у ЦА України призначається для таких видів обслуговування:

- ✓ районного диспетчерського ОНР;
- ✓ диспетчерського обслуговування підходу;
- ✓ аеродромного диспетчерського обслуговування повітряного руху;

- ✓ польотно-інформаційного обслуговування;
- ✓ для рятувальних та пошуково-рятувальних робіт;
- ✓ для автоматизованого обміну даними;
- ✓ для виробничо-комерційної діяльності.

Для двостороннього електрозв'язку «повітря–земля» органів ОПР з екіпажами ПК використовується радіотелефонний зв'язок і (або) автоматизований обмін цифровими даними.

Авіаційний повітряний електрозв'язок здійснюється засобами авіаційного радіозв'язку діапазону ДВЧ і як резервними, так і іншими засобами авіаційного радіозв'язку. Засоби авіаційного радіозв'язку діапазону ДВЧ є основними.

Перелік каналів авіаційного повітряного електрозв'язку, їхні радіодані та режими роботи наводяться у збірниках аеронавігаційної інформації.

Засоби авіаційного повітряного електрозв'язку диспетчерського ОПР мають забезпечувати:

- ✓ прямий, оперативний, безперервний та вільний від радіозавад двосторонній електрозв'язок «повітря–земля»;
- ✓ постійну готовність до роботи без пошуків і частотного підстроювання та можливість циркулярного передавання повідомлень;
- ✓ високу якість електрозв'язку.

Можливе також використання вибіркового виклику ПК.

Правила авіаційного електрозв'язку в ЦА ставлять вимоги до надійності авіаційного повітряного електрозв'язку. Авіаційний радіозв'язок з ПК вважається втраченим, якщо протягом 5 хв з використанням усіх можливих каналів авіаційного повітряного радіотелефонного зв'язку на неодноразові виклики по кожному з них екіпаж (диспетчер) не відповідає. У разі порушення авіаційного радіозв'язку екіпаж ПК і орган ОПР повинні вжити відповідних заходів для його відновлення. Для забезпечення стійкого та надійного авіаційного повітряного електрозв'язку обладнання кожної авіаційної станції має бути резервованим.

У разі потреби мають здійснюватися організаційно-технічні заходи щодо збільшення дальності та забезпечення стійкості авіаційного радіотелефонного зв'язку з ПК. Такими заходами залежно від умов є:

- ✓ використання височин на місцевості та висотних споруд для розташування на них засобів авіаційного радіотелефонного зв'язку діапазону ДВЧ;
- ✓ застосування засобів авіаційного радіотелефонного зв'язку діапазону ДВЧ підвищеної потужності та спеціальних антен;
- ✓ організація винесених на траси польотів ретрансляторів діапазону ДВЧ, які дистанційно керуються з пунктів ОПР;
- ✓ упродовження в експлуатацію новітніх засобів авіаційного радіотелефонного зв'язку та авіаційного супутникового електрозв'язку;
- ✓ використання для авіаційного повітряного електрозв'язку радіочастот, які захищені від джерел радіозавад та відповідають вимогам електромагнітної сумісності.

А.1.2. Вимоги до бортових засобів зв'язку

Параметри сучасних радіостанцій повинні задовольняти вимоги ІСАО.

Основні параметри засобів зв'язку. Якість передавання інформації системи зв'язку в цілому залежить від параметрів радіостанції (засобів зв'язку), які утворюють цю систему зв'язку. Параметрами, які характеризують ту чи іншу радіостанцію, є:

- ✓ клас випромінювання;
- ✓ кількість каналів зв'язку;
- ✓ стабільність частоти;
- ✓ потужність випромінювання передавача радіостанції;
- ✓ чутливість приймача радіостанції;
- ✓ ширина пропускання приймача;
- ✓ величина загасання бічних випромінювань.

Під класом випромінювання розуміють вид сигналів на виході передавачів або на вході приймачів. В авіаційних радіостанціях клас випромінювання – це рід робіт, позначається трьома і більше знаками. Клас випромінювання характеризується типом модуляції (амплітудна, односмугова, частотна, фазова, імпульсна); характером сигналів, які модулюють головну несучу (аналоговий, дискретний, цифровий); видом інформації, яка передається (телефонія, телеграфія, дані і т. ін.).

Для детальнішої класифікації радіовипромінювання обов'язковий трьохзначний символ доповнюють двома знаками: особливістю сигнала

лів, які передаються (типи кодів, телеграфної передачі, телевізійного сигналу); видом ущільнення (частотне, часове, комбіноване).

Вимоги до параметрів бортових радіостанцій метрового діапазону. Під *діапазоном робочих частот* розуміють область радіочастот, у межах якої радіостанція може дискретно перестроюватися. Розподіл частот – досить складна проблема і регламентується міжнародною згодою. Крок ґратки частот визначає, з якою дискретністю перестроюється радіостанція в межах робочого діапазону. Нормами ІСАО визначаються як робочий діапазон, так і крок ґратки частот. Натепер діапазон частот, який призначений для радіозв'язку на метрових хвилях (МХ), становить 118...137 МГц. Для радіостанцій діапазону МХ прийнято клас випромінювання АЗЕ, що означає амплітудну модуляцію з двома боковими смугами з використанням одного каналу аналогових сигналів для передачі телефонного (неперервного) повідомлення.

Стабільність частоти – параметр, який значною мірою визначає якість зв'язку. Допустимі відхилення частот кількісно характеризуються відношенням $\frac{\sum \Delta f}{f}$, де $\sum \Delta f$ – сумарне відхилення частоти Δf , яке за нормами ІСАО не повинно перевищувати $\pm 0,0005\%$ від присвоєної частоти f .

Кількість фіксованих частот у межах робочого діапазону радіостанцій метрового діапазону визначається кроком ґратки частот. Нормами ІСАО допускається рознесення каналів діапазону МХ 100, 50, 25 і 8,33 кГц. Але зараз застосовують рознесення каналів 25 кГц (радіостанції старого парку) і рознесення при 8,33 кГц, який визначається часткою від ділення 25 кГц на 3. Перехід на частотні присвоєння з кроком ґратки частот дозволяє збільшити кількість каналів з 760 до 2280 і втричі – роздільну здатність зв'язку в діапазоні МХ.

Потужність радіостанції залежить від її призначення і діапазону робочих частот. Часто для бортових радіостанцій обмежується величина потужності через неможливість розміщення на ПК великогабаритних і високоефективних антен, збільшення напруги у вихідних каскадах передавача тощо. У більшості випадків ефективна випромінювана потужність повинна бути такою, щоб створювати напруженість поля в точці приймання не менше 20 мкВ/м (густина потоку потужності мінус 120 дБ·Вт/м²) з розрахунку поширення у

вільному просторі на відстанях та висотах, які відповідають робочим умовам експлуатації ПК.

Коефіцієнт глибини модуляції передавача повинен бути не меншим ніж 0,85 за наявності систем утримання постійного значення цього коефіцієнта.

Під *чутливістю* розуміють мінімальний рівень сигналу на вході приймача, за якого забезпечується нормальна робота вихідних каскадів бортового приймача, а відношення сигнал/шум на виході детектора більше або дорівнює трьом (10 дБ). Нормами передбачено, що напруженість поля на вході приймача має бути не меншою за 75 мкВ/м (густина потоку потужності мінус 109 дБ·Вт/м²).

Ширина смуги пропускання приймача залежить від спектра частот сигналів, які приймаються, рівня шумів, класу випромінювання, стабільності частот синтезатора і швидкості польоту ПК. Вимоги до ширини смуги пропускання бортової радіостанції визначають смугу ефективного приймання у разі відхилення від несучої частоти не більше ніж на 8 кГц.

Потреба визначати величину придушення бічних випромінювань виникає через недосконалість радіопередавачів, у яких, крім головних випромінювань, генеруються ще й бічні випромінювання на гармоніках (паразитні, комбінаційні та інтермодуляційні).

Придушення бічних каналів. Приймач радіостанцій забезпечує ефективне придушення бічних каналів таким чином:

✓ в умовах рознесення каналів 25 кГц: 50 дБ і більше в разі відхилення 25 кГц від присвоєної частоти і 40 дБ або більше за відхилення 17 кГц;

✓ в умовах рознесення каналів 50 кГц: 50 дБ і більше в разі відхилення 50 кГц від присвоєної частоти і 40 дБ або більше за відхилення 35 кГц;

✓ в умовах рознесення каналів 100 кГц: 50 дБ і більше в разі відхилення 100 кГц від присвоєної частоти.

На практиці приймач повинен забезпечити характеристику ефективного придушення бічних каналів на 60 дБ і більше за відхилення 25, 50 і 100 кГц від присвоєної частоти; це стосується приймачів, які призначені для роботи в умовах рознесення каналів 25, 50 і 100 кГц відповідно.

Нижче наведено вимоги ІСАО до радіостанцій метрових і декаметрових хвиль.

А.1.3. Вимоги до параметрів бортових радіостанцій декаметрових хвиль

У додатку 10 Конвенції про міжнародну ЦА (том 3) наведено вимоги ІКАО до характеристик бортових високочастотних (ВЧ) засобів [5]. Характеристики бортових радіостанцій ВЧ діапазону «повітря – земля», які використовуються в авіаційній рухомій службі, мають відповідати таким технічним вимогам.

В односмуговому режимі (*SSB*) радіостанції повинні працювати на будь-якій несучій (опорній) частоті, що є у розпорядженні авіаційної рухомої (*R*) служби в діапазоні частот 2,8...22,0 МГц, необхідної для виконання затвердженого плану присвоєння частот по регіонах, у яких передбачено використовувати цю систему радіозв'язку. Причому ця частота відповідає положенням Регламенту радіозв'язку.

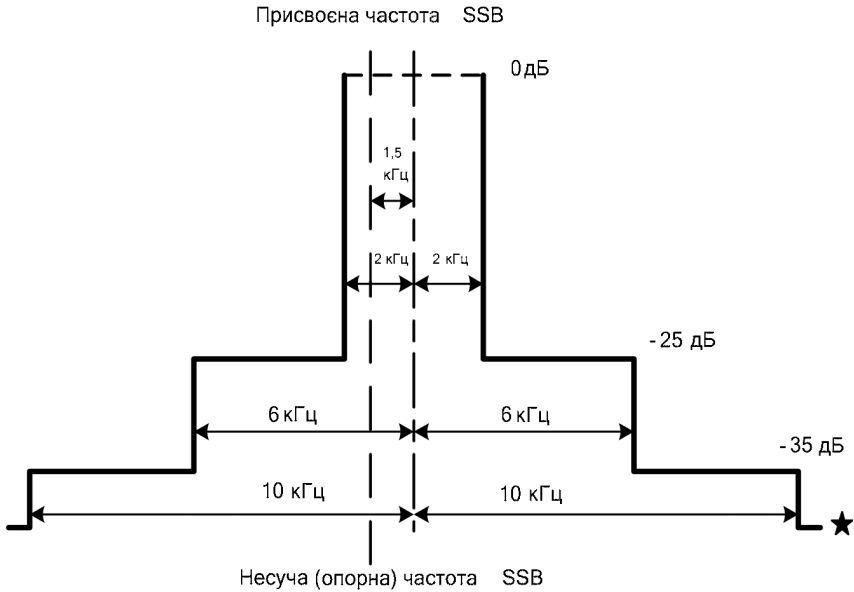
Кількість каналів у діапазоні декаметрових хвиль (ДКМХ) – близько 280000 з дискретним кроком частоти 100 Гц. Тобто бортове обладнання ДКМХ має працювати із ґраткою з дискретним кроком частоти 100 Гц.

Для передавання (приймання) використовується бічна смуга (рис. А.1.1), що лежить у верхній частотній половині каналу відносно несучої (опорної) частоти. Як показано на рисунку, передавачі авіаційних станцій подавляють несучу на 40 дБ щодо максимальної потужності обвідної для P_m до класу випромінювання J3E, J7B або J9B.

Для радіотелефонних передач звукові частоти обмежуються смугою від 300 до 2700 Гц для класу випромінювання J3E.

Смуга частот і обмеження рівня потужності. Для тих типів бортових передавачів, станцій і передавачів авіаційних станцій, що працюють на одній бічній смузі з використанням класів випромінювань H2B, H3E, J3E, J7B або J9B, середня потужність будь-якого випромінювання на будь-якій дискретній частоті менша від середньої потужності P_m передавача за дотримання таких умов:

- ✓ на будь-якій частоті, що зміщена відносно присвоєної частоти на значення від 2 до 6 кГц, – принаймні 25 дБ;
- ✓ на будь-якій частоті, що зміщена відносно присвоєної частоти на значення від 6 до 10 кГц, – принаймні 35 дБ;
- ✓ на будь-якій частоті, що зміщена відносно присвоєної частоти на значення від 10 кГц.



- ★ Передавачі бортових станцій: - 40 дБ
- Передавачі авіаційних станцій: - $[43 + 10 \lg P_m (\text{Вт})]$ дБ

Рис. А.1.1. Межі спектра частот (виражені через середню потужність) усіх типів передавачів бортових станцій ДКМХ і передавачів авіаційних станцій

Для бортових радіостанцій рівні потужності передавачів мають бути (рис. А.1.1):

- а) бортових станцій – 40 дБ;
- б) авіаційних – $[43 + 10 \lg P_m (\text{Вт})]$ дБ.

Класи випромінювання J3E, J7B або J9B характеризують одно-смугові режими (SSB). Символ J означає односмуговий режим з подавленою несучою, символ 7 – два або більше каналів, що передають квантовану або цифрову інформацію, символ 9 – складну систему з одним або декількома каналами, що передають квантовану або цифрову інформацію спільно з одним або декількома каналами аналогової інформації. Третій символ B означає телеграфний режим для автоматичного приймання.

Вимоги до точності настроювання частоти. Стабільність основної частоти для забезпечення функції передавання для класів

випромінювань J3E, J7B або L9B є такою, що різниця між фактичною несучою частотою передачі і несучою (опорною) частотою не повинна перевищувати: 20 Гц для бортового обладнання; 10 Гц для наземного. Короткочасна нестабільність частоти допускається не більше $4 \cdot 10^{-7}$.

Чутливість приймача є мірою здатності приймача приймати слабкі сигнали з достатніми рівнем і якістю. Чутливість приймача з однією бічною смугою (несучою) не повинна перевищувати 0,5 мВ (-113 дБ/м) за співвідношення сигнал/шум не більшим від 10 дБ.

Потужність випромінювання. *Обладнання авіаційних станцій.* Відповідно до додатка 27 Регламенту радіозв'язку максимальна потужність обвідної P_m , що подається на антену, для класів випромінювання H2B, H3E, J3E, J7B або J9B має не перевищувати максимального значення 6 кВт.

Обладнання бортових станцій. Максимальна потужність обвідної, що подається на антену, для класів випромінювання H2B, H3E, J3E, J7B або J9B не перевищує 400 Вт.

А.1.4. Способи і види організації зв'язку

Для організації авіаційного радіозв'язку застосовують такі види ведення зв'язку (рис. А.1.2):

– дуплексний зв'язок – вид зв'язку, за якого інформація передається одночасно в обох напрямках каналу зв'язку (можливий напівдуплексний зв'язок, коли зв'язок між двома станціями відбувається по черзі по незалежних каналах у прямому і зворотному напрямках, як при симплексному зв'язку);

– симплексний зв'язок – вид зв'язку, за якого інформація передається по черзі в одному напрямку каналу зв'язку (можливий одноканальний симплексний зв'язок, тобто симплексний зв'язок з використанням одного частотного каналу в обох напрямках);

– циркулярна передача – одночасне передавання інформації, яка не адресована конкретній станції або станціям зв'язку. Така передача може бути з підтвердженням і без підтвердження прийому інформації;

– передача «наосліп» – передавання інформації з однієї станції зв'язку до іншої в умовах, коли встановити двосторонній зв'язок неможливо, але припускається, що станція, яку викликають, може прийняти інформацію.

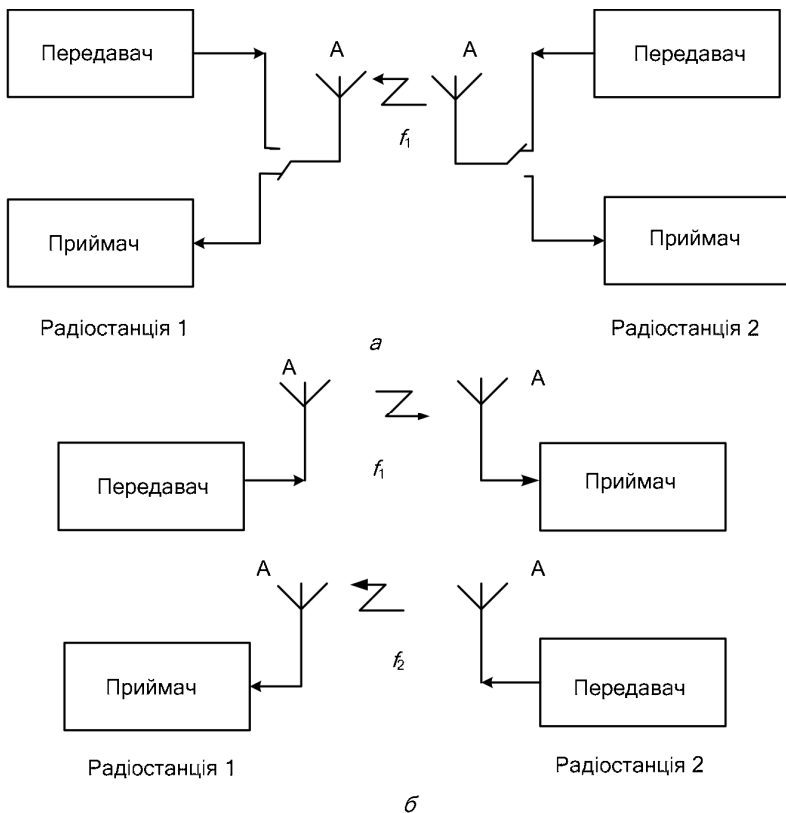


Рис. А.1.2. Схема організації зв'язку:
а – симплексна; *б* – дуплексна

За дуплексного радіозв'язку передача в одному і в другому напрямках ведеться зазвичай на різних несучих частотах. Це роблять для того, щоб приймач приймав сигнали тільки від передавача з протилежного пункту і не приймав сигналів власного передавача. Симплексний зв'язок використовують, як правило, за наявності відносно невеликих інформаційних потоків. Для об'єктів з великим навантаженням характерний дуплексний зв'язок.

Способи організації зв'язку: радімережа і радіонапрямок. Якщо необхідно мати радіозв'язок з великою кількістю об'єктів, організують радімережу (рис. А.1.3, *а*). Одна радіостанція, яка називається головною, може передавати повідомлення як для одного, так і для

декількох підлеглих об'єктів. Її радіооператор слідкує за порядком у радіомережі і встановлює черговість роботи на передачу до підлеглих станцій. Останні за відповідного дозволу можуть обмінюватися інформацією не тільки з головною радіостанцією, а й між собою.

Спосіб організації зв'язку між двома кореспондентами називається радіонапрямком і застосовується для забезпечення передавання великих потоків повідомлень. При цьому застосовується звичайний дуплексний зв'язок на різних частотах приймання й передавання (рис. А.1.3, б).

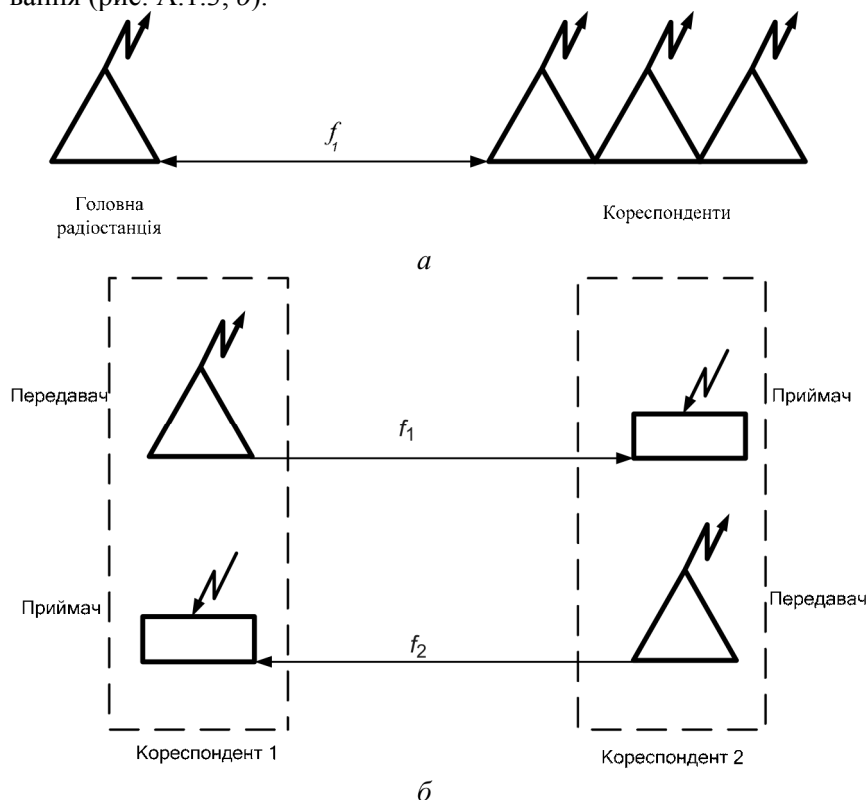


Рис. А.1.3. Способи організації зв'язку

Дальність зв'язку визначається потужністю передавачів і чутливістю приймачів, а також умовами поширення радіохвиль, які неоднакові для МХ і ДКМХ. Відомо, що МХ поширюються прямолі-

нійно, і дальність зв'язку в діапазонах МХ обмежується дальністю прямої видимості. Найбільш ефективним способом збільшення дальності зв'язку на ДВЧ є використання автоматичних активних ретрансляторів. Активний одноканальний ретранслятор будується на базі двох ДВЧ радіостанцій (рис. А.1.4). Ретранслятор можна встановлювати на літаку, вертольоті або підвішувати на повітряній кулі. Він приймає сигнали на одній частоті і ретранслює на іншій.

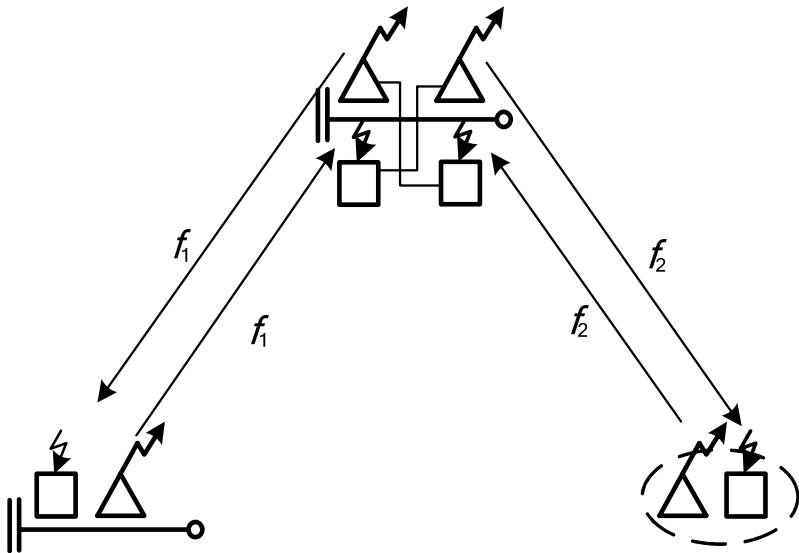


Рис. А.1.4. Організація радіозв'язку по радіонапрямку з використанням ретранслятора

У короткохвильовому діапазоні дальність зв'язку визначається дальністю поширення просторових радіопромінів і технічними параметрами передавача, приймача й антенно-фідерного пристрою.

А.1.5. Структурні схеми каналів радіозв'язку

У каналі радіозв'язку (рис. А.1.5) сигнали формуються модуляцією параметрів несучого коливання. Несуче коливання $u(t)$ являє собою коливання постійної амплітуди U_m з фазою, що змінюється лінійно, тобто

$$u(t) = U_m \cos \varphi(t),$$

де $\varphi(t) = \omega_0 t$, а ω_0 – частота несучого коливання.

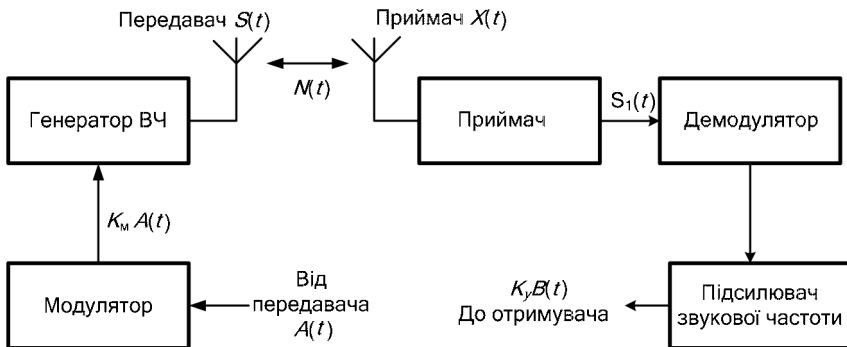


Рис. А.1.5. Структурна схема каналу радіозв'язку

Розрізняють три основні параметри повідомлення, що піддаються модуляції: амплітуду, частоту й фазу. Розглянемо ті види модуляції, які широко застосовуються в авіаційному радіозв'язку. При цьому будемо вважати амплітудну й частотну телеграфії як окремі випадки амплітудної й частотної модуляції, коли модулювальний процес має два дискретні значення амплітуди ($0, U_m$) в амплітудній телеграфії й два значення частоти (f_1, f_2) у частотній телеграфії.

А.1.5.1. Канал радіозв'язку з амплітудною модуляцією

Структурну схему каналу з амплітудною модуляцією показано на рис. А.1.6. Модуляція несучого коливання відбувається в каскадах підсилювача потужності передавача, що несе коливання, яке надходить від збудника. Фільтр після підсилювача потужності виділяє корисний спектр модульованого сигналу перед подачею його до антени й погоджує вихід цього підсилювача з антеною. У приймальному тракті роль демодулятора виконує амплітудний детектор. Сигнал на виході передавача має вигляд

$$S(t) = U_m [1 + ma(t)] \cos \omega_0 t,$$

де $0 \leq m \leq 1$ – коефіцієнт амплітудної модуляції; $a(t) = A(t)/A_{\max}$ – нормований модулювальний сигнал джерела ($|a(t)| \leq 1$).

Спектр сигналу $S(t)$ містить несуче коливання з амплітудою $U(t)$ і дві бічні смуги, що повторюють за формою спектр коливання, що модулює, $A(\Omega)$.

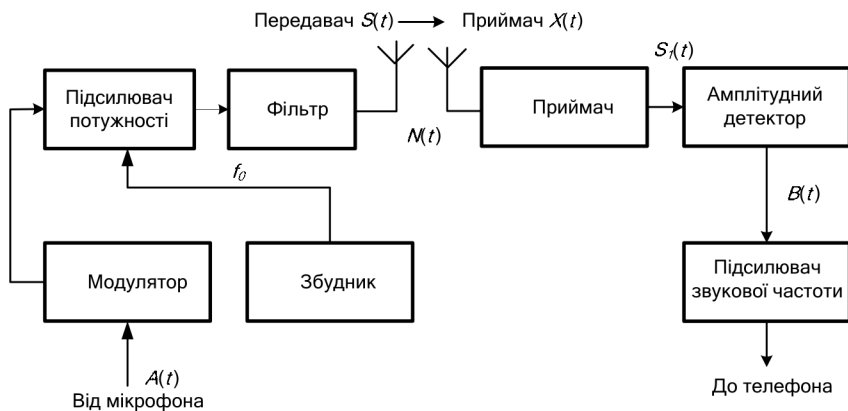


Рис. А.1.6. Канал радіозв'язку з амплітудною модуляцією

Для передачі аналогових (мовних) сигналів (телефонія) модуляція здійснюється мовним сигналом із смугою в межах від $F_{\min} = 300$ Гц до $F_{\max} = 3400$ Гц і умовною формою спектра, що зображена на рис. А.1.7, а. У цьому випадку спектр АМ сигналу буде мати вигляд, показаний на рис. А.1.7, б.

Смуга сигналу з АМ дорівнює $\Delta f = 2F_{\max}$. У загальному випадку в складі спектра АМ сигналу містяться три групи складових:

- ✓ несуча частота f_0 ;
- ✓ нижня бічна смуга від $f_0 - F_{\max}$ до $f_0 - F_{\min}$;
- ✓ верхня бічна смуга від $f_0 + F_{\min}$ до $f_0 + F_{\max}$.
- ✓ Кожна з них відіграє певну роль у передаванні повідомлення;
- ✓ несуча частота інформації не переносить;
- ✓ кожна бічна смуга (нижня і верхня) переносить потрібний обсяг інформації.

Кожна зі складових спектра АМ сигналу може бути відділена (відфільтрована) і використана окремо для передачі інформації. Залежно від того, яка складова використовується, розрізняють кілька видів передачі сигналів з амплітудною модуляцією.

Саме несуче коливання не переносить інформації, і його потужність витрачається даремно. Потужність несучого коливання, що виділяється на опорі R ,

$$P_0 = U_m^2 / 2R.$$

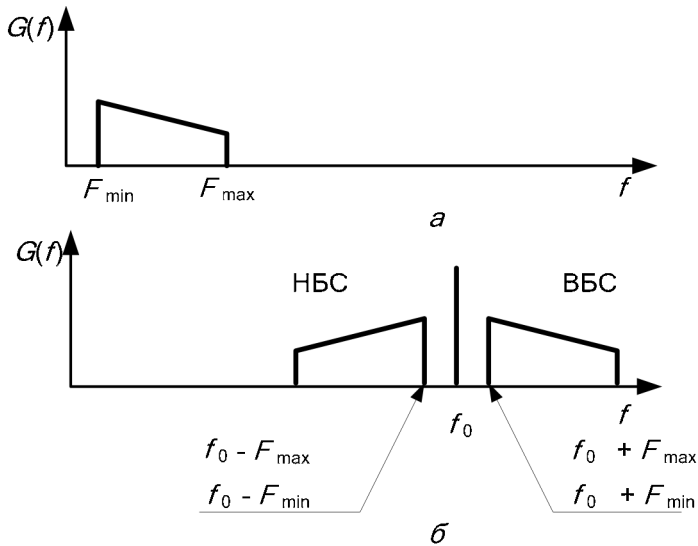


Рис. А.1.7. Спектр АМ сигналу: НБС – нижня бічна смуга; ВБС – верхня бічна смуга

Потужність бічних складових P_a дорівнює середньому квадратичному значенню величини $U_m m a(t) \cos \omega_0 t$, тобто

$$P_a = \frac{U_m^2 m^2 \overline{a^2(t)}}{2R},$$

відношення потужності бічних складових до всієї потужності сигналу

$$\eta = \frac{P_a}{P_a + P_0} = \frac{m^2 \overline{a^2(t)}}{1 + m^2 \overline{a^2(t)}}.$$

Якщо $a(t) = \cos \Omega(t)$, то $\overline{a^2(t)} = 1/2$ і

$$\eta = \frac{m^2}{2 + m^2}.$$

У разі найбільшого $m=1$ величина $\eta=0,33$, тобто тільки 33% потужності сигналу передавача витрачається на передавання корисної інформації. Якщо $m < 1$, ця частка ще менша. Це є недоліком

амплітудної модуляції. Водночас вона має позитивну властивість: порівняно з частотною й фазовою модуляцією за всіх інших рівних умов смуга пропускання каналу з АМ найменша.

Окремим випадком АМ варто вважати амплітудну телеграфію, яка при модуляції сигналу має форму дискретних на два рівні посилаць, що відповідають, наприклад, натисканню й відтисканню телеграфного ключа. У такому режимі сигнал $S(t)$ являє собою послідовність прямокутних радіоімпульсів, що існують в інтервали випромінювання; частота заповнення імпульсів є частотою несучої (рис. А.1.8, а).

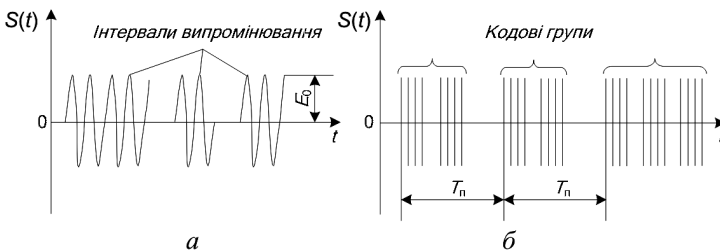


Рис. А.1.8. Сигнали в каналі з амплітудною телеграфією (а) і імпульсно-ковою модуляцією (б)

До видів АМ можна віднести й інші форми імпульсної модуляції несучого коливання за рівнем, такі, наприклад, як імпульсно-кодову модуляцію (ІКМ) (рис. А.1.8,б).

А.1.5.2. Канал радіозв'язку з односмуговою амплітудною модуляцією

Як видно з рис. А.1.7, обидві бічні смуги спектра АМ коливання містять однакову інформацію про модульований сигнал $A(t)$ джерела. У цьому розумінні сигнал $S(t)$ при АМ надлишковий. Ця надмірність усувається в системах зв'язку з односмуговою модуляцією.

В односмугових каналах зв'язку передається тільки верхня або нижня бічна смуга спектра з АМ, несуча не передається або передається частково. Тому розрізняють односмугову модуляцію (ОМ) з повністю придушеною несучою і модуляцію із частково подавленою несучою. Залишок несучої називають пілот-сигналом. Рівень пілот-сигналу послаблений на 20...30 дБ порівняно з піковою потужністю бічної смуги й мало впливає на випромінювану корисну потужність.

Застосування односмугової модуляції значно підвищує завадостійкість зв'язку. Системи зв'язку з ОМ мають перевагу над системами з АМ у тому, що вони потребують значно меншої потужності для передавання інформації, тому що вся енергія зосереджується в бічних смугах. Для системи зв'язку з ОМ $\eta = 100\%$, що значно знижує енергетичний потенціал і вартість передавача. Іншою перевагою ОМ є звуження смуги пропускання приймача у два рази порівняно з АМ. Це у два рази підвищує чутливість приймача. Внаслідок ефективного використання потужності передавача й підвищення чутливості приймача загальний енергетичний виграш каналу з ОМ порівняно з каналом АМ підвищується у вісім разів. Звідси випливає, що дальність зв'язку в системах з ОМ може бути в $\sqrt{8}$ разів більшою, ніж у системах з АМ (за однакової середньої потужності передавача).

Основним методом формування односмугового сигналу на практиці є фільтровий метод (метод багаторазової балансової модуляції). Для придушення несучої у ньому використовується балансова модуляція несучої частоти, а далі фільтрується бічна смуга. При цьому односмуговий сигнал формується на порівняно невисокій піднесучій частоті, що спрощує модуляцію і якісну фільтрацію. Це досягається тоді, якщо підведені до балансового модулятора частоти відрізняються не більше ніж у 10 – 20 разів. Сформований односмуговий сигнал завдяки частотним перетворенням переноситься в область робочих частот.

Розглянемо зв'язок між модульованим сигналом, джерелом $A(t)$ і односмуговим сигналом [8]. Сигнал $A(t)$ подамо у вигляді

$$A(t) = U(t)\cos \varphi(t),$$

де $U(t)$ – амплітуда сигналу; $\varphi(t)$ – фаза сигналу.

На виході балансового модулятора з коефіцієнтом передачі $K_{\text{БМ}}$ маємо

$$\begin{aligned} U_{\text{БМ}}(t) &= K_{\text{БМ}}U(t)\cos \omega_0 t = \\ &= \frac{K_{\text{БМ}}U(t)}{2} \{ \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] + \cos[\omega_0 t - \varphi(t)] \}. \end{aligned}$$

Перший член цього виразу являє собою коливання верхньої бічної смуги, другий член – нижньої бічної смуги. Виділення за допомогою фільтра тільки верхньої бічної смуги дає сигнал

$$S(t) = KU(t) \cos [\omega_0 t + \varphi(t)],$$

де K – коефіцієнт передачі тракту модулятор – фільтр. Якщо модуляція здійснюється однією частотою Ω з постійною амплітудою U_m , то $\varphi(t) = \Omega t$ і

$$S(t) = KU_m \cos [\omega_0 + \Omega] t,$$

тобто відбувається коливання з частотою $(\omega_0 + \Omega)$ і постійною амплітудою. Для одержання вихідного сигналу в приймачі необхідно застосувати перетворювач частоти з частотою гетеродина, виділяючи сигнал різницевої частоти.

Структурну схему передавальної частини каналу з ОМ зображено на рис. А.1.9, а перетворення спектрів – на рис. А.1.10. Вхідний сигнал має спектр у діапазоні частот $\Omega_{\min} \dots \Omega_{\max}$. Частота піднесучої $\omega_{\text{ПН}} \gg \Omega_{\max}$. Фільтр верхньої бічної смуги ΦBC виділяє після балансового модулятора BM спектр частот у діапазоні $\omega_{\text{ПН}} + \Omega_{\min} \dots \omega_{\text{ПН}} + \Omega_{\max}$. Далі частота перетворюється в область робочої (несучої) частоти $\omega_p = \omega_{\text{ПН}} + \omega_r$. На виході перетворювача смуговий фільтр $C\Phi$ виділяє спектр сигналу в діапазоні $\omega_p + \Omega_{\min} \dots \omega_p + \Omega_{\max}$. Підсилювач потужності $ПП$ забезпечує необхідне посилення односмугового сигналу перед подачею його в антену. Датчик опорних частот $ДОЧ$ відіграє роль збудника й гетеродина. У високочастотній частині приймача $ПРМ$ здійснюється обернене перетворення $\omega_p - \omega_r$ так, що на демодулятор $ДЕМ$ надходить сигнал у діапазоні піднесучої частоти. Демодулятор перетворює частоти $(\omega_{\text{ПН}} - \Omega) - \omega_{\text{ПН}} = \Omega$. Підсилювач низької частоти $ПНЧ$ виділяє сигнали в діапазоні частот $\Omega_{\min} \dots \Omega_{\max}$, у результаті на виході формується вихідний сигнал.

Для забезпечення оптимального приймання ОМ сигналів фаза опорних коливань з частотами ω_r й $\omega_{\text{ПН}}$ у приймачі повинна відповідати фазі тих же коливань у передавачі. Для цього передавач випромінює пілот-сигнал. У приймачі за допомогою вузькосмугового фільтра $C\Phi$ цей сигнал виділяється й використовується в ка-

налі синхронізації для фазування коливання задавального генератора у ДОЧ. Таке фазування здійснюється, наприклад, за допомогою системи фазового автопідстроювання частоти (ФАПЧ).

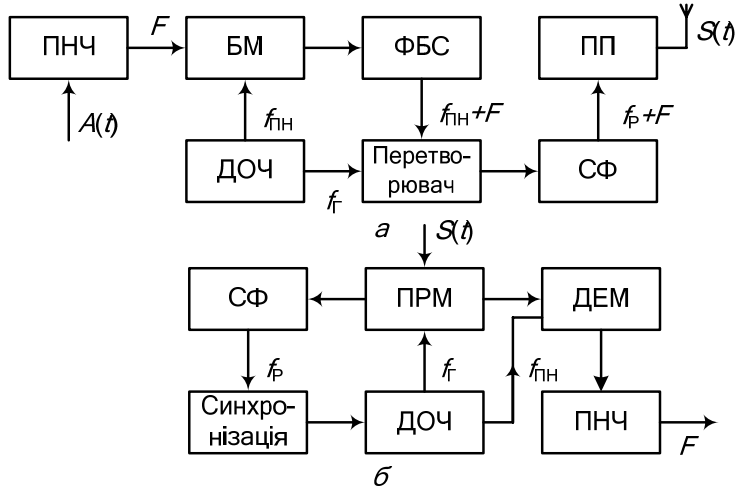


Рис. А.1.9. Структурна схема передавальної (а) і приймальної (б) частин каналу з ОМ

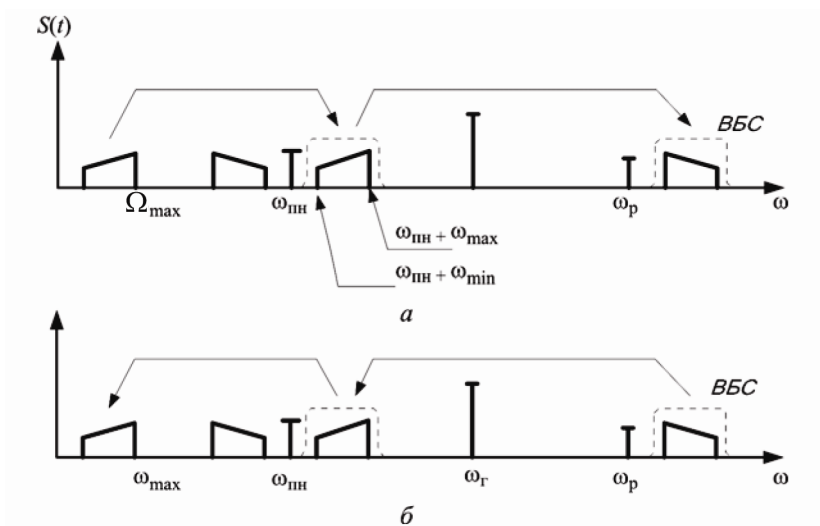


Рис. А.1.10. Перетворення спектрів у передавальній (а) і приймальній (б) частинах каналу з ОМ

Різновидом АМ є модуляція із придушеною несучою й двома бічними смугами – АМ/DSB (Double Side Band), що забезпечує більш ефективне використання потужності передавача порівняно з АМ, за рахунок часткового придушення коливання несучої частоти. Від сигналу в односмуговому режимі АМ/SSB сигнал АМ/DSB відрізняється у два рази більшою смугою частот та наявністю двох бічних смуг НБС та ВБС.

А.1.5.3. Канал радіозв'язку з частотною модуляцією

За частотної модуляції несуча частота піддається модуляції відповідно до закону зміни модульовального сигналу $A(t)$. Форму сигналів і структурних схем передавальної й приймальної частин каналу зв'язку зображено на рис. А.1.11.

Модулятор змінює частоту генератора Γ , що далі перетворюється на робочу частоту f_p , підсилюється в підсилювачі потужності й подається до антени для випромінювання. Обернене перетворення частотно-модульованого сигналу піднесучої $f_{пн}$ у приймачі здійснюється частотним детектором ЧД. Сигнал $B(t)$ на виході ЧД має такий самий вигляд, як і $A(t)$. Після підсилення в ПНЧ він подається на телефони. Датчик опорних частот в обох схемах відіграє роль гетеродинів-перетворювачів.

За частотної модуляції передане повідомлення змінює частоту сигналу, тобто

$$\omega = \omega_0[1 + m_{\omega}A(t)] = \omega_0 + \omega_{\text{д}}A(t),$$

де $\omega_{\text{д}} = m_{\omega}\omega_0$ – амплітуда відхилення частоти, яка називається девіацією частоти.

Беручи до уваги залежність між фазою й частотою коливаний

$$\Phi(t) = \int_0^t \omega(t) dt,$$

запишемо:

$$S(t) = U_m \cos\left[\omega_0 t + \omega_{\text{д}} \int A(t) dt\right]. \quad (\text{А.1.1})$$

Припустимо, що повідомлення є гармонічним коливанням з частотою Ω , а $A(t) = -\sin \Omega t$. З виразу (А.1.1) маємо

$$S(t) = U_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\omega_{\text{д}}}{\Omega} \cos \Omega t\right).$$

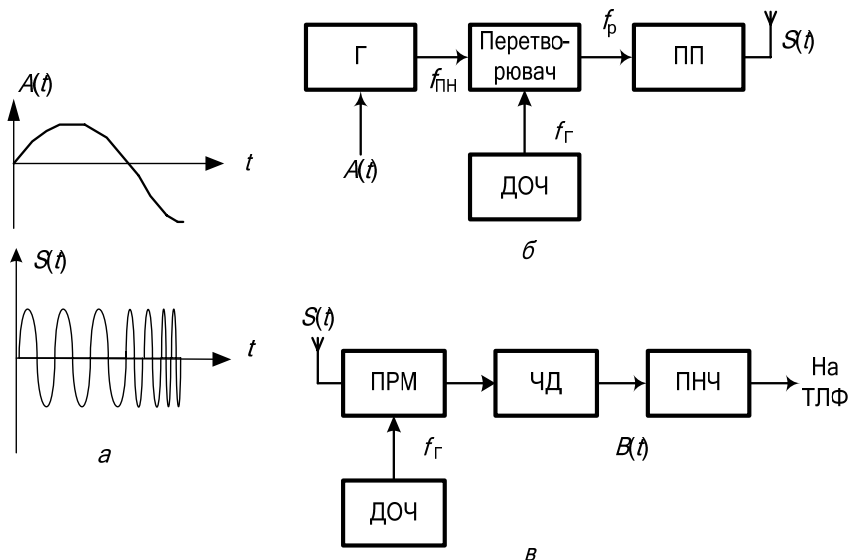


Рис. А.1.11. Форма сигналів (а), передавальна (б) і приймальна (е) частини каналу зв'язку з ЧМ

Відношення максимального відхилення частоти $\omega_{\text{д}}$ до частоти модуляції Ω називають індексом частотної модуляції:

$$\beta = \frac{\omega_{\text{д}}}{\Omega}. \quad (\text{A.1.2})$$

Ширина спектра частотно-модульованого (ЧМ) сигналу залежить від індексу модуляції. Припустимо, що індекс модуляції $\beta \ll 1$. Перепишемо співвідношення (A.1.2) у такому вигляді:

$$S(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \beta \cos \Omega t) = U_m [\cos \omega_0 t \cos(\beta \cos \Omega t) - \sin \omega_0 t \sin(\beta \cos \Omega t)].$$

Можна показати, що в разі малого індексу модуляції ($\beta \ll 1$) спектр частот при ЧМ, як і при АМ, складається з несучої й двох бічних частот. Таким чином, при малому індексі модуляції сигнал з ЧМ займає смугу частот, яка дорівнює смузі, що займає сигнал з АМ:

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} = 2F_{\text{max}}.$$

За більших індексів модуляції приблизна ширина спектра ЧМ сигналу

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} = 2\beta F_{\text{max}} = 2f_{\text{д}}.$$

Таким чином, смуга частот, займана ЧМ сигналом, у разі малих індексів модуляції дорівнює подвоєній частоті модуляції, за більших індексів модуляції – подвійній девіації частоти. Перший випадок відповідає вузькосмуговому, другий широкосмуговому каналу радіозв'язку з ЧМ. Вузькосмуговий канал з ЧМ займає приблизно таку ж смугу частот, як і канал зв'язку з АМ. Смуга частот, займана широкосмуговим каналом зв'язку з ЧМ, у β раз ширша. Якщо $\beta = 10$, розширення смуги буде десятикратним.

З урахуванням факту розширення спектра частот ЧМ радіосигналу частотна модуляція у діапазоні ДКМХ через його сильну завантаженість не застосовується. Таку модуляцію застосовують у діапазоні МХ, менш завантаженому радіостанціями. У цьому діапазоні можливе застосування широкосмугової ЧМ, що дозволяє мати вигоду у надійності каналу зв'язку з ЧМ порівняно з каналом зв'язку з АМ, що зростає зі збільшенням індексу модуляції.

Канал радіозв'язку з частотною телеграфією можна розглядати як окремий випадок каналу з ЧМ. За частотної телеграфії несуча частота піддається маніпуляції на два значення. При цьому модулювальний сигнал $A(t)$ має форму однополярних або двополярних імпульсів однакової амплітуди. Максимальному значенню $A(t)$ відповідає одне значення несучої частоти f_1 , мінімальному – інше f_2 . Форму сигналів зображено на рис. А.1.12.

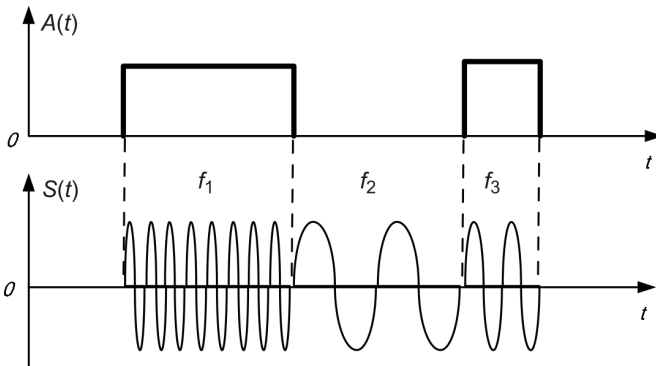


Рис. А.1.12. Форма сигналів каналу частотної телеграфії

Структурна схема передавальної й приймальної частин каналу радіозв'язку така ж, як і на рис. А.1.11. Тільки сигнал після частотного детектора має форму біполярних імпульсів.

А.1.6. Методи стабілізації частоти авіаційних радіостанцій

А.1.6.1. Методи синтезу частот

Опорні частоти, які використовуються для синтезу дискретної ґратки частот у збуднику радіостанції, генеруються у високостабільних кварцових генераторах, що вміщують у термостати. Термостатування кварцових генераторів дозволяє зменшити їх відносну нестабільність в експлуатаційних умовах до значень $10^{-6} \dots 10^{-7}$.

Пристрій, у якому формуються сигнали із заданими частотами, називають синтезатором частот. Дискретна ґратка вихідних частот може бути отримана методом прямого й непрямого синтезу.

Метод *прямого синтезу* полягає в одержанні дискретної ґратки частот додаванням, множенням і діленням опорних частот. Алгебричне підсумовування здійснюється в суматорі, а множення й ділення на ціле число – у множнику або подільнику. Відповідно до цього схеми синтезаторів поділяються на схеми підсумовування, множення, ділення, комбіновані схеми.

В авіаційних радіостанціях широко застосовують синтезатори, побудовані за схемами підсумовування й комбінованими схемами. Схеми підсумовування можуть складатися з одного або декількох суматорів. Суматор має два входи, на кожен вхід можна подати одну із заданої групи частот.

Комбіновані схеми синтезаторів можуть складатися з довільного сполучення суматорів, множників і подільників. Найбільшого поширення набули комбіновані схеми синтезаторів, що складаються з ідентичних декадних перетворювачів. Такі синтезатори складаються із суматорів, множників і подільників, які дозволяють одержати дискретну ґратку частот, кратну 10.

Метод *непрямого синтезу* полягає в одержанні дискретної ґратки частот підсумовуванням, множенням або діленням опорних частот з використанням допоміжного генератора. Схеми синтезаторів, побудовані за методом непрямого синтезу, поділяються на компенсаційні, схеми з колом ФАПЧ, з колом імпульсно-фазового автоматичного підстроювання частоти (ІФАПЧ).

