

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних інформаційних технологій

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Аліна САВЧЕНКО

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

*ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ*

*«МАГІСТРА»*

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ “ІНФОРМАЦІЙНІ  
УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ”

**Тема: «Інформаційна система повітряного руху»**

**Виконавець:** Балибердін Богдан Олександрович

**Керівник:** д.т.н., проф. Моржов Володимир Іванович

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ Ігор РАЙЧЕВ

**Київ 2021**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії

Кафедра Комп'ютерних інформаційних технологій

Галузь знань, спеціальність, освітньо-професійна програма: 12  
“Інформаційні технології”, 122 “Комп'ютерні науки”, “Інформаційні управляючі  
системи та технології”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Аліна САВЧЕНКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи студента

Балибердіна Богдана Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. 1. Тема роботи:** «Інформаційна система повітряного руху» затверджена

наказом ректора від 12.10.2021 за № 2228/ст.

**2. Термін виконання роботи:** : з 12.10.2021 по 31.12.2021.

**3. Вихідні дані до роботи:** розробити модель структури інформаційної системи  
корпоративного типу для автоматизованої системи управління повітряним рухом.

**4. Зміст пояснювальної записки:** вступ, аналітичний огляд і постановка завдання,  
структура інформаційно-обчислювальної системи в організації повітряного руху,  
надійність інформаційних систем, висновок.

**5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу:** комплекс технічних  
средств, забезпечующих повний об'єм рішення задач організації управління  
повітряним рухом, склад обладнання підсистеми засобів передачі, прийому та  
обробки інформації, Багаторівнева модель мережі управління повітряним рухом,  
структура автоматизованих робочих місць, магістральна мережа автоматизована  
система управління повітряним рухом.

## 6. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання етапів	Підпис керівника
1.	Проаналізувати літературу та джерела за темою дипломного проекту.	12.10.2021 – 15.10.2021	
2.	Розроблення та затвердження плану дипломного проекту.	16.10.2021 – 19.10.2021	
3.	Провести консультації з науковим керівником щодо створення першого розділу.	20.10.2021 – 24.10.2021	
4.	Розробка розділу 1	25.10.2021 – 31.10.2021	
5.	Розробка розділу 2	01.11.2021 – 07.11.2021	
6.	Розробка розділу 3	08.11.2021 – 17.11.2021	
7.	Висновки та оформлення пояснювальної записки дипломного проекту.	18.11.2021 – 01.12.2021	
8.	Підписання необхідних документів у встановленому порядку.	02.12.2021 – 11.12.2021	
9.	Підготовка до захисту та попередній захист дипломного проекту на випусковій кафедрі дипломного проекту	12.12.2021 – 20.12.2021	

**7. Дата видачі завдання:** 12.10.2021р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Моржов Володимир  
(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис випускника)

Богдан БАЛИБЕРДІН  
(П.І.Б.)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Інформаційна система повітряного руху» складається із вступу, трьох розділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел і містить 96 сторінок, 18 малюнків, 6 таблиць.

**Об'єктом дослідження** є структура інформаційної системи корпоративного типу для автоматизованої системи управління повітряним рухом

**Предмет дослідження:** є розробка та організації підсистеми засобів передачі, прийому та обробки інформації в процесі управління повітряним рухом.