У сучасних авіаційних радіостанціях набули поширення синтезатори частот, побудовані за методом непрямого синтезу з використанням кіл ФАПЧ й ІФАПЧ.

А.1.6.2. Схеми прямого синтезу

Схеми суматорів. Схеми підсумовування можуть складатися з одного або декількох суматорів. Схему синтезатора, що складається з одного суматора, показано на рис. А.1.13, а. Синтезатор складається з двох кварцових автогенераторів $\Gamma 1$ і $\Gamma 2$, суматора C і фільтра Φ . Кожний з генераторів видає по кілька фіксованих частот:

$$f_1' = f_1 + k\Delta f_1; \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots, n_1 - 1;$$

$$f_2' = f_2 + m\Delta f_2; \quad m = 0, 1, 2, 3, \dots, n_2 - 1,$$

де n_1 і n_2 – кількість частот генераторів $\Gamma 1$ і $\Gamma 2$.

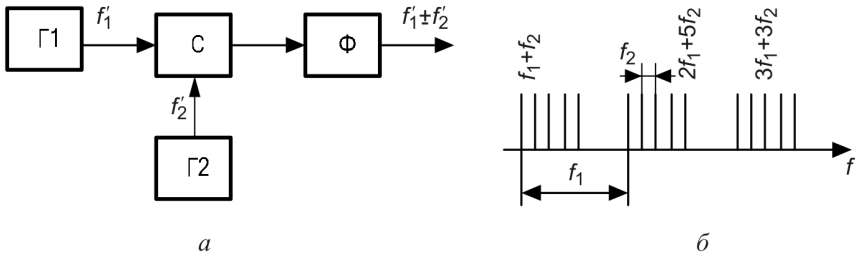


Рис. А.1.13. Схеми синтезатора, що складається з одного суматора (а); гратка частот на виході суматора (б)

У суматорі C відбувається додавання двох обраних з n_1 і n_2 фіксованих частот, і на виході фільтра Φ виділяється робоча частота $f = f_1' \pm f_2'$. Кількість частот в одному суматорі з використанням сумарних і різницевих частот $n = 2n_1n_2$, а в разі використання тільки сумарних частот $n = n_1n_2$.

Гратку частот на виході фільтра суматора, що виконує тільки додавання частот при $k = 0, 1, 2; m = 0, 1, 2, 3, 4$ і $\Delta f_1 = f_1, \Delta f_2 = f_2$ показано на рис. А.1.13,б. За цих умов на виході суматора виходять три групи частот по п'ять у кожній. Крок гратки частот усередині групи Δf_2 , а між групами – Δf_1 . Підбором частот f_1' і f_2' , а також ін-

тервалів між ними Δf_1 і Δf_2 можна одержати в заданому діапазоні рівномірну ґратку частот.

В одному суматорі зазвичай можна одержати 200...300 робочих частот. Для збільшення кількості частот застосовують схеми підсумовування, що складаються з декількох суматорів. Кількість робочих частот при двох суматорах $n = 2n_1 n_2 n_3$, при трьох $n = 2n_1 n_2 n_3 n_4$ і т. д. У разі S суматорів матимемо $n = 2n_1 n_2 n_3 \dots n_{s+1}$ робочих частот.

Схему синтезатора, що складається з двох суматорів, зображено на рис. А.1.14. Після першого суматора $C1$ на виході фільтра $\Phi1$ виділяється частота $f_1 \pm f_2$. У результаті підсумовування в другому суматорі $C2$ на виході фільтра $\Phi2$ виділяється робоча частота $f = (f_1 \pm f_2) \pm f_3$. У разі потреби додають ще суматори для отримання необхідної ґратки частот.

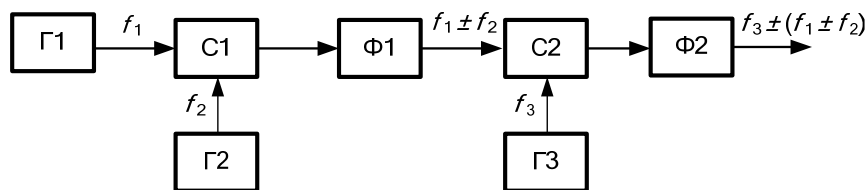


Рис. А.1.14. Схема синтезатора, що складається з двох суматорів

Недоліком схем підсумовування є необхідність використовувати декілька опорних частот, одержуваних від кварцових генераторів, що призводить до збільшення відносної нестабільності робочої частоти. У високостабільних синтезаторах застосовують тільки один кварцовий автогенератор, що видає одну опорну частоту, з якої формується вся дискретна ґратка частот.

Схема множення й ділення. Схема множення складається з кварцового опорного автогенератора частоти $f_{ог}$, множника частоти $МЧ$ з коефіцієнтом множення K_M й фільтрів $C\Phi1-C\Phi_N$ (рис. А.1.15). Робоча частота на виході такого синтезатора $f = K_M f_{ог}$.

Кожен фільтр розрахований на середню частоту смуги пропускання, яка дорівнює відповідній гармоніці, оскільки для них відносна смуга пропускання

$$\frac{\Delta f_{\Phi}}{f} = \frac{f_o}{nf_o} = \frac{1}{n}$$

буде найменшою. Чим більший коефіцієнт K_M , тим більша кількість фільтрів і тим складніше побудувати фільтри на високі гармоніки множення частоти, тому схеми множення для побудови синтезаторів можна застосовувати за коефіцієнта K_M не більше декількох десятків. Для одержання великої кількості дискретних частот необхідне послідовне з'єднання декількох множників. Однак при цьому не можна мати дискретну ґратку частот з рівномірним кроком Δf .

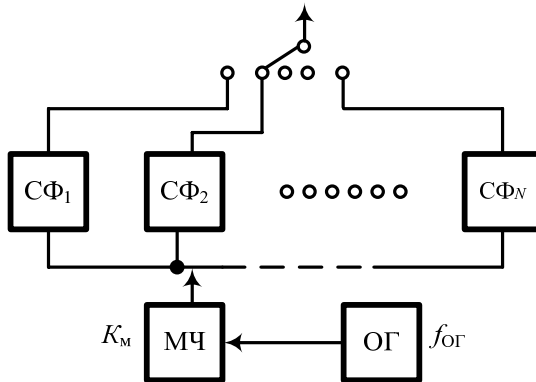


Рис. А.1.15. Схема синтезатора, що складається з одного множника

Схема ділення відрізняється від схеми множення тільки тим, що в ній замість множника застосовується подільник частоти з коефіцієнтом ділення K_d . Схеми множення й ділення для побудови синтезаторів зазвичай застосовують у комбінації із суматорами.

Схеми прямого синтезу прості, однак мають ряд недоліків. Найбільш несприятливим з них є розширення смуги сигналу після кожного рівня перетворення частоти, що ускладнює фільтрацію в наступних рівнях перетворення паразитних складових сигналів, які виникають на попередніх рівнях.

А.1.6.3. Схеми непрямого синтезу

Компенсаційні схеми. Компенсаційну схему синтезатора показано на рис. А.1.16. Вона складається з генератора гармонік $ГГ$, смугових фільтрів $СФ1$, $СФ2$, суматорів $С1$ і $С2$ і допоміжного генератора плавного діапазону $ДГ$. На виході $ГГ$ маємо ґратку, що складається з декількох сотень частот $f_n = f_1, f_2, \dots, f_{i_b}, \dots, f_s$.

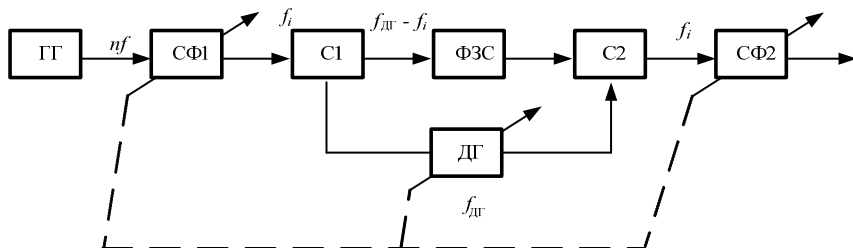


Рис. А.1.16. Компенсаційна схема синтезатора

Можна було б одержати ґратку частот виділенням потрібної частоти смуговими фільтрами $СФ11 - СФN$, але це занадто громіздко й дорого. Тому застосовують один смуговий фільтр зосередженої селекції $ФЗС$. Обрана фільтром попередньої селекції $СФ1$ частота f_i за допомогою суматора $С1$ і $ДГ$ переноситься в смугу пропускання смугового фільтра $ФЗС$, а потім за допомогою суматора $С2$ і того ж $ДГ$ повертається у вихідне положення.

Допоміжні генератори й смугові фільтри $СФ1$ й $СФ2$ перестроюються узгоджено. На виході першого суматора $С1$ отримують частоту $f_{дг} - f_i$, яка дорівнює середній частоті смуги пропускання смугового фільтра $ФЗС$. У другому суматорі $С2$ віднімаються частоти $f_{дг} - (f_{дг} - f_i) = f_i$, і обрана частота після селекції в смуговому фільтрі $СФ2$ повертається у вихідне положення.

Компенсаційна схема синтезатора порівняно зі схемами прямого синтезу дозволяє мати вищу чистоту спектра вихідного сигналу, оскільки проміжна частота $f_{дг} - f_i$ зміщується в область низьких частот, де селективні властивості фільтрів кращі. Схема дозволяє одержати дискретну ґратку до декількох сотень частот. У радіостанціях з дискретною ґраткою частот на тисячі й більше частот застосовують інші схеми синтезаторів.

Схеми синтезаторів з колом ФАПЧ. Коло ФАПЧ у синтезаторах частоти може бути використане для підсумовування й множення частоти.

Схему синтезатора з колом ФАПЧ, використовуваним для підсумовування частот, показано на рис. А.1.17.

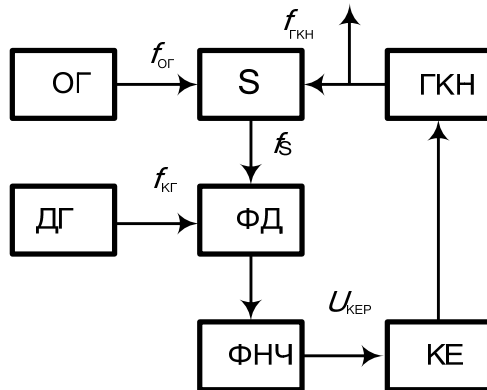


Рис. А.1.17. Схема синтезатора частот з одним суматором у колі ФАПЧ

Вона складається з опорного генератора *ОГ*, допоміжного кварцового генератора *ДГ*, генератора керованої напруги *ГКН*, суматора Σ , фазового детектора *ФД*, фільтра нижніх частот *ФНЧ* і керувального елемента *КЕ*. На відміну від типової схеми кола ФАПЧ, використовуваної для стабілізації частоти, у цій схемі додано допоміжний кварцовий генератор *ДГ* і суматор Σ . Така схема дозволяє підсумувати частоти опорного $f_{ог}$ і кварцового $f_{дг}$ генераторів й одержати стабілізовану частоту $f_{гкн}$, що дорівнює сумі частот опорного й допоміжного генераторів:

$$f_{гкн} = f_{ог} + f_{дг}. \quad (A.1.3)$$

Схема працює в такий спосіб. Напряга *ОГ* з частотою $f_{ог}$ і напруга *ГКН* з частотою $f_{гкн}$ подаються на вхід суматора, на виході якого

$$f_{\Sigma} = f_{гкн} - f_{ог}.$$

Напруги з частотами f_{Σ} і $f_{дг}$ подаються у *ФД*. У разі нерівності фаз напруг обох частот на виході *ФД* з'явиться керувальна напруга

$U_{\text{КЕР}}$, що після придушення бічних коливань у $\Phi\text{НЧ}$ надходить на КЕ . Керувальний елемент підключається паралельно коливальному контуру ГКН і змінює його частоту. У сучасних авіаційних радіостанціях керувальним елементом зазвичай є варикап, ємність якого залежить від прикладеної до нього напруги.

Стаціонарний режим у такому колі $\Phi\text{АПЧ}$ настає при $f_{\text{ДГ}} - f_{\Sigma}$. Якщо частота $f_{\text{ГКН}}$ змінить своє значення на $\pm \Delta f_{\text{ГКН}}$, то з виразу (А.1.3) випливає

$$(f_{\text{ГКН}} \pm \Delta f_{\text{ГКН}}) - f_{\text{ОГ}} = f_{\Sigma} \pm \Delta f_{\Sigma}. \quad (\text{А.1.4})$$

З останнього виразу $|\Delta f_{\text{ГКН}}| = |\Delta f_{\Sigma}|$.

Величина $\Delta f_{\text{ГКН}}$ показує межі регулювання частоти ГКН і залежить від здатності КЕ змінювати частоту ГКН . Характер залежності величини $\Delta f_{\text{ГКН}}$ від керувальної напруги $U_{\text{КЕР}}$ показано на рис. А.1.18.

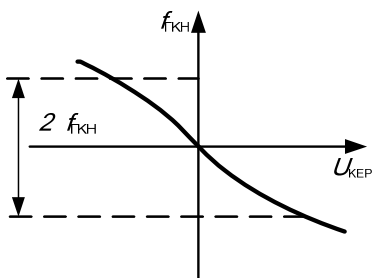


Рис. А.1.18. Статична характеристика керувального елемента

Нерівність фаз напруги частот f_{Σ} й $f_{\text{ДГ}}$ може бути наслідком зміни частоти $f_{\text{ГКН}}$ або $f_{\text{ДГ}}$. Якщо відхилення частоти $f_{\text{ДГ}}$ від середнього значення, що відповідає стаціонарному режиму, не буде перевищувати величини

$$[f_{\text{ДГ}}] = [\Delta f_{\Sigma}] = [\Delta f_{\text{ГКН}}],$$

то стаціонарний режим у колі $\Phi\text{АПЧ}$ збережеться, тобто в межах $f_{\text{ДГ}} \pm \Delta f_{\text{ДГ}}$ можна регулювати частоту ГКН у діапазоні $f_{\text{ГКН}} \pm \Delta f_{\text{ГКН}}$. У разі дискретної зміни частоти $f_{\text{ДГ}}$ можна одержати дискретну графіку частот ГКН із стабільністю, що дорівнює стабільності ДГ . Для того щоб під час вмикання системи автоматично наставав синхронізм, смуга захоплення кола $\Phi\text{АПЧ}$ (рис. А.1.18) має дорівнювати

$2\Delta f_{ГКН}$, а частота керованого генератора – середній частоті його робочого діапазону. Стабільність вихідної ґратки частот буде не гірше стабільності опорного генератора.

Відповідно до рівняння (А.1.4) синхронізація в колі ФАПЧ може бути отримана в тому випадку, якщо діапазон зміни частот *ГКН* $2\Delta f_{ГКН} = f_{ГКН\max} - f_{ГКН\min}$ буде дорівнювати діапазону зміни частот *ДГ* $2\Delta f_{ДГ} = f_{ДГ\max} - f_{ДГ\min}$ або $2\Delta f_{ГКН} = 2\Delta f_{ДГ}$. Кількість дискретних частот з кроком дискретизації $\Delta f_{ДГ}$ у *ДГ* й *ГКН* буде однаковою й обчислюється за формулою

$$n_{ДГ} = \frac{f_{ДГ\max} - f_{ДГ\min}}{\Delta f'_{ДГ}}. \quad (\text{А.1.5})$$

Якщо ж змінювати й частоту *ОГ* у діапазоні $f_{ОГ\max} - f_{ОГ\min}$ з кроком дискретизації $\Delta f'_{ОГ}$, то можна одночасно з підсумовуванням частот $f_{ОГ}$ й $f_{ДГ}$ збільшити кількість дискретних частот у $n_{ОГ}$ раз. Величина $n_{ОГ}$ визначається за виразом

$$n_{ОГ} = \frac{f_{ОГ\max} - f_{ОГ\min}}{\Delta f'_{ОГ}}.$$

У цьому випадку загальна кількість частот, одержуваних у синтезаторі з одним суматором у колі ФАПЧ, буде $n_{\Sigma} = n_{ОГ} n_{ДГ}$.

Для одержання рівномірної ґратки частот необхідно, щоб діапазон зміни частоти *ДГ* дорівнював кроку дискретизації *ОГ*, тобто $\Delta f'_{ОГ} = 2\Delta f_{ДГ}$. За декадним способом побудови ґратки частот величина $n_{ДГ}$ повинна бути кратна 10, а величина $n_{ОГ}$ – дорівнювати 10.

Загальну кількість частот, одержуваних у синтезаторі, можна збільшити, якщо додати ще суматори. У разі двох суматорів загальна кількість частот синтезатора

$$n_{\Sigma} = n_{ОГ} n_{ДГ1} n_{ДГ2},$$

де $n_{ДГ1}$ й $n_{ДГ2}$ визначаються за формулою (А.1.5) з урахуванням даних допоміжних генераторів *ДГ1* і *ДГ2*.

Коло ФАПЧ може бути використане для ділення частот. Схему синтезатора з колом ФАПЧ як подільником показано на рис. А.1.19. Вона відрізняється від типової схеми ФАПЧ наявністю подільника частоти *Д* з коефіцієнтом ділення *K*.

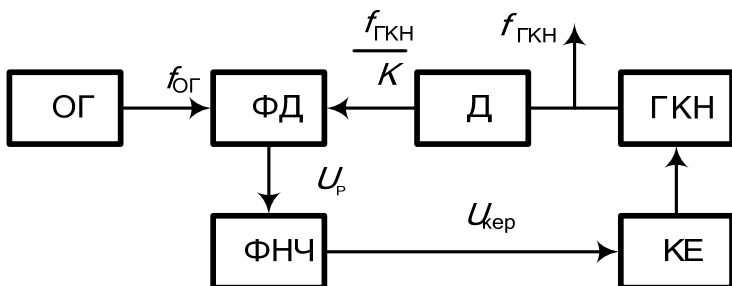


Рис. А.1.19. Схема синтезатора частоти з подільником у колі ФАПЧ

Схеми цифрових синтезаторів з колом ІФАПЧ. Схема синтезатора з ІФАПЧ, на відміну від схем, які розглянуто вище, містить формувачі послідовності прямокутних імпульсів $\Phi 1$ і $\Phi 2$, що формуються з напруг гармонічних коливань OG та $ГКН$ з частотою f_{OG} та $f_{ГКН}$, а замість фазового детектора – імпульсно-фазовий детектор. Це дозволило широко використати елементи та вузли дискретної техніки і стало підставою для того, щоб назвати такі схеми цифровими синтезаторами з ІФАПЧ (рис. А.1.20). До складу замкненого кола ІФАПЧ входить $ГКН$, формувач $\Phi 2$, подільник із змінним коефіцієнтом ділення $ПЗКД$, імпульсно-фазовий детектор $ІФД$, $ФНЧ$ та керувальний елемент $КЕ$, що підключається паралельно коливавальному контуру $ГКН$ і змінює його частоту. В свою чергу, $ІФД$ складається з генератора пилоподібної напруги ($ГПН$) та схеми вибірки напруги сигналів неузгодженості між імпульсами частоти опорної напруги $\Phi 1$ та вихідних імпульсів $ПЗКД$.

Гармонічний сигнал високостабільного OG з частотою f_{OG} спочатку подається на формувач $\Phi 1$, а з нього на подільник опорної частоти $Д1$, що виконує ділення частоти OG до ступеня дискретності. Ширина ж ступеня дискретності частіше відповідає кроку ґратки частот сучасних радіостанцій. Отже, прямокутні імпульси подільника опорної частоти $Д1$ надходять на перший вхід $ІФД$, забезпечують примусову синхронізацію $ГПН$. З виходу $ПЗКД$ на другий вхід $ІФД$ надходять імпульси, частота яких зменшена до кроку перестроювання, але має визначену неузгодженість за фазою відносно імпульсів подільника опорної частоти $Д1$.

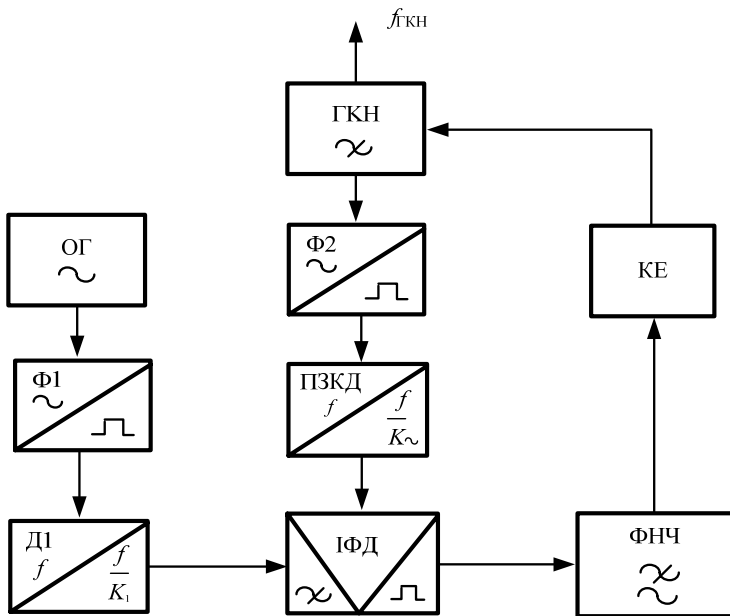


Рис. А.1.20. Спрощена функціональна схема синтезатора з ІФАПЧ

Імпульсно-фазовий детектор *ІФД* порівнює фази вихідних імпульсів подільника опорної частоти *Д1* і *ПЗКД* і виділяє сигнал неузгодженості. Схему вибірки призначено для запам'ятовування пилоподібної напруги в момент надходження імпульсів *ПЗКД* і вибірки її зміни, яка пропорційна різниці фаз вхідних сигналів.

У сталому режимі імпульси (рис. А.1.21) *ПЗКД* сфазовані із сигналом *Д1* і на виході *ІФД* підтримується постійна напруга $U_{\text{пор}}$, що відповідає часовому зсуву $\Delta t = \text{const}$. Якщо частота нестабільна (зменшується), імпульси *ПЗКД* відповідають часовому зсуву $(\Delta t + \Delta t_1)$ і $(\Delta t + \Delta t_2)$. У разі збільшення частоти імпульси *ПЗКД* відповідають часовому зсуву $(\Delta t - \Delta t_3)$ і $(\Delta t - \Delta t_4)$. На виході схеми вибірки виробляється східчаста напруга ΔU , величина якої пропорційна сигналу неузгодженості між фазами опорної напруги і вихідних імпульсів *ПЗКД*. Це забезпечує відповідний зсув на керувальні елементи (варикапи), що розміщені в контурі *ГКН*, і зміну частоти *ГКН*.

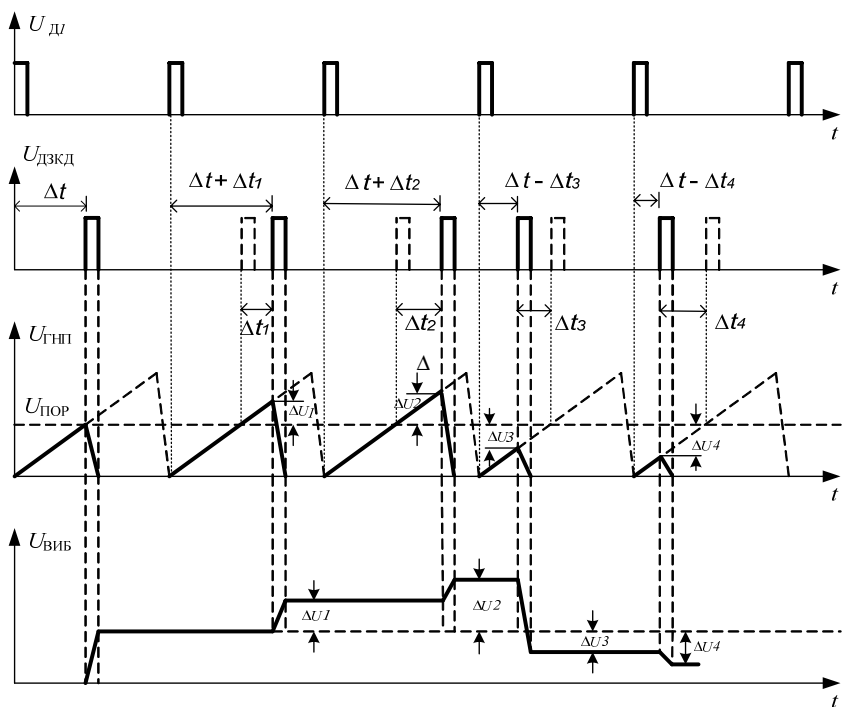


Рис. А.1.21. Діаграми фазового детектора

Отже, постійна напруга $U_{\text{ПОР}}$ керувального сигналу імпульсно-фазового детектора забезпечує виведення робочої точки варикапа в задану область, що забезпечує попереднє настроювання синтезатора, а змінна складова напруги керувального сигналу (східчаста) ΔU служить для компенсації нестабільності частоти.

А.1.7. Особливості побудови авіаційних радіостанцій

До літакових радіостанцій ставлять жорсткі вимоги максимальної простоти керування й обслуговування, надійної роботи за температури навколишнього середовища від -60 до $+60$ °С у середовищі з відносною вологістю повітря до 98%, якщо атмосферний тиск відповідає зміні висоти від 0 до 25...30 тис. м, а також у разі вібрацій й ударних навантажень тощо. Задоволення цих вимог досягається автоматизацією керування радіостанцією, герметизацією

основних блоків, амортизацією й раціональним розміщенням апаратури зв'язку на літаку.

Радіостанції на літаках мають забезпечувати швидке безпошукове входження в зв'язок і безпідстроюване його ведення. Це досягається стабілізацією робочих частот радіостанції одним з методів, що розглянуті вище. Крім того, потрібно передбачати можливість дистанційного керування й виходу на зовнішній зв'язок через внутрішньокабінний переговорний пристрій.

Типову електричну структурну схему радіостанції діапазонів ДВЧ зображено на рис. А.1.22 [8].

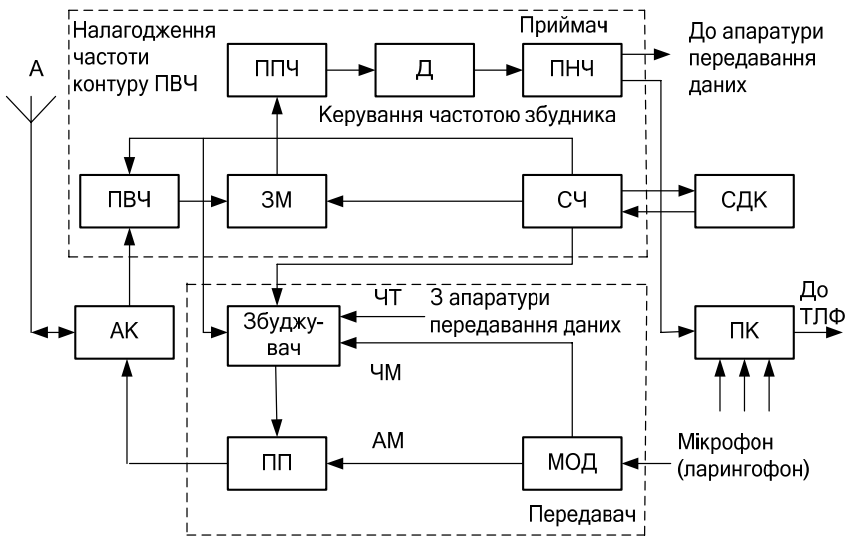


Рис. А.1.22. Електрична структурна схема типової радіостанції ДВЧ

До складу радіостанції входять такі основні елементи: синтезатор частот *СЧ*, приймальний *ПРМ* і передавальний *ПРД* тракту, система дистанційного керування *СДК* і пульт керування *ПК*.

Синтезатор частот, крім формування ґратки частот радіостанції й гетеродинних частот для приймача, забезпечує налаштування частоти збудника передавача.

Приймальний тракт радіостанції виконується за супергетеродинною схемою з подвійним перетворенням частоти в діапазоні ДВЧ. Високочастотний сигнал через антенний комутатор *АК* над-

ходить до підсилювача високої частоти *ПВЧ*, що забезпечує посилення сигналу порівняно з широкою смугою пропускання. Підсилювач *ПВЧ* настроюється електронним способом керуваною напругою із синтезатора частот. У змішувачах здійснюється перетворення сигналу за частотою. Сигнал проміжної частоти з виходу змішувача надходить на підсилювач проміжної частоти *ППЧ*, де забезпечується основне посилення й вибірковість сигналу.

Після детектування сигналу проміжної частоти (амплітудного або частотного, залежно від режиму) сигнал подається в підсилювач низької частоти *ПНЧ*, де він підсилюється до значення, потрібного для роботи кінцевої апаратури. Мовний сигнал через пульт керування подається на телефони. Сигнал частотної телеграфії *ЧТ* виділяється в окремому тракті *ПНЧ* і подається до апаратури передавання даних.

Передавальний тракт радіостанції *ПРД* формує *АМ*, *ЧМ* або *ЧТ* радіосигнали на заданій частоті й підсилює їх до номінального значення вихідної потужності.

Несуча частота зв'язку формується в збуднику шляхом *ФАПЧ* автогенератора збудника. Грубе (попереднє) настроювання автогенераторів збудника виконується електронним способом за допомогою напруги автотестування, сформованої в синтезаторі, а точне – системою *ФАПЧ* збудника.

Напруга зі збудника підсилюється в підсилювачі потужності *ПП* і через антенний комутатор надходить до антени *А*. В *ПП* у режимі *АМ* відбувається колекторна модуляція високочастотного сигналу. При цьому може використовуватися мовний сигнал від ларингофонів або сигнал від апаратури передавання даних. Сигнали посилюються в модуляторі.

У режимі *ЧМ* мовний сигнал модулює *ЧМ* генератор збудника. Система *ФАПЧ* збудника здійснює перенесення частоти, що змінюється в *ЧМ* генераторі, на частоту зв'язку.

У режимі *ЧТ* імпульсна послідовність від апаратури передавання даних надходить на *ЧМ* генератор збудника через блок комутації й здійснює частотну маніпуляцію. Частотна маніпуляція переноситься на частоту зв'язку системою *ФАПЧ* збудника.

Настроювання частоти зв'язку й режиму роботи радіостанції забезпечується системою дистанційного керування *СДК*. До неї входять пульт керування й система передавання керуючих сигналів на

синтезатор частот. Керування радіостанцією здійснюється з пульта керування *ПК*. До комплекту радіостанції входить один або кілька пультів керування. *ПК* забезпечує перехід на необхідний канал зв'язку (за допомогою складального або запам'ятовувального пристрою), регулювання гучності, перемикання роду роботи (АМ–ЧМ), підключення аварійного приймача й автоматичного радіокомпасу (АРК), вмикання придушувача шумів.

Радіостанції діапазону ВЧ (ДКМХ) мають ті ж основні елементи, що й радіостанції діапазонів ДВЧ, тобто в них є синтезатор частот, приймальний і передавальний тракти, система дистанційного керування, пульти керування. Принциповою відмінністю сучасних радіостанцій ДКМХ є використання в них режиму односмугової модуляції й наявність пристрою узгодження виходу передавача й входу приймача з антеною. Спрощену структурну схему радіостанції ВЧ показано на рис. А.1.23.

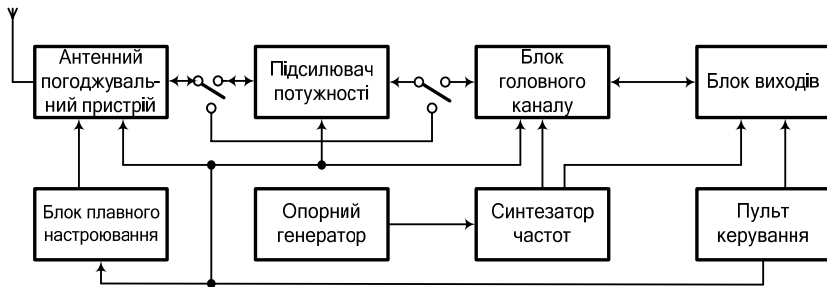


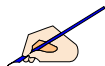
Рис. А.1.23. Структурна електрична схема радіостанції ВЧ

Опорний генератор видає стабільні коливання з частотою 10 МГц, які надходять до синтезатора для формування ґратки частот. Висока стабільність частоти опорного генератора ($\pm 10^{-6}$) досягається ефективною термостабілізацією кварцового резонатора.

Синтезатор частот забезпечує формування ґратки робочих частот зв'язку в діапазоні 2 ... 29,999 МГц через 1 кГц зі стабільністю не гірше $\pm 10^{-6}$. Блок виходів забезпечує основне посилення сигналів під час приймання й передавання, формування різних режимів і видів роботи.

Підсилювач потужності й антенний погоджувальний пристрій призначені для підсилення потужності сигналів, що передаються, й автоматичного узгодження опору антени з вихідним опором конту-

рів підсилювача потужності в режимі передавання з вхідним опором приймача в режимі приймання. Антенний погоджувальний пристрій керується блоком плавного настроювання і погоджує індуктивності зв'язку й настроювання антенного контуру.



Контрольні запитання

1. Наведіть схему організаційної структури авіаційного електро-зв'язку.
2. Які вимоги ІСАО до параметрів бортових радіостанцій метрових хвиль?
3. Які вимоги до параметрів бортових радіостанцій декаметрових хвиль?
4. Наведіть способи й види організації зв'язку. Дайте порівняльний аналіз їх технічних можливостей.
5. Наведіть принцип дії синтезатора за методом прямого синтезу.
6. Наведіть принцип дії синтезатора за методом непрямого синтезу.
7. Наведіть часові діаграми роботи фазового детектора ІФАПЧ.



А.2. ЦИФРОВА МЕРЕЖА АВІАЦІЙНОГО ЕЛЕКТРОЗВ'ЯЗКУ АТН

А.2.1. Роль цифрових каналів зв'язку

Натепер різні види зв'язку, систем навігації і спостереження забезпечують роботу пілотів і авіадиспетчерів на різних етапах польоту і в різних зонах повітряного простору. Поява цифрового зв'язку дає змогу організувати комплексне й безперервне керування повітряним рухом (КПР).

Для подолання обмеження ДВЧ прямою видимістю необхідна інфраструктура наземних станцій. Мережа авіаційного зв'язку (Aeronautical Telecommunications Network (ATN)) забезпечує безперервний зв'язок між користувачами поза зоною покриття однієї наземної станції передавання даних.

Цифрові канали зв'язку уможливають автоматизацію рутинних процедур, які доводиться виконувати вручну, типу видачі дозволу й підтвердження команди, а також дають змогу реалізувати нову, більш гнучку концепцію вільного польоту, у якій велику відповідальність щодо збереження безпечної відстані в повітряному просторі покладено на екіпаж.

Як показано на рис. А.2.1, передавання даних може бути спрямованим, тобто повідомлення призначається визначеному одержувачеві, або широкомовним, що означає, що всі користувачі отримують повідомлення. Цифровий зв'язок між диспетчером і пілотом CPDLC (Controller Pilot Data Link Communications) і передача дозволів на виліт DCL (Departure Clearances) – приклади спрямованого зв'язку типу «точка–точка». Автоматизована термінальна інформаційна служба ATIS-B, система автоматичного залежного спостереження ADS-B, передача метеорологічної інформації на борт ПК – приклади широкомовних повідомлень.

Цифровий зв'язок передачі даних як спрямований, так і широкомовний потребує наявності дисплея в кабіні літака для відображення повідомлень і для введення даних пілотом та вибору збережених повідомлень.

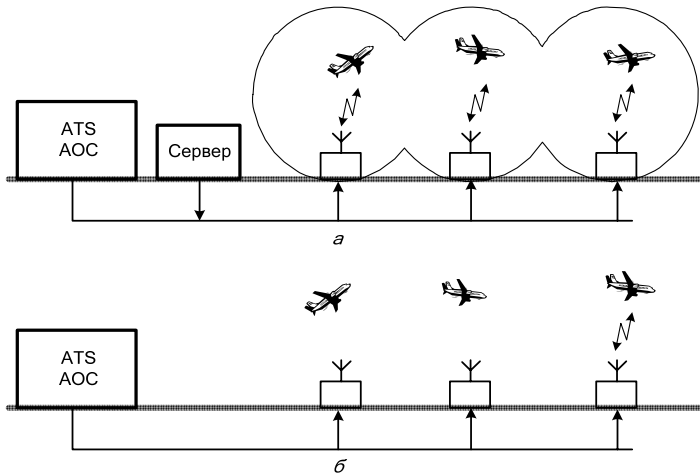


Рис. А.2.1. Мережа АТН: а – широкомова служба передавання даних; б – служба «точка–точка»

Мережа АЕЗ АТН, яка розроблена ІСАО, є інфраструктурою міжмережної взаємодії. Вона забезпечує взаємодію наземних підмереж передавання даних, підмереж передавання даних «повітря – земля» А/Г (Air/Ground) і підмережі передавання даних бортового обладнання (LAN). Наземна підмережа ОПР охоплює аеродромно-диспетчерські пункти, бази даних ОПР, бази метеорологічних даних, пункти керування на маршруті. Цифровий зв'язок між бортовими та наземними підмережами забезпечується завдяки таким лініям передавання даних:

- ✓ високочастотній лінії передавання даних (ЛПД) (HFDL – High Frequency Data Link);
- ✓ дуже високочастотній ЛПД (VDL – Very High Frequency Data Link);
- ✓ лінії передавання даних авіаційної мобільної супутникової служби (АМСС);
- ✓ каналам вторинного оглядового радіолокатора (ВОРЛ) режиму S (SSR Mode S – Secondary Surveillance Radar Mode S);
- ✓ лінії передавання даних аеродромного обслуговування ПК (GATE L – Gate Aircraft Terminating Environment Link) [6].

Зону дії ЛПД АТН на каналах А/Г показано на рис. А.2.2.

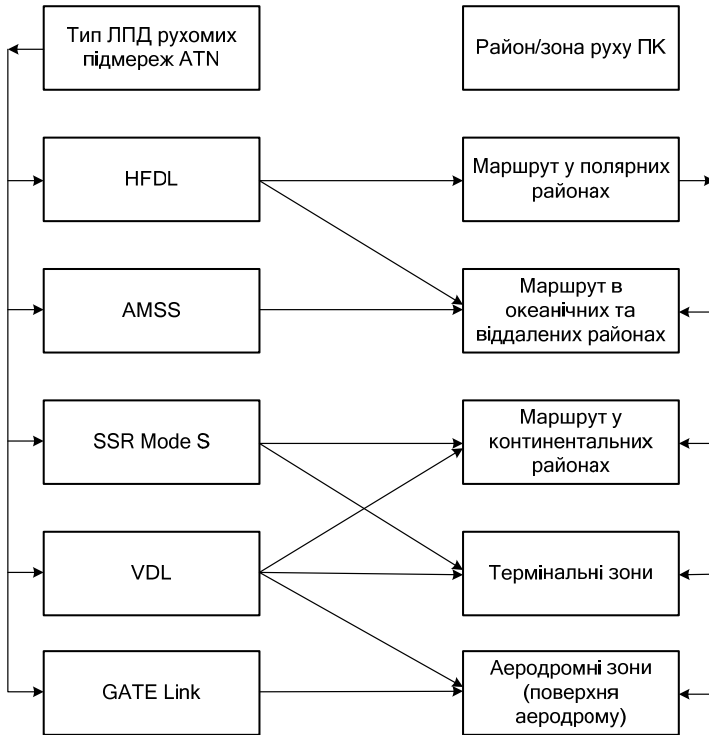


Рис. А.2.2. Область дії ЛПД ATN

Відповідно до рекомендацій ICAO мережа ATN має забезпечувати [6]:

- ✓ спрощений перехід до майбутніх варіантів служб АЕЗ;
- ✓ інтеграцію наявних користувачів і систем: AFTN, CIDIN, мовного зв'язку (VCS – Voice Communication System), зв'язку ПК для адресації й передачі повідомлень (ACARS – Aircraft Communication Addressing & Reporting System) та інших в архітектуру ATN;
- ✓ передавання інструкцій з КПП на борт ПК по ЛПД тільки керівним органом систем ОПП у зонах повітряного простору, які йому підпорядковані;
- ✓ маршрутизацію відповідно до встановленої стратегії маршрутизації;
- ✓ однозначну адресацію всіх кінцевих, прикінцевих і проміжних систем авіаційного оперативного контролю (АОС –

Aeronautical Operation Control), КПП (АТС – Air Traffic Control), авіаційного адміністративного зв'язку (ААС – Aeronautical Administrative Communication);

✓ визначення виду обміну даними тільки по дозволених ЛПД відповідно до типів і категорій повідомлень, які визначені користувачем;

✓ доцільне та ефективне використання підмереж з ЛПД, які мають обмежену ширину смуги частот;

✓ з'єднання бортової і наземної проміжних систем альтернативними рухомими підмережами;

✓ з'єднання бортової проміжної системи з декількома наземними проміжними системами;

✓ надання зв'язку ОПР (АТРС – Air Traffic Services Communication) відповідно до класу АТРС (табл. А.2.1), який визначається максимальною затримкою ΔT_{\max} наскрізного проходження повідомлення через АТН в одному напрямку (з імовірністю проходження 0,95).

Таблиця А.2.1

Затримки проходження повідомлення через АТН

| Клас АТРС | Максимальна затримка ΔT_{\max} , с |
|-----------|--|
| <i>A</i> | Резерв |
| <i>B</i> | 4,5 |
| <i>C</i> | 7,2 |
| <i>D</i> | 13,5 |
| <i>E</i> | 18,0 |
| <i>F</i> | 27,0 |
| <i>G</i> | 50,0 |
| <i>H</i> | 100,0 |

Побудова ЛПД ґрунтується на концепції еталонної моделі взаємодії відкритих систем (ЕМВВС), що запропонована міжнародною організацією зі стандартизації ISO (International Standardization Organization) і складає архітектурну основу АТН. Архітектура мережі функціонально розподіляється на сім рівнів.

Для кожного рівня ЕМВВС задає: мету його роботи; види послуг верхньому рівню; специфікацію виконуваних функцій. Відповідно до цілей та виконуваних функцій встановлено такі назви рівнів (рис. А.2.3):

- ✓ фізичний;
- ✓ каналний (ланки даних);
- ✓ мережний;
- ✓ транспортний;
- ✓ сеансовий;
- ✓ подання даних;
- ✓ прикладний.

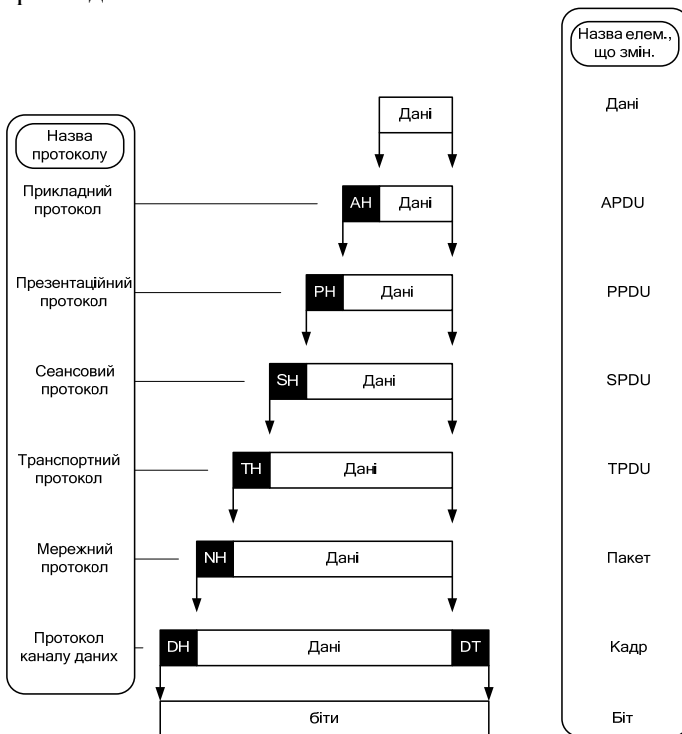


Рис. А.2.3. Рівні ЕМВВС

Фізичний рівень призначено для перенесення потоків дискретних повідомлень крізь фізичне середовище (лінії зв'язку), яке об'єднує реальні об'єкти системи зв'язку. До цього рівня належать:

умови фізичного підключення; стики користувач – мережа; електричні характеристики; швидкість передавання. Основні функції фізичного рівня: установалення та роз'єднання з'єднань; перетворення сигналів; реалізація інтерфейсів; діагностика несправностей.

Канальний рівень призначено для виконання функцій встановлення (з'єднання), підтримання та роз'єднання канальних з'єднань, які утворюють інформаційний канал. Сукупність фізичного та канального рівнів утворює систему – канал передавання інформації в складі фізичного каналу, лінійних контролерів, засобів керування каналом. Головними функціями канального рівня є: виявлення та виправлення помилок у дискретному каналі, керування каналом передавання інформації.

Мережний рівень забезпечує виконання функцій обміну мережними блоками за допомогою мережних з'єднань (віртуальних ланцюгів, датаграмних шляхів, прямих каналів). Цей рівень іноді називають комутаційним. Маршрутизація повідомлень має супроводжуватися обмеженням потоків, яке не допускає перевантаження мережі. У мережах використовують три основні алгоритми комутації: комутацію каналів, комутацію повідомлень і комутацію пакетів. Натепер реалізовано два режими комутації пакетів: датаграмний режим і режим віртуального з'єднання. Розробляють також режими гібридної та адаптивної комутації.

Транспортний рівень забезпечує універсальність процедур віддаленого інформаційного обміну між прикладними процесами користувачів; контроль і керування блоками інформації на ділянці між кінцевими устаткуваннями. Транспортний рівень включає три види послуг для сеансового рівня: створення необхідних з'єднань; видачу довідок про роботу рівня; передавання циркулярних повідомлень. Транспортні з'єднання, які забезпечуються на цьому рівні, є прозорими. На транспортному рівні установається відповідність між мережними адресами й адресами доставки; збільшення або зменшення блока інформації; установалення пріоритетів у передачі блоків; буферизація та мультиплексування.

Сеансовий рівень забезпечує з'єднання, які називаються сеансами, безпосередньо між конкретною парою прикладних процесів. Цей рівень забезпечує виконання функцій двох видів: обслуговування сеансів і обслуговування діалогової форми передавання інформації. Для взаємодії прикладних процесів, які розміщені в одній

і тій самій системі, сеансовий рівень найнижчий. Тому транспортний, мережний, каналний і фізичний рівні потрібні тільки для взаємодії тих прикладних процесів, які належать різним віддаленим системам.

Зі встановленням сеансу зв'язку визначається ряд угод на сеанс. Наприклад: про спрямованість передавання (симплекс, дуплекс і півдуплекс), коди символів, методи відновлення сеансу в разі відмов на транспортному рівні і т. ін.

Рівень подання даних призначено для перетворення інформації, яке пов'язане з визначенням її форматів, кодів, структур, що видаються в напрямку прикладного процесу і на сеансовий рівень. Цьому рівню притаманні такі функції: подання інформації (про шрифт, графічні знаки, колір); керування її форматами (формою і структурою документа); виявлення семантичного змісту інформації; з'єднання прикладних процесів з логічними каналами, які є нижніми рівнями. Функції цього рівня ґрунтуються на поняттях віртуального процесу (пристрою). Їх три типи: віртуальний термінал, віртуальний файл, віртуальне завдання.

Прикладний рівень можна вважати основним, оскільки всі інші рівні його забезпечують. Завдання прикладного рівня – забезпечення взаємодії між прикладними процесами користувачів. Серед функцій цього забезпечення є процеси оброблення даних, файлів, текстів, мови в цифровій формі, графічних зображень, відеосигналів. Цей рівень ґрунтується на понятті прикладного процесу, під яким розуміють елемент системи, що виконує змістовне оброблення інформації. В інтегральних мережах цей процес є джерелом або споживачем інформації. Прикладні процеси: робота оператора з пультом віддаленого терміналу, звернення до розподіленої бази даних, звернення абонентів за цифровим телефоном і т. ін.

У комп'ютерних мережах основою стандартизації є багаторівневий підхід до розроблення засобів мережної взаємодії. Повний набір функцій, необхідних для забезпечення взаємодії у мережі двох різнотипних комп'ютерів, розділили на групи, названі рівнями. Кожен рівень моделі взаємодії являє собою один або кілька протоколів. Даними обмінюються однакові протоколи на різних кінцях мережі без урахування того, які протоколи використовуються на інших рівнях.

Обмін даними між протоколами різних рівнів строго регламентований стандартами, за рахунок чого може відбуватися удосконалення протоколів усередині будь-якого рівня без необхідності зміни протоколів інших рівнів.

Переваги поділення на рівні:

1. Будь-який рівень може змінюватися і розвиватися, не торкаючись інших рівнів.

2. Виникла при поділенні на рівні модульність спрощує створення усєї системи.

3. Розробленням і виготовленням обладнання або програмного забезпечення для різних рівнів можуть займатися різні розробники.

Після формування повідомлення прикладний рівень направляє його вниз представницькому рівневі. Протокол представницького рівня на підставі інформації, отриманої із заголовка прикладного рівня, виконує необхідні дії і додає до повідомлення власну службову інформацію – заголовок представницького рівня, у якому містяться вказівки для протоколу представницького рівня машини-адресата. Отримане в результаті повідомлення передається вниз сеансовому рівневі, що, у свою чергу, додає свій заголовок, і т.д. Нарешті повідомлення досягає нижнього, фізичного рівня, що власне і передає його по лініях зв'язку машині-адресатові. До цього моменту повідомлення «обростає» заголовками всіх рівнів (див. рис. А.2.3).

У додатку 10 до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію під назвою «Авіаційний електрозв'язок» [1; 6] відображені такі прикладні процеси, які забезпечуються мережею АТН:

- а) прикладні процеси «повітря–земля» (Air-Ground Application):
- ✓ контекстне керування (СМ – Context Management);
 - ✓ автоматичне залежне спостереження (ADS – Automatic Depended Surveillance);
 - ✓ зв'язок «диспетчер–пілот» по ЛПД (СРDLC – Controller Pilot Data Link Communication);
 - ✓ польотно-інформаційне обслуговування (FIS – Flight Information Service);
- б) прикладні процеси «земля–земля» (Ground – Ground Application):

- ✓ служба оброблення повідомлень ОПР (ATSMHS – ATS Message Handling Services);
- ✓ зв'язок між центрами ОПР по ЛПД (AIDC – ATS Interfacility Data Communications);
- в) служби зв'язку:
 - ✓ служба зв'язку верхнього рівня (ULCS – Upper Layer Communications Service);
 - ✓ служба міжмережного зв'язку (ICS – Internet Communications Service).