**Мета роботи:** розробка структури корпоративного типу для автоматизованої системи управління повітряним рухом

**Методи дослідження.** У дипломній роботі застосовувалися методи математичної статистики, математичне моделювання.

**Ключові слова:** ОРГАНІЗАЦІЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ, УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ, СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ, ЛОКАЛЬНО ОБЧИСЛЮВАЛЬНА МЕР, ПІДСИСТЕМА ЗАСОБІВ ПЕРЕДАЧІ, ПРИЙОМУ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ, НАДІЙНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 . АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1. Перспектива вдосконалення національної системи організації повітряного руху .....	11
1.1.1. Система зв'язку.....	14
1.1.2. Система навігації.....	15
1.1.3. Система спостереження.....	21
1.1.4. Автоматичне залежне спостереження.....	24
1.2. Основні цілі і задачі створення сучасної системи організації повітряного руху .....	29
1.3. Системи організації зв'язку.....	41
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1 .....	44
РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНО – ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ .....	46
2.1. Узагальнена структура системи навігації і управління повітряним рухом .....	46
2.2. Аналіз вихідних даних для побудови інформаційно–обчислювальної системи.....	52
2.3. Принципи побудови і особливості інформаційно – обчислювальних систем .....	55
2.4. Рекомендації по вибору вигляду і структури інформаційно – обчислювальної системи .....	61
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2 .....	76
РОЗДІЛ 3. НАДІЙНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	77
3.1. Основні поняття теорії надійності інформаційних систем.....	77

3.2. Критерії надійності інформаційних систем. ....	79
3.3. Методи аналізу надійності інформаційних систем .....	81
3.4. Аналіз багатоканальної системи масового обслуговування з відмовами. ....	82
3.5. Надійність диспетчерського пункту системи управління повітряним рухом .....	87
3.6. Надійність диспетчерського пункту системи управління повітряним рухом .....	87
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3 .....	93
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	95

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АТМ - Asynchronous Transfer Mode (Асинхронний режим передачі)

СNS / АТМ - система зв'язку, навігації, спостереження / організації повітряного руху

DWDM - Dense Wave Division Multiplexing (щільно хвильове мультиплексування)

EATCHIP - програма уніфікації та інтеграції Європейських систем УПС

GNSS - глобальна навігаційна супутникова система

OSI - взаємозв'язок відкритих систем

SDH - Synchronous Digital Hierarchy (синхронна цифрова ієрархія)

WGS-84 - Всесвітня геодезична система координат 1984 року

АРМ- автоматизоване робоче місце

АСУ КП - автоматизована систем управління критичного застосування

ГЛОНАСС - Глобальна навігаційна супутникова система

Євроконтроль - Європейська організація з безпеки аеронавігації

ІКАО - Міжнародна організація цивільної авіації

ІСО - Міжнародна асоціація по стандартизації

КСН - комплексних систем навігації

ЛВС- локально обчислювальна мережа

НР (НКД)-Підсистема спостереження і контролю руху

НР- наземний рух

ОПП - організації повітряного простору

ОППР - організації потоків повітряного руху

ОПР - обслуговування повітряного руху

ОрПР - організація повітряного руху

ПП - повітряний простір

ПР- повітряний рух

ПС - повітряне судно

СКБД -системи керування базами даних

СНД - Співдружність Незалежних Держав

СППОІ - Підсистема засобів передачі, прийому та обробки інформації

СРЧ - систем реального часу

УПР - управління повітряним рухом

УПР- управління повітряним рухом

ЦА - цивільна авіація



## ВСТУП

Сьогодні організація повітряного руху це сучасні системи зв'язку, навігація і високоякісні системи обробки інформації. Вони дають можливість підвищувати якість завдань, які розробляються для підвищення безпеки в системах організації повітряного руху.

Такі системи дають можливість збільшити рівень БП на ешелонах, підвищити якість пропускнує спроможності будь-якого аеропорту. А також скоротити затримки ПС, знизити рівень витрат на всі види обслуговування експлуатанта ПС як в піднебінні, так і на землі. Всі ці завдання можна вирішити упроваджуючи автоматизовані процеси в організацію підвищення безпеки польотів в цивільній авіації.

Вирішення зазначених завдань здійснюватиметься шляхом автоматизації процесів організації повітряного простору, обслуговування польотів, що включає їх планування і безпосереднє управління, а також організацію потоків повітряного руху.

Головне завдання обслуговування повітряного руху полягає в запобіганні зіткнень між повітряними судами при рулінні на площині маневрування, на зльоті, посадці, вході польоту за маршрутом або в зонах очікування в районах аеродромів призначення.

Для вирішення пов'язаних з цими областями завдань становища ІКАО передбачає створення центрів польотної інформації і органів управління повітряним рухом.

У Додатку 11 до Чиказької конвенції визначені елементи обслуговування повітряного руху та приведені Міжнародні стандарти та Рекомендована практика, застосовні до надання цього обслуговування.

В даний час спостерігається тенденція оновлення технічної бази забезпечення польотів у цивільній авіації, а саме надходження на експлуатацію нових типів автоматизованих систем (АС) управління повітряним рухом (УВС), а також різноманітних засобів так званої «малої» автоматизації.

Автоматизованими засобами УВС обладнані районні центри УВС і аеропорти аеронавігаційних підприємств, що діють на території Росії. У центрах УВС цих підприємств на експлуатації перебувають засоби автоматизації УВС, призначені для оснащення районів з високою інтенсивністю повітряного руху (ІВД), включаючи об'єднані райони Єдиної системи (ЄС) організації повітряного руху (ОрПР) і райони аеродромів (РА), а також районів УВС (РУВД) і РА з середньою і низькою інтенсивністю польотів.

Якість функціонування засобів автоматизації УВС визначається сукупністю їх властивостей, які характеризують здатність цих коштів виконувати певні функції відповідно до їх призначення. В процесі експлуатації на підтримку працездатності засобів автоматизації УВС витрачаються великі кошти.

У процесі створення, випробувань, введення в дію та експлуатації засобів автоматизації УВС не в повному обсязі враховуються діючі нормативні документи, а також особливості побудови та оцінки надійності автоматизованих систем, що представляють собою багатофункціональний апаратно-програмний комплекс. Сформована ситуація ускладнює взаємодію розробників, замовників і експлуатантів засобів автоматизації УВС. Значної частини витрат можна було б уникнути за рахунок раціональної організації робіт на етапі створення та експлуатації засобів автоматизації УВС.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1. Перспективи вдосконалення національної системи організації повітряного руху

Для розвитку транспортної системи України з урахуванням її географічного положення, необхідно орієнтуватися на європейські стратегії. Це положення повною мірою стосується повітряного транспорту [1]. Україна підписана «Рішення про концепцію гармонізації національних систем організації повітряного руху», яке набула чинності 19 вересня 2003 року. Ця концепція у всіх аспектах тісно пов'язана з підходами європейських організацій, відповідальних за організацію повітряного руху на міжнародному рівні.

Нові системи зв'язку, навігації та спостереження, а також використання високопродуктивних засобів обробки і відображення інформації забезпечать істотне розширення можливостей і якість розв'язуваних завдань в перспективних системах організації повітряного руху [2].

Ці системи дозволять значно підвищити рівень безпеки польотів та пропускної спроможності повітряного простору, раціональний розподіл і використання пропускної здатності аеропортів, скорочення затримок ПС в повітрі і на землі, а також скорочення експлуатаційних витрат на виробництво та обслуговування польотів, ефективно і гнучке використання повітряного простору за рахунок скорочення інтервалів ешелонування, динамічне планування і використання оптимальних профілів польотів, зниження робочого навантаження диспетчерів і підвищення їх продуктивності.

Вирішення зазначених завдань буде здійснюватися шляхом автоматизації процесів організації повітряного простору, обслуговування польотів, що включає

Кафедра КІТ (47)				НАУ 21 22 83 000 ПЗ			
Виконав	Балибердін Б.О			1.АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	Літера	аркуш	аркушів
Керівник	Моржов В.І.					11	35
Консульт.					УС-212М 122 --		
Н. контроль	Райчев І.Е.						

їх планування і безпосереднє управління, а також організацію потоків повітряного руху.

Головна задача обслуговування повітряного руху полягає в запобіганні зіткнень між повітряними судами при рулінні на площині маневрування, на злеті, посадці, в ході польоту за маршрутом або в зонах очікування в районах аеродромів призначення.