А.2.2. Сучасний стан розвитку ліній передавання даних дуже високих частот

Мовний ДВЧ зв'язок на сьогодні використовують для цілей ОПР і авіаційного оперативного зв'язку у межах дальності прямої видимості. Головне використання ДВЧ зв'язку – пряме голосове з'єднання «диспетчер–пілот», а також польотно-інформаційне обслуговування (метеорологічні дані, ATIS), передавання даних по каналах .

Висока експлуатаційна надійність цього зв'язку, а також наявність каналів з інтервалами 25 кГц у смузі частот 118...136,975 МГц роблять ДВЧ зв'язок головним видом зв'язку, який забезпечує безпеку польотів у багатьох континентальних диспетчерських районах.

Дуже високі частоти зв'язку мають такі недоліки:

- ✓ переповнення ДВЧ діапазону у районах з інтенсивним повітряним рухом унаслідок великої кількості секторів;
- ✓ покриття у межах сектора забезпечується встановленням декількох ДВЧ радіостанцій, які використовують загальну частоту; брак покриття у віддалених та океанічних районах;
- ✓ переповнення ДВЧ діапазону викликає високий рівень завад і переповнення каналів;
- ✓ основні проблеми зв'язку зумовлені недоліками голосового спілкування (низька розбірливість і велика тривалість зв'язку);
- ✓ проблеми зв'язку, зумовлені людським фактором: рівень знання мови та акцент; можливість помилок під час передавання та сприйняття; високе навантаження диспетчера.

На сьогодні діють ДВЧ ЛПД системи ACARS, а також за рекомендаціями ICAO впроваджуються в дію ДВЧ ЛПД VDL. Розглянемо основні особливості системи ACARS.

На цей час обладнанням ACARS оснащено понад 5000 ПК. Природно, що лідирують найбільші авіакомпанії, оскільки це обладнання здатне підтримувати не тільки зв'язок між ПК і авіакомпанією, але й забезпечує обмін повідомленнями між диспетчером ОПП і пілотом та передавання координатної та іншої польотної інформації. Останнє дозволяє реалізувати спостереження за ПК у зонах, де немає радіолокаційного покриття, але ПК перебуває у зоні дії ДВЧ або супутникового зв'язку, тобто забезпечується режим ADS.

Смуга частот ДВЧ діапазону ACARS займає 118...136,975 МГц з інтервалами 25 кГц. Система підтримує символно орієнтований протокол обміну даними на швидкість не більше 2400 біт/с у формі символів, поданих у семибітових кодах з використанням американського стандартного коду обміну інформацією (ASCII) або алфавіту ISO №5. Специфікація обмежує вміст даних користувачів кодами, які подаються друкованими символами. В системі використовується метод доступу до середовища за алгоритмом множинного доступу з прослуховуванням несучої (CSMA – Carrier Sense Multiple Access). Система ACARS розглядається ICAO як добра проміжна система, яка підтримує передавання даних для ОПП під час перехідного періоду до CPDLC та ADS. Надалі ACARS розвиватиметься на основі режиму VDL 2.

Стандарт ICAO для ДВЧ каналів цифрового зв'язку (VDL) передбачає передавання даних і мовного повідомлення у цифровому вигляді. На сьогодні наявні чотири різні режими VDL (Mode 1, 2, 3, 4), які можуть розглядатися як суттєво різні рухомі підмережі ATN.

A.2.2.1. Характеристика лінії передавання даних VDL1

Режими VDL1 і VDL2 забезпечують рухомий зв'язок через передавання даних як ATN-сумісні підмережі. Використовується доступ CSMA і радіоапаратура VDL стежить за каналом. Якщо канал «вільний», то апаратура може здійснювати обмін «A/G». Частотний спектр VDL1 і VDL2 використовується неефективно. Усі ПК застосовують одну частоту для надсилання повідомлень, але тільки один користувач у кожний момент може передавати повідомлення без завад іншим користувачам, а решта – тільки приймати їх у цей час.

VDL1 є режимом малого ризику, але й малих можливостей. Він використовує технологію ACARS, що мало б забезпечити швидке затвердження SARPs (Standards And Recommended Practices) і прос-

тий вихід на ринок. Однак швидкість передавання даних низька (600 біт/с каналної швидкості), має поділитися між усіма ПК, а процедури CSMA для доступу до каналу приводить до збільшення терміну не детермінованого доступу, і відповідно до зростання затримок передавання. Така продуктивність не може бути прийнятною для додатків CNS/ATM і тому за наявності більш продуктивних режимів VDL1, імовірно, не набуде операційного використання.

Параметри VDL Mode 1:

- ✓ канал зв'язку: доступ до середовища MAC (Medium Access Control) – CSMA; використовується амплітудна модуляція з мінімальним фазовим зсувом AM/MSK (Amplitude Modulation/Minimum Shift Keying);
- ✓ максимальна швидкість передавання даних 2,4 кбіт/с;
- ✓ характеристики бортового обладнання: можна використовувати як бортову аналогову ДВЧ радіостанцію (із зовнішнім процесором ЛПД), так і спеціальна ДВЧ радіостанція.

A.2.2.2. Характеристика лінії передавання даних VDL 2

VDL2 є подальшим розвитком режиму 1, використовує той же частотний діапазон, але застосовуючи модем з кращим кодуванням даних. Однак CSMA все ще застосовується як процедура доступу до каналу.

Параметри VDL Mode 2:

- ✓ канал зв'язку: MAC – CSMA;
- ✓ відносна кодована восьмипозиційна фазова маніпуляція D8PSK (Differentially Encoded 8-Phase Shift Keying);
- ✓ швидкість передавання даних – 31,5 кбіт/с;
- ✓ контроль помилок, що виконується методом перевірки циклічної надлишковості;
- ✓ ідентифікація ПК на основі 24-бітної адреси ICAO;
- ✓ якість обслуговування: протокол CSMA доступу до середовища не потребує ніякого керування із землі, але у цілому не підходить для пріоритизації обслуговування; режим 2 може бути застосований для деяких додатків ОНР, некритичних для безпеки польотів, таких як ADS і CPDLC;
- ✓ характеристики бортового обладнання: можуть використовуватися як бортова аналогова ДВЧ радіостанція (із зовнішнім процесором ЛПД), так і спеціальна ДВЧ радіостанція.

А.2.2.3. Характеристика лінії передавання даних VDL3

VDL3 – значний розвиток режиму 2 завдяки використанню процедури множинного доступу з часовим розподілом (TDMA – Time Division Multiple Access). Використання TDMA дозволяє запропонувати детерміновану затримку передавання і значно поліпшене використання смуги пропускання порівняно з режимом 2, що є дуже суттєвою перевагою. Він також підтримує голосовий зв'язок по тих же самих каналах, але це додає значного технічного ризику. На сьогодні немає досконалих вокодерів (голосових кодерів/декодерів), які б відповідали вимогам режиму 3.

Основні характеристики VDL3 запропоновані Федеральним авіаційним управлінням США (FAA – Federal Aviation Administration) у 1994 р. як перспективне рішення проблеми переповнення ДВЧ каналів. Режим 3 суміщає передавання мовного повідомлення у цифровому вигляді і даних в одному комплекті бортового обладнання. SARPS для режиму 3 близькі до завершення. Режим 3, застосовуючи протокол TDMA для доступу до середовища, обслуговує обмежену групу з чотирьох користувачів (60, якщо рознести у часі використання лінії між користувачами), які спільно використовують слоти. Для передавання даних доступ до середовища контролюється із землі, де наземна мастер-станція надає користувачам часові слоти на базі аналізу пріоритету даних і завантаження ЛПД.

Параметри VDL3:

- ✓ канал зв'язку: MAC – TDMA;
- ✓ модуляція – D8PSK;
- ✓ швидкість передавання даних – 31,5 і 4,8 кбіт/с (для голосу);
- ✓ доступ до середовища, що забезпечується наземною станцією.

Режим 3 пропонує чотири незалежні канали для передавання голосу або даних на одній несучій частоті із ґраткою 25 кГц.

Якість обслуговування: режим 3 забезпечує передавання даних як підмережу ATN і додаткову послугу: голосовий зв'язок; режим 3, побудований на концепції «груп користувачів»; голосовий зв'язок у межах VDL Mode-3 пропонує деякі додаткові види обслуговування (наприклад, індивідуальну адресацію).

Характеристики бортового обладнання: може використовуватися як бортова ДВЧ радіостанція (із зовнішнім процесором ЛПД), так і спеціальна ДВЧ апаратура.

Особливості методу надання каналів TDMA в ЛПД VDL3.

Комплексна система мовного зв'язку/передавання даних VDL ґрунтується на використанні методу багатостанційного доступу з часовим розподілом каналів (TDMA) для версії VDL3. Архітектура системи TDMA на фізичному рівні повністю погоджена зі стандартами на цифровий сигнал за стандартами ДВЧ діапазону.

Уся робота системи TDMA ґрунтується на кадрах тривалістю 120 мс. Кожний кадр TDMA містить чотири часових інтервали (вікно) тривалістю 30 мс для стандартної дальності. Кожне вікно складається з підканалу керування (М) та підканалу мова/дані (V/D) та служить для формування дуплексних каналів у реальному часі (рис. А.2.4). У конфігурації зі збільшеною дальністю кадр 120 мс містить три часові інтервали [2].

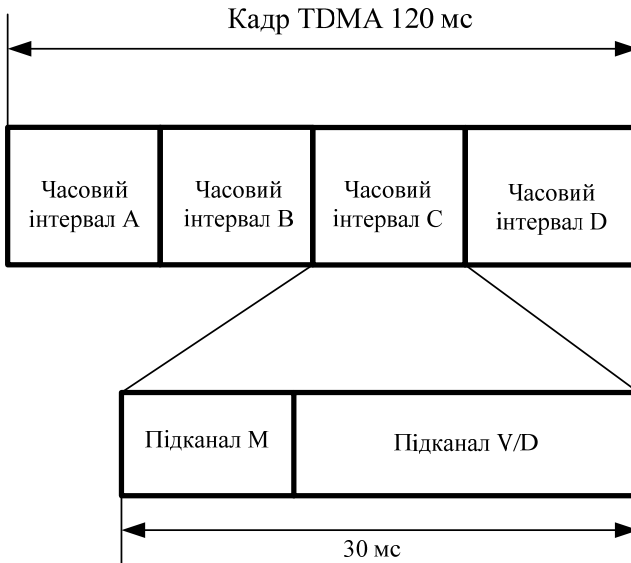


Рис. А.2.4. Формат кадру ТДМА лінії передавання даних VDL3

У часовому бюджеті підканалу М містяться чотири складові (рис. А.2.5):

- ✓ перший інтервал – фронт імпульсу – перехідний процес при вмиканні передавача, що дорівнює тривалості 5 символів;

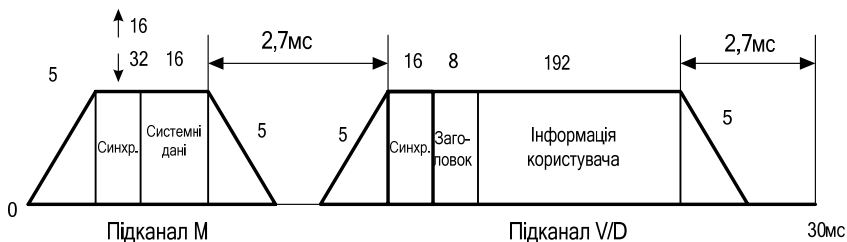


Рис. А.2.5. Часовий бюджет системи TDMA

✓ другий інтервал – синхропослідовність, виділяється інтервал для 16 символів або 24 біт кодового слова для зв'язку «нагору» і 32 символи для зв'язку «униз» або 48 біт кодового слова;

✓ третій інтервал – системні дані, використовується код прямого виправлення помилок зі швидкістю 1/2 у блоках по 24 біт;

✓ четвертий інтервал – спад імпульсу – перехідний процес при вимкненні передавача, що дорівнює тривалості 5 символів.

Між підканалами М та V/D існує захисний інтервал 2,7 мс, що надається для того, щоб урахувати можливі помилки синхронізації у радіоканалі (0,2 мс) і затримки на час поширення в прямому й зворотному напрямках (2,5 мс) для максимальної дальності наземної станції 200 морських миль (далі – миль).

Підканал мова/дані використовується для передавання інформації користувача. Формат підканалу мова/дані (V/D) сполучається для лінії передавання «нагору» і «униз». У цьому випадку в часовому бюджеті потрібно враховувати такі п'ять інтервалів:

✓ фронт імпульсу – перехідний процес при вмиканні передавача, що дорівнює тривалості 5 символів;

✓ синхропослідовність, виділяється інтервал для 16 символів. Синхропослідовність підканалу V/D відрізняється від синхропослідовності підканалу М і тому приймач легко може розрізнити ці два канали;

✓ поле заголовка. Це поле утворюється з блока 24 біт, отриманого в результаті прямого завадостійкого кодування зі швидкістю 1/2. Виділяється інтервал для 8 символів;

✓ інформація користувача – отримане навантаження користувача для трафіку V/D. Виділяється 192 символів або 576 біт;

✓ захисний, як і у випадку підканалу М. Припустимий час затримки для цього компонента становить 2,7 мс, що забезпечує даль-

ність зв'язку наземної радіостанції до 200 миль і похибку синхронізації до двох періодів символів 0,2 мс.

Система TDMA забезпечує такі функціональні можливості:

- ✓ роботу без вибіркової адресації, що передбачає тільки мовний зв'язок;

- ✓ роботу з вибірковою адресацією, що передбачає мовний зв'язок і передавання даних.

На цьому рівні є кілька конфігурацій системи: 4V, 2V2S, 3VID, 2V2D і 3T, що забезпечують різні комбінації каналів зв'язку: тільки мовний зв'язок; мовний зв'язок і передавання даних; тільки передавання даних (рис. А.2.6).

Особливості *конфігурації системи 4V*. Ця конфігурація забезпечує чотири незалежні дуплексні канали мовного зв'язку в одному частотному каналі зі смугою 25 кГц (часові інтервали А, В, С і D), виділюваному однією наземною радіостанцією на відстані зв'язку 200 миль.

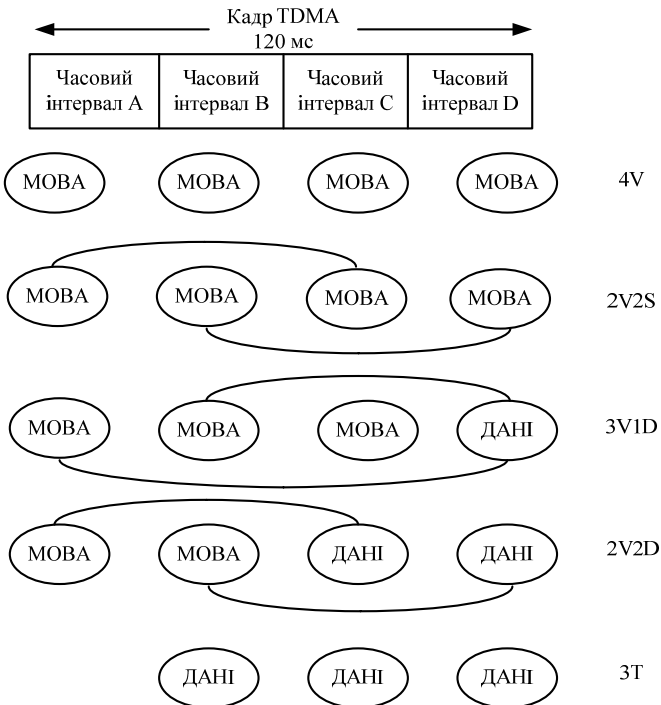


Рис. А.2.6. Можливі конфігурації системи VDL3

Особливості *конфігурації системи 2V2S*. Така конфігурація забезпечує обслуговування однієї зони ОНР двома наземними радіостанціями на одному частотному каналі зі смугою 25 кГц та передавання тільки мови по всіх чотирьох слотах. Конфігурація 2V2S припускає розподіл єдиного еталона часу з високою точністю та взаємну синхронізацію.

Конфігурація системи 2V2D відрізняється від 2V2S тим, що кожній з двох груп користувачів надаються часові слоти для передавання мови і даних.

Конфігурація системи 3VID забезпечує одночасне передавання мови й даних на одному частотному каналі. Використовується в тих випадках, коли потрібна підвищена пропускна здатність каналів мовного зв'язку й обмежена пропускна здатність каналів передавання даних із вибірковою адресацією.

Цю конфігурацію розраховано на три групи користувачів. Кожній групі виділяються закріплені часові інтервали для передачі мови, але при спільному використанні часових інтервалів для передавання даних.

Конфігурація системи 3T на одному частотному каналі дозволяє здійснювати одночасний доступ до каналів передавання мови й даних, не встановлюючи меж між групами користувачів і не використовуючи закріплених мовних каналів. У цій конфігурації будь-який з трьох часових інтервалів динамічно виділяється на вимогу користувача для передавання мови або даних.

Інформація про встановлену конфігурацію наземної радіостанції передається на бортові радіостанції у повідомленні ініціалізації, що міститься в підканалі M напрямку «нагору».

Мовний зв'язок (підканал V/D). Для збільшення пропускної здатності каналів мовного зв'язку в системі TDMA передбачено цифрове передавання мови, що ґрунтується на застосуванні низькошвидкісного кодера мови (вокодера), який працює зі швидкістю 4,8 кбіт/с з мовними кадрами тривалістю 20 або 30 мс.

Мовний кадр являє собою базовий елемент часу, використовуваний вокодером для процесів аналізу (перетворення) і синтезу (відновлення форми мовного сигналу за стислим цифровим поданням) мовного сигналу користувача.

Упорядкування мовних кадрів вокодера за часом проводиться на основі синхронізації кадрів TDMA, виконаної наземною радіостанцією при передачі пакета по лінії «нагору» у підканалі M. Мовні кадри вокодера формуються таким чином, що межі кадрів TDMA завжди збігаються з межами мовних кадрів. Оскільки вокодер працює в реальному часі зі швидкістю 4,8 кбіт/с, то в результаті аналізу кожний мовний кадр тривалістю 20 мс представлений 96 біт стислого вихідного цифрового сигналу. Стислі вихідні цифрові сигнали шести мовних кадрів відображаються в кожному кадрі TDMA й у такий спосіб цілком заповнюють інформаційну частину користувача (576 біт) у кожному пакеті підканалу V/D.

Часові інтервали, на яких формуються дуплексні мовні канали реального часу, служать для передачі двох типів пакетів даних: підканалу передавання інформації користувача (пакета мови або даних) і підканалу передавання системних даних (пакета M).

Формат пакета підканалу мова/дані (V/D) включає синхророзлідовність, заголовок і інформацію користувача (рис. А.2.7).

Заголовок містить такі поля:

Ідентифікатор повідомлення (ID), що визначає вид інформації, який міститься в інформаційному полі користувача. Для передачі тільки мови використовують комбінації 00 (мова по каналу «нагору») і 10 (мова по каналу «вниз»);

Тривалість. За відсутності нової інформації про синхронізацію може статися брак мовних кадрів і передача зрізаного сигналу. Установлення нуля у такому полі свідчить про передачу нормального сигналу, а одиниця указує на зрізаний сигнал.

Ідентифікатор (ID) місцевого користувача служить для однозначної ідентифікації всіх користувачів каналу і складається з двох підполів: ID групи й вибіркової адреси.



Рис. А.2.7. Формат пакета підканалу мова/дані (V/D)

Формат пакета підканалу керування без вибіркової адресації передається тільки по лінії зв'язку «вгору» і забезпечує функції: надання бортовій радіостанції еталона часу, а також сигналізації й ініціалізації каналу. Пакет підканалу М напрямку «вгору» містить поля сегмента даних системи (рис. А.2.8).

Пакет підканалу М

| ID повідомлення, 4 біт | ID часових інтервалів, 2 біт | Вибіркова адреса, 6 біт | Код наземної станції, 3 біт | Конфігурація, 4 біт | Мовний сигнал, 2 біт | Вікно шумоподавлення, 3 біт | Залежне від повідомлення, 24 біт |
|------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| | | | | | | | |

Рис. А.2.8. Формат пакета підканалу керування (М)

ID повідомлення визначає тип інформації, що міститься в пакеті. У випадку передачі тільки мовних повідомлень без вибіркової адресації використовується тільки ID повідомлення 0000.

ID часового інтервалу визначає часовий інтервал, у якому ведеться передача. Ця інформація необхідна для правильної синхронізації користувачів на ПК.

Вибіркова адреса. Без вибіркової адресації в це поле заноситься фіктивне число 61, а в разі використання вибіркової адресації – адреса ПК, що викликається.

Код наземної станції являє собою повідомлення з 3 біт, яке служить для розпізнавання наземних станцій, що працюють на одній частоті.

Конфігурація вказує користувачам на ПК конфігурацію, що використовується наземним терміналом. Наприклад, конфігурація 4V відображається як 0000, а 2V2S позначається через 0001.

Мовний сигнал показує стан відповідного підканалу V/D. Значення 00 показує, що наземний користувач передає або має намір передавати й блокує передачі всіх користувачів на ПК. Значення 01 означає, що канал уже зайнятий користувачем на ПК, а 10 – що вільний мовний канал. Значення 11 використовується тільки в конфігурації 3T. Реалізація мовної сигналізації необов'язкова. Якщо мовна сигналізація факультативна, то безперервно передається код «мовний канал вільний». У цьому випадку за замовчуванням приймається режим роботи системи, за якого жодному користувачеві мовного каналу не віддається перевага, як наприклад у сучасній системі AM/DSB із смугою 25 кГц.

Вікно шумопридушення складається з 3 біт і вказує на придатний розмір вікна для конкретної зони дії, забезпечуючи оптимальний ефект кодового шумопридушення.

Залежне від повідомлення – інші 24 інформаційні біти пакета підканалу М напрямку «вгору» використовуються для роботи з даними при вибірковій адресації.

Ініціалізація каналу при широкомовному режимі. Після введення до бортової радіостанції ідентифікатора частоти й часового інтервалу в ній починається контроль підканалу М «угору» для виділеного часового інтервалу. Передані в цьому інтервалі повідомлення ініціалізації формують конфігурацію бортової радіостанції, потрібну для роботи в каналі. Ініціалізація займає менше 1 с.

Після ініціалізації каналу пілот має можливість контролювати передачі будь-якого користувача на цьому каналі. Під час передачі пілот дотримується правила «слухай, потім розмовляй», що використовується в сучасній системі AM/DSB із смугою 25 кГц. Із натисканням пілотом тангенти (РТТ) бортова радіостанція автоматично встановлює величину часового зсуву для передачі пакетів у підканалі V/D «униз» відповідно до даних про конфігурацію системи, отриманими в повідомленні підканалу М «угору».

Під час конфігурації наземної станції, що підтримує вибіркову адресацію, користувач на ПК, задавши фіктивну адресу 61, може вибрати режим, що усуває його від активних процедур.

Сигналізація в мовному каналі можлива завдяки тому, що всі бортові радіостанції і навіть ті, що перебувають у режимі передачі РТТ, безперервно контролюють підканал М «угору».

Наземному користувачу мовним каналом надається особливий статус або пріоритет, що уможливорює у будь-який час натиснути тангенту РТТ і припинити передачу будь-якої бортової радіостанції. Для цього передається код «пріоритетне заняття каналу земною станцією» у пакеті підканалу М «угору» при натисканні наземним користувачем на тангенту РТТ. Це, у свою чергу, приводить до припинення будь-яких передач, які веде будь-яка бортова радіостанція на каналі.

Канали передачі мови й даних з вибірковою адресацією. Структура фіксованого кадру тривалістю 120 мс передбачає можливість формування певного набору конфігурацій, що забезпечують гнучкість системи TDMA.

Вибіркова адресація в системі TDMA орієнтована на групу користувачів. Для кожного нового користувача на ПК, що входить до мережі, створюється ідентифікатор (ID) місцевого користувача. Процедура входження до мережі забезпечує автоматичну «реєстрацію» нового члена групи користувачів і перетворення повної 24-бітної адреси ПК стандарту ISAO у стислий 8-бітний ідентифікатор (ID) місцевого користувача.

В адресному полі ідентифікатора місцевого користувача може бути розміщено до 60 ПК на одну групу користувачів (сектор ОПР) і чотири групи користувачів на виділений частотний канал із смугою 25 кГц.

Пакети підканалів M і V/D системи, використовувані тільки для передачі мови, також належать до конфігурації системи з вибірковою адресацією.

Після завершення ініціалізації знову прибулий користувач отримує доступ до всіх засобів мовного зв'язку без вибіркової адресації. Користувачам на ПК з вибірковою адресацією/каналом передавання даних можуть бути запропоновані додаткові послуги мовного зв'язку. Додатковими послугами мовного зв'язку, забезпечуваними підканалом M «униз», є очікування виклику й оповіщення про терміновий виклик. Якщо користувач на ПК перебуває в екстремальному стані, він може ввімкнути спеціальний сигнал термінового виклику, що буде переданий у підканалі M «униз». Цей сигнал повідомить диспетчера наземної станції про надзвичайну ситуацію.

A.2.3. Характеристика лінії передавання даних режиму VDL4

Режим VDL4 значно відрізняється від решти режимів VDL, хоча й використовує такі самі діапазони частоти, методи кодування і протоколи доступу до середовища. Однак, якщо для режиму 3 потрібна наземна станція для забезпечення сигналів синхронізації каналів, то режим 4 є самоорганізовним і дозволяє зв'язок «повітря–повітря» (A/A) без наземних станцій.

Протокол резервування каналів містить інформацію про місцезнаходження і, таким чином, підтримує вбудовані послуги автоматичного залежного спостереження ADS-B. Процедури ЛПД забезпечують просту підтверджену послугу зв'язку без встановлення

з'єднання, що дуже важливо для передавання даних у АТН, оскільки можна уникнути послуг складного доступу до середовища за протоколом ISO 8208.

Основні характеристики VDL4 запропоновані шведською авіаційною адміністрацією (CAA) у 1994 р. як перспективне рішення для підтримання додатків навігації (диференціальна корекція глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS – Global Navigation Satellite System) і спостереження (ADS-B)), а тепер режим 4 також забезпечує мобільний зв'язок (передавання даних) як підмережа АТН. Режим 4, на відміну від VDL3, передає тільки дані без передачі мови.

Робота VDL4 ґрунтується на технології TDMA і використовує алгоритм самоорганізації STDMA (Self-organizing Time Division Multiple Access) – множинний доступ із самоорганізованим часовим розподілом. Основна функція STDMA – підтримання коротких повідомлень, які повторюються (таких, які циркулюють у системах ADS-B, DGNSS (Differential GNSS) і TIS-B, а також в інших засобах цифрового зв'язку).

Для передавання даних доступ до середовища не контролюється із землі, але потрібна прив'язка до кожної хвилини всесвітньо координованого часу UTC (Universal Coordinated Time) як основи синхронізації всіх користувачів (наприклад, GNSS приймач-відповідач може використовуватися як джерело точного часу).

Структурну схему будь-якого обладнання VDL4 (бортового або наземного) показано на рис. А.2.9.

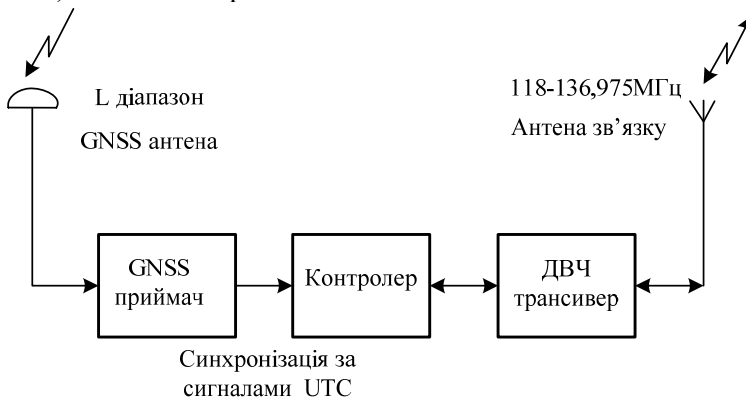


Рис. А.2.9. Структурна схема бортового обладнання VDL4

Режим VDL4 підтримує віртуально комутований ланцюг, що відповідає вимогам ATN. Ключові характеристики VDL4 полягають у тому, що вона є багатоканальною системою вузького діапазону (25 кГц), яка працює з наземною інфраструктурою або без неї, є розподіленою системою зв'язку і, нарешті, забезпечує більшу ємність смуги пропускання, ніж будь-яка інша технологія бездротового зв'язку. Порівняно, наприклад із системою VDL2, VDL4 пропонує ємність, яка за оцінками у 15 разів більша, незважаючи на нижчу швидкість передавання даних. Загальна довжина повідомлення становить 13,33 мс за загальної довжини пакета 192 біт.

Параметри VDL4:

- ✓ канал зв'язку MAC – STDMA;
- ✓ UTC-синхронізація, що ґрунтується на концепції інтегрованого забезпечення точним часом; модуляція GFSK (у додатку ADS-B), D8PSK для передавання даних;
- ✓ довжина слота: для модуляції GFSK – 13,3 мс (4500 слотів за хвилину), для модуляції D8PSK – 9,2 мс (6540 слотів за хвилину), кількість бітів даних у слоті – 192;
- ✓ швидкість передавання даних: для модуляції GFSK – 19,2 кбіт/с, для модуляції D8PSK – 31,5 кбіт/с. Кількість глобальних ДВЧ каналів – 2, а саме: перший глобальний канал GSC-1 функціонує на частоті 136,95 МГц, а другий GSC-2 має бути визначений. VDL4 підтримує два різні типи зв'язкових послуг: спеціальні послуги VDL4 (радіомовлення і адресний зв'язок, тобто двоточковий зв'язок (point-to-point) з мінімумом повітряної інформації для обміну, критичного щодо часу та кінцевих користувачів) і послуги VDL4 ATN (CPDLC, ADS, D-FIS). Разом ці послуги підтримують діапазон радіомовлення та послуги кризисного зв'язку.

Режим VDL4 підтримує багато додатків зв'язку, навігації й спостереження у середовищі CNS/ATM. Розглянемо їх.

ADS-B, що складається з визначення координат місцеперебування, які повідомляються літаком і наземними транспортними засобами.

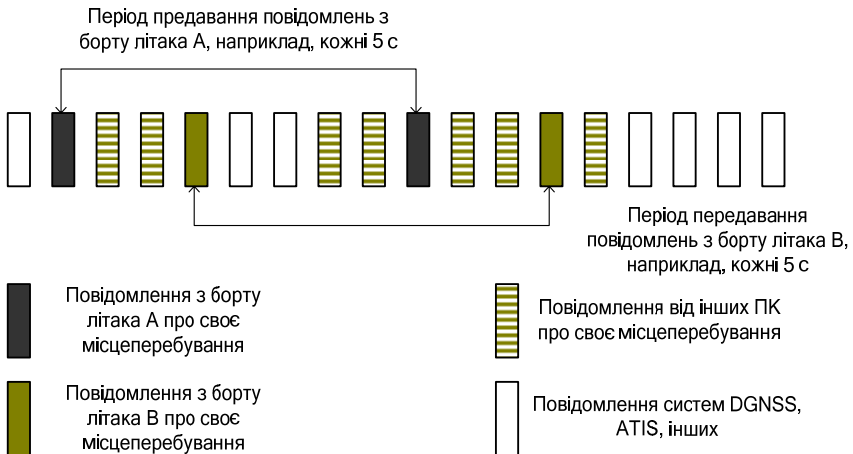
ATN комунікації, що забезпечують двосторонній зв'язок повітря–земля і земля–земля (наприклад, CPDLC і AOC).

TIS-B – радіопередача даних радіолокаційної інформації із землі на літак.

FIS-B – радіопередача даних із землі. У першу чергу – це радіопередача повідомлень ATIS, що містять метеорологічну інформацію й інформацію про стан аеродрому;

GRAS – функція радіопередачі даних із землі, що забезпечує місцеве і регіональне посилення GNSS для бортової й наземної точної навігації та спостереження. GRAS складається з декількох наземних станцій, об'єднана зона покриття яких забезпечує наземне регіональне посилення.

На відміну від традиційних технологій передавання даних VDL4 є системою із самоорганізацією, коли всі учасники синхронізуються за однією і тією ж базою UTC часу, що надходить від GNSS. Усі користувачі знають, як кожний з них використовує часовий слот у будь-який момент часу (рис. А.2.10), а також усі користувачі мають у резерві необхідний час, щоб оголосити в разі потреби зміну у передбачуваному слоті, вони також знають, які надано часові слоти всім користувачам в одній зоні повітряного руху.



Примітка. Реальна кількість слотів становить мінімум 4500 на канал

Рис. А.2.10. Використання часових слотів у режимі VDL4

Таким чином, зіткнення слота мінімізується, усувається спотворення передач, а проміжки між сеансами обмежуються часом запуску передавача (ramp-time) та інтервалами обережності (guard-time) для компенсації затримок поширення сигналів. Ці розбіжності і особливості сприяють більш високій спектральній ефективності VDL/Mode-4.

Режим VDL4 має певні переваги над іншими вищенаведеними системами передавання даних:

Цей режим може підтримати кабінний дисплей інформації руху CDTI (Cockpit Display of Traffic Information), ADS-B, включаючи бортову систему гарантованого ешелонування, ASAS (Airborne Separation Assurance System), TIS-B (Traffic Information Service Broadcast); FIS-B (Flight Information Services Broadcast), супутниково-го доповнення (GNSS, CPDLC тощо) і зв'язок A/G у віддалених зонах, у той час, як VDL3 не забезпечує CDTI, бо він потребує для свого функціонування головної наземної станції.

Режим VDL4 підтримує усі типи застосування передавання даних, включаючи ті, що є критичними щодо часу, тоді, як VDL2 не підтримує зв'язок «повітря–повітря» і не може підтримувати застосування, критичні щодо часу, виключаючи зони дуже низької щільності, VDL2 і VDL1 мають меншу ємність і потребують ширшої смуги пропускання, ніж VDL4. Лінія передавання даних VDL2 має низьку характеристику поступового зменшення можливостей й дуже потерпає від швидкого перевантаження похибками, в той час, як VDL4 більш пристосована для компенсації перевантаження за допомогою таких функцій, як тимчасова оренда інших станцій і повторне використання часових слотів віддалених користувачів.

VDL4 здатний до наростаючого збільшення ємності шляхом локального або регіонального додавання каналів зі смугою 25 кГц для збільшеної ємності, нових послуг і функцій. Усі елементи VDL4 можуть використовувати цю додану ємність. При цьому використовуються два глобальні канали GSC-1, GSC-2, опційні канали авіаційного оперативного контролю (АОК), канали ADS-C, канали GNSS. Концепцію збільшення ємності ATN показано на рис. А.2.11.

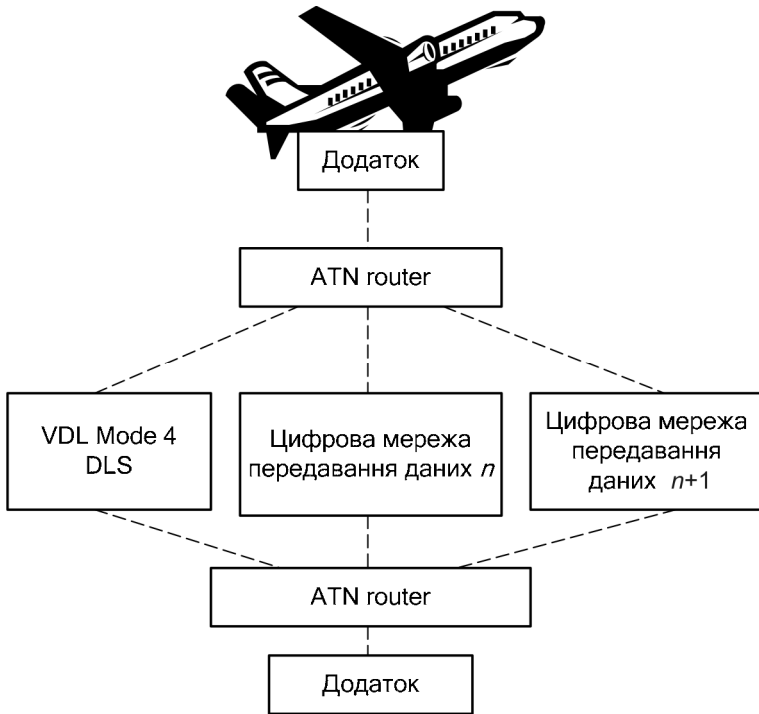


Рис. А.2.11. Концепція збільшення ємності ATN

А.2.3.1. Автоматичне залежне спостереження ADS-B

ADS-B функціонує, використовуючи пакетний режим передавання повідомлень VDL4 з регулярною передачею коду UTC, координат ПК, висоти й іншої необхідної інформації про літак, наземний транспортний засіб для використання іншими користувачами, рухомими й наземними станціями. Оскільки повідомлення місцеперебування є складовою частиною керування засобами зв'язку в VDL4, то і головні елементи ADS-B такі самі, що і в лінії зв'язку.

ADS-B підтримує велику кількість додатків спостереження за рухомими засобами, таких як бортовий монітор відображення інформації про повітряний рух (CDTI), додаток, що інформує про си-

туації в повітряному просторі (AIRSAW), додаток збереження безпечної дистанції у повітряному просторі (ASAS – Airborne Separations Assurance System). У випадку, коли система VDL4 включає наземні станції, вона має можливість підтримувати такі додатки, як, наприклад, A-SMGCS (Advanced Surface Movement Guidance and Control System) – система керування і контролю руху по поверхні землі, система спостереження ATS, система пошуку й порятунку (SAR – Search and Rescue) та ін. Архітектуру ADS-B, реалізовану за допомогою VDL4, зображено на рис. А.2.12.

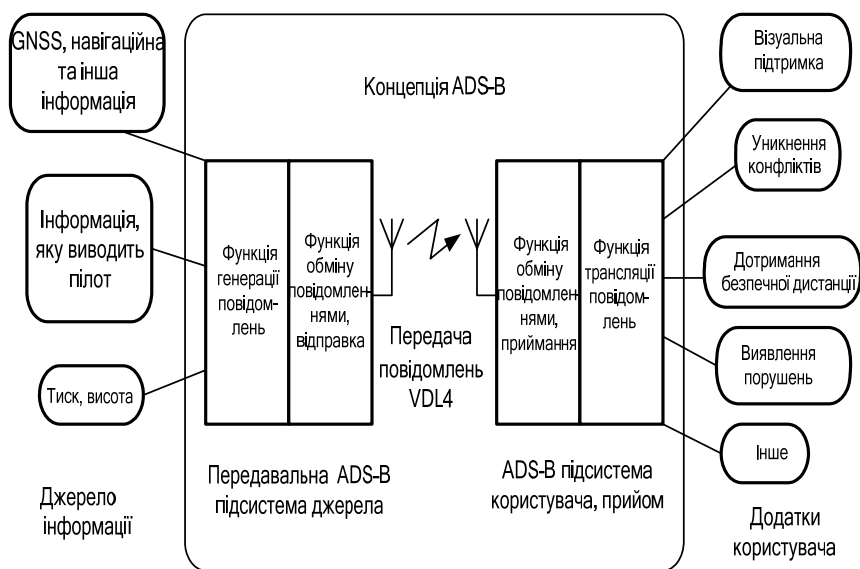


Рис. А.2.12. Архітектура ADS-B, реалізована за допомогою VDL4

Варіант організації ADS-B для забезпечення наземного спостереження великого регіону за допомогою мережі наземних станцій показано на рис. А.2.13. Локальні сервери LS наземних станцій забезпечують збір даних спостереження від рухомих об'єктів у межах своєї зони обслуговування і пересилання їх у мережну службу NS центрального сервера для передачі кінцевому додатку.

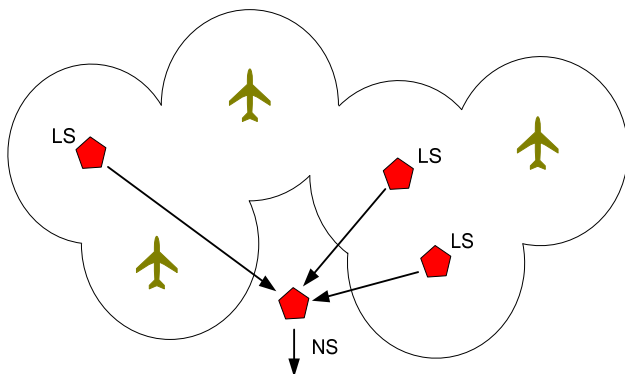


Рис. А.2.13. Забезпечення наземної мережі ADS-B

А.2.3.2. Служби зв'язку VDL4

Стандарт VDL4 підтримує два різні типи служб зв'язку:

- ✓ спеціальні служби VSS (VDL Mode 4 Specific Services) для забезпечення адресного зв'язку ATN типу «точка–точка»;
- ✓ служби ATN цифрової передачі даних DLS (VDL Mode 4 Data Link Services) для забезпечення радіомовлення.

Радіомовлення – фундаментальна технологія VDL4, в той час, як зв'язок «точка–точка» розглядається як доповнення, необхідне для того, щоб забезпечити специфічні додатки CNS/ATM.

Спеціальна служба (VSS) VDL4 – зв'язок між двома кінцевими пунктами – може бути реалізована шляхом використання повного набору ATN протоколів, як показано на рис. А.2.14.

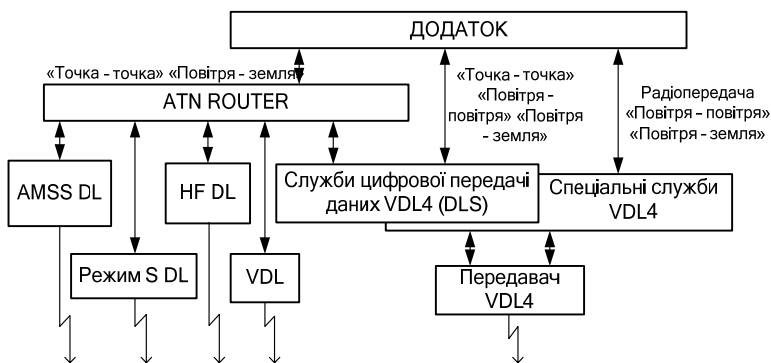


Рис. А.2.14. Зв'язок між двома кінцевими пунктами VDL4

Вибір типу ЛПД в АТН для спеціальних служб VSS здійснюється додатком на основі вимог до якості обслуговування QoS (Quality of Service), типу обладнання літака, наземної інфраструктури, обмежень у часі, економічних міркувань і навантаження на канали.

А.2.3.3. Структура кадру TDMA в лінії передавання даних VDL4

У VDL4 каналний час розділений на фіксовані інтервали часу – «суперкадри» TDMA, які складаються з групи слотів (інтервалів часу) з періодом 60 с. Загальна довжина повідомлення становить 13,33 мс.

Для GFSK модуляції зі швидкістю 19200 біт/с загальна довжина повідомлення становить 13,33 мс. «Суперкадр» містить 4500 слотів (що еквівалентно 75 слотам за секунду). Структуру «супер-кадру» показано на рис. А.2.15.

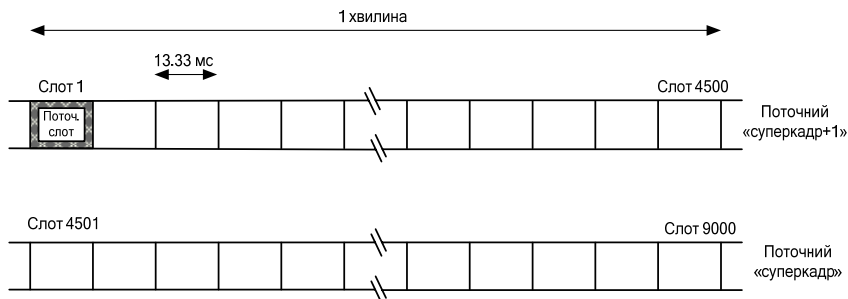


Рис. А.2.15. Структура «суперкадру» TDMA у ЛПД VDL4

Передача має чотири різні етапи: А, В, С, D (рис. А.2.16). У системі може використовуватися передавання кадрів двох типів: одиничний слот і багатослотова передача. У разі передавання одиничного слота на етапі А потужність передавача лінійно зростає й стабілізується протягом 832 мкс. На етапі В здійснюється синхронізація й усунення неполадок передавача. При цьому передається 24 біт послідовності 0101010..., що дозволяє приймальній станції визначити точний початок передачі в часі й виділити його серед інших повідомлень. Тривалість етапу В становить 1250 мкс. На етапі С передається пакет даних для повідомлення одинарним слотом, що генерується рівнем VSS і містить 192 біт. Тривалість етапу становить 10 мс. На етапі D відбувається зменшення потужності передавача. Після передачі пакета даних передавач вимикається і потужність швидко спадає, досягаючи нульового значення за 300 мкс.

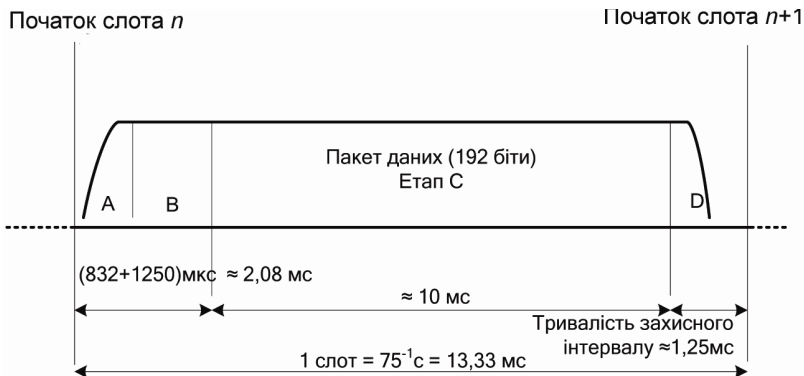


Рис. А.2.16. Структура слота

Тривалість захисного інтервалу з урахуванням поширення сигналів на максимальну відстань 200 миль становить 1,25 мс.

У разі багатослодової передачі (рис. А.2.17) структура кадру зміниться тільки на стадії С: зростає час передавання в k раз, де k – кількість кадрів, при цьому тривалість етапу С на 3,33 мс менша ніж тривалість кадру, що пояснюється потребою резервувати час на етапи А, В, D.

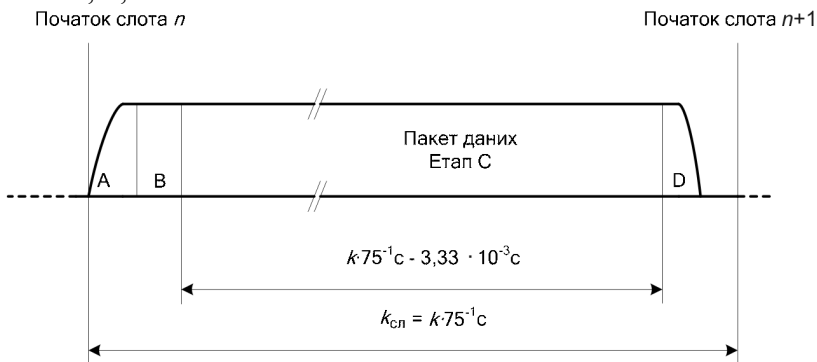


Рис. А.2.17. Багатослодова передача

Для максимальної кількості кадрів $k = 8$ кількість інформації на стадії С становить 1984 біт.

До складу пакета даних входить заголовок (прапорець, адреса джерела, тип повідомлення), інформація переданого додатка, кінець пакета (резервування даних, контрольна послідовність з циклічно надлишковим кодом, прапорець).

Синхронізація системи кадрів TDMA організовується одним з чотирьох методів: перший основний метод – за сигналами GNSS приймача, що виділяє час UTC з припустимою нестабільністю не більше 400 нс; другий метод – за сигналами земної станції VDL4; третій метод – за сигналами іншого бортового джерела синхронізації; четвертий метод – за сигналами інших користувачів. Бібліотеку усіх повідомлень, які підтримуються різними передачами VDL4, показано на рис. А.2.18.

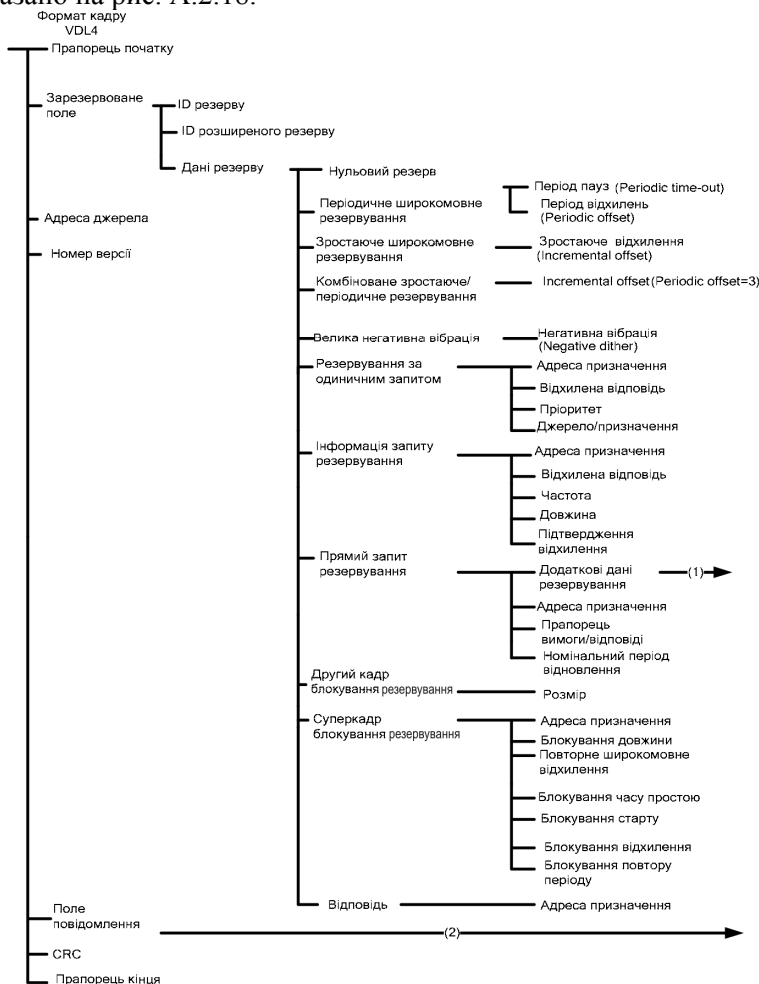


Рис. А.2.18. Бібліотека повідомлень (див. с. 89)

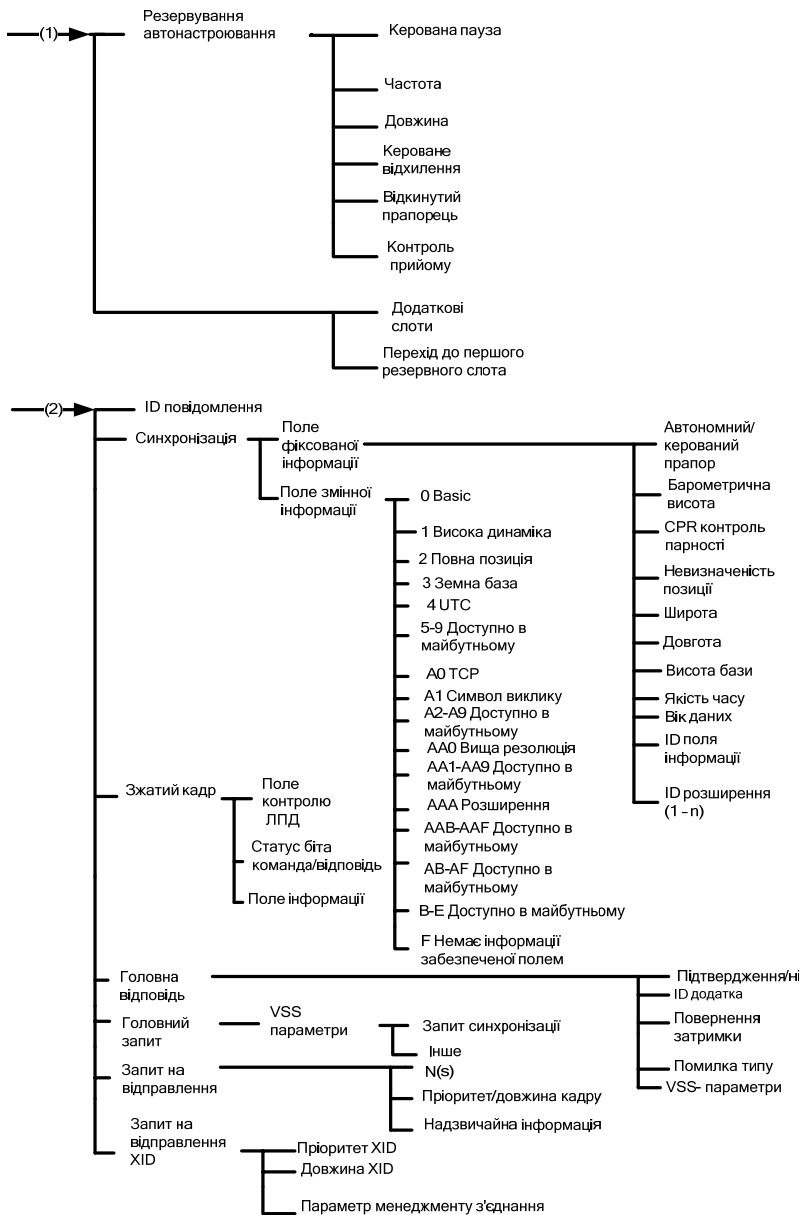


Рис. А.2.18. Закінчення

A.2.3.4. Типи каналів та зони обслуговування повітряного руху

У VDL4 застосовується метод багаторазового використання каналів зв'язку в діапазоні ДВЧ, що забезпечує гнучкість керування каналним ресурсом, швидке реагування на зростання трафіку й формування резерву каналів зв'язку. Система працює без земної станції для додатків «повітря–повітря», але наявність земної станції дозволяє використовувати додаткові функції й можливості. Земна станція може забезпечити керування в термінальній зоні ТМА (Terminal Movement Area), а також наземні канали великої місткості аеропорту для підтримання додатків ADS-B, моніторинг руху по аеродрому A-SMGCS, наземними ширококомовними службами, такими як FIS-B, GRAS та ін.

Лінія передавання даних VDL4 функціонує в смузі частот авіаційного радіозв'язку 118-136,975 МГц і для зв'язку використовуються такі канали зв'язку:

- ✓ два глобальні канали зв'язку – Global Signalling Channels (GSC-1 і GSC-2). За рекомендацією ICAO за VDL4 закріплено смугу передавання даних для двох глобальних каналів 136,9...136,975 МГц;

- ✓ регіональні канали зв'язку – Regional Signalling Channels (RSC) для зон високої інтенсивності повітряного руху, кількість каналів RSC для кожної зони в кожному конкретному випадку визначається інтенсивністю польотів;

- ✓ локальні канали зв'язку – Local Signalling Channels (LSC) для зон з високою й середньою інтенсивністю повітряного руху;

- ✓ наземні канали зв'язку GND.

Для забезпечення роботи ADS-B у системі досить використати два глобальні канали зв'язку GSC-1 і GSC-2 у всіх регіонах обслуговування. Для інших послуг, таких як FIS-B, FIS-B і GRAS, двох глобальних каналів GSC-1(2) недостатньо. Тому призначаються додаткові канали, виділення яких відбувається по каналах GSC-1(2) через директорії послуг DoS (Directory of Services). На рис. А.2.19 показано процедуру надання інформації про доступні послуги DoS на каналах (CH A, CH B, CH C), що передається на обидва GSC з періодом оновлення 20 с.

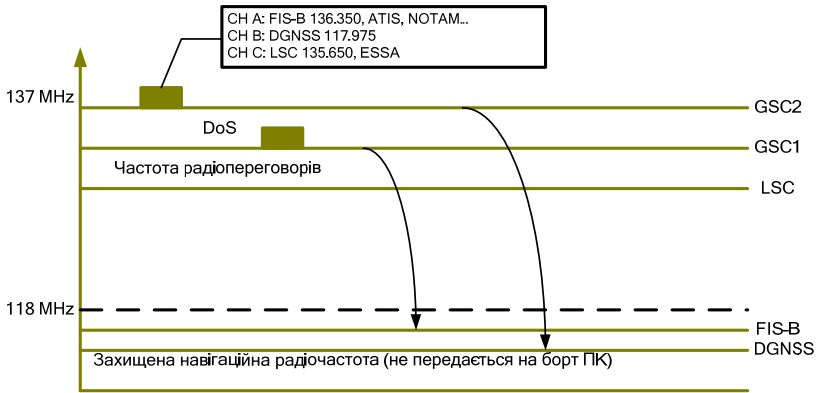


Рис. А.2.19. Процедура надання інформації про доступні послуги DoS

Захист від взаємних завад у діапазоні ДВЧ на каналах, що використовуються в системі VDL4, організований залежно від використовуваних додатків. Стратегія частотного менеджменту передбачає:

- ✓ обмеження використання глобальних частот сукупністю базових функцій;
- ✓ можливість гнучкого нарощування продуктивності й менеджменту на національному й регіональному рівнях;
- ✓ захист функцій, критичних для безпеки польотів.

Суть регіонального менеджменту полягає в тому, що додаткові канали можуть призначатися для таких додатків, як ADS-B і ADS-C. Це дозволяє кожній національній адміністрації ОПП організувати власний частотний менеджмент і забезпечує незалежний цифровий зв'язок для радіонавігації. Ці канали можуть бути визначені за допомогою перенастроювання бортової бази даних або за допомогою приймання сигналів на глобальних каналах у DoS.

Земна станція VDL4 автоматично перестроюється з глобального на спеціальний локальний канал (LSC) з кожним входженням й виходом ПК з повітряної зони.

Авторизована земна станція передає на ПК директорію обслуговування DoS на глобальних каналах, використовуючи параметри BSAP – ширококомовної точки доступу у кадрі XID. Ці параметри

визначають доступні частоти й процедури в цій локальній зоні. Наприклад, це можуть бути процедури локального посилення DGNSS, інформації про погоду, ATN сервіс і ATIS на визначеній частоті. Це повідомлення DoS можна використовувати як команду для перенастроювання бортової системи на регіональні канали й рівень обслуговування.

Виділення сервісу виконується автоматично за допомогою функції автонастроювання або під керуванням пілота або диспетчера. Повідомлення DoS має гнучку структуру і здатне перенастроювати такі функції:

- ✓ перенаправляти на поточний або інший канал. Структура повідомлення DoS містить поле призначення інформації для поточного каналу з можливістю додавати інформацію для одного і більше додаткових каналів;

- ✓ збір великих баз даних з інформацією про DoS через використання послідовності внутрішніх номерів (тобто кожна нова передача замінює попередню інформацію, якщо вона має таку саму адресу).

Працездатність сервісу визначається двома способами: 1) за допомогою додавання поодинокого байта в пакет для кожного сервісу; адреса доданого байта відображається в полі номера додатка; 2) за використанням поля з інформацією про сервіс. Кожен біт у полі сервісної інформації визначає особливості сервісу. Встановлення біта означає доступність цього сервісу. При цьому використовується додаткова процедура стискання VDL XID-параметрів. Формат стискання XID дозволяє упаковувати велику кількість інформації в окремий слот.

Режим передавання даних ADS-B залежить від висоти польоту ПК. Якщо висота польоту понад 10000 футів, з борта ПК по черзі по кожному каналу GSC-1 і GSC-2 передаються дані з дискретністю 20 с. Чергування повідомлень організоване так, що результуючий період оновлення становить 10 с, як показано на рис. А.2.20. Для висоти польоту нижче 10000 футів частота оновлення інформації збільшується в 2 рази й результуючий період оновлення ста-

новить 5 с. Для військової авіації та спеціальних ПК під час руху біля аеропорту й рулювання цей період оновлення застосовується для всіх висот. Частота оновлення інформації задається командами земної станції.

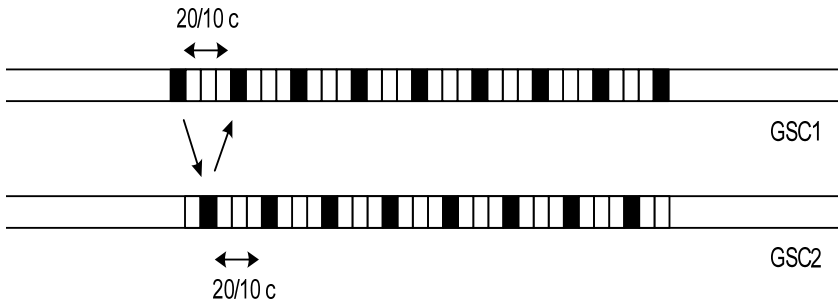


Рис. А.2.20. Частота оновлення інформації GSC-1 и GSC-2

Додаткові канали VDL4 призначені для збільшення глобальних можливостей ADS-B у зонах з високою інтенсивністю повітряного руху, щоб уникнути перевантаження каналів GSC. Додатковим каналам присвоюється позначка регіонального (RSC), локального (LSC) і наземного (GND) каналів. Період оновлення інформації для ПК, авіаційної наземної техніки, які переміщуються зі швидкістю не більше 5 вузлів по поверхні аеродрому, збільшено до 40 с на кожен використовуваний канал. Для комунікацій типу «точка–точка» по ЛПД пілот–диспетчер CPDLC каналам запиту на прибуття/відправлення PDC (Pre-Departure Clearance) також застосовується змінний період оновлення інформації.

Зона обслуговування ADS-B по каналах VDL4 охоплює ділянку повітряного простору із запланованим обсягом послуг радіусом 200 миль у режимі повітря–повітря, повітря–земля й земля–повітря (рис. А.2.21).

Розглянемо організацію керування каналом зв'язку із земної станції відповідно до режиму ADS-B. Це керування не потрібне для автономної роботи ADS-B під час польотів по маршруту і в неконтрольованому повітряному просторі, але застосовується для керування в термінальному повітряному просторі й авіаційною наземною технікою в районі аеропорту.

Зона обслуговування

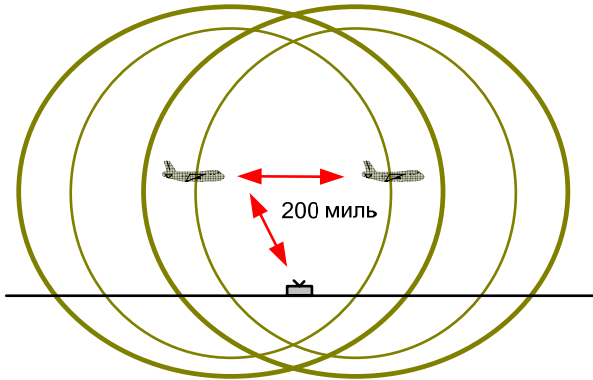


Рис. А.2.21. Зона обслуговування ADS-B по каналах VDL4

У мінімальній конфігурації роль земної станції обмежується тим, що вона виконує роль пасивного приймача повідомлень ADS-B. Такі земні станції передають сигнали і не здатні керувати каналами. Це типовий випадок у разі низької інтенсивності повітряного руху.

Інші земні станції можуть передавати такі види повідомлень для авіаційної наземної техніки та літаків на стоянці:

- ✓ координати земної станції і час, необхідний для сервісу ADS-B;
- ✓ директорію послуг DoS, що надає інформацію про канали й послуги зв'язку;
- ✓ сигнали загального запиту, які використовуються для передачі інструкцій зі зміни режиму повідомлень (довжина повідомлення, канал, автономне/спрямоване повідомлення).

Також можуть передаватися такі необов'язкові ширококомвні повідомлення: блокування повідомлень, для резервування серії слотів з метою пріоритетного використання даною земною станцією; повідомлення TIS-B, FIS-B, GRAS.

Структура пакетів даних, що передаються земною станцією, містить кілька типів повідомлень (рис. А.2.22), таких як сервіс TIS-B, FIS-B і GRAS, що підтримуються на GSC.

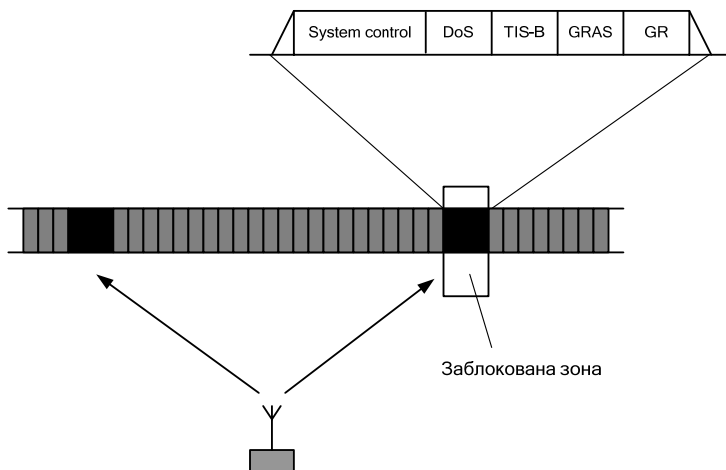


Рис. А.2.22. Структура пакетів даних земної станції

На рис. А.2.22 показано:

✓ направлений запит на конкретний ПК. У системі можуть перебувати ПК, які відповідають на запит земної станції негайно після передачі через супутниковий канал зв'язку;

✓ наземні карантинні слоти. Ці слоти негайно надходять на земну станцію передавання або передаються через мобільний передавач наземного транспорту за допомогою керованого повідомлення. Вони не використовуються для повідомлень ADS-B автономними мобільними передавачами;

✓ слоти блокування. Це зарезервовані слоти передач наземної станції для недопущення заняття цих слотів іншими передавачами. В зоні з кількома активними наземними станціями їхні попередні радіопередачі скоординовані й блокувана ділянка покриває всі передачі з цих станцій.

Розглянемо розподіл каналів VDL4 для забезпечення ОПП для малої й середньої інтенсивності повітряного руху, які ілюструють рис. А.2.23, А.2.24.

Як видно з рис. А.2.23, для забезпечення ОПП у неконтрольованому повітряному просторі поза зоною відповідальності районного диспетчерського центру застосовуються два глобальні канали зв'язку (GSC-1 і GSC-2) з періодом оновлення інформації 10 с. У зоні підходу й посадки період оновлення інформації становить 2 с.

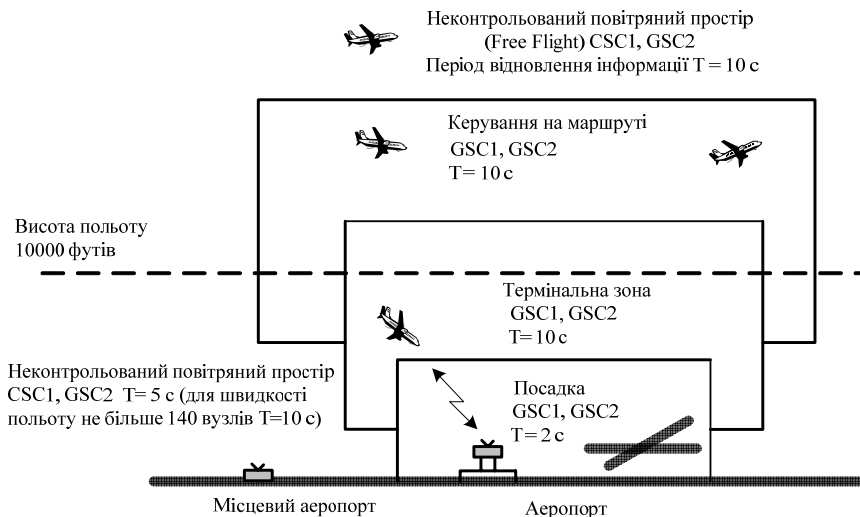


Рис. А.2.23. Розподіл каналів VDL4 для забезпечення ОПР за малої інтенсивності повітряного руху

Процедуру керування каналами для сценарію середньої інтенсивності повітряного руху подано в табл. А.2.2.

Таблиця А.2.2

Процедура керування каналами за середньої інтенсивності повітряного руху

| Канал (частота) | Політ по маршруту | Термінальна зона | Підліт | Після посадки | Рух по землі | Смуга зльоту | Набір висоти | Термінальна зона | Політ по маршруту | |
|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|--|
| Rx1 | GSC1 | | | | | | | | | |
| Rx2 | GSC2 | | | | LSC2 | GSC 2 | | | | |
| Rx3 | Запасна | | LSC 1 | | | | Запасна | | | |
| Rx4 | FIS-B | | | | | | | | | |
| Rx5 | GRAS | | | | | | | | | |
| Rx6 | GRAS | | | | | | | | | |
| Tx1 | GSC1 20c GSC1 20c | GSC1 10c GSC2 10c | GSC110c LSC1 3c LSC2 3c | LSC1 3c LSC2 3c | LSC1 3c GSC1 10c GSC2 10c | LSC1 3c GSC1 10c GSC2 10c | GSC1 10c GSC2 10c | GSC1 20c GSC2 20c | | |

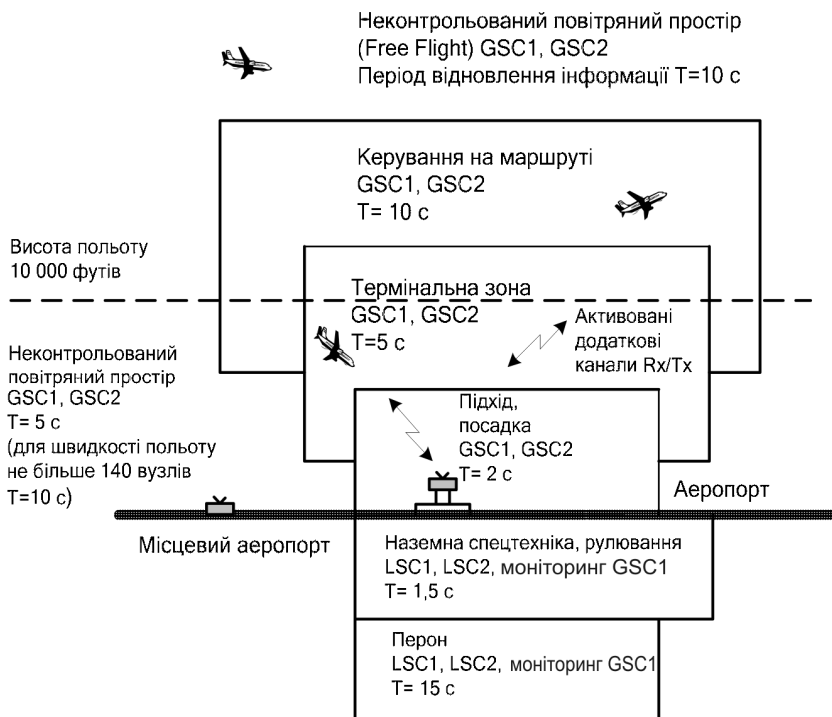


Рис. А.2.24. Розподіл каналів VDL4 для забезпечення ОПР за середньої інтенсивності повітряного руху

Як приклад на рис. А.2.25 показано модель керування каналами зв'язку в повітряному просторі Центральної Європи з високою щільністю руху.

Модель керування за низької й середньої щільності повітряного руху призначена тільки для забезпечення керування в реально існуючих умовах і не може розглядатися як визначальна на певному етапі ОПР. Модель керування за високої щільності повітряного руху демонструє технічні можливості ЛПД VDL4 для вирішення майбутніх проблем керування у разі надвисокої щільності повітряного руху.

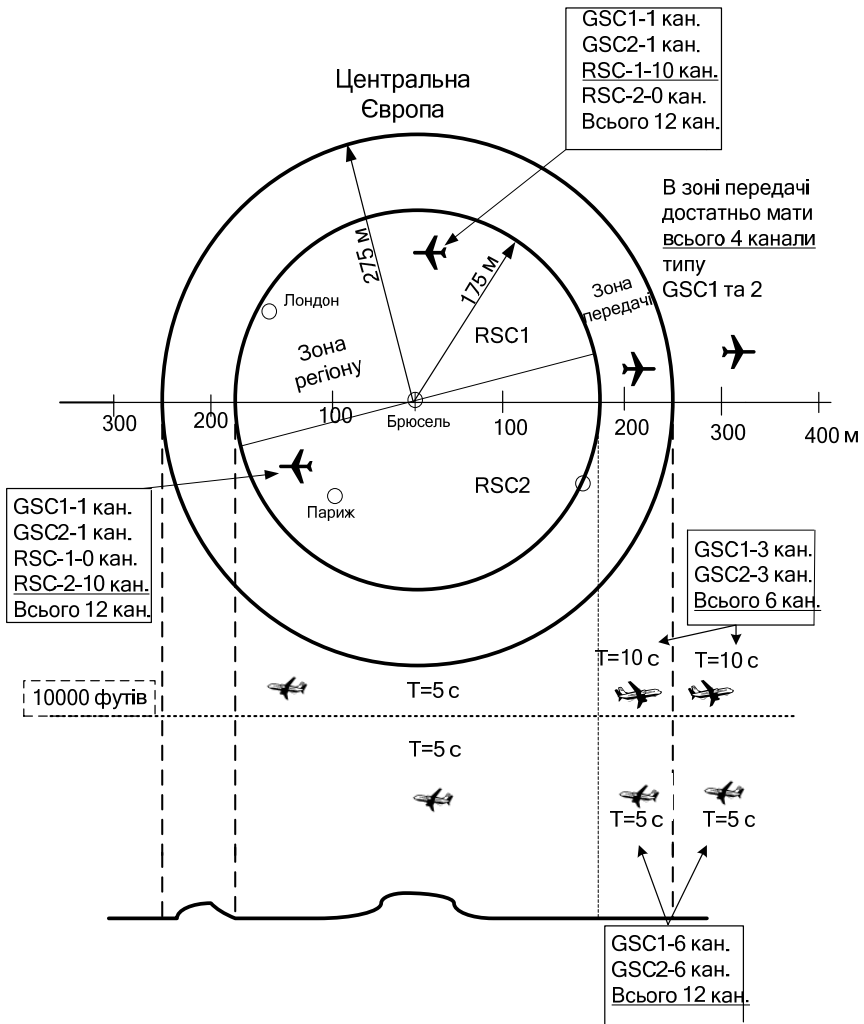


Рис. А.2.25. Модель керування каналами зв'язку у повітряному просторі з високою щільністю руху

А.2.4. Характеристика високочастотної лінії передавання даних HFDDL

Головне призначення ВЧ зв'язку – пряме голосове спілкування у віддалених та океанічних районах. Рухомі служби ВЧ зв'язку – єдині активно діючі на сьогодні для здійснення «загоризонтного» (тисячі кілометрів) зв'язку, тобто за межами прямої видимості. Для цього виду зв'язку характерні обмеження за надійністю, що зумовлено несталістю характеристик поширення радіохвиль. У найближчій перспективі знадобиться забезпечувати передачі по ВЧ зв'язку підвищеного трафіку повідомлень і підтримувати цілісність системи в процесі переходу до повного застосування AMSS.

Високочастотному зв'язку притаманні такі недоліки:

- ✓ умови поширення хвиль у ВЧ діапазоні безперервно змінюються й залежать від багатьох факторів (години доби, сонячної активності, несучої частоти тощо);

- ✓ поширення сигналів у ВЧ діапазоні суттєво залежать від значення частоти, тому необхідно регулярно здійснювати вибір оптимальної частоти;

- ✓ особливості поширення сигналу у ВЧ діапазоні зумовлюють багато специфічних завдань;

- ✓ ВЧ зв'язок визнаний як зв'язок низької якості внаслідок нестабільності каналу зв'язку та високого рівня шуму, й тому зазвичай здійснюється через радіооператора;

- ✓ проблеми зв'язку, зумовлені людським фактором: рівень знання мови та акцент, можливість помилок під час передавання й розуміння.

- ✓ HFDDL виконує три ключові ролі:

- ✓ забезпечує ПК, які не обладнані апаратурою AMSS, рентабельною ЛПД великої дальності;

- ✓ лінія передавання даних HFDDL стає основною для полярних та інших регіонів, де продуктивність AMSS погіршується;

- ✓ працює в комбінації з AMSS як високопродуктивна система, здатна відповідати вимогам до готовності майбутніх ATN.

Сполучення HFDDL з мережею ATN ефективно й надійно забезпечить вимоги ОПП й авіаційного оперативного контролю в океа-

нічних районах, а також у повітряному просторі, де нині не забезпечується обслуговування передавання даних, приміром там, де нерационально встановлювати VDL станції через високу вартість або інші чинники.

А.2.4.1. Компоненти HFDDL

Архітектура HFDDL складається з таких компонентів і підмереж (рис. А.2.26):

✓ бортовий процесор ЛПД, або блок керування зв'язком (CMU – Communications Management Unit) – серце бортового цифрового зв'язку «повітря–земля»; CMU взаємодіє з бортовою ES і датчиками для збирання інформації й керує різними приладами зв'язку «повітря–земля», такими як ДВЧ радіостанція, блок ВЧ даних (HFDU – HF Data Unit), бортова ВЧ радіостанція (HFDR – HF Data Radio), блок супутникових даних (SDU – Satellite Data Unit) тощо. Дані, що прийняті ЛПД «земля–повітря», спрямовуються до бортового процесора, або до інших бортових систем, таких як система керування польотом (FMS) або багатофункціональний блок контролю для відображення (MCDU – Multipurpose Control & Display Unit);

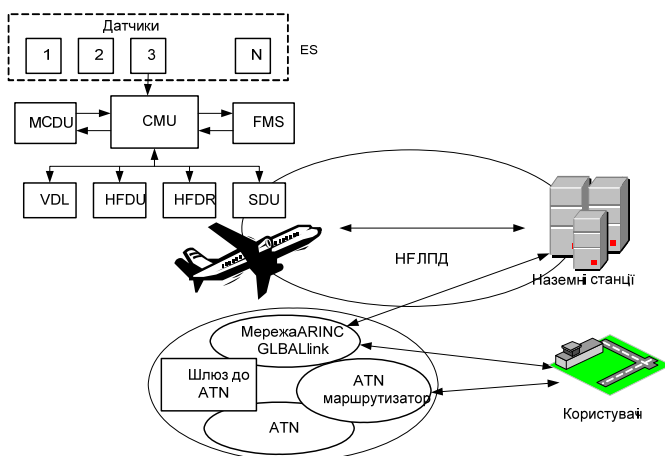


Рис. А.2.26. Структура системи HFDDL

- ✓ бортова ВЧ радіостанція HFDR;
- ✓ наземна ВЧ радіостанція (HFGS – HF Ground Station) – наземний інтерфейс HFDDL між радіосередовищем і наземною мережею;
- ✓ наземна мережа ІТУ-Т X.25 (ARINC), яка через шлюз підключається до АТН, дозволяє взаємодіяти HFGS з іншими наземними підмережами;
- ✓ АТН-роутер забезпечує для АТН динамічну маршрутизацію й транслявання;
- ✓ користувачі АТН – це прикінцеві системи (ES) АТН або кінцеві точки ЛПД у мережі АТН.

Додатки ОПР розташовуються на ES АТН і серед них можна виділити хост-комп'ютери зв'язку АОС/ААС, які підтримують символно орієнтований цифровий зв'язок з ПК, і центральні процесорні системи АСАРС (АСАРС СРС), тобто проміжні процесори символно орієнтованого цифрового зв'язку, які взаємодіють з ПК і з хостами авіакомпаній.

A.2.4.2. Структура протоколів HFDDL

HFDDL складається з трьох нижніх рівнів семирівневої моделі ЕМВВС, забезпечує підмережні послуги для АТН, а також підтримує символно орієнтовані протоколи передавання повідомлень АСАРС (рис. А.2.27) [1].

Протоколи HFDDL розподіляються між СМУ й HFDR на борту, а HFGS та АТН роутер А/Г-зв'язку забезпечують функціонування на землі. Мобільна залежна від підмережі функція конвергенції (M-SNDCF) АТН передає дані функції DTE HFDDL, яка спрямовує підмережні елементи протокольних даних (пакети даних (PDU)) до HFDR за допомогою протоколу ARINC 429.

HFDR працює як DCE ISO 8208 для СМУ і використовує спеціальну лінію й підмережний протокол для обміну даними з HFGS. Функція взаємодії в HFDR трансформує дані між DCE і протоколом ВЧ підмережі.

Аналогічно HFGS завершує спеціальні ВЧ протоколи. HFGS працює як DCE для роутера АТН. Для підмережі АТН і прикладних процесів роутер АТН передає інформацію до ES АТН за допомогою протоколів АТН маршрутизації й трансляції, а протоколи па-

кетного рівня HFDDL передаються для даних прикладних процесів ACARS.

Прикладні процеси ACARS, які ґрунтуються на ARINC 620/618, мають доступ до HFDR безпосередньо з CMU через інтерфейс ARINC 429W. HFDR здійснює лише функції каналного рівня для обміну PDU з HFSGS. HFSGS використовує X.25 для передавання даних до центрального процесора системи (CPS ACARS). CPS завершує протокол ACARS 618 і транслює повідомлення з формату «повітря–земля» ARINC 620 у стандартний текст повідомлень ATA/IATA (SMT – Standard Message Text) і надсилає дані до хостів авіакомпанії.

Потоки даних «угору» надходять за оберненими процесами.

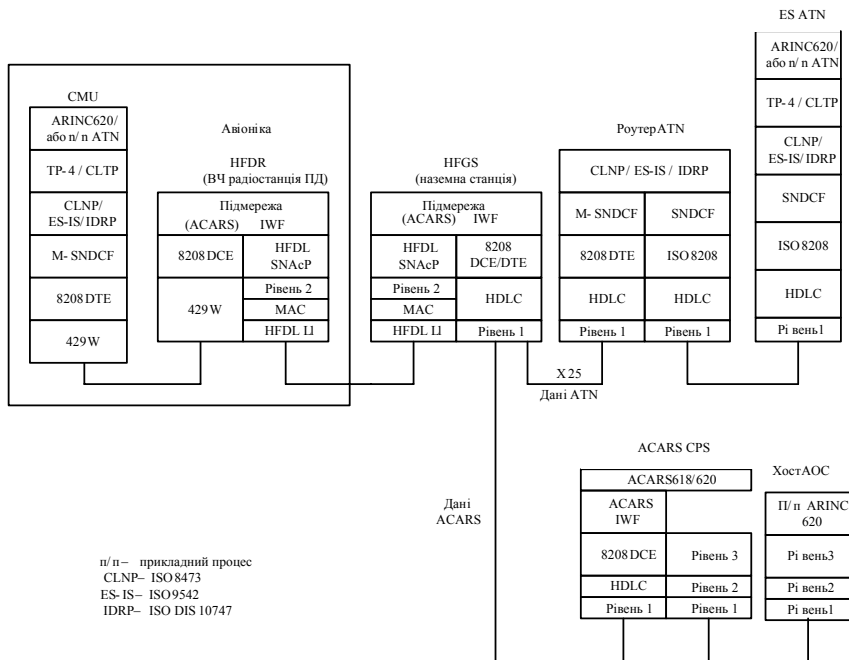


Рис. А.2.27. Архітектура протоколів HFDDL

Залежно від конфігурації хостів наземні підмережі для ACARS можуть використовувати протокол контролю синхронних ліній IA-TA (SLC – Synchronous Link Control) або протокол ІТУ-Т X.25.

Функції протоколів. *Фізичний рівень* надає послуги активізації, підтримки й деактивізації з'єднань для бітових передач на каналних рівнях. Відповідальністю рівня 1 є такі елементи обслуговування:

- ✓ активізація каналу передавання;
- ✓ установлення бітової синхронізації;
- ✓ фізична передача даних засобами відповідної радіосистеми;
- ✓ сигналізація про стан каналу;
- ✓ повідомлення про виникнення відмови;
- ✓ визначення локальних підмереж;
- ✓ визначення якості обслуговування.

Функція керування доступом до середовища (MAC) використовується, коли до середовища має доступ багато користувачів. Система HFDL використовує схему колективного доступу з часовим поділом (TDMA).

Канальний рівень відповідає за надання таких послуг:

- ✓ асемблювання кадрів і поділ на кадри;
- ✓ установлення синхронізації кадрів;
- ✓ відхилення кадрів нестандартних типів;
- ✓ виявлення й контроль помилок кадрів;
- ✓ вибір радіоканалу;
- ✓ розпізнавання адреси;
- ✓ ініціювання безшумного настроювання приймача;
- ✓ створення контрольних послідовностей кадрів.

Мережний рівень відповідає за належну маршрутизацію пакетів даних між ES джерелом на борту ПК і наземною ES призначення, і навпаки. Мережний рівень отримує від каналного рівня інформаційне постачання з правильно прийнятих кадрів; однак це не передбачає надійного передавання даних. Спеціальні послуги мережного рівня включають:

- ✓ асемблювання й дизасемблювання пакетів;
- ✓ маршрутизацію;
- ✓ контроль потоку;
- ✓ виправлення апаратних помилок;

✓ маніпулювання пріоритетами.

На цьому рівні повідомлення (дані) розкладаються на пакети розміром, прийнятним для середовища передавання даних. Після цього повідомлення передається у вигляді серій пакетів, і кожний пакет передається за один кадр, а кожний кадр переносить тільки один пакет. Повне повідомлення може складатися з одного або більше пакетів.

Мережний рівень поділяється на три підрівні:

1. Підрівень протоколу доступу до підмережі (SNACP – Subnetwork Access Protocol), наприклад ISO 8208.

2. Підрівень функції конвергенції, залежної від підмережі (SND CF – SubNetwork Dependant Convergence Function).

3. Підрівень незалежного від підмережі протоколу (SNIP – Sub-Network Independent Protocol).

Співвідношення HF DL та ATN. HF DL підтримує два операційні режими:

✓ обслуговування прямого зв'язку (DLS – Direct Link Service). DLS складається лише з протоколів фізичного рівня, MAC, підмножини протоколів канального рівня й застосовується, перш за все, для передавання символно орієнтованих даних ACARS, а також може використовуватися для деяких прикладних процесів радіомовлення (наприклад, метеорологічні дані, включаючи зсув вітру тощо);

✓ обслуговування надійного зв'язку (RLS – Reliable Link Service). RLS забезпечує режим з установленням з'єднання; канальний рівень також підтримує передавання підтверджуваних нумерованих пакетів PDU.

RLS відповідає таким головним вимогам до підмереж ATN:

✓ кодова й байтова незалежність;

✓ послідовне передавання даних;

✓ підмережне обслуговування з установленням з'єднання через мережу «повітря–земля»;

✓ сповіщення A/G і бортових роутерів про зміни в стані з'єднуваності.

Частотний менеджмент у ВЧ діапазоні. Функція частотного менеджменту унікальна для системи HF DL. Для ефективного використання доступного для HF DL обмеженого спектра й максимізації

системної готовності наземні станції HFDL мають призначати частоти і координувати їх використання в реальному масштабі часу на основі фактичних даних про характеристики поширення.

Доступні частоти HFDL можуть надаватися на географічній основі. Кожна наземна станція HFDL має таблицю частот й асоційованих інтервалів функціонування. Набір містить частоти у відповідних діапазонах таких, що кожна наземна станція має щонайменше одну частоту, доступну для зв'язку в будь-яку годину доби. Зазвичай наземна станція має три частоти для одночасного використання.

Бортова система HFDL автоматично розшукує необхідну (або навіть найкращу доступну) частоту з усіх робочих частот наземної станції HFDL. Щоб допомогти в пошуку, кожна наземна станція HFDL транслює усім доступним бортам пакети (так звані сквітери) системного менеджменту кожні 32 с на своїх операційних частотах. Щоб прискорити пошук серед частот, сквітери на кожній частоті рознесені й синхронізовані за універсальним координованим часом (UTC). Повітряний корабель здійснює моніторинг бажаних частот і залежно від якості отриманого сигналу резервує ту частоту, яка задовольняє критерії прийнятності.

Бортова і наземна станції контролюють один одного щодо якості отриманих сигналів та інформують про це передавача. Наземна станція може вказати на свій намір змінити частоту передачі прапорця та запропоновану частоту на заздалегідь визначений період часу з подальшим переключенням на запропоновану частоту. Зміна частоти наземної станції може динамічно ініціюватися функцією системного керування, яка може бути спрощена до настроювання на частоти залежно від години доби.

Повітряний корабель, зареєстрований на певній частоті, продовжує використовувати цю частоту доки не виявить прийнятний сквітер, який транслюється по радіо кожні 32 с або наземна станція не підтвердить три послідовні повідомлення «униз», надіслані з борту ПК. Недостатній або граничний показник SNR також примусить ПК шукати нову частоту обміну з тією ж або іншою наземною станцією, яка забезпечує достатній SNR для встановлення й використання ЛПД. Повітряний корабель може розшукати усі можливі частоти, які підтримуються внутрішньо, або оголошені сквітером

наземної станції. Кожний сквітер HFGS містить зазначення поточних операційних частот своєї власної й двох сусідніх наземних станцій. Для того щоб прискорити процес пошуку, ПК може обмежити пошук серед усіх операційних частот, призначених наземним станціям, на відстані 4000...5000 км відносно свого поточного місцеперебування. Автоматичний перехід від однієї частоти до іншої й від однієї наземної станції до іншої є повністю прозорим для користувача ПК.

Характеристики HFDL. Основні характеристики HFDL включають:

а) канал зв'язку:

✓ керування доступом до середовища (MAC): CSMA; модуляція: AM/MSK; авіаційний ВЧ діапазон: 2,8...22 МГц;

✓ символно орієнтований протокол ACARS і протоколи ARINC 622/623 для перенесення бінарних даних; швидкість передачі даних – не більше 0,6 кбіт/с;

б) якість послуг:

✓ дуже велика дальність дії;

✓ затримка поширення: 34 с (середня), 120 с (95%);

✓ символно орієнтований сервіс (неприйнятний для передачі мовного повідомлення у цифровому вигляді і графічних об'єктів);

✓ бітовий сервіс шляхом перекодування символів у біти;

✓ доступність: 89,9%;

в) характеристики бортового обладнання:

✓ бортові аналогові ВЧ радіостанції можуть використовуватися як трансивери для HFDL. Готовність системи HFDL значно підвищується, якщо ПК перебуває на відстані 4000–5000 км від трьох або більше наземних станцій HFDL.

Система HFDL застосовує повторне використання частоти, щоб досягти ефективного використання спектра та одночасного використання мовних і цифрових ВЧ систем. Фізика поширення ВЧ радіосигналів дозволяє зв'язуватися на великих відстанях. Сигнали на частоті понад 8 МГц добре поширюються вдень, в той час, як сигнали на частоті нижчій за 8 МГц, – уночі. Таким чином, однакові частоти HFDL можуть призначатися більш ніж для однієї наземної станції, щоб досягти повторного використання частот. Оскільки

HFDL контролюється автоматично, то компоненти системи обмінюються даними про розподіл частот у реальному часі. Усі наземні станції HFDL здійснюють моніторинг призначених частот.

Досліди з поширення ВЧ радіохвиль показують, що типова готовність зв'язку для покриття однією наземною станцією в центрі регіону радіусом 5000 км становить не менше 80%. Відомо також, що у вищих широтах (геомагнітних широтах 60°) готовність покриття однією станцією значно знижується впродовж періодів геомагнітної активності. Там зони іоносфери варіюються за розмірами, формою й характеризуються різними рівнями геомагнітної активності.

Кількість наземних ВЧ станцій, потрібних для географічного регіону, залежить від бажаної системної готовності і часу доби. Для двох або більше станцій можна за сприятливих умов досягти готовності зв'язку 92–95%, а 99% або більше досягається за покриття трьома або більше наземними станціями. Дослідження поширення радіохвиль, виконані в середніх широтах під час магнітного збурення, показали, що тип станції й виникнення спорадичних мод поширення – це два фактори, які можуть обмежити або навіть усунути простій під час магнітних збурень у середніх широтах. За даними дослідів [1] пропонується призначати для кожної станції 6–8 діапазонів між 4 та 22 МГц, щоб досягти готовності 99,4% із трьома або більше станціями.

Моделювання показує, що із впровадженням у мережі концепції повторного використання частот приблизно 16 наземних станцій HFDL були б спроможні забезпечити покриття на глобальному рівні із системною готовністю вище 99,4% і кількістю понад 2000 ПК.

Схеми ВЧ модуляції, які використовуються в HFDL, ґрунтуються на методах фазової маніпуляції (PSK – Phase Shift Keying), за якими інформація кодується й передається за допомогою зміни несучого сигналу. Залежно від швидкості передавання даних фаза може мати 2, 4 або 8 змінних значень, що і визначає термін n -позиційна PSK, де $n = 2, 4, 8$. Використовуються бінарна (2-PSK), квадратурна (QPSK) та 8-позиційна маніпуляція (табл. А.2.3).

Таблиця А.2.3

Параметри HFDL за типами маніпуляції

| Тип маніпуляції | Фаза, ...° | 2-PSK | 4-PSK | 8-PSK |
|--|------------|-----------|----------|----------|
| Групове кодування | | Коди | Коди | Коди |
| | 0 | 0 | 00 | 000 |
| | 45 | | | 001 |
| | 90 | | 01 | 011 |
| | 135 | | | 010 |
| | 180 | 1 | 11 | 110 |
| | 225 | | | 111 |
| | 270 | | 10 | 101 |
| | 315 | | | 100 |
| Крок дискретизації, ...° | | 180 | 90 | 45 |
| Кількість бітів на символ | | 1 | 2 | 3 |
| Кодове зображення PSK-символа | | Двійкове | Код Грея | Код Грея |
| Швидкість передачі даних, біт/с | | 600/300 | 1200 | 1800 |
| Кількість бітів, переданих за період 1,8 с | | 540/1080 | 2160 | 3240 |
| Кількість бітів, переданих за період 4,2 с | | 1260/2520 | 5040 | 7560 |

HFDL використовує єдину схему динамічної адаптації швидкості передавання даних на основі співвідношення сигнал/шум (SNR) умовного приймача й розміру повідомлення для передавання. Приймач вимірює SNR передавання й визначає максимальну швидкість, яка може використовуватися відправником. Після цього приймач передає цю інформацію відправникові в наступному PDU протоколу MAC (MPDU). Поля, які переносять цю інформацію, називають швидкістю ПД «вгору» (UDR – Uplink Data Rate) або «вниз» (DDR – Downlink Data Rate) залежно від напрямку потоку даних. Обидва поля UDR й DDR трирозрядні й бінарні комбінації 000, 001, 010, 011 й 100 позначають відповідно резервоване значення та швидкості 300, 600, 1200 й 1800 біт/с.

Відправник визначає розмір MPDU й обирає найменшу можливу швидкість передавання даних (табл. А.2.3), яка підтримує цей розмір.

Фізичні характеристики. Інформаційний елемент фізичного рівня складається з трьох сегментів: первинного ключа, преамбули й даних (рис. А.2.28). Сегмент первинного ключа містить 448 симво-

лів 2-PSK. Таким чином, тривалість цього сегмента становить 249 мс. Преамбула складається з 531 символа 2-PSK, які поділені на чотири послідовності.

Сегмент даних складається із 72 кадрів для періоду 1,8 с або 168 кадрів для періоду 4,2 с. Кожний з цих кадрів має містити 30 символів n -PSK користувачьких даних й 15 символів 2-PSK зонда, який використовується для адаптивної корекції амплітудно-частотної характеристики приймача.

Сегменти даних фізичного рівня формуються шляхом виконання операцій кодування з прямим виправленням помилок (FEC), чергування бітів і скремблювання символів.

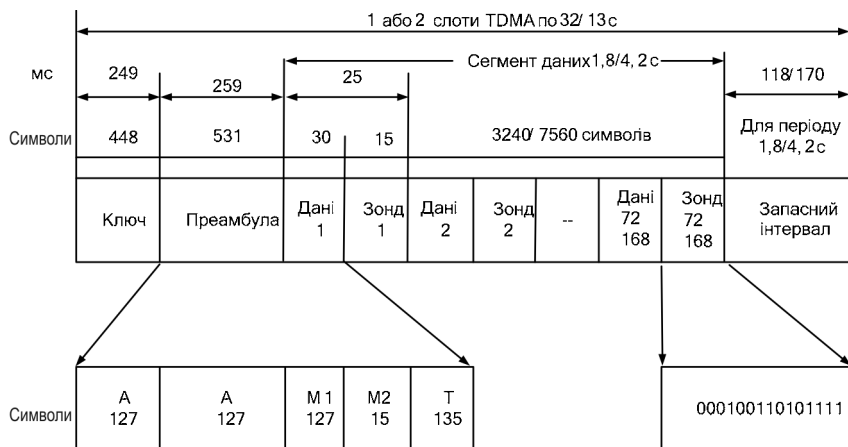
Однакові біти та біти-заповнювачі використовуються для забезпечення того, щоб дійсна кількість передаваних бітів дорівнювала добутку швидкості передавання даних на тривалість періоду (показник чергування 1,8 або 4,2 с). Біти-заповнювачі складаються з чотирьох нульових бітів.

Послідовність «користувачькі дані + однакові біти + біти-заповнювачі» коригуються засобами FEC за допомогою кодера половинної швидкості. Для швидкості 300 біт/с кодер половинної швидкості запускається двічі для зазначення швидкості 1:4.

Чергування (interleaving) здійснюється записуванням FEC-кодованих символів у масив (40 рядків по N стовпців) у порядку заповнення стовпців і потім зчитуванням по стовпцях у спеціальному порядку за таким алгоритмом:

✓ перший біт завантажується в елемент за адресою (0,0), де у форматі (i, j) перший індекс i означає рядок, а другий j – стовпець; наступний – у рядок 9 (9,0), третій – у 18-й рядок (18,0) і т.д. Таким чином, розташування рядка для бітів збільшується на 9 за модулем 40;

- ✓ процес продовжується до заповнення усіх 40 рядків;
- ✓ процес завантаження пересувається на стовпець 1 і повторюється до заповнення масиву;
- ✓ зчитуються біти, починаючи з елемента (0,0);



| Швидкість, біт/с | Період, с | Зсув M1, символів |
|------------------|-----------|-------------------|
| 300 | 1,8 | 72 |
| 600 | 1,8 | 82 |
| 1200 | 1,8 | 113 |
| 1800 | 1,8 | 123 |
| 300 | 4,2 | 61 |
| 600 | 4,2 | 103 |
| 1200 | 4,2 | 93 |
| 1800 | 4,2 | 9 |

Рис. А.2.28. Інформаційний елемент фізичного рівня

Примітка. Лівий крайній біт передається першим

A = 010 1101 1101 1110 0011 1010 0010 1011 1000 0001 1110 1100 1100 0100
1001 1100 1111 1001 0000 0100 0110 1010 1001 1011 0100 1010 0001 0110 0001
1001 0111 1111

M1 = 1 з 10 зсувів такої послідовності: 011 1011 0111 1010 0010 1100 1011
1110 0010 0000 0110 0110 1100 0111 0011 1010 1110 0001 0011 0000 0101 1010
0111 1001 0001 1010 1000 0111 1111

M2 – перші 15 символів зсунутої послідовності M1

T = 000 100 110 101 111, повторені 9 разів

✓ розміщення наступного вибраного біта визначається сумою $(i + 1)$ і різницею $(j - 17)$ за модулем N (кількість стовпців у матриці за чергування, що називається інтерлівером (interleaver)), якщо використовується інтерлівер 1,8 с, або різницею $(j - 23)$ за модулем N , якщо використовується інтерлівер 4,2 с; отже, якщо використовується інтерлівер 1,8 с при $N=108$, то другий біт надходитиме з елемента (1, 91), а третій – з (2, 74);

✓ процес продовжується, доки номер рядка не стане 39;

✓ після цього номер рядка встановлюється в нуль, номер стовпця збільшується на одиницю і після цього зменшується на 17 або 23 за модулем N (залежно від інтерлівера);

✓ процес продовжується до розвантаження усієї матриці масиву даних.

Після цього біти відображаються у вигляді символів з використанням багаторівневої фазової маніпуляції (M-PSK – Multilevel Phase-Shift Keying) з використанням коду Грея, які потім скремблюються додаванням до фази 0 або 180° залежно від стану бінарного скремблювального набору з 120 символів, який періодично повторюється. Двійкова одиниця у скремблювальному наборі викликає в символі PSK обертання фази на 180° . 120-бітовий скремблювальний набір у шістнадцятковій системі числення має вигляд: 131BC4250F8C15EFCDD6AEC996E2368h, де найбільш значущий розряд (ліва цифра шістнадцяткового числа) є першою цифрою набору. Першим скремблюється перший розряд вихідного блоку інтерлівера. Скремблювання виконується послідовно, доки не буде передано останній скремблований біт.