Для вирішення пов'язаних з цими областями завдань положення ІКАО передбачає створення центрів польотної інформації та органів управління повітряним рухом.

У Додатку 11 до Чиказької конвенції визначені елементи обслуговування повітряного руху та наведено Міжнародні стандарти та Рекомендована практика, застосовні до надання цього обслуговування [3].

Погляди і підходи Європейської конференції цивільної авіації (ЄКЦА) та Європейської організації з безпеки аеронавігації ("Євроконтроль") до вдосконалення і гармонізації систем ОрПР в Європі викладені в документі "Стратегія ОрПР після 2000 року".

Раціональної складової розглянутої стратегії є представлення Європейського повітряного простору як єдиного континууму, що включає повітряні траси, зони підходу і аеропорти.

При цьому наголошується на необхідності одночасного розвитку повітряних трас і аеропортів. Продовжуватиметься об'єднання центрів ОрПР, а також перехід до приватного володіння та управління аеропортами. На основі використання сучасних технічних засобів до 2010 року планується реалізація гнучкої організаційної структури повітряного простору, що дозволить оперативно змінювати межі секторів УПР залежно від складання повітряної обстановки. Буде здійснена оптимізація повітряного простору, що забезпечує використання технології зональної навігації (так званий метод "вільних польотів").

В умовах очікуваного зростання інтенсивності повітряного руху, і насамперед міжнародного, необхідно покращувати координацію процесів ОрПР в державах - учасниках СНД не тільки на рівні національних, а й на рівні міждержавних органів, як це забезпечується в "Євроконтролі".

Держави Європи розпочали реалізацію зазначеної Концепції на основі виконання Програми EATCNP, спрямованої на гармонізацію та інтеграцію національних систем ОрПР, що входять в організацію "Євроконтроль". Завершення програми EATCNP істотно збільшило пропускну здатність повітряного простору "Євроконтролю".

Розробка єдиної технічної архітектури національних аеронавігаційних систем Технічна архітектура являє собою сукупність основних технічних засобів, визначених концепцією CNS / ATM, об'єднаних єдиною ідеологією побудови та управління, і забезпечує уніфіковану взаємодію систем і служб, що входять до складу аеронавігаційних систем. Метою розробки технічної архітектури є скоординований розвиток окремих елементів систем, забезпечення їх автоматизованої взаємодії та створення передумов для інтеграції національних аеронавігаційних систем в Європейську та світову аеронавігаційну інфраструктуру.

У стратегічному плані найбільш важливими проектами є розробка та впровадження концепції заданого рівня безпеки повітряного руху, методу обслуговування повітряного руху "від перону до перону" і методу "вільних польотів".

Концепцією аеронавігаційної системи "Євроконтролю" передбачається:

1. Управління повітряним судном на всіх етапах польоту від моменту початку його руху на зліт до моменту зарулювання на стоянку при посадці ("від перону до перону").
2. Оперативний вибір траєкторії руху ВС (маршруту польоту) на основі визначення раціонального балансу між споживачами використання ВП і фактичної ситуацією, що виникла при вирішенні задач ОрПР.
3. Спільне (диспетчер-пілот) прийняття рішень по УВС на основі діалогу між ними та оцінки інформації в реальному масштабі часу на всіх етапах польоту.
4. Організація гнучких секторів УПР, які забезпечують управління пропускну здатністю.
5. Спільне ІВП і УПР з боку представників військової і цивільної авіації.
6. Підвищення рівня автоматизації вирішення задач ОрПР.

Головною метою оптимізації ВП є надання максимальної свободи пересування для всіх користувачів, а також створення умов для ефективного управління пропускнуою здатністю. Передбачаються спеціальні заходи на загальноєвропейському, а також національних рівнях, пов'язані з переглядом відповідальності за використання ВП деяких існуючих центрів УПР. При оптимізації ВП враховуватимуться наступні чинники: скорочення мінімумів вертикального ешелонування, гнучке його використання, вдосконалення бортового навігаційного обладнання, а також використання зональної навігації.

Перспективна аеронавігаційна система базуватиметься на використанні сучасних систем зв'язку, навігації та спостереження, заснованих на супутникових технологіях, а також на застосуванні засобів автоматизації вирішення задач ОрПР.

### **1.1.1. Система зв'язку**

Повітряний зв'язок визнаний, в основному, працювати шляхом обміну цифровими даними, що набагато скорочує обсяг мовних повідомлень і зменшує навантаження, як на пілотів, так і диспетчерів. Використання мовного зв'язку збережеться в завантажених районах і при виникненні складних (аварійних) ситуацій.

В повітряного зв'язку будуть використовуватися канали рухомого повітряного супутникового зв'язку, дециметрового, метрового і короткохвильового діапазонів (для передачі мовних повідомлень), сантиметрового і дециметрового діапазонів (для передачі даних), а також вторинного радіолокатора, що працює в режимі S.

Зазначені кошти являють собою різні мережі, але в силу використання однакового протоколу доступу, вони будуть об'єднуватися в мережу авіаційного електрозв'язку, в структурі якої автоматично буде вибиратися "найкращий" маршрут для кожного повідомлення.

Основна інформація, що циркулює по наземним каналам зв'язку, буде представляти собою обмін даними, що містяться в стандартних або довільних

повідомленнях. Наземні канали зв'язку будуть також об'єднуватися в мережу авіаційного електрозв'язку за умови використання протоколу доступу OSI ICO.

### 1.1.2. Система навігації

Перспективна система навігації повинна забезпечувати можливість точного, надійного та безперервного визначення місця розташування літальних апаратів в будь-якій точці приземного повітряного простору з використанням супутникової системи аеронавігації GNSS.

Система GNSS базується на застосуванні супутникових систем GPS (США) і ГЛОНАСС (РФ), кожна з яких складається з 24 супутників. GPS (США) і ГЛОНАСС (РФ)

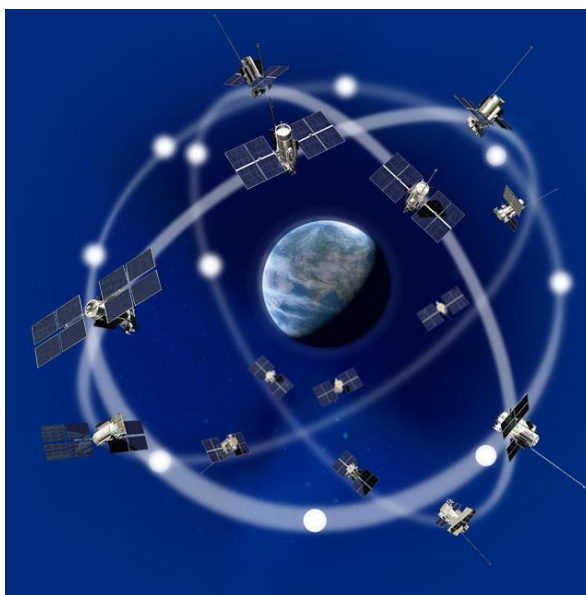


Рис. 1.1. Мережа навігаційних супутників навколо Землі

Глобальна Навігаційна Супутникова Система (ГЛОНАСС, GLONASS) - російська супутникова система навігації. На сьогодні в світі функціонують дві системи глобальної супутникової навігації: GLONASS і GPS. Основна відмінність від системи GPS в тому, що супутники ГЛОНАСС в своєму орбітальному русі не мають резонансу (синхронності) з обертанням Землі, що забезпечує їм більшу

стабільність. Таким чином, угруповання КА ГЛОНАСС не вимагає додаткових коригувань протягом усього терміну активного існування.



Рис.1.2. Розвиток структури ГЛОНАСС

ГЛОНАСС— радіонавігаційна супутникова система створена за підтримки уряду Російської Федерації. Розгортання системи у космосі буде зроблено за допомогою супутників «Глонасс-К» та «Глонасс-М» (ГЛОНАСС 2-го покоління).