A.2.4.3. Характеристики рівня MAC HFDL

Правила керування доступом до середовища (MAC) визначають такий порядок доступу до загальнодоступного середовища, щоб усі термінали, які працюють у цьому середовищі, мали рівні права доступу. Система HFDL використовує схему колективного доступу з поділом часу (TDMA) як протокол рівня MAC. Схема TDMA поділяє радіочастоти в інтервалі часу на однакові часові слоти. Усі передавачі синхронізовані в часі й передача може початися тільки за фронтом чергового слота. Передавати в черговому слоті дозволя-

ється тільки тоді, якщо цей слот не призначений комусь іншому (для довільного доступу) або вже наданий цьому конкретному передавачеві.

Для систем HFDL кадр TDMA тривалістю 32 с складається з 13 часових слотів. Таким чином, тривалість слота становить 32/13, тобто 2,46 с. Зазвичай 13 слотів розподіляються за призначенням: 2 для зв'язку «вгору» (UL – Uplink), 3 – «униз» (DL – downlink), 7 – для зв'язку «вниз» прямого доступу (DL RA – DL Random Access) і 1 – для PDU сквітера (SPDU – Squitter PDU). HFGS динамічно розподіляє й змінює конфігурацію слота кадру TDMA, ґрунтуючись на параметрах трафіку й запитів на резервування. PDU сквітера займає відповідний слот, який завжди наявний в усіх кадрах TDMA.

PDU MAC використовує один або два слоти TDMA залежно від тривалості чергування – інтерлівера. Для інтерлівера тривалістю 1,8 с використовується тільки один слот, у той час, як 4,2-секундний інтерлівер використовує два послідовні слоти.

Структуру PDUMAC зображено на рис. А.2.29.

Номери бітів

| а | | | | | | | | б | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|---|---|-----|---|---|---|-----|-------------------------------|-----------------------|------------------------|---|-----|---|---|---|
| 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | окт | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| P | NAC (тут 1) | | 0 | 0 | T | 1 | | 1 | P | 0 | NLP (у цьому прикладі) | | | T | 1 | |
| C | ID наземної станції | | | | | | | 2 | C | ID наземної станції | | | | | | |
| Syn | Ідентифікатор (ID) ПК | | | | | | | 3 | c | Ідентифікатор (ID) ПК | | | | | | |
| c | NLP (у цьому прикладі) | | | DDR | | P | | 4 | Slot | H | N2 | | N1 | | | |
| Розмір LPDU (1 октет на LPDU) | | | | | | | | 5 | U(R) | | | | UDR | | | |
| FCS заголовка MPDU | | | | | | | | 6 | U(R) vect | | | | | | | |
| 1. | | | | | | | | 7 | Розмір LPDU (1 октет на LPDU) | | | | | | | |
| | | | | | | | | 8 | FCS заголовка MPDU | | | | | | | |
| | | | | | | | | 9 | | | | | | | | |
| | | | | | | | | ... | | | | | | | | |
| Поле FLUSH | | | | | | | | N | Поле FLUSH | | | | | | | |

Рис. А.2.29. Структура PDU MAC:
а – uplink; б – downlink

Примітка

| | |
|------------------------------|---|
| FCS | Frame Check Sequence (16-бітовий контрольний код CRC) |
| H | резервується суміш слотів |
| U(R)vect | приймання статусу наступних 8 зв'язків «угору» після U(R). |
| NAC | Number of Aircraft Address (кількість адрес ПК у MPDU мінус 1); |
| NLP | Number of LPDU (номер LPDU, інкапсульований в MPDU); |
| N1 (при H=0) | кількість запитуваних слотів низького та середнього пріоритетів; |
| N2 (при H=0) | кількість запитуваних слотів середнього пріоритету; |
| H=1 | кількість запитуваних слотів високого пріоритету; |
| NF | Number of Frames (кількість кадрів після поточного, де є запитуваний слот); |
| P | Parity bit (біт контролю парності); |
| Slot SEL | запитуються один або декілька слотів; |
| TPDU type uplink/downlink | тип PDU зв'язок «вгору» або «вниз»; |
| UTC Sync | прапорець синхронізації SPDU наземної станції з UTC UDR – Uplink Data Rate (максимально припустима швидкість передавання даних зв'язку «вгору»); DDR – Downlink Data Rate (максимально припустима швидкість ПД зв'язку «вниз»); U(R) – найдавніший зв'язок «угору», досі не отриманий ПК; |
| LPDU | Link Protocol Data Unit (блок даних протоколу каналного рівня) |

Рис. А.2.30 ілюструє побудову кадру HFDDL TDMA, яка складається з п'яти слотів, резервованих для DL (DL RES – DL Reserved) і тільки п'ять слотів надаються для DL RA. Один PDU MAC, який використовує 4,2-секундний інтерлівер, споживає два з резервованих слотів DL, у той час, як інші слоти використовують 1,8-секундний інтерлівер.

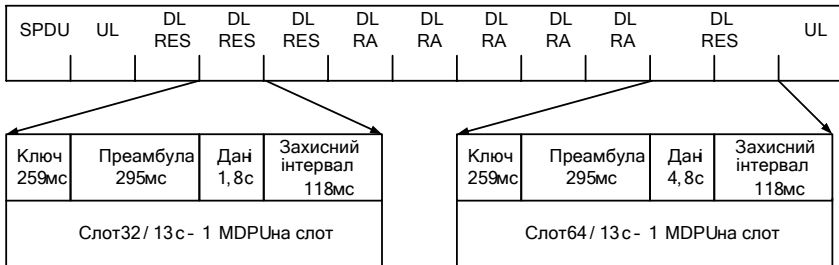


Рис. А.2.30. Слотова структура кадру TDMA

Часовий розподіл для сегментів ключа, преамбули, даних і захисного проміжку описано раніше.

Необхідно зазначити, що розташування SPDU у структурі слота TDMA залежить від частоти і використовуваної наземної станції. Він заздалегідь конфігурується як частина ініціалізації HFSS і визначається як зсув першого чергового слота в 0000 UTC. Зсув слота відрізняється для кожної наземної станції, щоб зменшити ймовірність зіткнення й дозволити ПК мати максимальну інформацію про всі доступні послуги. Розшифровуючи SPDU, ПК отримує дані про наземну станцію, операційні частоти та інші параметри.

Захисний час пристосовує систему до коливань синхронізації бітових передач і гарантує неможливість зіткнення двох передавачів на межі слота.

Критичним для усіх систем, працюючих на частоті певної HFSS, є синхронізація відносно єдиного годинника (системи відліку часу), інакше схема TDMA не працюватиме ефективно. Системний годинник HFSS посилається на універсальний координований час (UTC). HFSS синхронізується за годинником глобальної системи позиціонування (GPS) і перетворює час GPS на UTC для зв'язку на рівні MAC. Кожний MPDU містить однорозрядне поле синхронізації UTC (UTC Sync). Це поле UTC Sync використовується передавачем, щоб указати приймачеві, чи синхронізована передача за UTC, чи ні.

Усі кадри TDMA також посилаються на головний (master) кадр TDMA, який є першим кадром TDMA доби, що починається точно в 0000 UTC. 24-годинна доба потім поділяється на 32-секундні кадри TDMA. Таким чином, за добу можна передати до 2700 кадрів TDMA за нульового номера головного кадру TDMA. Індекс кадру TDMA визначає номер кадру TDMA відносно моменту часу 0000 UTC.

Кожний кадр TDMA містить 13 слотів. SPDU від наземної станції і може займати в цій послідовності будь-який довільний слот. Який саме слот міститиме SPDU, визначається під час конфігурування системи. Призначення слотів варіюється з переходом від однієї наземної станції до іншої й від частоти до частоти. Параметр «зсув слота» (Slot Offset) указує на номер певного слота, який містить SPDU у головному кадрі TDMA. Для одночасного використання однієї й тієї ж робочої частоти схема системного керування HFSS має гарантувати, що дві наземні станції не мають однакового зсуву слота.

Оскільки відомі тривалість кадрів HFDL і кількість слотів у кадрі, будь-який приймач, який може захопити SPDU для декодування індексу кадру TDMA і зсуву слота, повинен мати спроможність отримувати точні дані годинника під час передачі по HFDL. Це є суттєвою послугою для усіх ПК, які не можуть бути синхронізованими за UTC через відсутність приймача GPS.

Параметри зсуву слота та індексу кадру TDMA кожної частоти, яка підтримується HFSGS, розміщуються в системній таблиці (System Table). Системна таблиця також періодично транслюється наземною станцією, щоб гарантувати, що всі ПК, отримуючи ці радіомовні повідомлення, можуть переглянути всі доступні частоти впродовж спеціальних слотів SPDU, щоб вибрати для передавання даних найкращий можливий ВЧ тракт.

A.2.4.4. Співвідношення систем мовного високочастотного зв'язку та HFDL

Система голосового ВЧ зв'язку складається з головного телефону пілота, панелей для настроювання радіоапаратури й керування і ВЧ радіо на борту ПК. Наземна інфраструктура складається з набору наземних ВЧ станцій (передавач і приймач), які дистанційно приєднуються до ВЧ радіооператорів по призначених орендованих каналах.

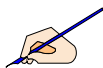
Деякі прикладні процеси ВЧ можуть використовувати повідомлення даних по наземній мережі. У цьому випадку радіооператори перетворюють голосові ВЧ повідомлення на повідомлення формату ICAO 4444, щоб передати повідомлення «униз» і обернене перетворення форматів, щоб передати повідомлення «вгору».

Аналогове голосове повідомлення модулюється з використанням амплітудної модуляції з однією бічною смугою (AM/SSB) на піднесучій частоті. Зазвичай модульований сигнал займає смугу 3 кГц. Інформація міститься в пакеті на несучій частоті, а кодується тільки на верхній бічній смузі.

Система ВЧ зв'язку потребує високих енергетичних показників передавачів, які випромінюють щонайменше 3 кВт потужності. Передавач і приймач розташовують в географічно відокремлених місцях, щоб зменшити завади, а також, щоб захистити приймач від перевантаження через локальний зворотний зв'язок.

На сьогодні системи голосового ВЧ зв'язку надаються, керуються й підтримуються неефективно через політичні та законодавчі вимоги. Конкретній зоні польотної інформації (FIR) постійно надається одна або більше частот ВЧ діапазону і ці частоти не можуть повторно використовуватися в інших регіонах. Попереднє надання частоти також перешкоджає динамічному частотному менеджменту для вирішення проблеми поширення. Якщо частота, надана конкретній FIR, непридатна через низький SNR, то повна здатність FIR до зв'язку суттєво погіршується або навіть зникає. Ця проблема цілком усувається в HFDL, оскільки ПК може зв'язатися з кінцевим пунктом призначення на будь-якій доступній частоті й через будь-яку наземну станцію. Для оптимізації функціонування системи частота й наземна станція динамічно й прозоро переключаються компонентами системи HFDL. Так само наземний кінцевий користувач може надіслати цифрове повідомлення через повітряну/наземну мережу, але зазвичай не знає або не контролює, яка конкретно наземна станція має використовуватися для передавання даних до кабіни пілота.

Оскільки система голосового ВЧ зв'язку надається конкретному диспетчерові, керованому певним національним законодавством, це потребує значних інвестицій у керування мережею голосового ВЧ зв'язку. Немає потреби в державному контролі наземної інфраструктури для HFDL. Наземна мережа/система має бути ресурсом, доступним усім користувачам. До того ж для оптимізації функціонування системи й зменшення витрат наземні станції HFDL мають розташовуватися незалежно від географічних і політичних кордонів.



Контрольні запитання

1. Назвіть принципи побудови мережі ATN.
2. Наведіть рівні еталонної моделі взаємодії відкритих систем EMBVC.
3. Назвіть порівняну характеристику ЛПД ACARS VDL1 та VDL2.
4. Назвіть формат кадру ТДМА лінії передачі даних VDL3.
5. Надайте характеристику формату слота ЛПД VDL4.
6. Назвіть розподіл каналів VDL4 для забезпечення ОПП для випадку низької інтенсивності повітряного руху.
7. Надайте характеристику частотного менеджменту HFDL.
8. Надайте характеристику інформаційного елемента фізичного рівня HFDL.



А. 3. ЛІНІЇ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ СУПУТНИКОВИМИ КАНАЛАМИ

А.3.1. Система глобального супутникового зв'язку INMARSAT

Міжнародна організація супутникового морського зв'язку INMARSAT почала свою роботу на початку 1982 р. Глобальний зв'язок забезпечується штучними супутниками Землі (ШСЗ) GEO, які перебувають над регіонами Атлантичного, Тихого та Індійського океанів [3; 6; 7]. Станції мобільних абонентів через ШСЗ-ретранслятори зв'язуються з наземними стаціонарними земними станціями. Ці станції мають виходи до національних і міжнародних телефонних, телеграфних мереж і мереж передавання даних.

Натепер система INMARSAT забезпечує обслуговування клієнтів за стандартами: «Стандарт-А», «Стандарт-В», «Стандарт-С», «Стандарт-М» і «Стандарт-АЕРО» (табл. А.3.1).

Цифрова система «Стандарт-В» є спадкоємицею аналогової системи «Стандарт-А». Вона забезпечує радіотелефонний зв'язок, передавання даних, телексії та факсимільний зв'язок. Система «Стандарт-С» забезпечує двостороннє глобальне передавання даних (текстів, повідомлень) між абонентами мобільних і фіксованих станцій. Система «Стандарт-С» призначена для морських і сухопутних служб. Термінали системи використовують у транспортних галузях.

Система «Стандарт-М» ґрунтується на персональному портативному супутниковому телефоні і має модифікацію «Стандарт-міні М». Вона забезпечує телефонний і факсимільний зв'язок, а також обмін даними у будь-якій точці земної кулі. Система призначена для мобільних абонентів, для яких важливою є мобільність за низької вартості терміналу і середньої якості зв'язку.

Розгортання системи INMARSAT «Стандарт-АЕРО» розпочато в 1990 р. Ця система створена для служб передавання даних і телефонного зв'язку з повітряними об'єктами. Система «Стандарт-АЕРО» складається з мобільних AES (однієї або декількох), аеронавігаційної наземної станції (GES), координуючих станцій (NCS – Network Coordinating Station), станції керування супутником

(TT&C-Telemetry Tracking and Telecommand). Станції AES і GES зв'язані каналами чотирьох типів [6]: R, T, P і C (рис. А.3.1).

Таблиця А.3.1

Параметри станцій системи супутникового зв'язку

| Параметр | Тип системи | | |
|---|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | INMARSAT-B | INMARSAT-M | INMARSAT-AERO |
| Об'єкт розміщення | Морські судна | Малі судна, наземний транспорт | ПК |
| Види послуг | Мова, факс, телекс, передача даних | Мова, факс, телекс, передача даних | Мова, факс, телекс, передача даних |
| Рік початку впровадження | 1993 | 1993 | 1990 |
| Добротність системи G/T, дБ/К | -4 | -12 | -26 |
| Діапазон частот, ГГц, ШСЗ-термінал | L діапазон | | |
| Діапазон частот, ГГц, ШСЗ: GES, NCS, TT&C | C діапазон | | |
| Вид модуляції | ФМ-4 | ФМ-4 | ФМ-4 |
| Вид коду (швидкість кодування) | Загортальний 1/2; 3/4 | Загортальний 1/2; 3/4 | Загортальний 1/2 з перемежуванням |
| Швидкість передавання, кбіт/с | 1,6 | 2,4 | 9,6 |
| Орієнтовна вартість, тис. дол. | 30 | 8...10 | 100 |

Канали, які використовуються для керування, позначені через P_{SMC} R_{SMC} , а для функції зв'язку – P_d і R_d . Канал міжстанційної сигналізації (ISL – Interstation Signalling Line) працює в режимі з часовим розподілом (TDM – Time Division Multiple).

Залежно від типу каналу використовуються два методи фазової модуляції (PSK – Phase Shift Keying): авіаційна бінарна або авіаційна квадратурна (A-BPSK або A-QPSK відповідно).

За своїми характеристиками система INMARSAT-AERO частково задовольняє вимогам ICAO до AMSS.

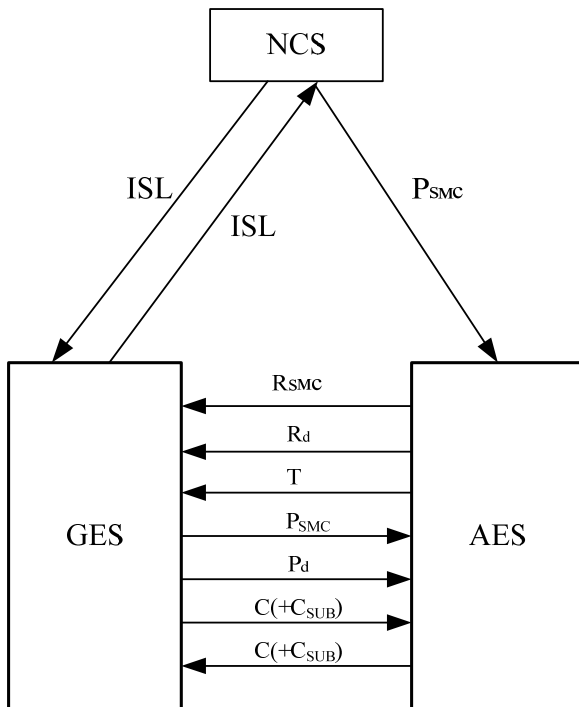


Рис. А.3.1. Структура каналів системи INMARSAT-AERO

Конфігурацію системи INMARSAT-AERO показано на рис. А.3.2.

Станції AES залежно від складу обладнання і виконуваних функцій поділяються на типи.

Tun 1. AES має антену з низьким коефіцієнтом підсилення (ненапрявлена антена) і використовується тільки для служби передавання даних.

Tun 2. AES має антену з високим коефіцієнтом підсилення (напрявлена антена) і використовується тільки для телефонної служби.

Tun 3. AES має антену з високим коефіцієнтом підсилення (напрявлена антена) і використовується для телефонної служби й передавання даних.

Tun 4. AES має антени з високим і низьким коефіцієнтами підсилення (напрявлена і ненапрявлена антени) і використовується для телефонної служби і передавання даних (комбінація типів 1 і 3).

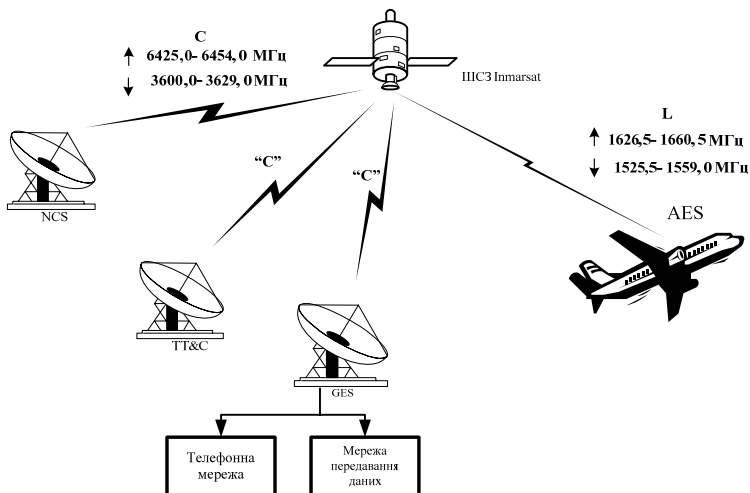


Рис. А.3.2. Конфігурація мережі INMARSAT-AERO

А.3.2. Методи організації зв'язку й керування доступом INMARSAT-AERO

Система INMARSAT-AERO реалізує радіальну схему організації зв'язку (від авіаційних станцій AES до наземних станцій GES і від наземних станцій GES до авіаційних AES). Доступ до каналів супутникового зв'язку надається виділенням каналів на вимогу. Методи виділення каналів типу С (мовний зв'язок) ґрунтуються на централізованому керуванні (виділенні каналів) з боку координуючої станції NCS. Частоти С-каналів мають утримуватися в загальному пулі NCS. Методи виділення каналів для служб передавання даних (каналів P , R , T) ґрунтуються на децентралізованому керуванні з наземних станцій GES. При цьому для кожної GES визначається свій пул керування частотно-часовими каналами. Для керування доступом до каналів організується підсистема сигналізації, що включає три типи сигналізації: внутрішньодіапазонну, позадіапазонну й піддіапазонну.

У С-каналі використовується метод доступу – один канал на несучу. Кожен С-канал має забезпечуватися каналом піддіапазонної сигналізації $C(+C_{SUB})$ (канал сигналізації $C(+C_{SUB})$ ущільнений з інформаційним сигналом). Цим каналом передається сигнальна ін-

формація про те, чи зайнятий канал, чи вільний під час виклику як у прямому, так і у зворотному напрямках.

P - і T -канали, де використовується часовий поділ каналів (TDM/TDMA), повинні мати внутрішньодіапазонну сигналізацію (сигнальні блоки в кадрах і субкадрах). Позадіапазонна сигналізація виконується по спеціально виділених для неї каналах типу P і R і використовується на етапі входження у зв'язок між абонентами. В INMARSAT-AERO P - і R -канали, що використовуються для керування, позначаються через P_{SMC} і R_{SMC} , на відміну від P - і R -каналів, які застосовуються для функцій зв'язку і позначаються як P_d і R_d . Структура сигналів і формати повідомлень P_{SMC} і P_d каналів ідентичні структурі сигналів і форматам повідомлень R_{SMC} і R_d каналів.

У R -каналі використовується випадковий доступ до каналу зв'язку (типу Алоха) на виділеній частоті.

Для керування доступом координуюча станція NCS повинна формувати такі канали позадіапазонної сигналізації:

✓ канал міжстанційної сигналізації (ISL) – безперервний канал у режимі TDM, використовуваний для передавання в прямому напрямку сигнальної інформації про стан мережі від NCS до GES;

✓ P_{smc} канал керування в глобальному й вузькому променях (для ретранслятора з багатопроменевою антеною) – безперервний канал у режимі TDM, використовуваний для передачі в прямому напрямку сигнальної інформації.

Для керування доступом наземні станції GES мають формувати канал міжстанційної сигналізації (ISL) – безперервний канал у режимі TDM, використовуваний для передачі в прямому напрямку сигнальної інформації між GES і NCS мережі.

Як приклад нижче розглянуто послідовність установаження телефонного зв'язку по супутникових каналах на земну станцію, що «вводить» до системи і переадресацію на «іншу» GES у випадку, якщо виклик треба передавати на GES, відмінну від тієї, через яку AES входить до системи. «Увідна» GES надсилає запит про доступ (від AES) на GES, що викликається (позначену як «інші» GES), по міжстанційному каналу сигналізації ISL.

GES, що викликається, виділяє канал із свого пулу й передає інформацію про виділення каналу по міжстанційному каналу ISL на «ввідну» GES, що, у свою чергу, спрямовує інформацію про виділення каналу на AES по своєму P_d -каналі.

Послідовність установаження виклику «повітря–земля» з використанням координуючої станції NCS на випадок відсутності ресурсу каналів на GES (режим переповнення) показано на рис. А.3.3.

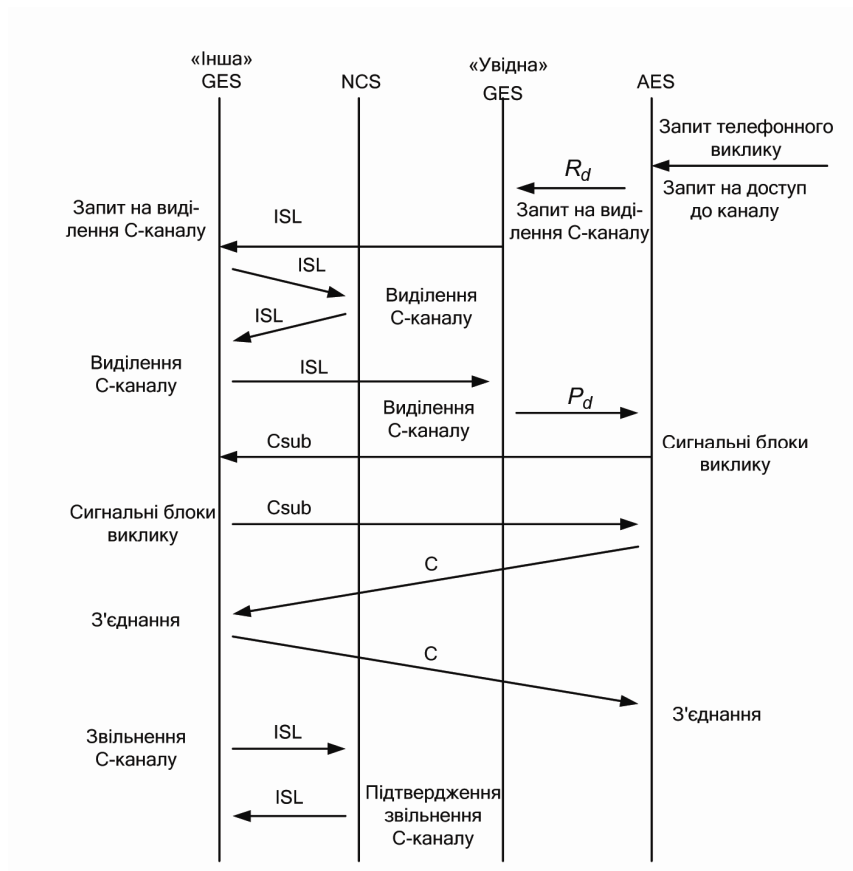


Рис. А.3.3. Послідовність установаження телефонного виклику з «іншою» GES (режим переповнення)

А.3.3. Технічні характеристики AES та GES INMARSAT-AERO

Основні вимоги до технічних характеристик авіаційних наземних (AES) і аеронавігаційних наземних (GES) станцій «Стандарту-АЕРО» наведено в табл. А.3.2 і А.3.3.

Таблиця А.3.2

Загальні характеристики AES

| Параметр | Значення |
|--|--|
| Діапазон частот, МГц: | |
| приймання | 1530,0...1559,0 |
| передавання | 1626,5...1660,5 |
| Види надаваних послуг | Телефонія (швидкість кодування мови 8,6 кбіт/с); передавання даних |
| Добротність приймальної системи G/T, дБ/К: | |
| для ненапрявленої антени | -26,0 |
| для спрявленої антени | -13,0 |
| Мінімальна щільність потоку потужності прийнятого сигналу, дБ·Вт/м ² | |
| для ненапрявленої антени | -145,0 |
| для спрявленої антени | -157,0 |
| Максимальна щільність потоку потужності прийнятого сигналу, дБ·Вт/м ² | -100,0 |
| Еквівалентна ізотропна випромінювана потужність (ЕІВП), дБ·Вт | |
| для не спрявленої антени | 13,5 ... 2,5 |
| для спрявленої антени | 25,0 ... 9,5 |
| Крок регулювання ЕІВП, дБ | 1 |
| Мінімальний кут місця, ...° | 5 |
| Поляризація на приймання і передавання | Права колова |
| Час наведення спрявленої антени на ШСЗ, с | Не більше 6 |
| Короткочасна нестабільність частоти опорного генератора | 10 ⁻⁷ |
| Невизначеність за несучою частотою, Гц (що зумовлено рухом ПК відносно ШСЗ) | ±2300 |

Продовження табл. А.3.2

| Параметр | Значення |
|--|------------------------------------|
| Невизначеність за тактовою частотою, Гц | $\pm 0,5$ |
| Час входження до синхронізму за тактовою частотою, с | Не більше 10 |
| Помилка установлення частоти передачі, Гц | Не більше ± 320 |
| P-, R-, T-канали (передавання даних) | |
| Рознесення частот між каналами, кГц: | |
| на приймання (P-канал) | 5,0 |
| на передавання (R-, T-канали) | 2,5 |
| Швидкість передавання в каналі, біт/с: | |
| на приймання | 600 |
| на передавання | 600 та 1200 |
| Вид модуляції | A-BPSK |
| Пряме виправлення помилок (FEC) | Загортальне кодування ($k=7$) |
| Швидкість кодування | $\frac{1}{2}$ |
| Імовірність помилки на виході декодера | 10^{-5} |
| Граничний потенціал C/No, дБ·Гц: | |
| для швидкості 600 біт/с | 35,7 |
| для швидкості 1200 біт/с | 38,7 |
| Похибка установлення пакетів у часові вікна під час передавання, мкс | ± 100 |
| C- канал (телефонія) | |
| Рознесення між каналами, кГц | 17,5 |
| Швидкість у каналі, біт/с (приймання і передавання) | 21000 |
| Вид модуляції | A-QPSK |

Закінчення табл. А.3.2

| Параметр | Значення |
|--|------------------------------------|
| Пряма корекція помилок (FEC) | Загортальне кодування ($k=7$) |
| Швидкість кодування FEC | 1/2 |
| Імовірність помилки на виході декодера за енергетичного потенціалу $C/N_0=47,9$ дБ·Гц | 10^{-3} |

Таблиця А.3.3

Загальні характеристики GES

| Параметр | Значення | |
|--------------------------------------|--|-------------------------------------|
| | Перше покоління ШСЗ | Друге покоління ШСЗ |
| Діапазон частот, МГц: | | |
| на передавання | 6417,5...6425,0 | 6425,0...6443,0 6425,0...6454,0 |
| на приймання | 4192,5...4200,0 | 3600,0...3623,0 3600,0... 3629,0 |
| Підсилення антени, дБ: | | |
| на передавання | 54 | 54 |
| на приймання | 50,5 | 49,2 |
| Види послуг, що надаються | Телефонія (швидкість кодування мови 9,6 кбіт/с), передавання даних | |
| Ширина діаграми напрямленості, ... ° | | |
| на передавання | 0,33 | 0,33 |
| на приймання | 0,48 | 0,57 |
| Поляризація: | | |
| на передавання | Права | Права |
| на приймання | Ліва | Ліва |

Продовження табл. А.3.3

| Параметр | Значення | |
|--|---------------------|---------------------|
| | Перше покоління ШСЗ | Друге покоління ШСЗ |
| Межа спостереження за ШСЗ, ... °: | | |
| за довготою | ±1 | ±1 |
| за нахилом | ±5 | ±5 |
| Кут місця, ... ° | 5...90 | 5...90 |
| Добротність приймальної системи G/T (з урахуванням втрат без похибок наведення антени й поляризації), дБ/К | 32,0 | 30,7 |
| Щільність потоку потужності прийнятого сигналу, дБ·Вт/м ² : | | |
| телефонного каналу | -180...170 | |
| каналу передачі даних | -195...185 | |
| Діапазон регулювання ЕІВП, дБ·Вт (на одну несучу) | 50...70 | |
| Номінальна ЕІВП, дБ·Вт (на одну несучу) | 62 | |
| Крок регулювання ЕІВП, дБ | 1 | |
| Невизначеність несучої частоти, режим приймання, Гц | ±600 | |
| Невизначеність тактової частоти, режим приймання, Гц | ±0,5 | |
| Помилка установлення частоти передавання, Гц | ±100 | |
| P-, R-, T-канали (передавання даних) | | |
| Рознесення частот між каналами, кГц: | | |
| на приймання (R-, T-канали) | 2,5 | |
| на передавання (P-канал) | 5,0 | |
| Швидкість передавання в каналі, біт/с: | | |
| на приймання | 600 і 1200 | |

Закінчення табл. А.3.3

| Параметр | Значення | |
|---|---|---------------------|
| | Перше покоління ШСЗ | Друге покоління ШСЗ |
| на передавання | 600 | |
| Вид модуляції | А-BPSK | |
| Пряме виправлення помилок (FEC) | Загортальне кодування (кодове обмеження $k=7$) | |
| Швидкість кодування FEC | 1/2 | |
| Імовірність помилки на виході декодера | 10^{-5} | |
| Граничний потенціал C/N_0 , дБ·Гц: | | |
| для швидкості 600 біт/с | 35,7 | |
| для швидкості 1200 біт/с | 38,7 | |
| С-канал (телефонія) | | |
| Рознесення між каналами, кГц | 17,5 | |
| Швидкість в каналі, біт/с (приймання і передавання) | 21000 | |
| Вид модуляції | А-QPSK | |
| Пряма корекція помилок (FEC) | Загортальне кодування (кодове обмеження $k=7$) | |
| Швидкість кодування FEC | 1/2 | |
| Імовірність помилки на виході декодера за енергетичного потенціалу $C/N_0=47,9$ дБ·Гц | 10^{-3} | |

А.3.4. Вимоги ICAO до системи авіаційного мобільного супуникового зв'язку AMSS

А.3.4.1. Структура протоколів супутникової підмережі АТН

Майбутня система, яка має забезпечувати авіаційну мобільну супутникову службу (AMSS), за рекомендаціями ICAO створюється на базі наявних систем, зокрема INMARSAT.

Структура протоколів супутникової підмережі ATN відповідає вимогам EMBBC (рис. А.3.4). Модель EMBBC охоплює три нижні рівні – фізичний (PL – Physical Layer), каналний (LL – Link Layer); SSNL (Satellite Subnetwork Level – рівень супутникової підмережі) – і на станціях AES і GES забезпечує орієнтоване на з’єднання обслуговування пакетними даними завдяки встановленню з’єднань підмережі SNC (Subnetwork Control – підмережа керування) між абонентами обслуговування на рівні підмережі SNS (Subnetwork Service – підмережа обслуговування).

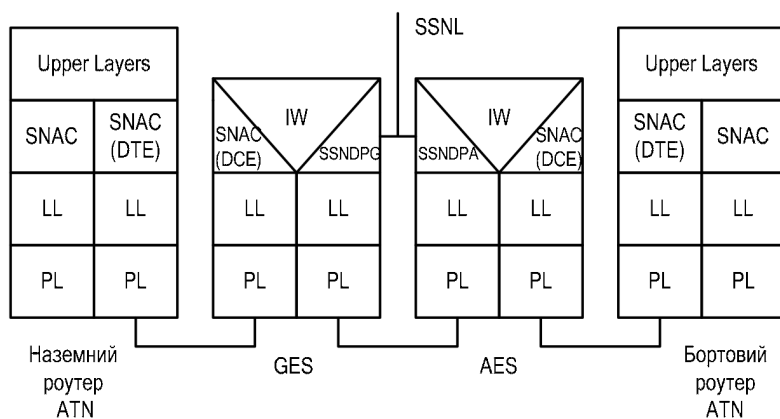


Рис. А.3.4. Структура протоколів супутникової підмережі ATN

Рівень SSNL на станціях AES і GES виконує такі три функції:

- ✓ залежну від супутникової підмережі функцію (SSND);
- ✓ функцію доступу до підмережі (SNAC);
- ✓ функцію взаємодії (IW).

Система AMSS має чотири рівні можливостей. Рівень можливостей визначається характеристиками AES, супутника і GES. Залежно від рівня системи можуть використовуватись канали чотирьох типів: *P, R, T, C*.

Узагальнені дані про рівні можливостей для типової реалізації системи AMSS наведено у табл. А.3.4.

Характеристика рівнів можливостей

| Рівень | Служба пакетних даних, кбіт/с | Служба каналного режиму, кбіт/с | Кількість каналів | Коефіцієнт підсилення антени, дБ | Примітка |
|--------|-------------------------------|---------------------------------|--|----------------------------------|--|
| 1 | 0,6 1,2 | Не використовується | По 1 на передавання і приймання | 0 | – |
| 2 | 0,6 4,8 10,5 | Не використовується | По 1 на передавання і приймання | 12 | Висока швидкість пакетного передавання даних |
| 3 | 0,6 4,8 10,5 | Мова 21,0 | 1 для передавання 2 для приймання | 12 | Цифрове передавання мови і пакетне передавання даних, але не одночасно |
| 4 | 0,6 4,8 10,5 | Мова 21,0 | 2 і більше для передавання і для приймання | 12 | Дуплексне передавання пакетів і мови |

А.3.4.2. Функціональна структура каналів AMSS

В AMSS канали всіх чотирьох типів мають подібну функціональну структуру і розрізняються за складністю інтерфейсів каналного рівня DTE та мультиплексорів, що зумовлено з призначенням каналів та їх можливостями. Типову функціональну структуру каналу радіозв'язку на прикладі *P*-каналу показано на рис. А.3.5. Структура *P*-каналу, як і всіх інших (*R*, *T*, *C*), являє собою послідовне з'єднання таких блоків: на GES – передавальний інтерфейс рівня ланки передачі даних, мультиплексор, скремблер, кодер (FEC – Forward Error Control – пряме виправлення помилок), перемешувач, нагромаджувач кадрів, модулятор, радіочастотний тракт передавача, лінія зв'язку; на AES – у зворотній послідовності: радіочастотний тракт приймача, демодулятор, нагромаджувач прийнятих кадрів, деперемешувач, декодер FEC, дескремблер, демультимплексор, приймальний інтерфейс рівня ланки даних. Усі функціональні бло-

ки синхронізуються тактовими послідовностями від підсистеми синхронізації. Первинний інтерфейс *C*-каналу складніший від *P*-каналу. Це зумовлено додатковими функціями: цифровим передаванням та прийманням мовних повідомлень.

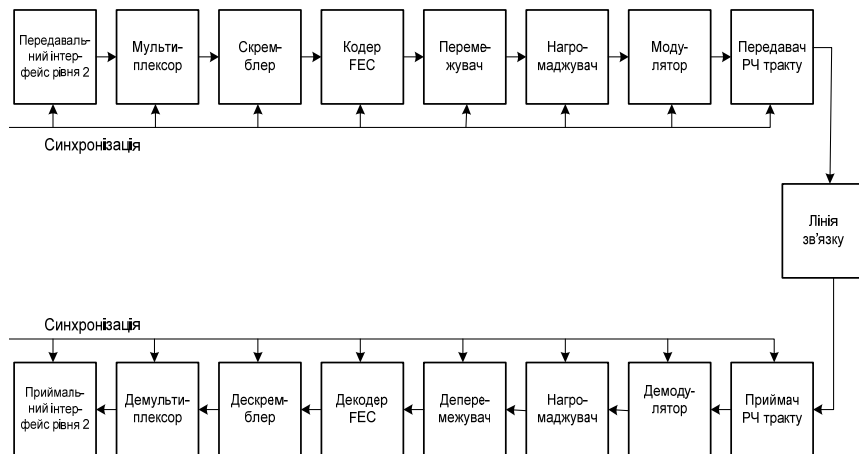


Рис. А.3.5. Функціональна структура *P*-каналу

Розподіл типів каналів на приймання або передавання з AES та швидкості передавання, які при цьому використовуються, на цей час відрізняються від можливостей системи INMARSAT-AERO, які вимагає ICAO від AMSS (див. розд. А.3.3). Швидкості передавання по каналах AMSS наведено в табл. А.3.5.

Таблиця А.3.5

Швидкості передавання по каналах AMSS

| Швидкість передавання, кбіт/с | Типи каналів | |
|-------------------------------|------------------|-------------------|
| | Приймання на AES | Передавання з AES |
| 0,6 | <i>P</i> | <i>R, T</i> |
| 1,2 | <i>P</i> | <i>R, T</i> |
| 2,4 | <i>P</i> | <i>R, T</i> |
| 4,8 | <i>P</i> | -- |
| 5,25 | <i>C</i> | <i>C</i> |
| 6,0 | <i>C</i> | <i>C</i> |
| 10,5 | <i>P, C</i> | <i>R, T, C</i> |
| 21,0 | <i>C</i> | <i>C</i> |

Увесь інформаційний трафік AMSS у матеріалах ICAO подано п'ятнадцятьма категоріями (Q-перевагами). Найвищу категорію значущості (найвищий пріоритет) мають повідомлення з Q-номером 15: повідомлення про лихо, термінові мовні повідомлення, що мають сигнальний характер SOS. Найнижчий Q-номер 4 мають звичайні телефонні повідомлення між кабіною і салоном (табл. А.3.6).

Таблиця А.3.6

Структура пріоритетів повідомлень в AMSS

| Q-номер | Тип повідомлення |
|---------|---|
| 15 | Повідомлення про лихо/термінові мовні повідомлення; сигналізація |
| 14 | Повідомлення про лихо/термінові повідомлення даних |
| 13 | Зарезервовано для сигналізації |
| 12 | Мовні повідомлення з безпеки польотів; сигналізація |
| 11 | Повідомлення даних з безпеки польотів; пеленгація |
| 10 | Метеорологічні повідомлення про регулярність польотів |
| 9 | Зарезервовано для сигналізації |
| 8 | Повідомлення метеорологічних даних |
| 7 | Повідомлення даних про регулярність польотів |
| 6 | Повідомлення служби аеронавігаційної інформації |
| 5 | Повідомлення авіаційних адміністративних даних, мережних/системних адміністративних даних |
| 4 | Звичайний телефонний зв'язок кабіни і салону |
| 3-0 | Інші повідомлення |

Залежно від пріоритетності повідомлень та швидкості передавання встановлено норми на припустиму затримку встановлення з'єднання, передавання даних і транзитну затримку. Характеристики затримки, які ґрунтуються на довжині пакета даних 128 октетів та коефіцієнтах невиявлених помилок від 10^{-4} (від AES) до 10^{-6} (на AES), наведено в табл. А.3.7.

Характеристики затримки повідомлень

| Швидкість передавання, кбіт/с | Максимальна затримка встановлення зв'язання, с | Транзитна затримка, с | | | Затримка передавання даних, с | | |
|-------------------------------|--|-----------------------|---------|----------|-------------------------------|---------|----------|
| | | До AES | | Від AES | До AES | | Від AES |
| | | $Q = 15$ | $Q = 3$ | $Q = 15$ | $Q = 15$ | $Q = 3$ | $Q = 15$ |
| 0,6 | 70 | 12 | 40 | 40 | 15 | 110 | 80 |
| 1,2 | 45 | 8 | 25 | 30 | 9 | 60 | 65 |
| 2,4 | 25 | 5 | 12 | 15 | 6 | 30 | 35 |
| 4,8 | 25 | 4 | 7 | 13 | 5 | 20 | 30 |
| 10,5 | 25 | 4 | 5 | 13 | 4 | 10 | 30 |

Розглянемо особливості побудови та характеристики основних функціональних блоків каналу AMSS.

А.3.4.3. Вимоги до каналів AMSS

Використання смуги частот. Згідно з рекомендаціями ICAO бортова станція AES має забезпечувати приймання сигналів у смузі частот від 1525 до 1559 МГц. Основний діапазон служби AMSS – 1544...1555 МГц, у якому смуга частот 1544...1545 МГц використовується у випадку лиха та для забезпечення безпеки польотів. Смуга частот 1555...1559 МГц може мати захист і використовується окремими державами для національного і міжнародного зв'язку в AMSS. Смугу частот 1525...1544 МГц можна використовувати для зв'язку зі станціями морської мобільної супутникової служби (MMSS – Mariner Mobile Satellite Service) для передавання повідомлень про лихо або загальної кореспонденції.

Бортова станція AES має забезпечувати передавання сигналів у загальній смузі частот, яка на 101,5 МГц вища, ніж смуга частот приймання, тобто становить 1626,5...1660,5 МГц. При цьому основною є смуга 1645,5...1656,5 МГц, а її частина 1645,5...1646,5 МГц призначена для використання у випадку лиха і для забезпечення безпеки польотів. Смуга частот 1656,5...1660,5 МГц може бути захищеною для використання окремими державами в національних і міжнародних цілях. Передавання сигналів в смузі 1626,5...1645,5 МГц призначено для зв'язку зі станціями MMSS.

Крок мережі частот AMSS становить $\Delta f = 2,5$ кГц. Присвоєння номерів каналів та настроювання AES відбувається під контролем GES. Номери каналів визначаються за використовуваною частотою відносно реперних частот $f_r = 1510$ МГц на приймання і $f_i = 1611,5$ МГц на передавання за формулами [3; 6]:

$$N_r = (f - f_r) / \Delta f \quad \text{або} \quad N_i = (f - f_i) / \Delta f.$$

Частота передавання AES для приймання її на ШСЗ має відрізнятись від номіналу не більш ніж на ± 383 Гц, а для приймання на дозвуківому ПК – не більш ніж на $\pm 2,18$ кГц.

Характеристики антенних систем. Еталонна зона дії антенної системи становить 360° за азимутом і $5^\circ \dots 9^\circ$ за кутом місця від горизонтальної площини при прямолінійному і горизонтальному польотах ПК. Бажано, щоб характеристики режимів передавання і приймання утримувались за кутів тангажу $+20^\circ / -5^\circ$ і кутів крену $\pm 25^\circ$. Відповідно до рекомендацій ІТУ антени систем AMSS мають забезпечувати приймання та передавання сигналів з правою коловою поляризацією. Якщо станція AMSS має антенну систему, яка складається з декількох комутованих антен, то час перерви сигналу при комутації з однієї антени на іншу не повинен перевищувати 40 мс.

В AMSS передбачається використання антен з низькими та високими коефіцієнтами підсилення. Бажано, щоб для антен з низькими коефіцієнтами підсилення G коефіцієнт добротності $Q = G/T$, де T – температура, був би не меншим за мінус 26 дБ/К, а для антен з високими коефіцієнтами підсилення – не меншим ніж мінус 13 дБ/К. При цьому в обох випадках коефіцієнт еліптичності K_e діаграми випромінювання має бути меншим за 6 дБ у межах 100%-ї еталонної зони дії.

Для антен з низьким коефіцієнтом підсилення чинні норми передбачають, що коефіцієнт Q повинен бути не меншим ніж мінус 26 дБ/К у межах 85% еталонної зони дії і не менше як мінус 31 дБ/К у межах решти 15% еталонної зони дії. При цьому $K_e < 6$ дБ для кутів $45^\circ \dots 90^\circ$ і $K_e < 20$ дБ для кутів $5^\circ \dots 45^\circ$.

Для антен з високим коефіцієнтом підсилення норми ІСАО визначають, що Q має бути не меншим за мінус 13 дБ/К у межах 75% еталонної зони дії і не меншим ніж мінус 26 дБ/К у межах решти 25% еталонної зони дії, де $Q < -13$ дБ/К.

Діаграма напрямленості антени AES, яка відповідає максимальному коефіцієнту підсилення під час передавання та приймання, має забезпечувати селекцію не менш ніж на 13 дБ між напрямками на потрібний та непотрібний ШСЗ, які рознесені по довжині на 45° і більше в межах 75% (а в перспективі 100%) еталонної зони дії. У випадках, коли промені антенної системи комутуються, ВЧ фазові переходи в сигналі не повинні перевищувати 12° для усіх можливих комбінацій суміжних променів.

Вимоги до радіоприймача. Всі потрібні характеристики радіоприймача забезпечуються за умови опромінення приймальної системи в напрямку максимального підсилення потоком енергії зі щільністю мінус $100 \text{ дБ} \cdot \text{Вт}/\text{м}^2$ у смузі частот 1525...1559 МГц. Приймач забезпечує виділення і захоплення сигналів за зсувів частоти сигналу до $\pm 2,18 \text{ кГц}$, при цьому швидкість зміни частоти, яка зумовлена ефектом Доплера, не повинна перевищувати 30 Гц/с.

Вимоги до радіопередавача. Однією з найважливіших характеристик радіопередавача є еквівалентна ізотропно випромінювана потужність (EIRP – Effective Isotropic Radiated Power). Це сумарна потужність, яка має випромінюватись ізотропною антеною для отримання в заданому місці аналогічної густини потоку.

Для антен AES з низьким коефіцієнтом підсилення мінімальне значення EIRP на несучу в напрямку супутника становить $13,5 \text{ дБ} \cdot \text{Вт}$, а найбільше значення EIRP не повинно перевищувати $22,8 \text{ дБ} \cdot \text{Вт}$. У разі використання антени з високим коефіцієнтом підсилення аналогічні значення EIRP можуть бути відповідно $25,5$ і $34,8 \text{ дБ} \cdot \text{Вт}$. При цьому регулювання EIRP на несучу в напрямку ШСЗ коригується за командами з GES в діапазоні до 15 дБ значеннями по 1 дБ. У випадку підключення станції AES до станції GES значення EIRP має бути не менше за $13,5 \text{ дБ} \cdot \text{Вт}$. Коли за командою усі канали вимикаються, EIRP у будь-якому напрямку в межах смуги частот 1626,5...1660,5 МГц має бути мінус $24,5 \text{ дБ} \cdot \text{Вт}$ і менше.

А.3.5. Формати повідомлень

Уся інформація по *P*-, *R*-, *T*-каналах і в частині *C*-каналу передається у форматі сигнальних блоків SU (Signal Unit). Кожний сигнальний блок, який передається по *P*-, *T*-, *C*-каналах, складається з 96 біт, а по *R*-каналу – з 152 біт.

Останні два байти (16 біт) кожного блоку SU призначені для перевірки парності циклічного надмірного контролю CRC (Cyclic Redundancy Check). Він формується за спеціальним алгоритмом для циклічних надмірних кодів, призначених для виявлення помилок. Кожний прийнятий блок SU, який не пройшов CRC, до уваги не береться.

У *P*-каналі кадри мають тривалість 500 мс або значення кратне 500 мс. Це треба для утворення восьмисекундного розширеного кадру, який використовується для розподілу часових інтервалів *R*- і *T*-каналів.

Кожний кадр *P*-каналу складається з п'яти полів:

- ✓ поля ідентифікатора формату;
- ✓ маркера межі розширеного кадру;
- ✓ фальшивого поля (для швидкостей передавання даних, більших за 2,4 кбіт/с);
- ✓ поля інформації;
- ✓ поля кодового слова.

Формати кадрів *P*-каналу для швидкостей не більшим ніж 2,4 кбіт/с показано на рис. А.3.6 [3; 6]. Розглянемо ці поля.

Поле *ідентифікатора формату* складається з чотирьох бітів: 0001. Інші значення цього поля зарезервовані на майбутнє.

Поле маркера межі розширеного кадру складається з 12 біт з таким призначенням:

✓ 4 біт для указання початку нового розширеного кадру: 1111 для кадру 0 у восьмисмуговому розширеному кадрі і 0000 для всіх інших кадрів розширеного кадру;

✓ 4 біт для указання кадру розширеного кадру:

0000, 0001, 0010, 0011 при 0,6 кбіт/с;

0000, 0001, 0111 при 1,2 кбіт/с;

0000, 0001, 1111 при 2,4 кбіт/с;

✓ 4 біт, які повторюють попередні 4 біт.

Фальшиве поле за швидкостей передавання більше за 2,4 кбіт/с включає 16 біт, а за швидкості 10,5 кбіт/с – 178 біт. Це поле містить послідовність 0001, яка буде повторена до отримання потрібної кількості бітів. Це поле потрібне для того, щоб тривалість кожного кадру становила 0,5 с. За швидкостей передавання даних 2,4 кбіт/с і менше фальшиве поле не потрібне.