Координати визначаються за принципом, узятим за аналогією американської системи глобального позиціонування GPS. Як альтернатива обом системам у Європі розробляється система Галілео.

Супутники системи ГЛОНАСС стало розповсюджують (передають) радіовипромінювання двох типів: навігаційний сигнал СТ діапазону L1 (1,6 ГГц) та навігаційний сигнал високої точності ВТ діапазонів L1 и L2 (1,2 ГГц).

Початок робіт по створенню системи ГЛОНАСС був покладений у грудні 1976 року.

В листопаді 2009 року було оголошено, що Науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань (Харків) та Російський науково-дослідний інститут космічного приладобудування (Москва) створять спільне підприємство. Партнери



створять систему супутникової навігації заради обслуговування споживачів на території двох країн.

Станом на середину квітня 2014 року система працює зі значними збоями, а тому в експлуатацію не прийнята, офіційно знаходиться у стадії розробки. Так 2 квітня 2014 року у системі ГЛОНАСС стався найзначніший збій у роботі за всю історію існування космічного угруповання. Проблеми почалися приблизно в 01.00 мск 2 квітня і тривали приблизно до полудня. За даними сайту ЦНДІМАШ, у зазначений відрізок часу всі 24 супутника системи ГЛОНАСС видавали некоректні дані, тобто система практично не працювала.

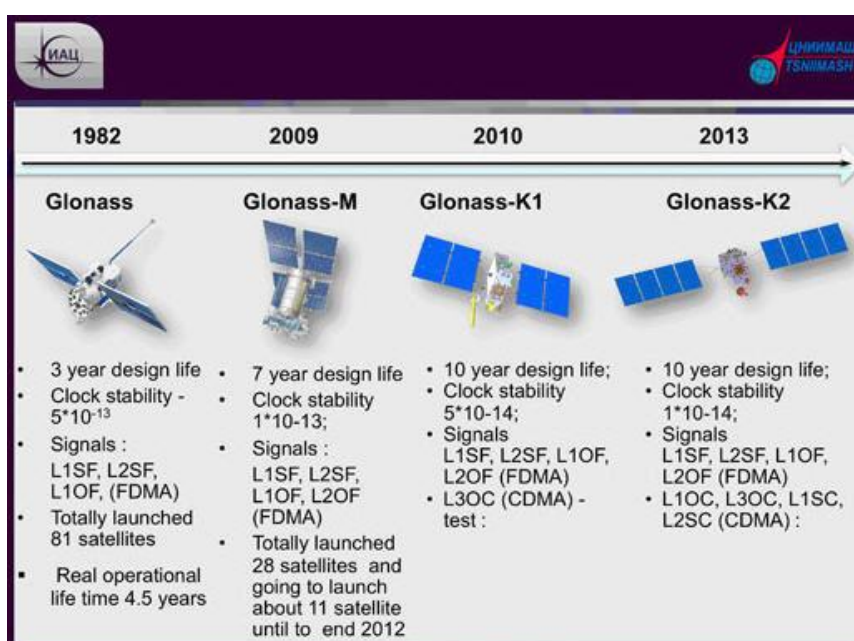


Рис.1.3. Еволюція Глонасс

Система навігації ГЛОНАСС призначена для оперативного навігаційно-часового забезпечення необмеженого числа користувачів. Завдяки ГЛОНАСС можна здійснювати супутниковий моніторинг наземного, морського і повітряного транспорту. Доступ до цивільних сигналів навігації ГЛОНАСС в будь-якій точці земної кулі, на підставі указу Президента РФ, надається російським та іноземним споживачам на безоплатній основі та без обмежень.

Завдяки ГЛОНАСС можна здійснювати не тільки навігацію, але і супутниковий моніторинг транспорту. Так 29 січня 2009 було оголошено, що першим містом Росії, де громадський транспорт в масовому порядку буде

оснащений системою моніторингу об'єктів на базі ГЛОНАСС, стане Сочі. З метою контролю транспорту ГЛОНАСС-обладнання виробництва компанії «М2М Телематика» було встановлено тоді на 250 сочинських автобусів. Очікується, що завдяки Постанові уряду Російської Федерації від 27.11.2011 («про обов'язкове оснащення пасажирських транспортних засобів модулями ГЛОНАСС / GPS») угруповання стане ще більш популярною.



Рис. 1.4. Глонас/GPS

Система GPS (Global Positioning System) створювалася для застосування у військових цілях. Вона почала працювати наприкінці 80-х - початку 90-х років, однак до 2000 року штучні обмеження на визначення місця розташування істотно стримували її можливості використання в цивільних цілях. Після скасування обмежень на точність визначення координат помилка знизилася з 100 до 20 м (в останніх поколіннях GPS-приймачів при ідеальних умовах помилка не перевищує 2 м). Такі умови дозволили використовувати систему для широкого кола загальних і спеціальних завдань:

- ✓ Визначення точного місця знаходження
- ✓ Навігація , рух по маршруту з прив'язкою до карти на основі реального місцезнаходження

✓ Синхронізація часу

Орбіти супутників системи GPS. Приклад видимості супутників з однієї з точок на поверхні Землі. Visible sat - це число супутників, видимих над горизонтом спостерігача в ідеальних умовах (чисте поле).



Рис. 1.5. Взаємодопнююча глобальна система позиціонування.

ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) — радіонавігаційна супутникова система створена за підтримки уряду Російської Федерації. Розгортання системи у космосі буде зроблено за допомогою супутників «Глонасс-К» та «Глонасс-М» (ГЛОНАСС 2-го покоління).

Координати визначаються за принципом, узятим за аналогією американської системи глобального позиціонування GPS. Як альтернатива обом системам у Європі розробляється система Галілео.

Супутники системи ГЛОНАСС стало розповсюджують (передають) радіовипромінювання двох типів: навігаційний сигнал СТ діапазону L1 (1,6 ГГц) та навігаційний сигнал високої точності ВТ діапазонів L1 и L2 (1,2 ГГц).

Основою системи є 24 супутники NAVSTAR (Navigation Satellite Time and Ranging), що працюють в єдиній мережі, які знаходяться на шести різних кругових орбітах розташованих під кутом 60° один до одного таким чином, щоб з

будь-якої точки земної поверхні було видно від чотирьох до дванадцяти таких супутників. На кожній орбіті знаходиться по 4 супутники, висота орбіт приблизно дорівнює 20200 км, а період обертання кожного супутника навколо землі дорівнює 12 годин.

Сьогодні на орбіті працюють 24 супутника ГЛОНАСС, вони охоплюють навігаційним сигналом всю земну кулю.

Новітні споживчі пристрої використовують GPS і ГЛОНАСС як взаємодоповнюючі системи, підключаючись до найближчих знайдених супутникам, це значно збільшує швидкість і точність їх роботи.

**Приклад:** Автомобільні GPS / ГЛОНАСС-навігаційно-зв'язне пристрій на базі ОС Android, розроблене на замовлення російського конструкторського бюро. Реалізована підтримка GSM / GPRS / 3G. Пристрій автоматично оновлює інформацію про дорожню обстановку в режимі реального часу і пропонує водієві оптимальний маршрут з урахуванням завантаженості доріг.

Успішне використання глобальної супутникової навігації передбачає застосування єдиної геофізичної системи координат, в якості якої була прийнята в ІКАО (1998 г.) система WGS-84, всі інші системи координат, що існують в даний час, мають бути приведені у відповідність з вказаною.

Перспективна система навігації в сукупності з відповідними бортовими системами дозволяє реалізовувати концепцію вільного польоту (зональної навігації) повітряних суден, при якій вони можуть вибирати динамічну оптимальну траєкторію польоту, коректуючу при необхідності відповідними органами системи ОрПР.