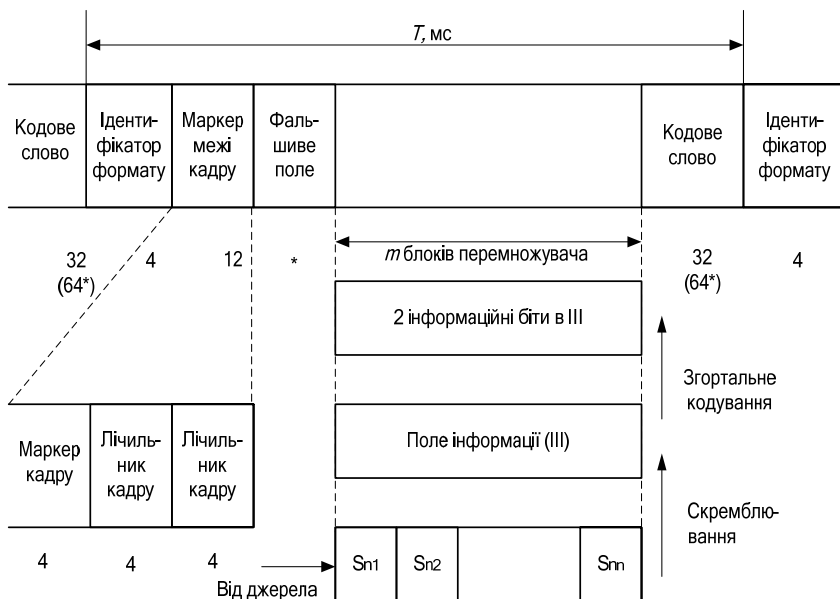


Рис. А.3.6. Формат P -каналу (*для $R \geq 4,8$ кбіт/с, $m = 1$)

Поле інформації містить сукупність сигнальних блоків. Вони скремблюються, кодуються та чергуються в заданій послідовності. Кількість бітів у всьому полі залежить від швидкості передавання і кількості блоків перемежувача (табл. А.3.8).

Таблиця А.3.8

Обсяг поля інформації P -каналу

| | | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|
| Швидкість передавання, кбіт/с | 0,6 | 1,2 | 2,4 | 4,8 | 10,5 |
| Ємність поля, біт | 1152 | 1152 | 1152 | 2304 | 4992 |
| Кількість блоків перемежувача | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Кількість блоків SU | 2 | 3 | 6 | 12 | 26 |

Кодове слово закінчує кожний кадр P -каналу. Воно являє собою 32-бітову кодову комбінацію: 1110 0001 0101 1010 1110 1000 1001 0011. За чотирипозиційної фазової модуляції QPSK (Quaternary Phase-Shift Keying) воно повторюється по синфазному та квадратурному каналах.

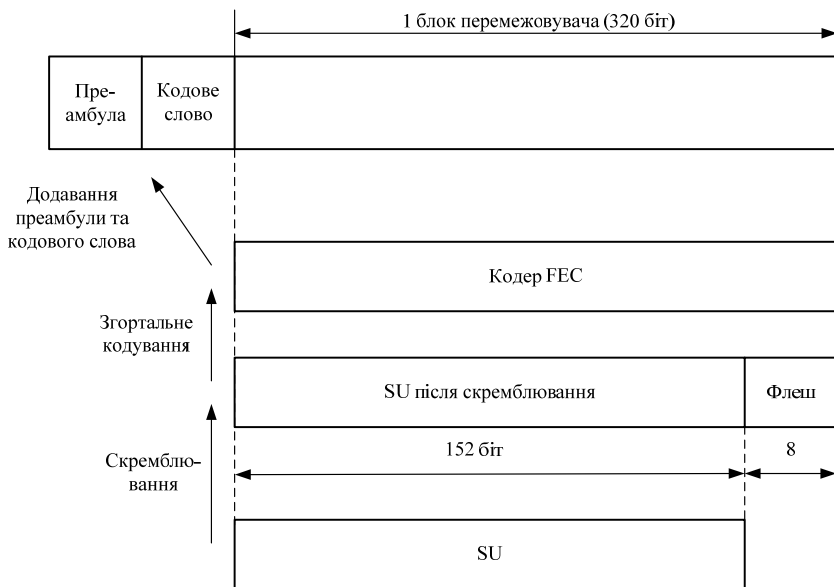


Рис. А.3.7. Формат пакета даних R -каналу

У R -каналі пакет даних складається з трьох полів: преамбули, кодового слова та поля інформації (див. рис. А.3.7). Преамбула складається з двох частин: немодульованої і модульованої. Передбачається, що немодульована частина преамбули має використовуватись для захоплення несучої, а модульована – для захоплення синхронізатора даних. Немодульована частина преамбули є сигналом з постійною фазою. Склад модульованої частини залежить від типу модуляції. При А-BPSK ця частина являє собою послідовність типу меандр (0 і 1, що чергуються), яка починається з нуля. При А-QPSK в I -підканалі відбувається меандр, а в Q -підканалі – безперервний ряд 0.

Довжина (тривалість) преамбули залежить від швидкості передавання даних (табл. А.3.9). Кодове слово має таку ж побудову, як і для R -каналу.

Поле інформації до загортального кодування має довжину 160 біт, з яких сигнальний блок SU – 152 біт і 8 біт – флеш-поле (0000 0000). Синхронізація має забезпечити початок передавання пакета даних по R -каналі в межах ± 300 мкс від початку інтервалу цього R -

каналу. Початок інтервалу визначається в кадрі P -каналу. На рис. А.3.8 видно, що розширений кадр P -каналу має 8, 16, 32 або 64 інтервали вільного доступу для швидкостей передавання даних 0,6; 1,2; 2,4 і 10,5 кбіт/с відповідно.

Таблиця А.3.9

Структура преамбули для R - і T -каналів

| | | | | |
|---|-----|-----|-----|------|
| Швидкість передавання, кбіт/с | 0,6 | 1,2 | 2,4 | 10,5 |
| Кількість тактів немодульованої несучої | 150 | 126 | 78 | 248 |
| Кількість модульованих бітів | 74 | 74 | 74 | 256 |
| Усього | 224 | 200 | 152 | 504 |

У T -каналі пакет даних має склад, аналогічний пакету даних R -каналу, за винятком поля інформації. Це поле включає ідентифікатор пакета, n блоків SU і 16 флеш-бітів (усі нулі). Ідентифікатор має 48 біт, які ідентифікують ПК відправника інформації та станцію призначення GES. Кількість блоків SU $n = 2 \dots 31$ по 96 біт кожний.

У S -каналі пакет даних містить такі поля: преамбулу, кодове слово, фальшиве поле і поле інформації. Заклучна частина формується тільки для пакетного режиму. Заклучна частина в I -каналі складається з безперервного ряду нулів, а в Q -каналі – це меандр (починаючи з нуля). Довжина заклучної частини відповідає одному блоку перемешувача, або 96 біт без перемешування. Структуру преамбули S -каналу наведено в табл. А.3.10.

Три поля – кодове слово, фальшиве поле і поле інформації – утворюють кадр. Тривалість кожного кадру – 500 мс.

Кодове слово на I -і Q -підканалах сигналу А-QPSK має довжину 44 біт: 0100 0010 1101 1010 1111 0011 0100 1011 1011 0001 0001.

Фальшиве поле заповнюється фальшивими бітами із послідовності 0101 1010 0011 1100. Вона повторюється доти, доки не буде отримана потрібна кількість бітів L_n ($L = 62$ біт при 10,5 кбіт/с, 44 біт при 21 кбіт/с, 37 біт при 5,25 кбіт/с і 32 біт при 6,0 кбіт/с).

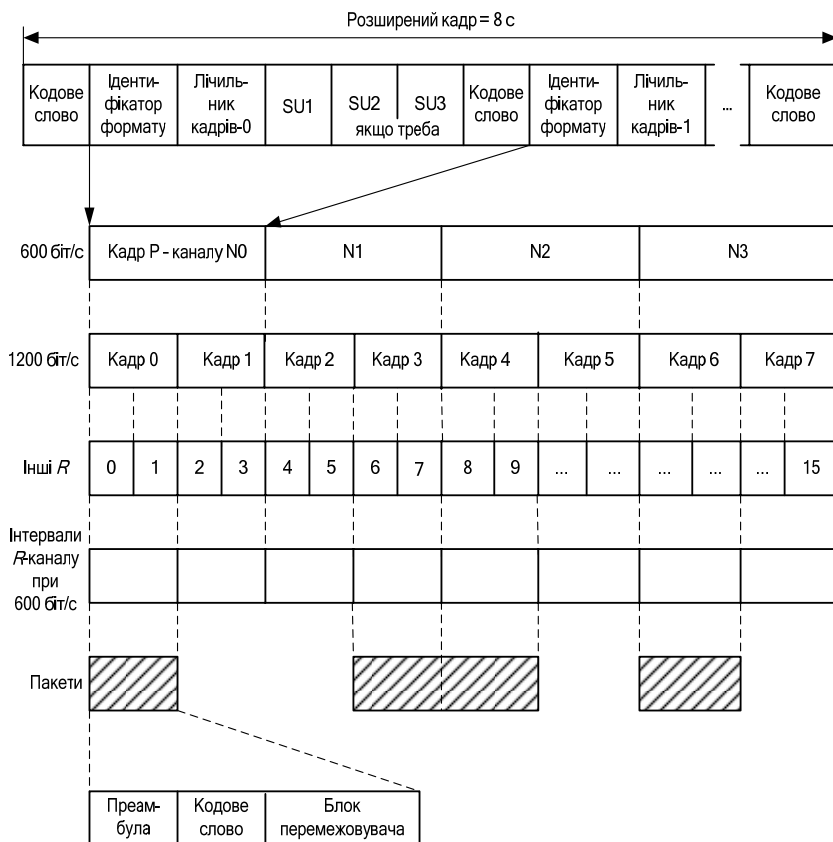


Рис. А.3.8. Синхронізація P- та R-каналів

Таблиця А.3.10

Структура преамбули для C-каналу

| | | | | |
|---|------|-----|------|------|
| Швидкість передавання, кбіт/с | 5,25 | 6,0 | 10,5 | 21,0 |
| Кількість тактів немодульованої несучої | 80 | 96 | 160 | 336 |
| Кількість модульованих бітів | 128 | 144 | 256 | 504 |
| Усього | 208 | 240 | 416 | 840 |

Поле інформації при $R=21$ кбіт/с потребує 10368 біт. Вони поділені на 27 блоків по 384 біт кожний (рис. А.3.9). Якщо $R = 6$ кбіт/с, то поле інформації охоплює 2880 біт (15 блоків по 192 біт у кожному).

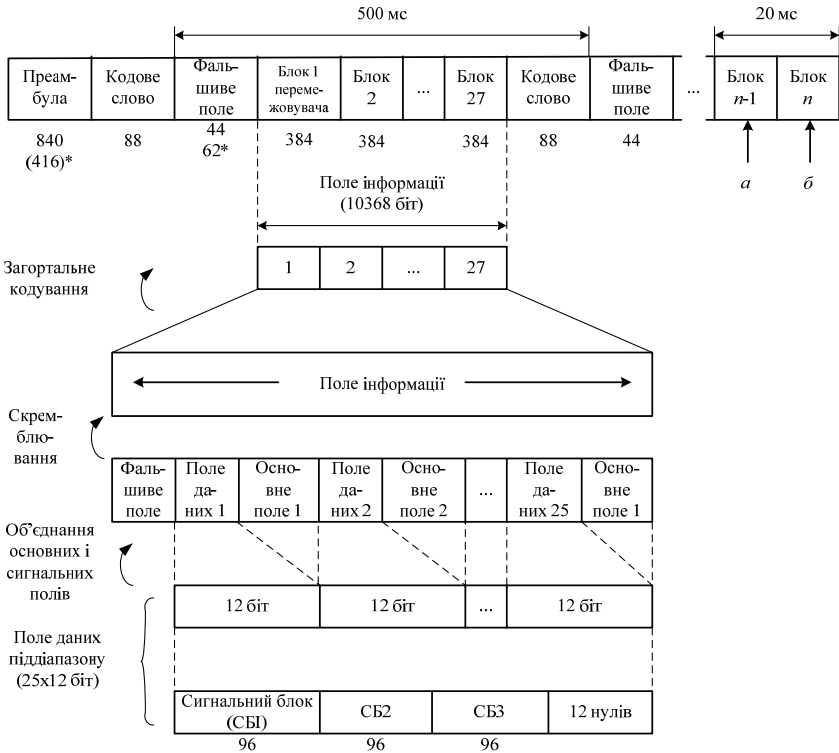
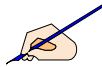


Рис. А.3.9. Формат пакета даних С-каналу за швидкості передавання 21 кбіт/с (*дані для швидкості 10,5 кбіт/с), коли не виконується загортальне кодування (a – закінчення активного сигналу; b – закінчення пакета)

До початку скремблювання поле інформації складається з поля-заповнювача та 25 допоміжних субполів даних і прозорих даних (мовні поля), які змінюють одне одного. Якщо $R = 21$ кбіт/с, поле-заповнювач складається з 84 нулів. Кожне субполе має 12 біт допоміжних даних і основні 192 біт. Останні 12 біт (25-е субполе) є нулі. За швидкості передавання $R = 6$ кбіт/с поле-заповнювач має

40 нулів. Кожне субполе включає 8 біт допоміжних даних і основних 48 біт. Останні 8 біт 25-го субполя мають бути нульовими.

Поле інформації для каналів без загортального кодування при $R = 10,5$ кбіт/с містить 5100 біт, а при $R = 5,25$ кбіт/с – 2500 біт. Воно поділяється на 25 субполів допоміжних даних і 25 субполів основних даних. Коли $R=10,5$ кбіт/с, кожне субполе включає 12 біт допоміжних даних і основні 192 біт. Якщо $R = 5,25$ кбіт/с, кожне субполе включає допоміжні 4 і 96 біт основних даних.



Контрольні запитання

1. Назвіть склад та наведіть основні технічні характеристики INMARSAT-AERO.
2. Назвіть стандарти та надайте порівнянну характеристику INMARSAT.
3. Надайте характеристику алгоритму роботи авіаційної станції AES у мережі INMARSAT-AERO.
4. Надайте основні технічні характеристики AES INMARSAT-AERO.
5. Надайте основні технічні характеристики GES INMARSAT-AERO.
6. Які вимоги ICAO до чотирьох типів каналів у AMSS?
7. Надайте основні характеристики пріоритетів повідомлень у AMSS.
8. Назвіть склад та наведіть основні технічні характеристики формату повідомлень P -каналу.

Модуль II

СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ

Розділ Б. АВІАЦІЙНІ РАДІОНАВІГАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ І СИСТЕМИ

ВСТУП

Можливості авіації, космонавтики, морського і річкового судноплавства багато в чому визначаються точністю і надійністю розв'язання завдань навігації, рівнем розвитку навігаційних засобів і систем, зокрема пристроїв і систем радіонавігації. Радіотехнічні засоби навігації дають можливість виконувати водіння літальних апаратів, морських суден і наземних об'єктів, а також керувати повітряним і морським рухом в умовах невидимості землі та небесної сфери. Радіонавігаційні пристрої і системи мають малі похибки вимірювань навігаційних параметрів і велику дальність дії, дозволяють вирішувати різноманітні і складні навігаційні завдання. Сучасні радіотехнічні системи дальньої навігації, які побудовані на основі далекомірних і різницево-далекомірних пристроїв, забезпечують визначення координат рухомих об'єктів (під якими розуміють повітряні та космічні літальні апарати, морські судна і т. ін.) на відстані до 1500 км і більше від наземних радіомаяків. Особливе місце займають супутникові радіонавігаційні системи, які призначені для визначення місцеположення літального апарата або морського судна в межах зони дії ШСЗ. При цьому точність визначення майже не залежить від місцеперебування об'єкта в цій зоні, а також від часу доби і погодних умов. Радіотехнічні системи ближньої навігації і посадки дають змогу визначати координати об'єкта на відстанях до 400 км від наземного маяка, а на заключному етапі польоту вимірюють відхилення літального апарата від заданої траєкторії і дальності до точки приземлення. Для успішного розв'язання різноманітних завдань використовують автономні бортові радіонавігаційні пристрої, які реалізують радіолокаційні принципи. В таких пристроях навігаційні параметри визначають за відбитим від земної поверхні сигналом (радіовисотоміри, доплерівські вимірювачі швидкості і т. ін.).

Під терміном «навігація» (від лат. *navigatio* – мореплавство) спочатку мали на увазі тільки способи водіння морських суден. Нині цей термін поширений і на способи водіння таких рухомих об'єктів, як літаки, вертольоти, космічні кораблі, морські та річкові судна. Термін «навігація» не застосовують до водіння об'єктів, траєкторії руху яких заздалегідь жорстко визначені і положення яких у будь-який момент часу відоме, наприклад залізничних.

Таким чином, під навігацією розуміють науку про методи та засоби отримання інформації про положення і рух рухомих об'єктів і про методи та засоби їх водіння з однієї точки простору в іншу обумовленими траєкторіями в установлений час.

Для вирішення навігаційних завдань об'єкт потрібно переміщати по найвигіднішій траєкторії. Траєкторією (в цьому випадку польоту) називають просторову криву, по якій переміщується центр мас рухомого об'єкта в процесі його переміщення. Проекція траєкторії польоту на земну поверхню називається лінією шляху (ЛШ). Основна частина ЛШ називається маршрутом. Розрізняють лінію заданого шляху (ЛЗШ) і фактичного шляху (ЛФШ). Проекцію траєкторії польоту на вертикальну площину називають профілем польоту. Точка земної поверхні, над якою переміщується рухомий об'єкт, називається його місцеположенням.



Б.1. ЗАВДАННЯ, ВИРІШУВАНІ РАДІОНАВІГАЦІЙНИМИ ПРИБОРАМИ І СИСТЕМАМИ В АВІАЦІЇ. МЕТОДИ, ВИДИ НАВІГАЦІЇ

Основними завданнями навігації є: забезпечення точного переміщення рухомого об'єкта по заданій траєкторії і точного виведення рухомого об'єкта в заданий пункт у призначений час найвигіднішим для таких умов способом.

Для успішного виконання цих завдань необхідно відповісти на такі питання: 1) де перебуває рухомий об'єкт у поточний момент; 2) куди необхідно рухатися далі; 3) яким способом слід рухатися, щоб прийти в задані пункти (мета, аеродром посадки тощо) у призначений час з урахуванням перебування поблизу інших об'єктів та із забезпеченням потрібного рівня безпеки переміщення.

Для відповіді на перше питання необхідно визначити поточні координати місцеположення об'єкта і його висоту в певній системі координат. Друге питання потребує знання координат руху до необхідного моменту часу в тій же системі координат. Щоб відповісти на третє питання, треба знати параметри руху об'єкта і об'єктів, що оточують його (швидкість, прискорення, кутові координати об'єкта і їх похідні) і визначити необхідні значення нових параметрів руху, що забезпечують виведення об'єкта в заданий пункт у призначений час з потрібним рівнем безпеки переміщення.

Виконання заданої програми переміщення рухомих об'єктів при всьому різноманітті завдань, зазвичай поділяють на окремі етапи, послідовне і успішне виконання яких забезпечує реалізацію поставленого завдання. Такими етапами процесу повітряної навігації літальних апаратів можуть, наприклад, бути: зліт; побудова заданого порядку групи; вихід на початковий пункт маршруту; вихід на ЛЗШ; контроль і виправлення шляху в разі ухилень від ЛЗШ, а також маневрування на маршрутному польоті аж до виходу в район заданого пункту; вихід на заданий пункт; вихід на початковий пункт маршруту при поверненні на аеродром посадки, тобто на початковий пункт зворотного маршруту; вихід на лінію зворотного шляху; контроль і виправлення шляху зворотного маршруту; вихід на аеродром посадки; розпуск групи; посадка.

Залежно від характеру польотного завдання і умов застосування окремих етапів літаководіння (вертольотоводіння) може не бути (або може змінюватися черговість їх виконання). В деяких випадках може виникнути потреба в додаткових етапах, наприклад, у розмиканні групи перед пробиттям хмарності тощо.

Кожному етапу процесу навігації відповідає режим навігації, під яким розуміють витримування напрямку, швидкості й висоти польоту об'єкта. Режим навігації рухомого об'єкта визначається сукупністю великої кількості навігаційних елементів, які є геометричними або механічними величинами і характеризують положення та переміщення об'єкта.

Для здійснення керованого польоту на борту літального апарата необхідно мати спеціальні вимірювальні пристрої, призначені для визначення різних навігаційних елементів (координат місцеположення літального апарата, величини і напрямку вектора швидкості, висоти польоту, напрямку на ціль або задану точку простору, відстані до неї і деяких інших).

Методи навігації класифікуються за способом визначення координат місцеположення: зчислення шляху; позиційні; оглядово-порівняльні; комбіновані (аналітичні); зональної навігації; диференціально-геометричний метод.

Методи зчислення шляху ґрунтуються на вимірюванні складових вектора прискорення або швидкості руху об'єкта та інтегрування в часі цих складових (прискорення інтегрується двічі) для отримання координат місцеположення.

Позиційні методи навігації ґрунтуються на вимірюванні фізичних величин, які дають лінію або поверхню положення. Для визначення двох або трьох координат місцеположення об'єкта потрібно мати відповідно дві або три взаємно перетинні лінії або поверхні положення.

Оглядово-порівняльні методи ґрунтуються на огляді навколишньої місцевості і порівнянні її зображення з картою або системою орієнтирів, закладених в пам'яті бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ).

Аналітичні методи засновані на розв'язанні рівнянь, що описують рух об'єктів відносно характерних точок на поверхні Землі або в космічному просторі відносно зірок, планет і супутників.

Методи зональної навігації. Нині дедалі ширшого застосування набувають методи зональної навігації, за якими місцеперебування ПК визначають за допомогою даних від таких джерел, як інерціальна навігаційна система, система *LORAN-C*, кутомірно-далекомірною системою (*VOR/DME*), дві або декілька одиниць *DME* і глобальні навігаційні супутникові системи (*ГЛОНАСС/GPS, GNSS*). На підставі аеронавігаційних даних системи зональної навігації видають відповідні сигнали автопілотам, що дозволяє ПК виконувати політ по запланованому маршруту на етапах: зльоту, на маршруті і під час заходу на посадку, а також, з використанням системи *GNSS*, на етапі посадки.

Під час виконання таких польотів фактична лінія шляху, по якій прямує ПК, залежить від координат, що визначають як лінію шляху, так і розташування наземних навігаційних засобів. З початком використання маршрутів точної зональної навігації і поширення системи *RNP* на маршрути польоту у вузлових диспетчерських районах потрібна вища точність, при цьому дані, які визначають заплановану лінію шляху, мають відповідати за своїми показниками точності й цілісності вимогам *RNP* (табл.Б.1.1).

Таблиця Б.1.1

Види потрібних навігаційних характеристик

| Похибка | <i>RNP-1</i> | <i>RNP-4</i> | <i>RNP-12,6</i> | <i>RNP-20</i> |
|--|-----------------|----------------|------------------|----------------|
| 95%-на точність визначення місцеперебування у заданому повітряному просторі, км (миль) | ±1,85 (±1,0) | ±7,4 (±4,0) | ±23,3 (±12,6) | ±37 (±20,0) |

Диференціально-геометричний метод ґрунтується на використанні диференціально-геометричних співвідношень між складовими векторів положення, швидкості та прискорення; незалежності процесу і результату розв'язання завдань навігації; нечутливості в широких межах алгоритмів до зовнішніх збурень і похибок вимірювачів. Методичною основою диференціально-геометричного методу є теорії диференціальної геометрії, аналітичної механіки (кінематики) і вищої алгебри.

Вибір того або іншого методу або комбінації методів навігації для використання на конкретному об'єкті визначають за такими параметрами:

- ✓ характером середовища, в якому рухається об'єкт (вода, повітря, космічне середовище);
- ✓ діапазоном зміни навігаційних параметрів (дальності, швидкості, прискорення і т. ін.);
- ✓ точністю, роздільною здатністю (прецизійністю), цілісністю тощо вимірювань навігаційних параметрів;
- ✓ рівнем автономності, завадозахищеності, електромагнітної сумісності і надійності навігаційних вимірювань;
- ✓ ступенем фізичної реалізованості методу навігації (тобто можливістю створення навігаційних пристроїв, що задовольняють експлуатаційні вимоги).

Зазвичай застосовують ті методи навігації, які якнайповніше відповідають наведеним вище умовам.

Рухомі об'єкти розрізняють залежно від середовища і походження (природи). Для водіння будь-яких типів рухомих об'єктів навігація отримала видові назви і кожен вид характеризується завданнями і режимами руху.

Наземна навігація призначена для вирішення трьох навігаційних завдань і визначення:

- ✓ поточних координат і кута дирекції машини;
- ✓ відстані від машини до пункту призначення і кута дирекції на пункт призначення;
- ✓ координат пункту призначення та інших об'єктів.

Морська навігація розглядає способи розв'язання таких основних завдань:

- ✓ вибір безпечного і вигідного шляху переміщення ПК;
- ✓ проходження вибраним шляхом і визначення місцеперебування ПК за зчисленням пройденої відстані;
- ✓ контрольні визначення місцеперебування ПК (обсервації) за візуальними спостереженнями берегових об'єктів та з використанням радіовипромінювань, а також із застосуванням інфрачервоних променів, гідроакустичних засобів та інших методів;
- ✓ оцінювання точності цих визначень;
- ✓ прогнозування можливих змін навігаційної ситуації для уточнення найвигіднішого шляху;
- ✓ автоматизація процесів судноводіння.

Повітряну навігацію використовують для водіння всіх класів літальних апаратів, що рухаються в повітряному середовищі. Вона має ряд режимів, залежних від характеру виконуваного завдання:

- ✓ зліт і посадка з поверхні землі, палуби корабля і ін.;
- ✓ вихід на початковий (або кінцевий) пункт маршруту і задану лінію шляху;
- ✓ маршрутний політ (на великій і малій висотах);
- ✓ відшукування цілі, вихід на неї;
- ✓ політ шеренгою (збір групи, керування шеренгою, розпуск групи);
- ✓ запобігання зіткненням літаків у повітрі і з наземними перешкодами;
- ✓ перехоплення рухомої цілі (повітряної, наземної тощо);
- ✓ політ в умовах завад (природних і організованих) і перехоплення (літаками-перехоплювачами або ракетами класу «земля–повітря», «повітря–повітря»).

Космічна навігація використовується для керування рухом космічних літальних апаратів. Вона включає такі режими:

- ✓ зліт із Землі (Місяця або планет) і вихід на орбіту;
- ✓ орбітальний політ;
- ✓ маневрування (для входу в атмосферу, зближення з іншими космічними літальними апаратами, для переходу на іншу орбіту і т.п.);
- ✓ зближення (для стикування з іншими космічними літальними апаратами);
- ✓ рикошет (відносно верхніх шарів атмосфери);
- ✓ спуск і посадка на поверхню Землі (Місяця і планет).

Залежно від дальності і тривалості космічного польоту навігацію поділяють на навколосезну, навколomisячну, міжпланетну і міжзоряну.

Б.1.1. Основні навігаційні елементи

До навігаційних елементів належать величини, що визначають координати літального апарата в просторі, його положення відносно центра мас, напрям і швидкість польоту; положення літального апарата відносно орієнтирів (або положення орієнтирів відносно літального апарата).

Розглянемо геометричну сутність цих елементів. Координати літального апарата в просторі визначаються географічною довготою λ , географічною широтою φ і висотою польоту H (рис. Б.1.1).

Географічна довгота λ визначається кутом між площиною гринвіцького меридіана і площиною меридіана, що проходить через точку M місцеперебування літального апарата. Довгота відлічується від гринвіцького меридіана на схід (східна довгота) і на захід від 0 до 180° .

Географічна широта φ визначається кутом між площиною екватора і напрямом радіуса-вектора точки M і відлічується на північ (північна широта) і на південь (південна широта) від 0 до 90° .

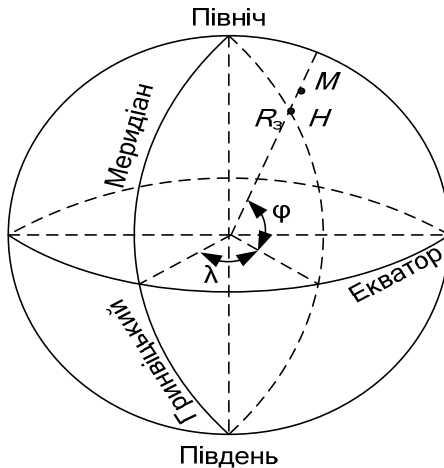


Рис. Б.1.1. Координати літального апарата

Висотою польоту H називається відстань між літальним апаратом і землею поверхнею, виміряна по вертикалі. Залежно від рівня відліку висоти в навігації розрізняють абсолютну, відносну і істинну висоти польоту (рис. Б.1.2).

Абсолютною $H_{\text{абс}}$ називають висоту, виміряну від рівня моря. Відносною $H_{\text{від}}$ називають висоту, виміряну відносно деякої поверхні, обраної за початкову (нульову). Зазвичай такою поверхнею є аеродром вильоту або посадки. Істинною $H_{\text{іст}}$ називається висота над місцевістю, яку пролітає ПК. Висота польоту вимірюється за допомогою висотомірів.

В авіації широко застосовують барометричні висотоміри, якими вимірюють абсолютну і відносну висоти, а також радіовисотоміри, що вимірюють істинну висоту. В деяких випадках, головним чином при ешелонуванні польотів по висоті, користуються поняттям умовної барометричної висоти, під якою мають на увазі висоту, виміряну барометричним висотоміром відносно умовного рівня з барометричним тиском 760 мм рт. ст.

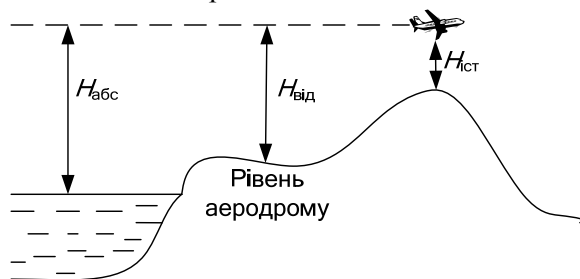


Рис. Б.1.2. Висота польоту літака

При визначенні положення літального апарата в просторі користуються горизонтальною і зв'язаною системами прямокутних координат. У горизонтальній системі координат за основну площину відліку обрано горизонтальну площину, перпендикулярну до місцевої вертикалі. Початок системи координат $Ox_0y_0z_0$ (рис. Б.1.3, Б.1.4) суміщений з центром мас літального апарата, горизонтальна вісь Ox_0 напрямлена на північ і дотична до географічного меридіана, горизонтальна вісь Oy_0 напрямлена на схід, а вісь Oz_0 збігається з місцевою вертикаллю.

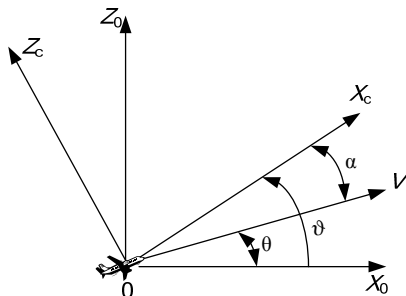


Рис. Б.1.3. Кут тангажа літака

У зв'язаній системі координат $OX_c Y_c Z_c$, початок якої також су-
міщений з центром мас літального апарата, вісь OX_c напрямлена
вперед по поздовжній осі, вісь OZ_c – по нормальній осі вгору, а вісь
 OY_c – по поперечній осі вправо. Ця система координат жорстко по-
в'язана з літальним апаратом.

Положення літального апарата відносно системи координат в
горизонтальній площині визначається кутами істинного курсу, тан-
гажа ϑ , крену γ , атаки α і нахилу траєкторії θ .

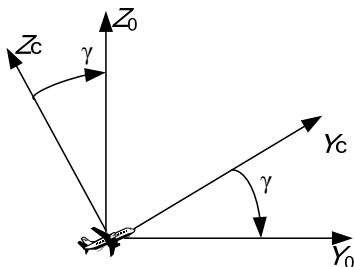


Рис. Б.1.4. Кут крену літака

Істинним курсом літального апарата (рис. Б.1.5) називають кут у
горизонтальній площині між північним напрямом географічного
меридіана і проекцією поздовжньої осі OX_c літального апарата на
горизонтальну площину.

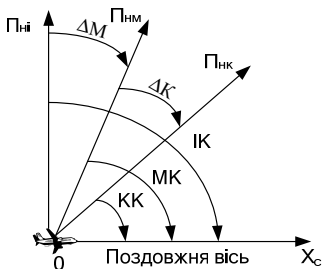


Рис. Б.1.5. Курсові кути літака: КК – компасний курс;
МК – магнітний курс; ІК – істинний курс; П_{ні} – північний істинний;
П_{нм} – північний магнітний; П_{нк} – північний компасний

Курс у навігації відлічується за годинниковою стрілкою від ме-
ридіана до проекції поздовжньої осі літального апарата в межах від
0 до 360°. Для вимірювання курсу часто використовують магнітні

компаси, у яких початком відліку є напрям магнітної стрілки, що встановлюється в площині магнітного меридіана точки, в якій перебуває літальний апарат.

Магнітний меридіан у загальному випадку не збігається з географічним меридіаном і відхиляється від нього на кут ΔM , названий магнітним відхиленням. Унаслідок впливу на магнітну стрілку місцевих магнітних полів виникає похибка в показаннях компаса – девіація компаса ΔK . Відповідно до початку відліку курсу розрізняють істинний курс (ІК), відлічуваний від географічного меридіана, магнітний курс (МК), відлічуваний від магнітного меридіана, і компасний курс (КК), відлічуваний від компасного меридіана (рис. Б.1.5), які зв'язані співвідношеннями:

$$ІК = МК + \Delta M;$$

$$МК = КК + \Delta K.$$

Кутом тангажа ϑ називають кут між горизонтальною площиною OX_0Y_0 і поздовжньою віссю літального апарата OX_c (див. рис. Б.1.3). Кут тангажа вважають додатним, якщо поздовжня вісь літального апарата відхиляється проти годинникової стрілки відносно площини горизонту, і навпаки.

Кутом крену γ називають кут між площиною горизонту і напрямом поперечної осі OY_c літального апарата (див. рис. Б.1.4). Крен виникає при повороті літального апарата відносно поздовжньої осі OX_c . Кут крену вважається додатним, якщо праве крило апарата нижче від площини горизонту, і навпаки.

Для розв'язання ряду навігаційних і бойових завдань (обчислення шляху, фотографування, бомбометання і ін.) необхідно знати швидкість польоту літального апарата. В повітряній навігації розрізняють повітряну і шляхову швидкості.

Повітряною швидкістю V називають швидкість польоту літального апарата відносно повітряного середовища. Повітряна швидкість залежить від технічних властивостей літального апарата, режиму польоту, густини і температури повітря. Кожний літальний апарат має свій діапазон швидкостей від мінімальної до максимальної.

Повітряна швидкість літального апарата напрямлена по дотичній до траєкторії його руху і зазвичай не збігається з віссю OX_c зв'язаної системи координат (див. рис. Б.1.3). Кут α між поздовж-

ною віссю OX_c літального апарата і проекцією вектора швидкості V на площину симетрії OX_0Z_0 називають кутом атаки. Кут між вектором V і горизонтальною площиною називають кутом нахилу траєкторії θ . Повітряну швидкість вимірюють у кілометрах на годину за допомогою вимірювачів швидкості, робота яких ґрунтується на принципі вимірювання швидкісного напору повітря.

Швидкість літального апарата відносно земної поверхні називають повною швидкістю V_n . Повна швидкість дорівнює геометричній сумі повітряної швидкості V і швидкості вітру U , тобто $V_n = V + U$. Горизонтальні складові векторів V_n , V і U (відповідно $V_{ш}$, V_r , U_r) утворюють так званий навігаційний трикутник швидкостей (рис. Б.1.6). Горизонтальну складову повної швидкості V_n називають шляховою швидкістю $W_{ш}$.

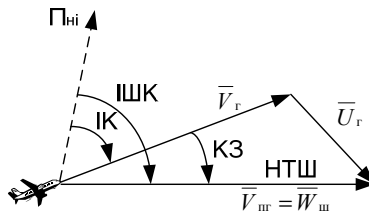


Рис. Б.1.6. Навігаційний трикутник швидкостей: ІК – істинний кут; ІШК – істинний шляховий кут; КЗ – кут зносу; НТШ – навігаційний трикутник швидкостей

Проекція шляхової швидкості на земну поверхню визначає напрям лінії фактичного шляху літального апарата, а кут між північним напрямом меридіана літального апарата і лінією шляху називається істинним шляховим кутом.

Кут в горизонтальній площині між проекцією поздовжньої осі літального апарата (вектором V_r) і вектором шляхової швидкості $W_{ш}$ називається кутом зносу. Кут зносу відлічується від вектора V_r у бік вектора $W_{ш}$ і вважається додатним при відліку за годинниковою стрілкою і від'ємним при відліку проти годинникової стрілки.

Для польоту в заданому напрямі необхідно враховувати вплив вітру (кут зносу) і витримувати такий курс, щоб лінія фактичного шляху збігалася з лінією заданого шляху. Курс з урахуванням кута зносу, тобто курс, за якого вектор шляхової швидкості збігається з лінією заданого шляху, називають курсом проходження.

Шляхова швидкість і кут зносу у польоті можна визначати розв'язанням навігаційного трикутника швидкостей або безпосередньо вимірювати за допомогою спеціальних радіонавігаційних пристроїв – доплерівських вимірювачів швидкості та зносу.

Розв'язуючи задачі навігації, часто доводиться визначати кутові координати літального апарата відносно відомих орієнтирів на землі. До цих орієнтирів належать всілякі радіонавігаційні наземні станції, що забезпечують визначення координат літального апарата радіотехнічними методами. Пункти встановлення таких станцій називають радіонавігаційними точками. Положення радіостанції відносно літального апарата визначається курсовим кутом і пеленгом.

Курсовим кутом радіостанції називають кут у горизонтальній площині між поздовжньою віссю літального апарата і напрямом на радіостанцію (рис. Б.1.7).

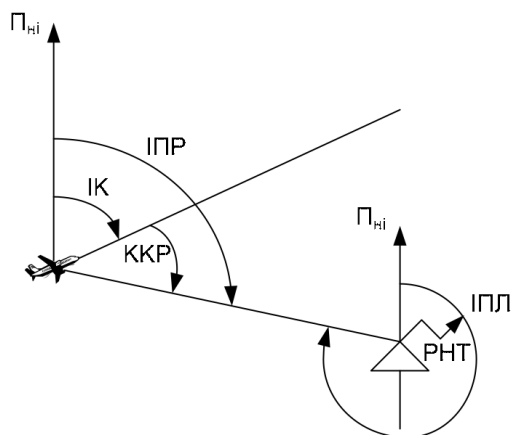


Рис. Б.1.7. Курсовий кут радіостанції: РНТ – навігаційна точка; ІПЛ – істинний пеленг літака; ККР – курсовий кут радіостанції

Курсовий кут вимірюють за допомогою бортових радіопеленгаторів і відлічують від поздовжньої осі літального апарата за годинниковою стрілкою в межах від 0 до 360°.

Пеленгом радіостанції відносно літального апарата називають кут у горизонтальній площині між північним напрямком меридіана літального апарата і напрямом на радіостанцію. Пеленг може відлічуватися від істинного (географічного) або магнітного меридіана. Відповідно до цього його називають істинним пеленгом радіостан-

ції (ІПР) або магнітним (МІПР). Істинний пеленг називається також азимутом.

Пеленг і курсовий кут зв'язані співвідношенням $ІПР = ІК + ККР$, яким зазвичай користуються для визначення пеленга радіостанції на борту літального апарата. Для прокладання лінії пеленга на карті пеленг радіостанції перераховують у істинний пеленг літака (ІПЛ) і відраховують його від меридіана точки, де розташована пеленгована радіостанція. Щоб визначити ІПЛ, необхідно враховувати поправки на сходження меридіанів, що беруться з таблиць для заданої різниці географічних довгот місця літака й радіостанції залежно від типу картографічної проєкції. Істинні пеленги літака й радіостанції зв'язані співвідношенням

$$ІПЛ = ІПР + 180^\circ + \Delta,$$

де Δ – поправка на сходження меридіанів.

Місцеперебування літального апарата можна визначити вимірюванням кутів між його поздовжньою віссю (або вертикаллю) і напрямками на орієнтири або між меридіанами орієнтирів і напрямками на літальний апарат, а також за допомогою вимірювань відстаней до орієнтирів або різниці відстаней до двох орієнтирів.

Зазвичай подальша обробка результатів таких вимірювань зводиться до визначення ліній положення літального апарата. Лінією положення називають геометричне місце точок, для яких навігаційний параметр літального апарата, що вимірюється, постійний. Місце літального апарата визначають при цьому точкою перетину двох або більше ліній положення. Такий метод визначення місцеперебування літального апарата називають способом ліній положення. Спосіб ліній положення дозволяє визначати місцеположення літального апарата без урахування і навіть без знання пройденого ним раніше шляху. Зважаючи на таку позитивну якість, він набув поширення в навігації і натеper один з основних для визначення місцеперебування літального апарата.

Швидкість переміщення літального апарата відносно землі можна визначити безпосередньо за допомогою спеціальних радіонавігаційних засобів, що працюють за принципом Доплера, або шляхом спостереження за послідовною зміною його координат.

Таким чином, за допомогою радіонавігаційних засобів можна виміряти напрями (кути), відстані, різниці відстаней і швидкості

переміщення літальних апаратів. Відповідно до цього радіонавігаційні засоби підрозділяють на кутомірні, далекомірні, різницево-далекомірні і вимірювачі вектора шляхової швидкості.

Кутومی́рні радіонавігаційні засоби, у свою чергу, підрозділяються на радіопеленгатори і радіомаяки.

Радіопеленгатором називають радіоприймальний пристрій, призначений для визначення напрямів (пеленгів) на джерела радіовипромінювання.

Радіомаяком називають радіопередавальний пристрій, за сигналами якого за допомогою бортового радіоприймача можна визначити напрям на радіомаяк або від нього.

Лінією положення літального апарата при використанні кутомірних систем є ортодромія (рис. Б.1.8), яка проходить через місцеположення радіопеленгатора (або радіомаяка) Р і місцеперебування літального апарата М.

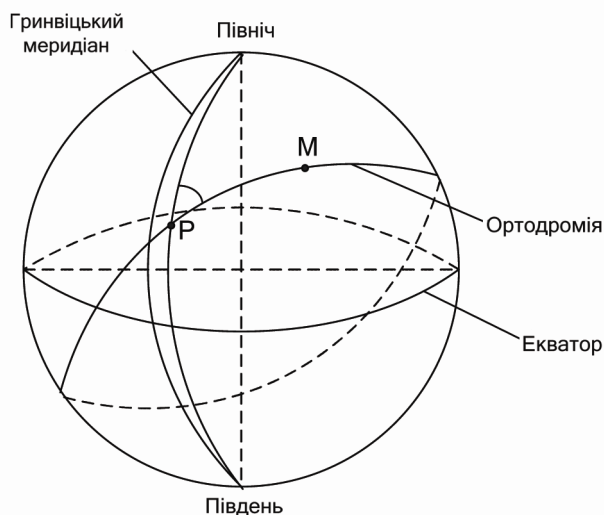


Рис. Б.1.8. Лінія положення кутомірної системи

На порівняно невеликих відстанях ортодромія є радіальною прямою лінією рівних пеленгів. Лінією положення літального апарата при використанні далекомірних радіонавігаційних засобів є лінія однакових відстаней (рис. Б.1.9) – коло з радіусом, що дорівнює виміряному значенню дальності Д.

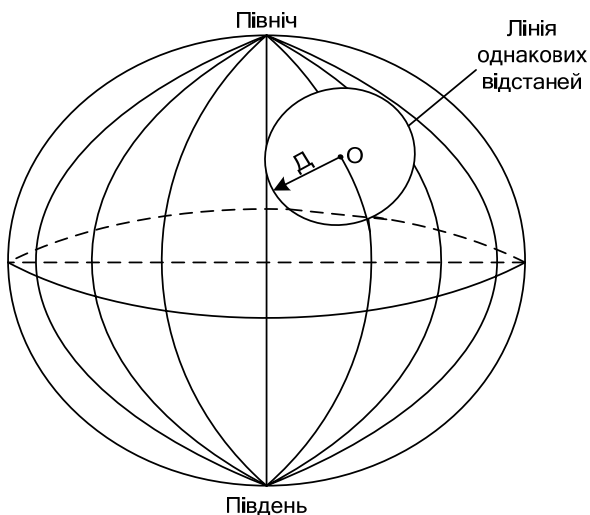


Рис. Б.1.9. Лінія положення далекомірних систем

Лінією положення при використанні різницево-далекомірних систем є лінія однакових різниць відстаней, що зображується на площині гіперболою, у фокусах якої розташовані наземні станції, відносно яких фіксується постійна різниця відстаней (рис. Б.1.10).

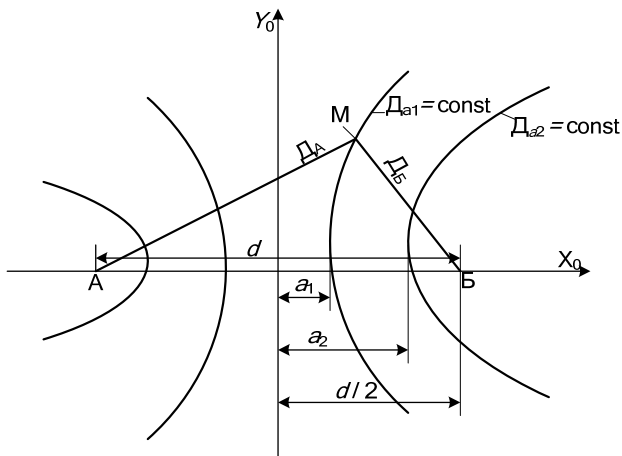
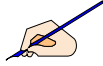


Рис. Б.1.10. Лінія положення різницево-далекомірних систем

Далі радіонавігаційні засоби будуть розглянуті більш детально.



Контрольні завдання

1. Літак виконує політ з компасним курсом $KK = 265^\circ$. Девіація компаса $\Delta DO = +3^\circ$ і магнітне відхилення $\Delta M = 7^\circ$. Визначити істинний (ІК) і магнітний (МК) курси проходження ПК.
2. Визначити магнітне відхилення ΔM , якщо відомо, що $IK = 50^\circ$, $KK = 46^\circ$ і $\Delta K = +2^\circ$.
3. Повітряний корабель виконує політ з $МК = 30^\circ$. Обмірюваний на цьому магнітному курсі $KKP = 50^\circ$, $\Delta M = +3^\circ$ і сходження меридіанів $\delta = +2^\circ$. Визначити магнітний і істинний пеленги ПК.
4. Повітряний корабель виконує політ з $KK = 60^\circ$, $\Delta K = +2^\circ$, $\Delta M = 3^\circ$, $KKP = 70^\circ$. Визначити істинний пеленг радіостанції й істинний пеленг ПК, якщо відомо, що $\delta = +1,5^\circ$.
5. Фактичний шляховий кут $ФШК = 70^\circ$, повітряна швидкість $V = 600$ км/год, швидкість вітру на висоті польоту $v = 30$ км/год і напрямок вітру $НВ = 130^\circ$. Визначити графічним способом істинний курс ПК, кут зносу й шляхову швидкість.
6. Істинний курс польоту $IK = 60^\circ$, $v_v = 400$ км/год, $НВ = 125^\circ$. Кут зносу ПК 8° . Визначити побудовою навігаційного трикутника швидкостей фактичний шляховий кут, шляхову швидкість і швидкість вітру.
7. Заданий магнітний шляховий кут $ЗМШК = 90^\circ$. Через певний час польоту був знятий $KKP = 5^\circ$ привідної радіостанції, розташованої в кінцевому пункті маршруту. Визначити кут зносу й магнітний курс ПК.
8. Істинна повітряна швидкість літака $V = 240$ км/год, $МК = 80^\circ$. Кут зносу 10° . Шляхова швидкість $W = 280$ км/год. Визначити напрямок і швидкість v вітру.
9. Для виконання рейсу за розкладом необхідно забезпечити заданий навігаційний режим польоту: $ЗШК = 72^\circ$; $W = 800$ км/год при напрямку й швидкості вітру $НВ = 110^\circ$ й $v = 120$ км/год. Знайти параметри фактичного навігаційного режиму польоту: курс, повітряну швидкість і кут зносу ПК.
10. Розрахувати безпечну висоту польоту, якщо $H_i = 4000$ м, абсолютна висота найвищої точки рельєфу місцевості $H_{a,p} = 450$ м, найменший атмосферний тиск по маршруту польоту (наведений до рівня моря) $P_{нав.мин} = 1010$ ГПа, а середнє методичне температурне спотворення показань висотоміра $\Delta H_{i,ср} = 1,5$ м.
11. Побудувати ортодромію між пунктами A і B , якщо відомо, що кут між ортодромією і меридіаном у точці A перетину з екватором $\alpha_c = 35^\circ$, довгота точки A перетину ортодромії з екватором $\lambda_c = 65^\circ$ і довгота пункту B $\lambda_B = 140^\circ$.
12. Визначити радіус кола лінії однакових відстаней, якщо координати центра кола $\lambda_0 = 105^\circ$; $\varphi_0 = 52^\circ$ і відомі поточні координати літака $\lambda = 125^\circ$; $\varphi = 58^\circ$.

Б.1.2. Основні тактико-технічні характеристики радіонавігаційних пристроїв і систем

Сучасна авіація виконує польоти в складних і різноманітних умовах, над різною місцевістю, у будь-який час доби й року. З усіх технічних засобів навігації тільки радіотехнічні засоби здатні забезпечити польоти в складних умовах навігаційної ситуації.

За допомогою радіотехнічних засобів навігації розв'язують широке коло завдань, часто комплексних. Основними з них є:

- ✓ забезпечення польоту по заданому маршруту, для чого необхідно здійснювати контроль шляху по напрямку і дальності, визначення місцеперебування літального апарата, вимірювання шляхової швидкості та кута зносу та ряд інших навігаційних параметрів;

- ✓ забезпечення приводу літального апарата на аеродром посадки.

Радіонавігаційні системи (РНС) оцінюються за такими тактико-технічними показниками (ТПП), обумовленими призначенням системи: діапазоном хвиль, точністю, робочою областю, дальністю дії, пропускну здатністю, завадозахищеністю, електромагнітною сумісністю, надійністю, оперативністю, а також загальними радіотехнічними, конструктивними й експлуатаційними показниками.

Під час проектування і розроблення радіонавігаційних пристроїв керуються тактико-технічними вимогами до всіх наведених показників. Різноманітність і складність завдань, вирішуваних радіонавігаційними засобами, зумовлює дуже складні і часто суперечливі вимоги, які ці системи і пристрої мають задовольняти. Розглянемо сутність основних тактико-технічних показників, що характеризують радіонавігаційні пристрої і системи.

Діапазон хвиль якісно визначає технічний вид радіонавігаційної системи. Вибір робочого діапазону хвиль тісно пов'язаний з надійністю, дальністю дії і точністю системи. Сучасні радіонавігаційні пристрої й системи працюють в широкому діапазоні радіохвиль.

Точність радіонавігаційної системи – це її здатність забезпечити розв'язання основних навігаційних задач з похибкою, що не перевищує допустиму. Кожна навігаційна система повинна забезпечувати задану точність вимірювання навігаційних величин, визначувану призначенням систем. Точність – це, більш строго, ступінь відповідності розрахункового або вимірюваного значення навігаційного параметра дійсному значенню. Точність вимірювання місце-

перебування, як правило, виражається відстанями від заявленого місцеперебування, в межах якого з певною ймовірністю визначається істинне місцеперебування.

Вимоги до точності ґрунтуються на 95%-му довірчому рівні (табл.Б.1.2). Зазвичай припускають, що статистичний розкид двовимірних даних про місцеперебування описується нормальним розподілом або релеєвським по колу. Ймовірність того, що деяка точка дійсно потрапляє в коло радіусом R з центром у точці з її оголошеними координатами і середнім квадратичним одновимірним відхиленням σ ,

$$P = 1 - \exp(-R^2 / 2).$$

Колова ймовірнісна похибка (КІП) дорівнює радіусу кола, в межах якого потрапляє 50% виміряних величин, тобто $1,1774\sigma$. Радіус кола, в межах якого потрапляє 95% виміряних величин, дорівнює $2,079$ КІП. Співвідношення величин σ , імовірних похибок та ймовірності для одновимірної, двовимірної і тривимірної систем координат.

Таблиця Б.1.2

Точність і ймовірність

| Ймовірність, % | | | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Похибка | Одновимірна | Двовимірна | Тривимірна |
| Три сигми | 99,7 | 98,9 | 97,1 |
| Дві сигми | 95,0 | 86,0 | 78,8 |
| Одна сигма | 68,0 | 39,3 | 19,9 |
| Ймовірна похибка | 50,0 (0,67 σ) | 50,0 (1,18 σ) | 50,0%(1,54 σ) |

Робочою областю називають частину простору, в межах якої РНС задовольняє всі тактико-технічні вимоги, що ставляться до неї. Неавтономні радіонавігаційні системи мають обмежену робочу область. Це пояснюється такими основними причинами:

- ✓ обмеженою максимальною дальністю дії радіоліній, утворюваних літаковими пристроями з кожною з радіонавігаційних точок системи;

✓ напрямленими властивостями антен радіонавігаційних пристроїв;

✓ зміною точності визначення місцеперебування літального апарата із зміною його положення відносно радіонавігаційних точок.

Дальністю дії називають максимальну відстань між літальним апаратом і радіонавігаційною точкою, за якої надійно забезпечується задана точність системи. Дальність дії сучасних радіонавігаційних систем залежно від їх призначення охоплює діапазон від декількох сотень метрів до декількох тисяч кілометрів. З погляду дальності дії радіонавігаційні системи можна умовно розділити на системи ближньої дії – до 1000 км і системи дальньої дії – понад 1000 км.

Безперервність – здатність системи забезпечувати максимальну ефективність, тобто досягнення цілей за мінімальних витрат.

Доступність (або готовність) – готовність виконувати задану функцію. Вона характеризується часом, протягом якого засоби або система виконують задану функцію за визначених умов.

Цілісність – визначена гарантія того, що аеронавігаційні дані та їх значення не загублені або не змінені з моменту підготовки даних або санкціонованого внесення виправлень.

Пропускною здатністю називають здатність системи одночасно обслуговувати певну кількість літальних апаратів. Одночасна робота великої кількості бортових пристроїв і систем з одним комплектом РНТ може спричиняти перевантаження наземної апаратури або створювати взаємні завади літаковим пристроям.

Кількісна оцінка пропускнуої здатності РНС полягає у вказанні максимальної кількості бортових пристроїв системи, що одночасно працюють з одним комплектом її радіонавігаційних точок, за якого ще задовольняються всі тактико-технічні вимоги, що ставляться до системи.

Завадозахищеністю РНС називають їх здатність працювати за наявності штучних і природних завад.

Електромагнітною сумісністю РНС визначають їх можливість одночасно працювати з великою кількістю бортових радіоелектронних пристроїв і систем.

Надійністю радіонавігаційних пристроїв називають їх здатність забезпечувати безвідмовну роботу і задані тактико-технічні харак-

теристики в реальних умовах експлуатації. Кількісно надійність характеризують імовірністю відмови за заданий інтервал часу або середнім часом безвідмовної роботи.

Оперативність радіонавігаційної системи визначають часом, необхідним для приведення літакового і наземного устаткування в готовність до визначення основних навігаційних даних і часом на безпосереднє визначення цих даних. Серед чинників, що визначають оперативність радіозасобів літаководіння, слід особливо відзначити ступінь автоматизації керування і обслуговування апаратури.

Загальними технічними показниками радіонавігаційних систем називають такі, за якими зазвичай оцінюють основні властивості та якість радіотехнічних пристроїв. Це, наприклад, потужність передавальних пристроїв, чутливість приймальних пристроїв, роздільна здатність індикаторних пристроїв, габарити, маса, споживана потужність, зручність застосування, експлуатації і обслуговування, механічна і електрична міцність і т. ін. За всіма цими показниками літакова радіонавігаційна апаратура має задовольняти загальні технічні вимогами до об'єктів спеціального обладнання літаків. Наземна апаратура повинна задовольняти загальні технічні вимоги до наземних радіотехнічних засобів.



Б.2. РАДІОПЕЛЕНГАТОРИ

Б.2.1. Загальні відомості

За допомогою радіопеленгаторів можна визначати напрями (пеленги) на джерела радіохвиль. Такими джерелами можуть бути наземні і бортові радіопередавачі, а також джерела теплового радіовипромінювання земних і космічних тіл.

Якщо відомі координати джерел радіовипромінювання, радіопеленгатор можна використовувати для визначення своїх координат, і навпаки, якщо відомі координати радіопеленгатора, можна визначити за його допомогою координати джерел радіовипромінювання. У зв'язку з цим радіопеленгатори широко застосовують у повітряній і морській навігації, в системах наведення керованих снарядів, для розвідки розміщення радіостанцій супротивника.

Радіопеленгатор складається з антенного пристрою, радіоприймача і кінцевого пристрою (рис. Б.2.1).



Рис. Б.2.1. Функціональна схема радіопеленгатора

Антенна система радіопеленгатора уловлює електромагнітні коливання, випромінювані джерелом радіохвиль, і перетворює їх на високочастотні струми і напруги. Радіоприймач підсилює ці струми та напруги і перетворює їх до виду, необхідного для приведення в дію кінцевого пристрою. За допомогою кінцевого пристрою здійснюється відлік кутового положення (пеленга) джерела радіохвиль відносно початкового, наперед вибраного напрямку.

Залежно від того, який параметр вихідних сигналів радіоприймача радіопеленгатора використовують для вимірювання пеленга, розрізняють амплітудні та фазові кінцеві пристрої. Як амплітудні кінцеві пристрої застосовують телефони, стрілкові індикатори і електрон-

но-променеві трубки. Основним елементом фазових кінцевих пристроїв є фазовий детектор. Його використовують, зокрема, в бортових автоматичних радіопеленгаторах (радіокомпасах).

У радіопеленгаторах з амплітудними кінцевими пристроями здебільшого застосовують антени напрямленої дії. Радіопеленгатори можуть бути одноканальними або двоканальними. В одноканальних радіопеленгаторах напрям може визначатися за мінімумом або максимумом вихідних сигналів радіоприймача, а в двоканальних – шляхом порівняння вихідних сигналів цих каналів за амплітудою.

За місцем установлення радіопеленгатори можна підрозділити на бортові і наземні. В літакових радіопеленгаторах вимірюється курсовий кут радіостанції (ККР).

Знання ККР та істинного пеленгу літака (ІПЛ) дозволяє виконувати політ на радіостанцію, контролювати правильність проходження літака по маршруту, виконувати розрахунок і захід на посадку і т. ін.

За послідовного визначення істинних пеленгів літака щодо двох різних радіостанцій (ІПЛ₁ і ІПЛ₂) можна знайти місцеперебування літака як точку перетину ліній положення, що відповідають цим пеленгам (рис. Б.2.2).

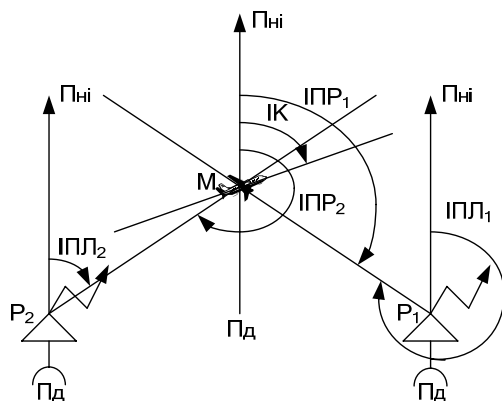


Рис. Б.2.2. Визначення місцеположення літака за пеленгацією двох наземних радіостанцій

За допомогою наземного радіопеленгатора можна визначати пеленги літака, якщо на ньому працює передавальна зв'язна радіостанція. Пеленги в наземному пеленгаторі відлічуються за годиннико-

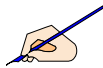
вою стрілкою відносно північного напрямку меридіана. Знайдені пеленги зазвичай передаються на літак за допомогою зв'язних радіостанцій. Знаючи пеленг літака відносно наземного радіопеленгатора, екіпаж може виконувати політ на радіопеленгатор, виконувати розрахунок і захід на посадку, контролювати правильність проходження літака по маршруту і вирішувати цілий ряд інших завдань авіаційної навігації.

У разі одночасного використання двох пеленгаторів, розташованих у різних точках земної поверхні, можна визначити місцеположення літака як точку перетину ліній положення, що відповідають двом знайденим пеленгам.

Недоліком наземних пеленгаторів є те, що вони можуть одночасно обслуговувати тільки один літак. Крім того, передана на літак інформація про його координати істотно запізнюється щодо моменту пеленгації, що помітно знижує реальну точність навігаційних визначень.

Позитивним у наземних пеленгаторів є те, що вони не потребують установлення спеціальної апаратури на борту літака, окрім звичайної зв'язної радіостанції. Тому, незважаючи на наявні недоліки, наземні радіопеленгатори широко застосовують в радіонавігації.

Радіопеленгатори можуть бути неавтоматичними і автоматичними. В авіації застосовують переважно автоматичні радіопеленгатори. Нижче описано принцип дії типового бортового автоматичного радіопеленгатора (автоматичного радіокомпаса).



Контрольні завдання

1. Повітряний корабель виконує політ з $MK = 30^\circ$. Вимірюваний на цьому магнітному курсі $KKP = 50^\circ$, $\Delta M = +3^\circ$ і сходження меридіанів $\delta = +2^\circ$. Визначити магнітний та істинний пеленги ПК.

2. Обчислити межі зміни інтервалу часу Δt різницево-далекомірної імпульсної системи з ведучими й веденою станціями залежно від місцеперебування ПК, якщо база системи $d = 300$ км, час кодової затримки $t_{кз} = 1$ мс.

3. Знаючи абсолютну похибку виміру часового інтервалу в різницево-далекомірній системі, визначити максимальну кількість ліній положень $N_{л-п}$, що задаються системою, якщо база системи $d = 150$ км, абсолютна похибка вимірювання різниці часового інтервалу $\delta(\Delta t) = 3$ мкс.

4. На карті нанесено 50 ліній положень різницево-далекомірної радіонавігаційної системи з базою $d = 150$ км. Визначити різницю часових інтервалів Δt двох сусідніх ліній положень.

5. Визначити кількість фазових циклів (2π), необхідну для усунення багатозначності вимірювань у системі ЛОРАН-С, якщо груба оцінка часового інтервалу між імпульсами наземних радіостанцій $t_i = 400$ мкс, а вимірювана дробова частина періоду несучих коливань частоти $f_n = 10$ кГц дорівнює $0,27T_n$.

Б.2.2. Літакові автоматичні радіокомпаси

Функціональну схему типового літакового автоматичного радіопеленгатора, названого автоматичним радіокомпасом (АРК), показано на рис. Б.2.3.

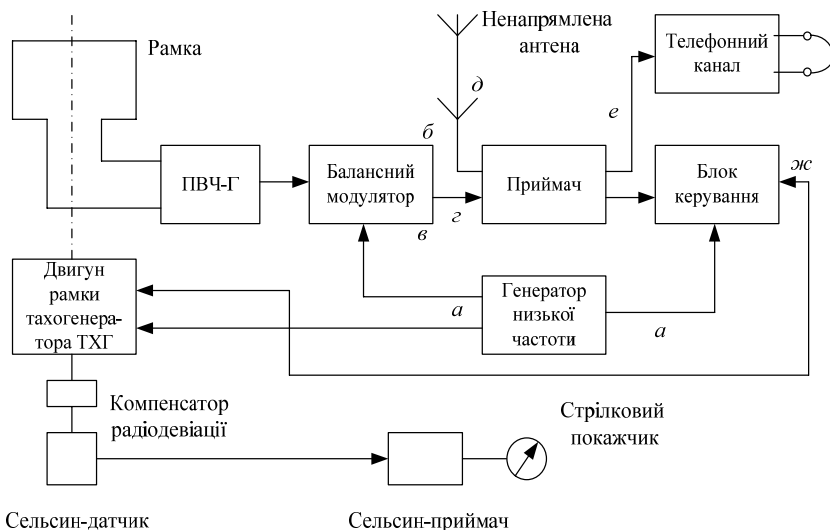


Рис. Б.2.3. Функціональна схема автоматичного радіокомпаса

Автоматичний радіокомпас містить напрямлену рамкову антену, ненапрявлену антену, підсилювач високої частоти (ПВЧ) каналу рамки, балансний модулятор, генератор низької (модульовальної) частоти, приймач, телефонний канал, блок керування з двигуном рамки, компенсатор радіодевіації, сельсинну систему передавання кутового положення рамки із стрілочним показником курсового кута пеленгованої радіостанції.

Радіохвилі приймаються одночасно на рамкову і ненапрявлену антени. Ненапрявлена антена є Т-подібною антеною з вертикальною поляризацією.

Електрорушійну силу (ЕРС), що наводиться у ненапрявленій антені полем пеленгованої радіостанції, можна подати в такому вигляді:

$$e_A = E_A h_{ДА} \cos \omega_0 t ,$$

де E_A – амплітудне значення напруженості електричного поля пеленгованої радіостанції в точці приймання; $h_{ДА}$ – діюча висота ненапрявленої антени; $\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi c}{\lambda_0}$ – частота коливань, що приймаються.

Електрорушійна сила, що наводиться в рамковій антені:

$$e_p = E_A h_{д.р} \cos \theta \sin \omega_0 t ,$$

де $h_{д.р}$ – діюча висота рамкової антени; θ – кут між площиною рамкової антени і напрямом на радіостанцію (рис. Б.2.4).

З наведених виразів випливає, що сигнал рамкової антени e_p відрізняється від сигналу ненапрявленої антени за фазою на 90° , оскільки перший змінюється в часі за законом $\sin \omega_0 t$, а другий – за законом $\cos \omega_0 t$.

Залежно від напрямку надходження електромагнітної хвилі амплітуда сигналу рамкової антени змінюється за законом косинуса кута θ :

$$e_{а.р} = E_A h_{д.р} \cos \theta = e_{а.р.макс} \cos \theta ,$$

де $e_{а.р.макс} = E_A h_{д.р}$ – максимальна амплітуда сигналу рамки.

Діаграма напрямленості рамкової антени в горизонтальній площині має вигляд вісімки з двома максимумами і мінімумами (рис. Б.2.4). Вихідний сигнал рамкової антени дорівнює нулю тоді, коли напрям поширення радіохвиль перпендикулярний до її площини ($\theta = 90^\circ$ і 270°). Фаза вихідного сигналу рамкової антени змінюється на 180° під час переходу через напрям нульового приймання, що на рис. Б.2.4 умовно позначено знаками плюс і мінус.

З виходу рамкової антени сигнал надходить в підсилювач високої частоти каналу рамки, резонансний контур якого налаштований

на частоту, меншу, ніж найнижча частота робочого діапазону радіокомпасу. У зв'язку з цим навантаження підсилювача має характер місткості, а вихідний сигнал підсилювача зсунутий за фазою на 90° відносно вхідного.

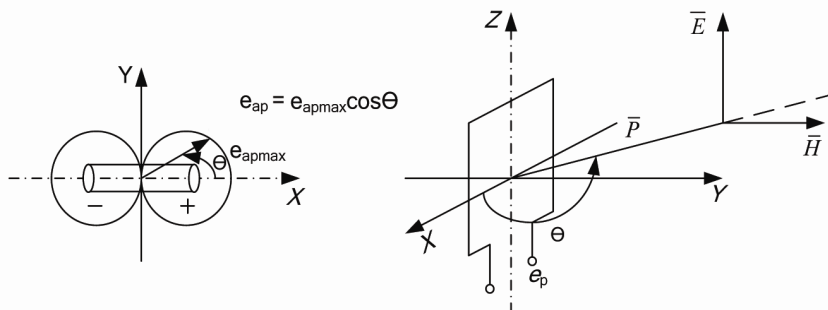


Рис. Б.2.4. Принцип дії рамкової антени

Таким чином, підсилювач високої частоти, окрім посилення здійснює фазування сигналу каналу рамки із сигналом ненапрявленої антени.

З виходу підсилювача високої частоти посилений сигнал рамки надходить до балансного модулятора. Кожна половина балансного модулятора (див. рис. Б.2.3) працює як амплітудний модулятор. На обидва його входи подається сигнал високої частоти у фазі, а сигнал низької модульовальної частоти F_M – у протифазі. При цьому обвідні амплітудно-модульованого сигналу кожної половини періоду виявляються зсунутими за фазою на 180° (рис. Б.2.5, б, в). Епюри напруг відповідають точкам на рис.Б.2.3, а – ж.

Навантаження амплітудних модуляторів увімкнені зустрічно. Тому результуючий сигнал на виході каналу рамки є напругою бічних частот амплітудної модуляції з подавленою несучою (рис. Б.2.5, г). Ця напруга надходить на вхід приймача, де підсумовується з напругою від ненапрявленої антени (рис. Б.2.5, д). Завдяки фазуванню за високою частотою напруги рамкового каналу і ненапрявленої антени складаються у вхідному контурі приймача у фазі або протифазі. В результаті на вхід приймача надходить сигнал, модульований за амплітудою з низькою частотою, що дорівнює частоті місцевого генератора (рис. Б.2.5, е).

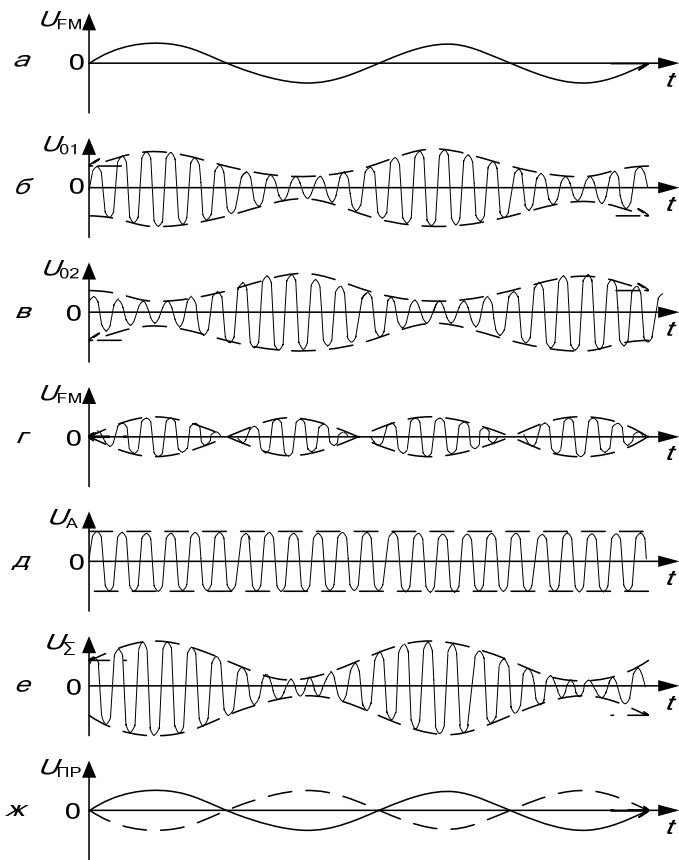


Рис. Б.2.5. Електричні процеси в автоматичному радіокомпасі

Глибина модуляції цього сигналу тим більша, чим більший кут відхилення рамки від положення нульового приймання. В положенні нульового приймання глибина модуляції дорівнює нулю. Фаза обвідної вхідного сигналу приймача змінюється на 180° у разі зміни напрямку відхилення рамки відносно положення нульового приймання, оскільки при цьому змінюється на 180° фаза високочастотного сигналу рамки.

Сигнал, що надходить на вхід супергетеродинного приймача, посилюється в каскадах високої і проміжної частот і детектується. Низькочастотний сигнал потім посилюється в каскадах низької частоти.

На виході приймача зазвичай передбачаються два канали: телефонний і компасний. Телефонний канал призначається для прослуховування пеленгової радіостанції, а компасний — для вимірювання курсового кута радіостанції. Напруга $U_{\text{пр}}$ частоти місцевої модуляції F_M з виходу компасного каналу надходить до блока керування, який складається з фазового детектора і підсилювача. Амплітуда і фаза напруги $U_{\text{пр}}$ визначаються відповідно величиною і напрямом відхилення рамки від положення нульового приймання. Напруга подається на фазовий детектор, куди також надходить напруга U_{f_m} від генератора низької частоти (рис. Б.2.5, ж, а). Ці напруги рівних частот перебувають у фазі або протифазі залежно від того, в який бік відносно напрямку нульового приймання відхиляється рамка.

Залежно від співвідношення фаз вихідної напруги приймача і напруги генератора низької частоти на фазовому детекторі блока керування виробляється такий сигнал керування, під дією якого рамка за допомогою двигуна встановлюється в положення нульового приймання.

В останніх модифікаціях радіокомпасів (АРК-22, АРК-25 та ін.) використовуються нерухомі рамкові антени, а діаграма напрямленості обертається за допомогою пошукових котушок гоніометра. Нерухомі рамкові антени – це дві взаємно перпендикулярні котушки (рамки), у яких обмотки розташовані вертикально на спільному феритовому осерді.

Гоніометр – це безконтактний індукційний перетворювач, який складається з двох взаємно перпендикулярних нерухомих польових котушок і рухомої пошукової котушки. Пошукова котушка розташована між польовими котушками, які з'єднані з відповідними обмотками рамкової антени. Електрорушійна сила, яка наводиться у пошуковій котушці електромагнітним полем, що проходить через польову котушку, залежить від орієнтації пошукової котушки. Фаза напруги, яка знімається з пошукової котушки, залежить від напрямку відхилення, а величина пропорційна куту відхилення пошукової котушки від положення, яке відповідає напрямку на пеленгуючу радіостанцію ϕ_p . Коли пошукова котушка переходить через це положення, фаза напруги на її виході змінюється на 180° (діаграма

напряменості котушки ПК має форму вісімки). Гоніометр призначений для відтворення електромагнітного поля пеленгуючою радіостанцією і визначення його напрямку.

Таким чином, радіокомпас являє собою систему, яка автоматично підтримує рамку у напрямі нульового приймання.

Положення рамки відносно поздовжньої осі літака передається за допомогою сельсинної передачі в кабіну пілота і штурмана. Для цього вісь сельсина-датчика пов'язана з віссю рамки, а сельсинприймачі використовуються як покажчики (індикатори) курсового кута пеленгової радіостанції.

У реальних умовах радіопеленгатор завжди оточений місцевими предметами, які можуть впливати на його роботу. Якщо радіопеленгатор встановлено на землі, то такими предметами є розташовані поблизу споруди, складки рельєфу, лінії електропередач і т. ін. Поблизу антенної системи літакового радіопеленгатора розташований корпус літака (фюзеляж, площини) і виступні частини (антени, шасі, щитки і т. ін.). Радіохвилі, що надходять від пеленгової радіостанції, викликають у предметах, які оточують радіопеленгатор, струми високої частоти, що створюють поля оберненого випромінювання. Напрямок поширення результуючого поля, отриманого складанням прямої хвилі з хвилями оберненого випромінювання, в загальному випадку не збігається з напрямом на радіостанцію. Оскільки радіопеленгатор визначає напрям поширення радіохвиль, то спотворення поля хвилі, що надходить, призводить до помилок радіопеленгації, названих радіодевіацією.

Для літакових радіокомпасів радіодевіація ΔP дорівнює різниці між курсовим кутом радіостанції, який визначає істинний напрям на радіостанцію, і відліком радіокомпаса (ВРК) за індикатором (рис. Б.2.6)

$$\Delta P = \text{ККР} - \text{ВРК}$$

Величина радіодевіації є функцією напрямку надходження радіохвиль.

Радіодевіація може досягати значної величини (15...20°). Тому для її зменшення в автоматичному радіокомпасі між віссю рамки і віссю сельсина-датчика вмикається спеціальний пристрій – механічний або електронний компенсатор радіодевіації.

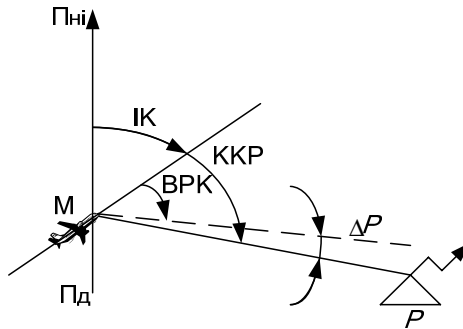
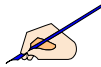


Рис. Б.2.6. Радіодевіація

Принцип механічної компенсації полягає в тому, що вісь селесина-датчика одержує додаткове кутове переміщення відносно осі рамки на величину, визначену графіком радіодевіації. Графік радіодевіації зазвичай знімається одночасно з визначенням девіації магнітного компаса літака. Після цього відповідним регулюванням компенсатора досягаються усунення радіодевіації.

Літакові радіокомпаси працюють в діапазоні середніх хвиль 120 ... 2000 кГц. За середнього рівня завад практична точність автоматичних радіокомпасів оцінюється помилкою, що дорівнює 2...3°. Дальність дії системи радіопеленгації, що складається з радіокомпаса і типової привідної радіостанції потужністю 500 Вт, становить 250 ... 300 км.



Контрольні завдання

1. Для амплітудного радіопеленгатора з рамковою антеною розрахувати й побудувати залежність поляризаційної похибки $\Delta\theta$ від кута нахилу площини фронту хвилі β за постійного кута нахилу площини поляризації $\alpha = 15^\circ$, якщо β дорівнює 10, 20, 30, 40°.

2. Розрахувати середнє квадратичне значення похибки визначення лінії рівних пеленгів з використанням кутомірної системи, якщо похибка вимірювання пеленга ПК $\sigma_\alpha = 1,5^\circ$, відстань від кутомірного РМ до ПК – 160 км.

3. Побудувати робочу зону кутомірної радіонавігаційної системи на основі шаблона кривих однакової точності, якщо розмір бази системи, що складається з двох радіостанцій, 200 км, похибки оцінки радіопеленгу по кожній з РС однакові: $\sigma_\alpha = 1,8^\circ$, а припустима похибка оцінки місцеперебування ПК $\sigma_{г,доп} = 24$ км.



Б.3. РАДІОМАЯКИ

Б.3.1. Загальні відомості

Радіомаяки (РМ) набули широкого застосування в авіаційній навігації. За їх допомогою можна контролювати правильність польоту літального апарата по маршруту, здійснювати політ від радіомаяка або на нього, виконувати розрахунок і захід на посадку і т. ін. У разі використання одночасно двох радіомаяків, розташованих у різних точках земної поверхні, можна визначити місцеперебування літального апарата як точку перетину двох ліній положення, які в цьому випадку є ортодроміями.

Радіомаяк складається з антенної системи і радіопередавача, сигнали якого приймаються бортовими радіоприймачами літальних апаратів.

Радіомаяки, на відміну від наземних радіопеленгаторів, мають необмежену пропускну здатність.

Кінцеві пристрої бортових приймачів в радіомаякових системах, так само як і в радіопеленгаторах, можуть бути амплітудними і фазовими. В радіомаяках з амплітудними кінцевими пристроями бортових радіоприймачів зазвичай використовують антенні системи спрямованої дії. Такі РМ можуть бути одноканальними або двоканальними. В одноканальному радіомаяку напрям у просторі можна задавати за мінімумом діаграми напрямленості його антенної системи. В двоканальному РМ напрям задається випромінюванням сигналів по двох діаграмах напрямленості, що перетинаються, і подальшого їх порівняння в кінцевому пристрої бортового радіоприймача. Одним з варіантів такого радіомаяка є рівносигнальний радіомаяк, що широко використовується на практиці.

Радіомаяки з фазовими кінцевими пристроями завжди виконуються двоканальними. По одному з каналів передається опорний сигнал, фаза коливань якого не залежить від положення точки приймання відносно радіомаяка. По другому каналу передається сигнал, фаза коливань якого залежить від розміщення точки прийман-

ня. У кінцевому пристрої бортового приймача напрям на радіомаяк визначається через порівняння фаз коливань, що приймаються по каналах радіомаякової системи.

За призначенням радіомаяки поділяють на маркерні, зональні і пеленгові (або всенапрявлені).

Маркерні радіомаяки призначені для позначення певних пунктів на земній поверхні, важливих для повітряної навігації. За допомогою маркерного радіомаяка позначають ділянку простору, що прилягає до вертикалі в точці його установа. Для цього зазвичай використовують амплітудні радіомаяки, діаграма напрямленості антенної системи яких у вертикальній площині має веретеноподібний вигляд. Момент прольоту над маяком визначають за максимумом вихідних сигналів бортового радіоприймального пристрою. Широкого застосування маркерні радіомаяки набули в системах посадки літальних апаратів.

Зональні радіомаяки призначені для задання одного або декількох певних напрямів у горизонтальній або вертикальній площині. Вони вказують заздалегідь установлені напрями від радіомаяка і на нього у вигляді вузьких зон, створюваних у просторі тими або іншими радіотехнічними способами. При цьому радіомаяки, які вказують певні напрями у вертикальній площині, називають глісадними, а в горизонтальній – курсовими радіомаяками. Зональні радіомаяки широко використовують у системах посадки літальних апаратів для забезпечення їх руху у горизонтальній і вертикальній площинах, наведення керованих снарядів і т. ін.

Пеленгові радіомаяки призначені для визначення напрямів (пеленгів) на радіомаяк або від нього при розташуванні літального апарата в будь-якій точці відносно радіомаяка. Через це такі маяки іноді називають всенапрямленими.

У всенапрямлених радіомаякових системах пеленг (азимут) відліковується на борту літального апарата за годинниковою стрілкою відносно північного напрямку меридіана (рис. Б.3.1). У разі одночасного використання двох радіомаяків, розташованих у різних точках земної поверхні, можна визначити місце літального апарата як точку перетину двох ліній положення.

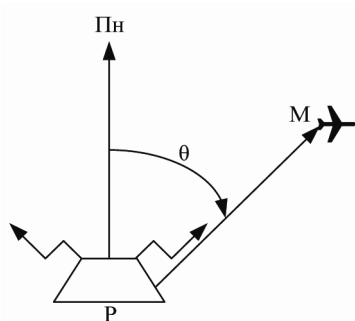


Рис. Б.3.1. Відлік пеленга за допомогою всенапрявленого радіомаяка

Деякі пеленгові радіомаяки можуть використовуватися тільки в певних секторах. Такі радіомаяки називають секторними.

Пеленгові радіомаяки застосовують під час польотів по маршрутах, у системах регулювання повітряного руху в районі аеродрому та ближній зоні. Особливості побудови радіомаякових систем розглянемо на прикладі глісадного і курсового радіомаяків.

Б.3.2. Глісадні радіомаяки

Глісадний радіомаяк призначено для указання екіпажу літака, що знижується, площини планування. Глісадні радіомаяки використовують рівносигнальні радіомаяки.

Кут рівносигнального напрямку таких радіомаяків, створеного двома діаграмами напрямленості, що перетинаються, має збігатися із заданою площиною планування. Переріз площини планування з вертикальною площиною посадкового курсу утворює лінію планування, по якій екіпаж повинен пілотувати літак для виконання посадки.

На літаку встановлюється глісадний радіоприймач, що дозволяє роздільно приймати сигнали двох діаграм напрямленості і визначати положення літака відносно площини планування. Як бортовий індикатор зазвичай використовують стрілковий прилад нульового типу.

Функціональну схему типового глісадного радіомаяка, що працює в дециметровому діапазоні хвиль, зображено на рис. Б.3.2. Радіомаяк включає ПВЧ генератор, розподільний міст, два амплітудні модулятори, верхню і нижню передавальні антени. Підсилювач високої частоти генератор виробляє радіосигнали несучої частоти $\omega_0 = 2\pi f_0$. З виходу генератора вони підводяться до розподільного моста.

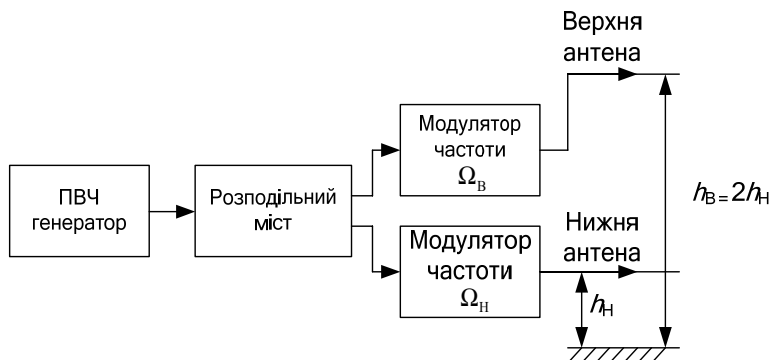


Рис. Б.3.2. Функціональна схема глісадного радіомаяка

Розподільний міст забезпечує приблизно однаковий розподіл потужності між двома передавальними антенами і знижує вплив одного каналу на інший. З виходу розподільного моста високочастотні коливання надходять на два модулятори.

В модуляторах здійснюється амплітудна модуляція коливань ПВЧ генератора. У каналі верхньої антени частота модуляції $F_{м.в} = 90$ Гц, а в каналі нижньої $F_{м.н} = 150$ Гц.

Глибину амплітудної модуляції в обох каналах вибирають здебільшого однаковою. З виходу модуляторів амплітудно-модульовані сигнали підводяться до верхньої і нижньої антен.

Пелюстки діаграми напрямленості верхньої і нижньої антен накладаються одна на одну, внаслідок чого утворюються рівносигнальні зони. Кути нахилу рівносигнальних зон визначаються напрямками, у яких інтенсивності сигналів верхньої і нижньої антен однакові. Для укавання площини планування використовують найближчу до землі рівносигнальну зону, що утворюється перетином нижніх пелюсток діаграм напрямленості верхньої і нижньої антен. Інші рівносигнальні зони помилкові.

Кут нахилу основної рівносигнальної зони вибирають у межах $2...5^\circ$.

Сигнали радіомаяка приймаються бортовим приймальним пристроєм, за допомогою якого визначають величину і напрям відхилення літака від заданої площини планування. Функціональну схему глісадного приймача показано на рис. Б.3.3.

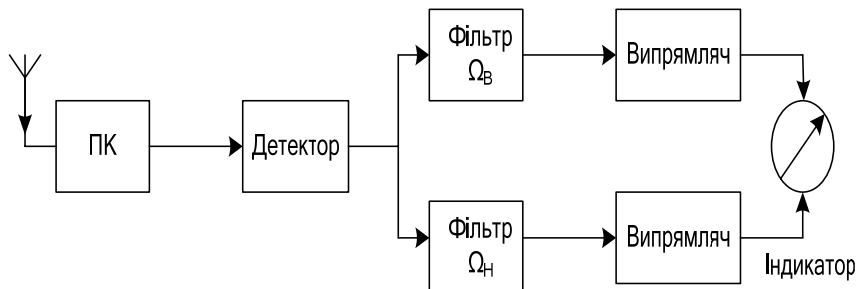


Рис. Б.3.3. Функціональна схема глісадного радіоприймача

Під час навантаження амплітудного детектора приймача виділяються сигнали двох низьких частот $F_{М.В}$ і $F_{М.Н}$. На вході приймача є фільтри, за допомогою яких ці сигнали розділяються і потім надходять на відповідні випрямлячі.

Вихідні струми випрямлячів подаються зустрічно на стрілковий прилад нульового типу. Величина цих струмів залежить від положення літака відносно рівносигнального напрямку. Коли рух літака збігається з рівносигнальним напрямком, стрілка приладу установлюється в горизонтальне положення. При цьому струми i_B і i_H , що відповідають каналам верхньої і нижньої антен, рівні між собою. Якщо літак знижується від рівносигнального напрямку, то стрілка приладу відхиляється вгору від центра шкали, оскільки в цьому випадку $i_H > i_B$. Якщо літак перевищує рівносигнальний напрям, стрілка приладу відхиляється вниз від центра шкали ($i_B > i_H$).

Таким чином, стрілка вихідного приладу глісадного радіоприймача безперервно вказує положення заданої площини планерування відносно літака.

Б.3.3. Курсові радіомаяки

Курсовий радіомаяк призначений для укавання екіпажу положення відносно площини курсу або осі злітно-посадкової смуги. Принцип дії курсового радіомаяка аналогічний раніше викладеному для глісадного радіомаяка (рис. Б.3.4).

Залежно від переваги напруги 90 або 150 Гц планка пристрою відхиляється вліво (1) або вправо (3). Якщо напруги однакові, (2) планка вказує, що літак перебуває в площині курсу (рис. Б.3.5).

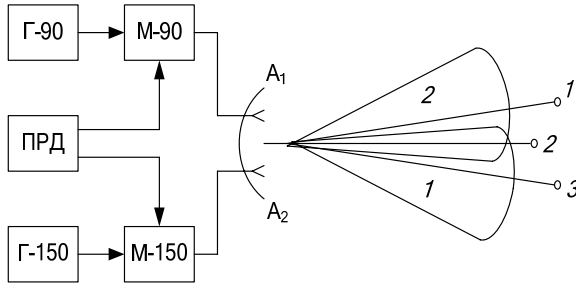


Рис. Б.3.4. Функціональна схема курсового радіомаяка:
 1, 2, 3 – положення літака; Г-90 – генератор 90 Гц;
 М-90 – модулятор 90 Гц; Г-150 – генератор 150 Гц;
 М-150 – модулятор 150 Гц

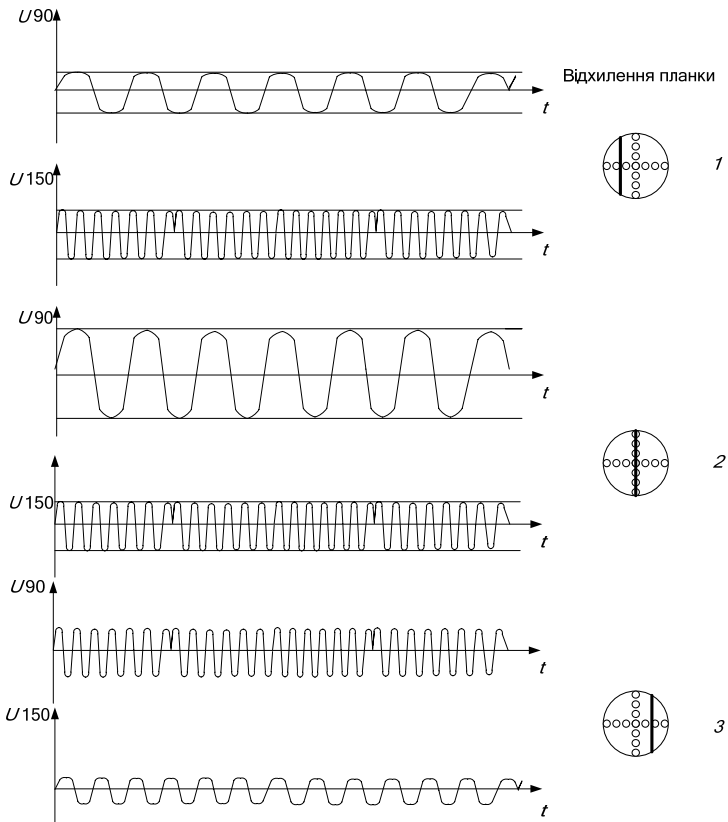
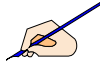


Рис. Б.3.5. Часові діаграми процесів курсового радіомаяка



Контрольні завдання

1. Побудувати робочу зону кутомірно-далекомірної радіонавігаційної системи, якщо похибки вимірювання азимута й дальності ПК відповідно $\sigma_\alpha = 0,5^\circ$; $\sigma_D = 0,8$ км, а допустима похибка оцінювання місцеперебування ПК $\sigma_r = 2,5$ км.

2. Розрахувати поправку, яку необхідно ввести до ККР при виході ПК на лінію заздалегідь обчисленого пеленга в точку, віддалену від радіонавігаційної точки на відстань $D = 60$ км, якщо кут розвороту $\Delta\gamma = 45^\circ$, а радіус розвороту $R = 10$ км.



Б.4. РАДІОНАВІГАЦІЙНІ ДАЛЕКОМІРНІ СИСТЕМИ І ПРИСТРОЇ

Б.4.1. Загальні відомості

Радіонавігаційні далекоміри дозволяють за допомогою радіохвиль виміряти відстані. Для визначення відстаней використовують запізнювання сигналів, що приймаються, відносно опорних сигналів. Це запізнювання, що дорівнює часу поширення радіосигналів між точками випромінювання і приймання, можна визначати за різними параметрами радіосигналу. За видом параметрів радіосигналів, використовуваних для визначення відстаней, розрізняють імпульсні, фазові й частотні радіодалекоміри.

У радіонавігаційних далекомірах широко використовують імпульсні радіосигнали, оскільки при цьому разом з високою точністю і завадостійкістю порівняно легко забезпечується висока пропускна здатність. За принципом дії імпульсні радіонавігаційні далекоміри можна розподілити на імпульсні радіовисотоміри (РВ) і імпульсні радіонавігаційні далекомірні системи. До складу імпульсних далекомірних систем входить бортове і наземне устаткування, внаслідок чого вони, на відміну від імпульсних радіовисотомірів, належать до класу неавтономних радіонавігаційних засобів.

Б.4.2. Імпульсні радіонавігаційні далекомірні системи

Для визначення відстані між пунктами А й Б вимірюють сумарний час поширення радіосигналів від пункту А до пункту Б і від

пункту Б до пункту А. Для цього в пункті А встановлюється приймач (замовник), а в пункті Б – передавач (відповідач) (рис. Б.4.1).

Передавач замовника надсилає на хвилі λ_3 імпульсні радіосигнали запиту, моменти випромінювання яких синхронізовані з сигналами синхронізатора, що виконує в далекомірній системі роль еталона часу. Синхронізатор є високостабільним генератором синусоїдних коливань.

Запитальні сигнали приймаються в пункті Б приймачем відповідача. У приймачі прийняті сигнали посилюються і перетворюються на імпульсні радіосигнали відповіді, які випромінюються передавачем відповідача на хвилі λ_B . Хвиля відповіді λ_B відрізняється від хвилі запиту λ_3 . Це дозволяє розв'язати канал приймача від прямого сигналу передавача.

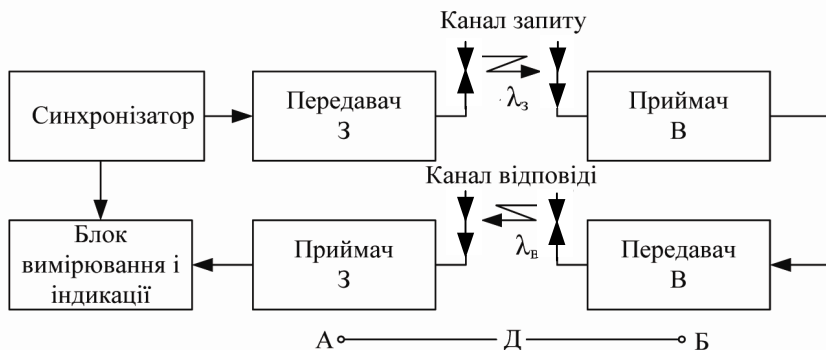


Рис. Б.4.1. Функціональна схема імпульсної радіонавігаційної далекомірної системи: З – замовник; В – відповідач

Сигнали відповідача через час $\tau = 2D/c$ після випромінювання запитальних сигналів приймаються приймальним пристроєм пункту А. З виходу приймача замовника імпульсні сигнали відповіді подаються в блок вимірювання та індикації, куди із синхронізатора надходять опорні імпульси, що збігаються за часом з моментами випромінювання імпульсів запиту. За допомогою блока вимірювання та індикації вимірюється час запізнення імпульсів відповіді відносно опорних імпульсів. Шкала індикатора може бути відградунована в одиницях довжини відповідно до формули

$$D = \tau c/2.$$

В авіації найбільшого поширення набули автоматичні радіода-лекоміри з вимірюванням відстані на борту літального апарата. Відома велика кількість варіантів імпульсних радіонавігаційних далекомірних систем, призначених для розв'язання різних навігаційних завдань.

Б.4.3. Імпульсні радіовисотоміри

Принцип дії ІРВ ґрунтується на вимірюванні запізнювання відбитих від землі імпульсних сигналів відносно моменту їх випромінювання з борту літального апарата.

Імпульсний радіовисотомір, функціональну схему якого показано на рис. Б.4.2, складається з передавача, синхронізатора, приймача і блока вимірювання та індикації. Як синхронізатор використовується генератор синусоїдних коливань, які підводяться до передавача і генератора розгортки. В передавачі виробляються короткі радіоімпульси, які випромінюються у напрямі до землі за допомогою передавальної антени.

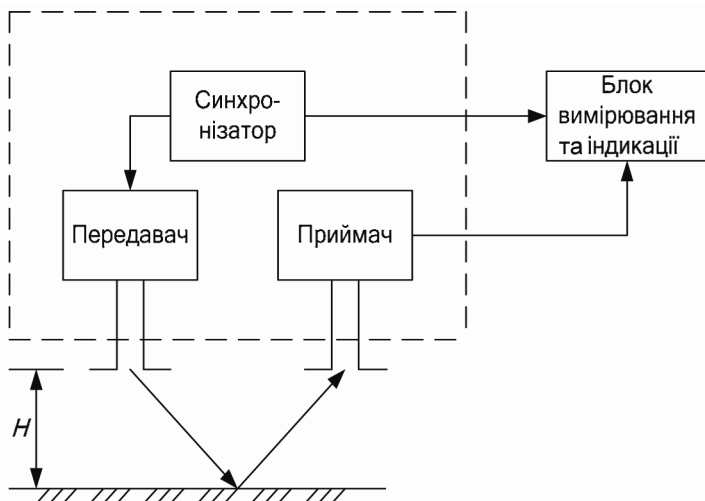


Рис. Б.4.2. Функціональна схема імпульсного радіовисотоміра

Частота повторення радіоімпульсів дорівнює частоті синусоїдних коливань синхронізатора. Після відбиття від поверхні землі ці імпульси надходять на вхід супергетеродинного приймача.

Передавач і приймач радіовисотоміра працюють у дециметровому діапазоні радіохвиль. Більш короткі хвилі не використовуються, оскільки вони сильніше послаблюються при відбитті від землі. Довші хвилі недоцільно використовувати, оскільки для цього потрібно застосовувати великі за габаритами антени.

У приймачі прийняті радіоімпульси перетворюються, посилюються і потім детектуються. З виходу приймача імпульси надходять до блока вимірювання та індикації. Висота в сучасних радіовисотомірах вимірюється цифровим способом. Опорний імпульс, що надходить від передавача, є початком відліку. Момент, що відповідає закінченню відліку, визначається по передньому фронту відображеного імпульсу, який запізнюється відносно опорного імпульсу на якийсь час $\tau = \frac{2H}{c}$.

Часовий інтервал між моментами випромінювання передавачем імпульсного сигналу і прийманням відображеного сигналу в блоці вимірювання та індикації заповнюється лічильними імпульсами, які потім за допомогою цифрових схем підраховуються. Результати підрахунку відображаються на цифрових індикаторах або надходять у БЦОМ для подальшої обробки.

Імпульсні радіовисотоміри застосовують для вимірювання великих висот під час виконання бомбометання, фотографування тощо, оскільки їх відносні похибки зазвичай не перевищують 0,25% від вимірюваної висоти.

Останнім часом у зв'язку із значними досягненнями в галузі технології виробництва радіоапаратури імпульсні радіовисотоміри почали застосовувати і для вимірювання малих висот. Але більше для цього застосовують радіовисотоміри з частотною модуляцією.

Б.4.4. Радіовисотоміри з частотною модуляцією

Принцип дії радіовисотоміра з частотною модуляцією (ЧМ) не відрізняється від принципу дії станції радіолокації з частотною модуляцією. «Ціллю» в цьому випадку є поверхня землі. На відміну від станції радіолокації радіовисотомір вимірює тільки дальність і не вимірює кутових координат.

Радіовисотоміри з ЧМ, так само як і імпульсні радіовисотоміри, працюють у діапазоні дециметрових хвиль.

Точність радіовисотомірів з частотною модуляцією оцінюється похибкою приблизно $2\text{ м} + 5\%$ від вимірюваної висоти. Максимальна висота, що виміряється за допомогою таких радіовисотомірів, зазвичай не перевищує 1200...1500 м. Їх застосовують головним чином для пробиття хмарності, посадки літаків і в інших випадках польоту на невеликих висотах.

Частотний радіовисотомір малих висот, функціональну схему якого зображено на рис. Б.4.3, складається з передавача, модулятора та приймача-індикатора.

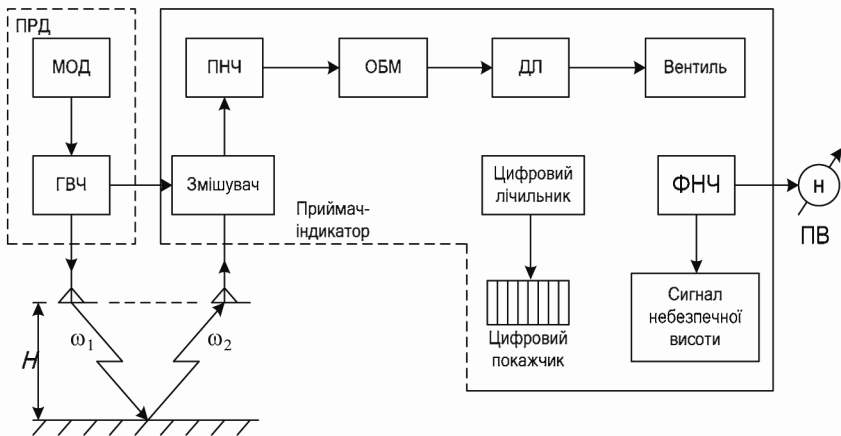


Рис. Б.4.3. Функціональна схема частотного радіовисотоміра: МОД – модулятор; ОБМ – обмежувач; ПВ – показчик висоти

Передавач ПРД на частоті генератора високої частоти ГВЧ випромінює неперервні частотно-модульовані коливання в напрямі землі. Модульовальною напругою МОД може бути пилкоподібна (симетрична, несиметрична) напруга, синусоїдна та ін.

Відбитий сигнал надходить до змішувача, підсилюється ПНЧ, обмежується обмежувачем з метою усунення паразитної амплітудної модуляції, диференціюється диференціальною ланкою (ДЛ), надходить на вентиль для усунення від'ємних імпульсів ДЛ, до цифрового лічильника і згладжувального пристрою – фільтра нижніх частот (ФНЧ) для аналогової індикації показчика висоти ПВ. Як кількість імпульсів лічильника, так і напруга ФНЧ пропорційні висоті польоту.

Прийнятий сигнал (відбитий) затримується на час затримки

$$t_3 = \frac{2H}{c}.$$

У змішувачі утворюються напруги різної частоти – биття, середня частота якого пропорційна висоті польоту (рис. Б.4.4):

$$F_{\text{сер}} = \frac{N_0}{T_{\text{сп}}},$$

де N_0 – кількість імпульсів; $T_{\text{сп}}$ – час спостереження.

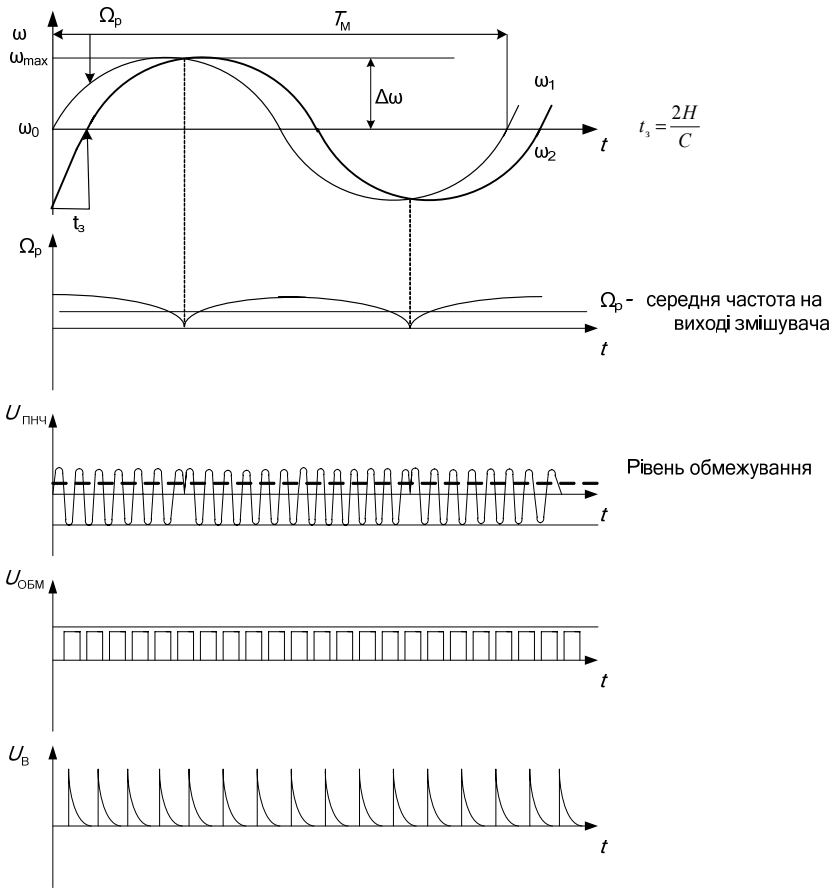


Рис. Б.4.4. Часові діаграми процесів у частотно-рознесених висотомірах

Б.4.5. Різницево-далекомірні радіонавігаційні системи

Різницево-далекомірні радіонавігаційні системи дозволяють виміряти за допомогою радіохвиль різниці відстаней від рухомих об'єктів до нерухомих наземних точок. За виміряною різницею відстаней визначають лінію положення, що має властивість постійності різниці відстаней до двох заданих точок. Лінії положення для різних значень різниць відстаней наносять заздалегідь на карти і потім використовують для розв'язання навігаційних завдань.

Залежно від типу застосованих радіосигналів розрізняють імпульсні, імпульсно-фазові і фазові різницево-далекомірні радіонавігаційні системи. Принцип дії імпульсних різницево-далекомірних систем полягає в такому. На земній поверхні в двох різних пунктах з відомими координатами встановлюються синхронно працюючі передавальні радіостанції А і Б. Станція А такої пари є ведучою, а станція Б – веденою. Ведуча станція А періодично випромінює короткі імпульсні радіосигнали, які приймаються на веденій станції Б і на борту літального апарата, що перебуває в довільній точці *M* (див. рис. Б.1.10).

Сигнали ведучої станції досягають веденої станції через час

$$t_6 = \frac{d}{c},$$

де $d=AB$ – відстань між станціями А і Б, названа базою системи.

Ведена станція після приймання сигналів від ведучої станції випромінює свої імпульсні сигнали з фіксованою кодовою затримкою. Загальна затримка сигналів веденої станції відносно сигналів ведучої станції $t_3 = t_6 + t_k$. Таким чином забезпечується синхронність роботи ведучої і веденої станцій.

Передавачі обох станцій випромінюють імпульси однакової форми і однакової тривалості на загальній несучій частоті. Частота повторення цих імпульсів підтримується постійною.

На рухомому об'єкті за допомогою спеціального приймально-індикаторного пристрою приймаються імпульсні сигнали ведучої станції і вимірюється часовий інтервал між ними за формулою

$$\tau = t_6 + t_k + \frac{1}{c}(D_6 - D_a).$$

Вимірюваному часовому інтервалу відповідає цілком певна різниця відстаней від рухомого об'єкта до станцій А і Б:

$$D_B - D_A = (\tau - t_6 - t_k) c.$$

Для автоматичного вимірювання часового інтервалу між імпульсами ведучої і веденої станцій А і Б він заповнюється лічильними імпульсами, що виробляються високостабільним кварцовим генератором бортового приймального пристрою. Результат підраховується цифровими схемами, відображається на цифровому індикаторі і надходить у БЦОМ для подальшої обробки.

Лінії положення різницево-далекомірних систем, що відповідають виміряним часовим інтервалам між імпульсами ведучої і веденої станцій, можна подати у вигляді плоских гіпербол при навігації на не дуже великі відстані (приблизно до 1000 км). За великих відстаней Землю вважають кулею і лінії положення зображають у вигляді сферичних гіпербол.

На практиці лінії положень різницево-далекомірних систем, зважаючи на їх складне зображення, наносять на карти друкарським способом. Їх оцифровують зазвичай у мікросекундах, оскільки на борту рухомого об'єкта безпосередньо вимірюються не різниці відстаней, а часові інтервали між прийманням сигналів ведучою і веденою станціями. Залежно від призначення системи лінії положення наносяться на карти через інтервали 50...100 мкс.

Різницево-далекомірна система, що складається з двох станцій, дозволяє визначати всього одну лінію положення літального апарата. Для визначення місця літального апарата потрібна друга пара станцій, розташована так, щоб її лінії положення перетиналися з лініями першої пари станцій.

Після вимірювання часових інтервалів для двох пар наземних станцій за картою визначається місцеперебування літального апарата в точці перетину двох гіперболічних ліній положення.

Останніми роками для автоматизації процесу визначення місцеперебування з використанням різницево-далекомірних радіотехнічних систем розроблено спеціальні перетворювачі, які виконують перерахунок гіперболічних координат у географічні або ортодромічні координати. Слід зазначити, що в деяких пілотажно-навігаційних комплексах задача перетворення гіперболічних координат розв'язується за допомогою БЦОМ.

Гіперболічні лінії мають найбільшу кривизну в районі бази. Уздовж бази відстань між ними мінімальна. У міру віддалення від базисної лінії відстань між гіперболами збільшується. Тому точність визначення ліній положення з віддаленням від бази знижується.

Нині відомі імпульсні, імпульсно-фазові та фазові різницево-далекомірні системи, що працюють на ультракоротких, довгих і наддовгих хвилях.

Дальність дії систем, що працюють у діапазоні ультракоротких хвиль, ненабагато перевищує граничну дальність геометричної видимості та істотно залежить від висоти польоту літального апарата. Дальність дії систем, що працюють у діапазонах довгих і наддовгих хвиль, залежно від умов поширення радіохвиль становить 500 ... 14 000 км.

Різницево-далекомірні системи за точністю поступаються далекомірним радіонавігаційним системам у зв'язку з їх менш сприятливою геометрією ліній положення і складнішими умовами вимірювань часових інтервалів.

Принцип дії фазових різницево-далекомірних систем аналогічний принципу дії імпульсних різницево-далекомірних систем. Відмінність полягає в тому, що ведуча і ведена станції у фазовій системі випромінюють когерентні неперервні коливання, які приймаються на борту літального апарата. Гіперболічна лінія положення літального апарата визначається в цьому випадку вимірюванням різниці фаз коливань, що приймаються від ведучої і веденої станцій. Ця різниця фаз пропорційна різниці відстаней від літального апарата до цих станцій.

Різницево-далекомірні радіонавігаційні системи мають досить високу точність і велику дальність дії. Їх пропускну здатність майже нічим не обмежена. Вони забезпечують високу «скритність» руху літального апарата, оскільки до складу системи не входять бортові передавальні пристрої. Всі ці позитивні якості різницево-далекомірних систем дозволяють широко використовувати їх на літаках бомбардувальної, розвідувальної і транспортної авіації, а також для керування безпілотними об'єктами на великих відстанях.



Б.5. АВІАЦІЙНІ ДОПЛЕРІВСЬКІ ВИМІРЮВАЧІ ШЛЯХОВОЇ ШВИДКОСТІ І КУТА ЗНОСУ

Визначення шляхової швидкості та істинного шляхового кута завжди викликало найбільші труднощі під час керування рухом літальних апаратів. Ці два основні елементи польоту потрібні для обчислення шляху та автономного визначення дійсного місцеперебування літального апарата.

В авіації широко застосовують автономні доплерівські вимірювачі вектора шляхової швидкості, які дозволяють визначати шляхову швидкість $W_{ш}$ і кут зносу α безпосередніми вимірюваннями. Знання цих навігаційних елементів за відомого курсу і повітряної швидкості V дає змогу визначати істинний шляховий кут літально-го апарата, швидкість W і напрям вітру δ .

Для пояснення принципу дії доплерівського вимірювача шляхової швидкості та кута зносу (ДВШКЗ) розглянемо найпростіший ДВШКЗ, що працює в режимі неперервного випромінювання, діаграма напрямленості антени якого має одну пелюстку. Функціональну схему однопроменевого вимірювача зображено на рис. Б.5.1.

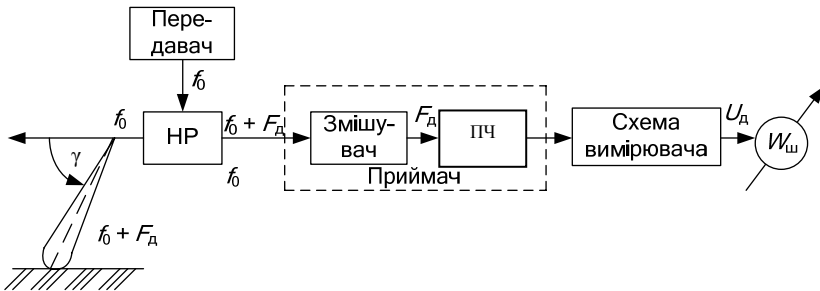


Рис. Б.5.1. Функціональна схема однопроменевого доплерівського вимірювача

Передавач вимірювача генерує синусоїдні сигнали високої частоти f_0 , які через напрямлений розподільник надходять до антени і випромінюються нею в напрямі до землі. Відбиті від нерівностей земної поверхні радіохвилі мають доплерівський зсув за частотою, сприймаються антеною і через напрямлений розподільник надходять на змі-

шувач приймача. На змішувач приймача, окрім відбитих радіосигналів $f_0 + F_d$, надходять також ослаблені прямі радіосигнали передавача частоти f_0 , що пройшли через розподільник. У результаті взаємодії цих сигналів на виході змішувача утворюється напруга різницевої, тобто доплерівської частоти F_d . Ця напруга підсилюється підсилювачем (ПЧ) і подається на вимірювальну схему (частотомір), яка видає постійну напругу U_d , пропорційну за величиною доплерівській частоті F_d . Ця напруга подається на індикаторний стрілковий прилад, шкала якого градується в одиницях швидкості $W_{ш}$.

Покажемо, як за допомогою однопроменевого доплерівського вимірювача можна визначити шляхову швидкість і кут зносу літального апарата. Припустимо, що літальний апарат здійснює горизонтальний політ ($V_{пз} = 0$) з повітряною швидкістю V , шляховою швидкістю $W_{ш}$ (нагадаймо, що при $V_{пз} = 0$ вектор шляхової швидкості в горизонтальній площині V_r дорівнює вектору повної швидкості $V_{п}$ і має кут зносу α (рис. Б.5.2, а)).

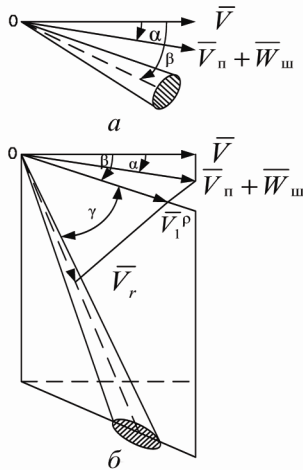


Рис.Б.5.2. Геометричні співвідношення однопроменевого доплерівського вимірювача

Тоді складову вектора шляхової швидкості у напрямі випромінювання (тобто радіальну складову) V_r знайдемо відповідно до рис.Б.5.2, б таким чином:

$$V_r = V_{п} \cos \gamma = V_{п} \cos(\beta - \alpha) \cos \gamma.$$

Отже, відповідно до формули для доплерівського зсуву частоти, запишемо

$$F_{\text{д}} = \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda_0} \cos(\beta - \alpha) \cos \gamma.$$

Вимірювальна схема (частотомір) видає напругу $U_{\text{д}}$, пропорційну $F_{\text{д}}$ ($W_{\text{ш}}$):

$$U_{\text{д}} = KF_{\text{д}} = K \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda_0} \cos(\beta - \alpha) \cos \gamma,$$

де K – коефіцієнт пропорційності.

Повертаючи антену в горизонтальній площині і спостерігаючи за показаннями індикаторного приладу, можна знайти таке положення антени, за якого напруга $U_{\text{д}}$, а отже, і доплерівський зсув частоти стають максимальними. Це спостерігатиметься, якщо $\beta = \alpha$. Тоді отримаємо

$$F_{\text{дmax}} = \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda_0} \cos \gamma, \quad W_{\text{ш}} = V_{\text{п}} = \lambda_0 F_{\text{дmax}} / 2 \cos \gamma.$$

Знаючи кут γ , за значенням $F_{\text{дmax}}$ можна визначити шляхову швидкість $W_{\text{ш}}$, а за кутом розвороту антени β відносно поздовжньої осі літального апарата, за якого доплерівська частота досягає максимуму, можна судити про величину кута зносу α .

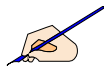
Однопроменеві доплерівські вимірювачі в разі коливань літака мають порівняно великі помилки результатів вимірювання кута зносу і шляхової швидкості. Для підвищення точності вимірювань шляхової швидкості і кута зносу літака застосовують багатопроменеві ДВШКЗ.

На закінчення можна відзначити, що авіаційні радіонавігаційні пристрої і системи розвиваються за трьома напрямками. Перший напрям пов'язаний з використанням у радіонавігаційних засобах сучасних досягнень у галузі технології виробництва радіоапаратури. Упровадження мікроелектроніки, елементів твердотільної конструкції дозволяє істотно зменшити габарити і масу радіонавігаційної апаратури і на декілька порядків підвищити її надійність.

Другий напрям стосується удосконалення радіонавігаційних пристроїв і систем, а також пошуку нових принципів їх побудови. Він реалізується за рахунок застосування широкосмугових псев-

дошумових сигналів і оптимальних методів оброблення радіосигналів. Прикладами розроблення нових систем є радіонавігаційні системи з використанням ШСЗ, кореляційно-екстремальні системи навігації та ін.

Третій напрям пов'язаний зі створенням і вдосконаленням комплексних систем навігації. При цьому розвиток комплексних систем, крім удосконалення однофункціональних комплексів, відбувається завдяки створенню багатфункціональних комплексів. Так, наприклад, для літальних апаратів створюються об'єднані системи зв'язку, навігації і розпізнавання. Це дозволить значно зменшити загальну кількість антенно-фідерних пристроїв і електронних блоків на літаку.



Контрольні завдання

1. Обчислити доплерівський зсув частоти сигналу $f_0=10$ ГГц, випромінюваного передавачем однопроменевої ДВШКЗ, якщо шляхова швидкість $W=1200$ км/год за кута зносу $\alpha = 6^\circ$, а напрям випромінювання задано у просторі кутами $\theta = 55^\circ$ й $\beta = 28^\circ 30'$.

2. Визначити шляхову швидкість ПК за максимального доплерівського зсуву частоти $F_{д\max} = 6$ кГц ($\beta = \alpha$), якщо довжина хвилі електромагнітних коливань однопроменевої ДВШКЗ $\lambda = 2,8$ см, а напрям випромінювання у вертикальній площині задано кутом $\theta = 35^\circ$.

3. Визначити абсолютну похибку неточного задання вертикалі нестабілізованою антенною системою однопроменевої ДВШКЗ, якщо відповідна абсолютна похибка вимірювання шляхової швидкості ПК $\Delta W = 50$ км/год за нормального значення $W = 1100$ км/год, а напрям випромінювання у вертикальній площині задано кутом $\theta = 45^\circ$.

4. Визначити кут зносу ПК, якщо відношення різницевої напруги на виході частотоміра чотирипроменевої ДВШКЗ до сумарної напруги дорівнює 0,14, а кут відхилення спрямованого випромінювання від поздовжньої осі в горизонтальній площині $\beta = 43^\circ 20'$.

5. Визначити чутливість однопроменевої ДВШКЗ під час вимірювання шляхової швидкості й кута зносу літака, використовуючи такі дані: $\theta = 60^\circ$; $\beta = 32^\circ$; $\alpha = 10^\circ$; $\lambda_{\text{випр}} = 3$ см.

6. Визначити абсолютну похибку вимірювання шляхової швидкості ПК, спричинену впливом вертикальної складової швидкості, з використанням однопроменевої ДВШКЗ, користуючись такими даними: $W = 800$ км/год; $\theta = 38^\circ$; $\eta = 24^\circ$.



Б.6. СУПУТНИКОВІ РАДІОНАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ

Б.6.1. Загальні відомості

Проблема найбільш точного визначення координат місцеположення літака та інших навігаційних елементів існувала до запуску першого штучного супутника Землі (ШСЗ) 7 жовтня 1957 р. Ця дата ознаменувала нову еру не тільки в освоєнні космічного простору, а і в багатьох «земних» сферах науки, в тому числі й навігації.

З'явилася можливість розв'язання завдань навігаційного забезпечення морських та інших рухомих об'єктів.

Натепер найбільшого поширення набули супутникові радіонавігаційні системи (СРНС) ГЛОНАСС/GPS (російської та американської розробок).

Загальну структурну схему СРНС показано на рис. Б.6.1. Вона містить чотири навігаційні ШСЗ, які використовуються у навігаційному сеансі, і технічні засоби командно-вимірювального комплексу (КВК).

До складу КВК входять: координаційно-обчислювальний центр (КОЦ); чотири станції спостереження (СС) за навколосемними ШСЗ (НШСЗ), контрольно-вимірювальна станція (КВС) і станція передавання службової інформації (СПІ). Станції спостереження призначені для пасивних траєкторних вимірювань орбітальних параметрів усіх НШСЗ. Вони розташовані на Алясці, у Каліфорнії, на Гавайських островах і на острові Гуам. Дані від СС транслюються на КОЦ, КВС здійснює телеметричний контроль за роботою бортових систем НШСЗ, виконує запитувальні траєкторні вимірювання. Контрольно-вимірювальна станція обмінюється інформацією з КОЦ. Станція передавання службової інформації передає на борт кожного НШСЗ масив службової інформації, підготовлений у КОЦ, який організовує роботу усіх засобів і керує ними.

Об'єктами навігації системи NAVSTAR є: ПК, морські надводні судна, космічні апарати та ін. Очікувана похибка визначення просторових координат ПК за допомогою СРНС NAVSTAR становить приблизно 10 м, а визначення швидкості – близько 0,3 м/с.

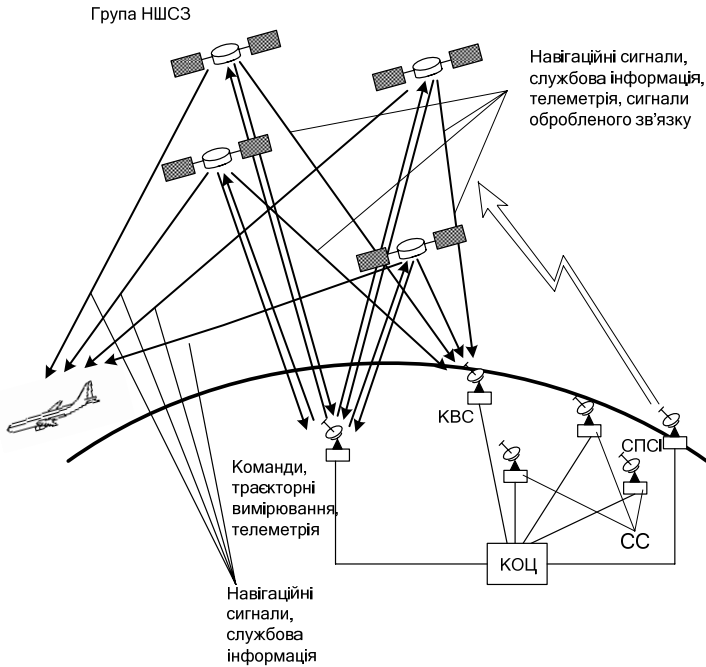


Рис. Б.6.1. Загальна структурна схема СРНС

За допомогою апаратури ШСЗ передається ефемеридна інформація, яка приймається бортовим приймачем-індикатором. У бортовому приймачі-індикаторі здійснюються навігаційні визначення дальності до ШСЗ будь-яким методом: далекоміром, доплерівським вимірювачем.

Інформація, яка приймається на борту літака, про параметри ШСЗ, зокрема про час, спільно з вимірюваними дальностями до трьох або чотирьох ШСЗ перетворюється пристроєм зв'язку – інтерфейсом для обчислення, де визначаються поточні координати місцеположення літака і повний вектор стану ПК (координати, курс, швидкість тощо).

Супутникова радіонавігаційна станція працює у діапазоні таких дециметрових хвиль:

- ✓ 150...400 МГц і «Транзит»;
- ✓ 1200...1500 МГц і «Навстар».

Б.6.2. Методи навігаційних вимірювань

Кутомірний метод. За допомогою бортової апаратури вимірюється кутове положення ШСЗ (висота h і азимут). Ці кутові навігаційні параметри формуються за напрямом надходження радіохвилі від НШСЗ і характеризують його положення відносно спостерігача. За даними кутових величин НШСЗ, ефемеридної інформації та часу визначаються координати споживача у геоцентричній системі координат.

Далекомірний метод. Вимірюються похилі дальності від літального апарата до декількох НШСЗ в один і той же момент часу або до одного ШСЗ у різні моменти часу. Кожній виміряній дальності $D_{\text{вим}}$ у просторі відповідає поверхня положення спостерігача – сфера, у центрі якої перебуває НШСЗ.

Псевдодалекомірний метод. Від далекомірного методу відрізняється тим, що разом з трьома дальностями до трьох ШСЗ вимірюється дальність до четвертого ШСЗ і поправка до бортових годинників на літаку.

Різницево-далекомірний метод. Вимірюються різниці дальностей до двох ШСЗ в один і той же момент часу. При цьому формується поверхня положення, яка є гіперболоїдом обертання з ШСЗ у фокусі.

Доплерівський метод. Доплерівським методом вимірюють доплерівський зсув частоти. Доплерівська частота пропорційна відносній швидкості ШСЗ і літака. Випромінювання коливання частотою f_0 з ШСЗ у точку приймання надходить з доплерівським зсувом.

Диференціально-доплерівський метод. Суть його полягає у визначенні максимальної зміни доплерівської частоти, тобто похідної від виразу для дальності між ШСЗ та ПК. Максимальною зміна буде на траверзі відносно ШСЗ.

Інтегрально-доплерівський метод. За фіксований проміжок часу Δt відбувається інтегрування доплерівської частоти, яка пропорційна швидкості ПК. Цей метод аналогічний різницево-далекомірному методу.

Диференціальний метод. Супутникові навігаційні системи дозволяють отримати координати з точністю 10...15 м. Але для багатьох задач, особливо для навігації у містах, потрібна більш висока

точність. Один з основних методів збільшення точності визначення місцеперебування об'єкта ґрунтується на застосуванні відомого у радіонавігації методу диференціальних вимірювань.

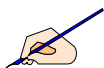
Диференціальний метод DGPS (Differential GPS) дозволяє встановити координати з точністю до трьох метрів у динамічній навігаційній ситуації і до одного метра у стаціонарних умовах. Диференціальний метод реалізується за допомогою контрольного GPS-приймача, який називається опорною станцією. Вона розташовується у пункті з відомими координатами у тому ж районі, що й головний GPS-приймач. Порівнюючи відомі координати (отримані в результаті прецизійної геодезичної зйомки) з вимірними, опорна станція обчислює поправки, які передаються споживачам по радіоканалу у чітко обумовленому форматі. Апаратура споживача приймає від опорної станції диференціальні поправки і враховує їх під час визначення місцеперебування споживача.

Результати, отримані за допомогою диференціального методу, значною мірою залежать від відстані між об'єктом і опорною станцією. Застосування цього методу найбільш ефективно тоді, коли домінують систематичні помилки, зумовлені зовнішніми (щодо приймача) причинами. За експериментальними даними опорну станцію рекомендується розміщувати не далі 500 км від об'єкта.

На сьогодні наявна велика кількість широкозонних, регіональних та локальних диференціальних систем. Широкозонні – це, наприклад, такі системи, як американська WAAS, європейська EGNOS і японська MSAS. Ці системи використовують геостационарні супутники для передавання поправок усім споживачам, які перебувають у зоні покриття. Регіональні системи призначені для навігаційного забезпечення окремих ділянок земної поверхні. Зазвичай регіональні системи використовують у великих містах, на транспортних магістралях і судноплавних річках, у портах, на березі моря та океану. Діаметр робочої зони регіональної системи становить 500 ... 2000 км. Вона може мати у своєму складі одну чи більше опорних станцій. Локальні системи мають максимальний радіус дії – 50 ... 220 км. Вони включають морські, авіаційні та геодезичні локальні диференціальні станції.

Розвиток супутникової навігації зв'язаний з модернізацією обох супутникових систем GPS і ГЛОНАСС для збільшення точності навігаційних визначень, покращання сервісу, який надається спо-

живачам, збільшення терміну експлуатації і надійності бортової апаратури супутників, поліпшення сумісності з іншими радіотехнічними системами і розвитку диференціальних підсистем. Загальні напрями розвитку систем GPS і ГЛОНАСС збігаються. Удосконалювати систему ГЛОНАСС передбачається на базі супутника нового покоління ГЛОНАСС-М. Цей супутник буде мати збільшений ресурс експлуатації. Аналогічне рішення про модернізацію системи GPS було прийнято в США.



Контрольні завдання

1. Визначити, яку частину періоду свого обертання ШСЗ перебуває в межах сектора, обмеженого значеннями істинної аномалії мінус 45° і плюс 45° при русі по орбіті з ексцентриситетом 0,05.

2. Розрахувати кутовий і лінійний діаметри зони видимості ШСЗ, що рухається на висоті 20 000 км, якщо мінімальне значення кута місця, під яким можливе його спостереження, 5° .

3. Розрахувати довжину відрізка колової орбіти, що потрапляє в зону видимості ПК, і тривалість польоту в ній для умов завдання 2, якщо кут-ва відстань площини орбіти від ПК становить 15° .

4. Визначити кутове перекриття сусідніх зон видимості восьми ШСЗ, що розташовуються на коловій орбіті висотою 20 000 км.

5. Розрахувати мінімальне кутове перекриття сусідніх зон видимості ШСЗ, що обертаються на різних орбітах, якщо супутники навігаційної системи розташовані на трьох рівновіддалених полярних орбітах висотою 20 000 км.

6. Визначити поправки до обчислених координат ПК за результатами вимірювання дальностей до двох ШСЗ, азимуту й кути місця яких дорівнюють 10° ; 120° й 30° відповідно; а різниці обчислених і вимірених дальностей становлять 1 і 5 км.

7. Визначити поправки до обчислених координат ПК за результатами вимірювання різниці відстаней до трьох ШСЗ, азимуту яких 20° , 120° й 250° , а кути місця 30° , 15° і 30° . Різниці вимірених і обчислених значень відстаней становлять 2 і 3 км.

8. Розрахувати середні квадратичні похибки визначення координат ПК для умов завдання 6, якщо середньоквадратична похибка вимірювання дальностей 0,1 км, а коефіцієнт кореляції похибок вимірювання дальностей до різних ШСЗ становить 0,2.



Б.7. ОСНОВНІ ВИМОГИ СПОЖИВАЧІВ ПОСЛУГ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Б.7.1. Загальні технічні вимоги

Загальні вимоги споживачів до радіонавігаційних систем стосуються таких її параметрів:

- ✓ розміру робочої зони;
- ✓ точності визначення місцеперебування та параметрів руху об'єктів;
- ✓ доступності;
- ✓ цілісності;
- ✓ безперервності обслуговування (функціонування);
- ✓ дискретності визначення місцеперебування;
- ✓ пропускнуої здатності РНС.

Вимоги до розмірів робочої зони. Робоча зона – це ділянка простору земної кулі (замкнута поверхня), у межах кордонів якої у будь-якій точці забезпечується можливість для будь-якого споживача визначити своє місцеперебування з необхідними характеристиками руху.

Зростаюча інтенсивність руху, розширення меж переміщення, збільшення швидкостей, висоти та довжини маршрутів (трас) сучасних транспортних засобів ставляться більш високі вимоги до навігаційного забезпечення, створення умов точного місцевизначення у будь-якій точці Землі та навколоземного простору. Інакше кажучи, виникають вимоги глобальної робочої зони планетарного масштабу.

Вимоги до точності визначення місцеперебування та параметрів руху об'єктів. Точність місцевизначення є ступенем відповідності між оціненим або вимірним місцем об'єкта в поточний момент часу та його істинним місцем у той же момент часу. Точність місцеперебування та параметрів руху характеризується відхиленням визначених (обсервованих) координат від істинних. Кількісною мірою точності є абсолютне значення різниці між визна-

ченими та істинними значеннями координат. Розраховують також середньоквадратичне відхилення.

Вимоги до точності місцевизначення об'єктів залежать від характеру завдань, які вирішуються споживачами. Числові значення точності місцевизначення (середньоквадратична похибка) різних об'єктів змінюються в широких межах від часток метра до декількох кілометрів.

Вимоги до доступності. Доступність радіонавігаційної системи характеризує здатність системи забезпечувати отримання споживачем необхідної інформації для достовірного визначення свого місцезнаходження у заданий момент часу з необхідною точністю. Чисельно доступність системи оцінюється ймовірністю отримання споживачем такої інформації.

Вимоги до доступності змінюються залежно від використовуваних транспортних засобів і завдань, які вирішуються споживачами. Виходячи із забезпечення безпеки польотів літаків і плавання морських та річкових суден, найбільш високі вимоги, за яких доступність має дорівнювати майже одиниці, ставляться повітряними споживачами при заході на посадку та посадці за категоріями ІКАО, морськими й річковими споживачами при маневруванні в порту й русі по внутрішніх водних шляхах.

Вимоги до цілісності РНС. Цілісність радіонавігаційної системи характеризує спроможність системи попереджувати можливість відмови шляхом автоматичного вилучення випадків, коли робочі характеристики системи виходять за допустимі межі. Чисельно цілісність системи оцінюється ймовірністю доведення до споживачів інформації про порушення роботи системи в межах певного інтервалу часу.

Вимоги до цілісності РНС морських, річкових та наземних споживачів більш низькі, ніж повітряних, унаслідок менших швидкостей руху і більших інтервалів оновлення інформації.

Вимоги до безперервності обслуговування (функціонування). Безперервність обслуговування (функціонування) радіонавігаційної системи характеризується ймовірністю безвідмовної роботи системи протягом найбільш важливих інтервалів часу вико-

нання завдання. Чисельно вона характеризується граничним інтервалом часу.

Вимоги до дискретності визначення місцеперебування. Дискретність визначення місцеперебування характеризується часовим інтервалом, за який можливе нове визначення місцеположення з використанням однієї і тієї ж радіонавігаційної системи.

Вимоги до пропускної здатності. Пропускна здатність радіонавігаційної системи характеризується кількістю її споживачів, які можуть обслуговуватися водночас.

Ураховуючи важливе значення своєчасного отримання навігаційної інформації для забезпечення безпеки плавання й польотів, пропускна здатність радіонавігаційної системи не повинна мати обмежень, а безперервність, чи, інакше, надійність обслуговування, повинна відповідати заданому значенню.

Б.7.2. Вимоги повітряних споживачів до радіонавігаційних систем

Б.7.2.1. Фази польоту повітряних кораблів

У повітряному транспорті визначено такі фази (етапи) руху ПК:

- ✓ зліт та вихід у заданий пункт маршруту (траси);
- ✓ політ по маршруту (маршрутний політ);
- ✓ політ у зоні аеродрому (термінальний політ);
- ✓ позакатегорійне заходження на посадку;
- ✓ заходження на посадку та посадка за категоріями ІСАО (інструментальна посадка).

Вимоги до навігаційного забезпечення на кожному етапі ставляться різні. Для маршрутного етапу польоту ПК установлені категорії районів (зон):

- ✓ океан (без орієнтирів);
- ✓ внутрішня континентальна (місцева) лінія;
- ✓ зони виконання спеціальних завдань.

Вимоги повітряних споживачів до точності визначення місця під час заходження на посадку за категоріями ІСАО наведено у табл.Б.7.1.

**Вимоги повітряних споживачів під час заходу на посадку
за категоріями ІСАО**

| Категорія посадки | Висота над злітно-посадковою смугою для перевірки, м | Точність вимірювання координат (середньоквадратична похибка) | | Доступність (імовірність отримання інформації) |
|-------------------|--|--|------------------------|--|
| | | бічна похибка, м | вертикальна похибка, м | |
| I | 30,0 | 4,5 ... 8,5 | 1,5 ... 2,0 | 0,999999 |
| II | 15,0 | 2,3 ... 2,6 | 0,7 ... 0,85 | 0,999999 |
| III | 2,4 | 2,0 | 0,2 ... 0,3 | 0,999999 |

Вимоги залежно від завдань та районів (зон) польоту наведено в табл. Б.7.2.

Виходячи зі стану радіонавігаційної мережі в Україні та враховуючи необхідність переобладнання або дообладнання ПК України бортовими радіотехнічними системами, важливо обрати такі радіотехнічні засоби основних частин системи, які б стали універсальними. Це забезпечить польоти українських ПК як у повітряному просторі України, так і у повітряному просторі інших регіонів, включаючи ті регіони, що недостатньо забезпечені мережею радіотехнічних засобів.

Універсальною системою може бути супутникова радіонавігаційна система, створена на базі діючих російської супутникової системи ГЛОНАСС та американської системи GPS.

Ураховуючи той факт, що ці системи утворюють безперервне поле навігаційної інформації майже над усіма регіонами виконання польотів у глобальному масштабі і є суто пасивними беззапитними системами (на відміну від систем радіотехнічної системи ближньої навігації, VOR/DME), не потребують ліцензування, вони надалі мають бути прийняті як один з основних засобів радіонавігаційної інформації для забезпечення потреб бортової навігації для створення нової системи навігації під загальною назвою GNSS-2.

Таблиця Б.7.2

Вимоги повітряних споживачів до точності вимірювання координат для різних завдань, які потребують розв'язання (окрім заходження на посадку та посадки за категоріями ICAO)

| Завдання | Зони польоту | Точність вимірювання координат (СКП), м | Доступність | Цілісність |
|---|--|---|-------------|------------------|
| Політ ПК: а) політ за маршрутом | 1. Над океаном (місцевість без орієнтирів) | 5800 | 0,999 | 0,999 (10 с) |
| | 2. Повітряні траси шириною 20 км | 2500 | | |
| | 3. Повітряні траси шириною 10 км | 1250 | | |
| | 4. Місцеві повітряні траси: I категорії | 500 | | |
| | II категорії | 250 | | |
| 5. Повітряні траси для використання методу зональної навігації | 230 | | | |
| б) політ у зоні аеродрому | – | 200 | 0,9999 | 0,999 (10 с) |
| в) позакатегорійний захід на посадку | – | 50 | 0,99999 | 0,9999 (10 с) |
| г) спеціальні польоти, у т. ч. для розвідки корисних копалин, пошукових та рятувальних робіт, аерофотозйомки тощо | – | 1 ... 10 | 0,999999 | 0,9999 (10 с) |

Б.7.2.2. Системи посадки

Питання розвитку нових технологій посадкових систем буде вирішуватися на завершальних етапах реалізації програми розвитку радіонавігації. Основні зусилля треба спрямувати на резервування радіотехнічних засобів посадки ILS/DGPS. У міру розвитку мережі ультракороткохвильових радіостанцій диференціальних поправок та за позитивного досвіду їх експлуатації можливий перехід на DGPS/ILS, де ILS буде виконувати резервну функцію.

Зі швидким розвитком супутникових технологій, що стало можливим унаслідок створення систем ГЛОНАСС та GPS, більш імовірним стає той факт, що системи MLS поступаються місцем супутниковим системам посадки у багатьох країнах Європи. Унаслідок цього ПК України (включаючи літаки іноземного виробництва), що уніфіковані до вимог сумісності бортового та наземного обладнання засобів посадки, потрібно орієнтувати на наявні в багатьох аеропортах України категорійні засоби ILS та поступово розгорнути системи ILS. З цією метою можна рекомендувати розміщення майбутніх радіостанцій диференціальних поправок здебільш у регіонах з насиченим рухом ПК та в районах міжнародних аеропортів України: Борисполя, Сімферополя, Одеси, Донецька, Дніпропетровська, Харкова, Львова, Кривого Рогу, Миколаєва, Вінниці, Маріуполя, Івано-Франківська.

Б.7.2.3. Вимоги до навігаційних характеристик (RNP)

Безперервне зростання обсягів авіаперевезень спричиняє зростання вимог до пропускнув здатності повітряного простору і потребує його оптимального використання. Ці фактори, зокрема підвищення ефективності забезпечення експлуатації за рахунок використання оптимальних маршрутів, а також підвищена точність сучасних навігаційних систем створили умови для появи концепції RNP.

Концепція потрібних навігаційних характеристик RNP визначає характеристики засобів навігації у межах певного району повітряного простору і тому впливає як на повітряний простір, так і на ПК. Спеціальний комітет ІКАО з майбутніх аеронавігаційних систем визначив, що широко використовуваний у минулому традиційний спосіб для забезпечення необхідних навігаційних можливостей ґрунтувався на обов'язковій наявності певного складу обладнання.

Такий підхід обмежував оптимальне застосування сучасного бортового обладнання. Крім того, з появою навігаційних супутників та подальшого використання цього методу навігації виникає складне завдання вибору обладнання. Для його розв'язання ICAO розробила концепцію RNP.

Вони призначені характеризувати повітряний простір за допомогою показника точності дотримання навігаційних характеристик (типу RNP), який повинен забезпечуватися у межах цього повітряного простору. Тип RNP визначає точність дотримання навігаційних характеристик усіма споживачами та за всіх сполучень навігаційних систем у межах деякого повітряного простору. Характеристики RNP можуть встановлюватися для маршруту, ряду маршрутів, району, обсягу повітряного простору. Вони обираються фахівцями з повітряного планування або повноважними органами. Установлені RNP при цьому будуть визначати необхідний рівень бортового обладнання та інфраструктуру повітряного простору.

Усього визначено шість типів RNP для польотів по маршруту за точністю дотримання навігаційних характеристик з імовірністю 0,95:

- ✓ RNP1 = 1,85 км (1,0 миля);
- ✓ RNP4 = 7,40 км (4,0 милі);
- ✓ RNP5 = 9,20 км (5,0 миль);
- ✓ RNP10 = 18,50 км (10,0 миль);
- ✓ RNP12,6 = 23,30 км (12,6 милі);
- ✓ RNP20 = 37,00 км (20,0 миль).

Тип RNP1 передбачається для забезпечення найбільш ефективних польотів по маршрутах ОПР у результаті використання найбільш точної інформації про місцеперебування, а також для забезпечення польотів та організації повітряного простору при переході із зони аеродрому до необхідного маршруту й у зворотному порядку.

Типи RNP4 та RNP5 передбачаються для маршрутів ОПР і схем повітряного простору, що базуються на обмеженій відстані між навігаційними засобами. Цей тип передбачено для використання у континентальному повітряному просторі.

Типи RNP10 та RNP12,6 забезпечують обмежену оптимізацію маршрутів у районі зі зниженим рівнем забезпечення навігаційни-

ми засобами у будь-якому контрольованому повітряному просторі та у будь-який час.

Тип RNP20 – це мінімальний рівень, що повинен забезпечуватися будь-якою ОПР у будь-якому контрольованому повітряному просторі у будь-який час. Потрібні навігаційні характеристики (RNP) для посадки наведено у табл. Б.7.3.

Таблиця Б.7.3

**RNP для операцій заходження на посадку, посадки і вильоту
(одиниці точності та інтервали дотримання, що входять до системи СІ)**

| Тип RNP Готовність | Типова операція | Точність з імовірністю 0,95 (бокова/вертикальна площини), м | Інтервал дотримання (бокова/вертикальна площини), м | Цілісність | Безперервність та критичний час |
|-------------------------------------|--|---|---|--|---|
| <u>RNP1</u> (СМ Дос. 9613) | Політ по маршруту і перехід до етапу заходу на посадку та етап вильоту | ±1853 | ±1855 | 10 ⁻⁴ /год | 10 ⁻³ /год |
| <u>RNP 0,5</u> 0,95 | Початкова ділянка заходу на посадку, виліт | ±926 | ±1853 | 10 ⁻⁵ /год | 10 ⁻⁴ /год |
| <u>RNP 0,3</u> 0,95 | Початкова або проміжна ділянка заходу на посадку, неточний захід на посадку, виліт | ±556 | ±1112 | 10 ⁻⁵ /год | 10 ⁻⁴ /год |
| <u>RNP 0,3/125</u> 0,95 | Захід на посадку за приладами з наведенням у вертикальній площині | ±556/38 | ±1112/76 | 10 ⁻⁵ /год | 10 ⁻⁴ /год |
| <u>RNP 0,03/50</u> 0,9975 | Точний захід на посадку по НАТ – 100 м (350 фут) (забезпечує операції категорії 1) | ±56/15 | ±167/46 | 13,5·10 ⁻⁷ (протягом будь-якої однієї операції) час видачі попередження – 6 с | 10 ⁻⁵ (у будь-який період 15 с) |

Закінчення табл. Б.7.3

| Тип RNP Готовність | Типова операція | Точність з імовірністю 0,95 (бокова/ вертикальна площини), м | Інтервал до-тримання (бокова/вертикальна площини), м | Цілісність | Безперервність та критичний час |
|-------------------------------------|---|--|--|--|--|
| <u>RMP37</u> M | Точний захід на посадку по НАТ 60 м (200 фут) (забезпечує операції по категорії 1) | ±37/12 | ±111/47 | $1 \dots 3,5 \cdot 10^{-7}$ (протягом будь-якої однієї операції) час до видачі попередження – 6 с | $1 \dots 1 \cdot 10^{-5}$ (у будь-який період 15 с) |
| <u>RNP0,0</u> 1/15 0,9985 | Точне заходження на посадку по НАТ 30 м (100 фут) (забезпечує операції по категорії 2) | ±19/5 | ±56/14 | $1 \dots 2,5 \cdot 10^{-9}$ (протягом будь-якої однієї операції) час до видачі попередження – 1 с | $1 \dots 6 \cdot 10^{-5}$ (у будь-який період 15 с) |
| <u>RNP</u> <u>0,003</u> 0,999 | Точне заходження на посадку по НАТ менше 30 м (100 фут), посадка та виліт, а також наведення при пробігу (забезпечує операції по категорії 3) | ±6 м включає вимоги до торкання, пробігу та розбігу при зльоті | ±17 | $1 \dots 2 \cdot 10^{-9}$ (протягом будь-якої однієї операції) час видачі попередження – 1 с | $1 \dots 6 \cdot 10^{-5}$ (у будь-який період 30 с) |

Б.7.2.4. Додаткові засоби радіонавігації

Виходячи з концепції технології літакобудування, яка передбачає резервування для забезпечення безпеки польоту по маршруту, слід збагнути, що одного принципового засобу позиціонування для магістральних ПК недостатньо. Окрім цього, українські авіакомпанії мають парк ПК, які не потребують високоточного місцевизна-

чення (ПК 3-го та 4-го класів) і які мають штатне обладнання в обсязі радіотехнічних засобів. Тому доцільно доукомплектувати діючі повітряні траси України, особливо міжнародні повітряні траси, радіотехнічними засобами ультракороткохвильового діапазону, зокрема маяками VOR та DME. На користь вибору саме цього типу наземних РТЗ говорить те, що вони за бортовим обладнанням ПК, які виконують рейси міжнародними повітряними лініями, сумісними з наземним обладнанням майже всіх регіонів, куди літають ПК України. За оцінкою закордонних фахівців – користувачів цих радіонавігаційних систем – маяки VOR/DME характеризуються високим показником «вартість–ефективність».

Основними принципами розміщення цих засобів, враховуючи вимоги споживачів ПК та рекомендації ICAO щодо організації забезпечення повітряних трас радіотехнічними засобами, є:

- ✓ розміщення кутомірних систем (VOR) на лінії маршруту для необмеженого їх використання споживачем навігаційної інформації;
- ✓ прокладання повітряних трас і відповідно обладнання їх радіотехнічними засобами поза зонами аеродромів, тим більше міжнародних, з великою інтенсивністю руху;
- ✓ визначення кількості маяків VOR/DME з урахуванням їх оптимального розташування для якомога повнішого вирішення завдань навігації та безпеки повітряного руху.



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Андрусяк І. І.* Мережа авіаційного електрозв'язку / І. І. Андрусяк, В. С. Дем'янчук, Ю. М. Юр'єв. – К. : НАУ, 2001. – 448 с.
2. *Аэронавигационные радиотехнические системы: учебное пособие* / [А.П. Бамбуркин, В.Н. Неделько, С.Н. Неделько, М.И. Рубец]; под ред. М.И. Рубца. – Кіровоград : Изд-во ГЛАУ, 2002. – 520с.
3. *Жилин В. А.* Международная спутниковая система связи ИНМАРСАТ / В. А. Жилин. – М. : Транспорт, 1988. – 158 с.
4. *Радиоэлектронное оборудование* / В. А. Болдин, Г. И. Горгонов, В. Д. Коновалов [и др.]; под ред. В. М. Сидорина. – М. : Воениздат, 1990. – 288 с.
5. *Приложение 10 к Конвенции ИКАО. Авиационная электросвязь.* – Т.3. – Монреаль: ИКАО, 1995. – 334 с.
6. *Спутникові системи авіаційного зв'язку* / [В. П. Харченко, С. М. Паук, Л. М. Нестерова, Є. А. Бабак]. – К. : НАУ, 2003. – 204 с.
7. *Харченко В. П.* Аеронавігація : навч. посіб. / В. П. Харченко, Ю.В. Зайцев. – К. : Книжкове вид-во НАУ, 2008. – 272 с.
8. *Теорія аерокосмічного зв'язку: методичні рекомендації до виконання курсової роботи* / уклад. Ю. М. Барабанов. – К. : НАУ, 2005. – 56 с.
9. *Махов М. Е.* Радиостанция Р-863 : учеб. пособ. / М. Е. Махов, Н. А. Михалочкин. – К. : КВВАИВУ, 1982. – 93 с.
10. *Ярлыков М. С.* Статистическая теория радионавигации. – М. : Радио и связь, 1985. – 344 с.
11. *Основы радионавигации* / Л. С. Беляевский [и др.]. – М. : Транспорт, 1991. – 287 с.
12. *Михалочкин Н. А.* Автоматический радиокompасАРК-22 / Н. А. Михалочкин, Ю. А. Картавых. – К. : КВВАИУ, 1988. – 64 с.
13. *Михалочкин Н. А.* Авиационные радионавигационные устройства и системы: практикум / Н. А. Михалочкин, В. В. Гелетуха, Б. М. Лукьяненко. – К. : КИ ВВС, 1994. – 121 с.

Навчальне видання

ХАРЧЕНКО Володимир Петрович
БАРАБАНОВ Юрій Миколайович
МІХАЛОЧКІН Микола Андрійович

СИСТЕМИ ЗВ'ЯЗКУ ТА НАВІГАЦІЇ

Навчальний посібник

Редактор *Р.М. Шульженко*
Технічний редактор *А.І. Лавринович*
Коректор *О.О. Крусь*
Комп'ютерна верстка *Н.С. Ахроменко*

Підп. до друку 09.04.09. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс. друк. Ум. друк. арк. 12,09. Обл.-вид. арк. 13,0.
Тираж 100 пр. Замовлення № 95-1.

Видавництво Національного авіаційного університету «НАУ-друк»
03680. Київ – 58, проспект Космонавта Комарова, 1

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 977 від 05.07.2002