До складу бортового обладнання, пов'язаного з вирішенням завдань зональної навігації, повинні входити: бортові датчики, що характеризують режими польоту НД, датчики координатної інформації (приймачі), база навігаційних даних про реалізовані і можливих маршрутах польотів, а також база даних про режими польотів ПС.

Устаткування зональної навігації забезпечить визначення місцеположення ПС, пройденої відстань уздовж лінії шляху, бічне відхилення і час польоту до обраної точки.

Перспективна навігаційна система може використовуватися для приводу ПС в зону дії точних посадочних засобів (наприклад, ILS), або безпосередньо для забезпечення їх посадки за умови установки в районі аеродрому відповідних коригувальних станцій.

### **1.1.3. Система спостереження**

Перспективна система автоматичного залежного спостереження базуватиметься на комплексному використанні нових бортових навігаційних засобів, що забезпечують досить точне і надійне визначення місцеположення ПС в реальному масштабі часу, а також на використанні каналів передачі даних, що дозволяють цю інформацію транслювати до відповідних органів управління повітряним рухом. Разом з цим будуть також використовуватися ВРЛ, що працюють в режимі S, в районах аеродромів і континентальному повітряному просторі з високою щільністю польотів.

В перспективній системі спостереження крім координат, що характеризують місце розташування ПС, передаватимуться дані, що видаються системою управління польотом (курс, швидкість, висота і т.п.), що дозволить значно підвищити ефективність і якість вирішення завдань планування і безпосереднього управління повітряним рухом, а також рівень безпеки польотів, т.к. прийняття відповідних диспетчерських рішень буде здійснюватися без участі людини на основі взаємодії бортових і наземних обчислювачів.

Крім того, інформація, одержувана в результаті автоматичного залежного спостереження, передаватиметься в режимі "радіомовлення" всім зацікавленим в ній користувачам, що дозволить також на її основі ефективно вирішувати ряд прикладних задач і, зокрема, завдання запобігання зіткнень ПС в повітрі і з наземними перешкодами.

Використання ADS в районах, де відсутня в даний час радіолокаційне обслуговування, швидко дає позитивний ефект.

У міру підвищення точності визначення місцеположення ПС на борту, а також надійності та достовірності передачі цієї інформації до органів ОрПР, існуючі засоби спостереження за повітряною обстановкою (ПРЛ, ВРЛ) будуть виключатися з процесу обслуговування повітряного руху.

Розробка комплексів автоматизації спостереження за повітряною обстановкою нового покоління почалася наприкінці 80-х - початку 90-х років. Роботи велися різними підприємствами і фірмами. У перелік вітчизняних розробок входили «Синтез КСА-УВС» (ВНДІРА, СПб), «Коринф» (Радар ГА, Москва), «Рядок-Ц» (РІМР, СПб), «Карм-ДРУ» (СПАС, Москва), «Топаз-2000» (ЛЕМЗ, Москва), «Норд» і «Альфа» (НІТА, СПб.).

Найбільш повний розвиток до теперішнього часу отримали такі системи, як «Топаз-2000», «Синтез» і «Альфа». На базі цих комплексів засобів автоматизації спостереження будуються автоматизовані системи (АС) УВС високого рівня. До найбільш відомих зарубіжним АС УВС слід віднести «EUROCAT 2000». Ряд принципів закладених в ній використаний при розробці АС УВС «Альфа».

Рівень надійності обладнання, що входить до складу АС УВС, для вирішення поставлених завдань повинен характеризуватися такими показниками: напрацювання на відмову - не гірше 6000 год.; коефіцієнт готовності - не менше 0.999.

Сучасний стан розвитку авіації характеризується інтенсивним впровадженням перспективних технологій цифрового зв'язку, супутникової навігації та комп'ютерного спостереження в інтересах організації повітряного руху, що в термінології ІКАО позначається аббревіатурою CNS / ATM. На рисунку 1.5 представлена система радіовещательного автоматического зависимого наблюдения (АЗН-В).

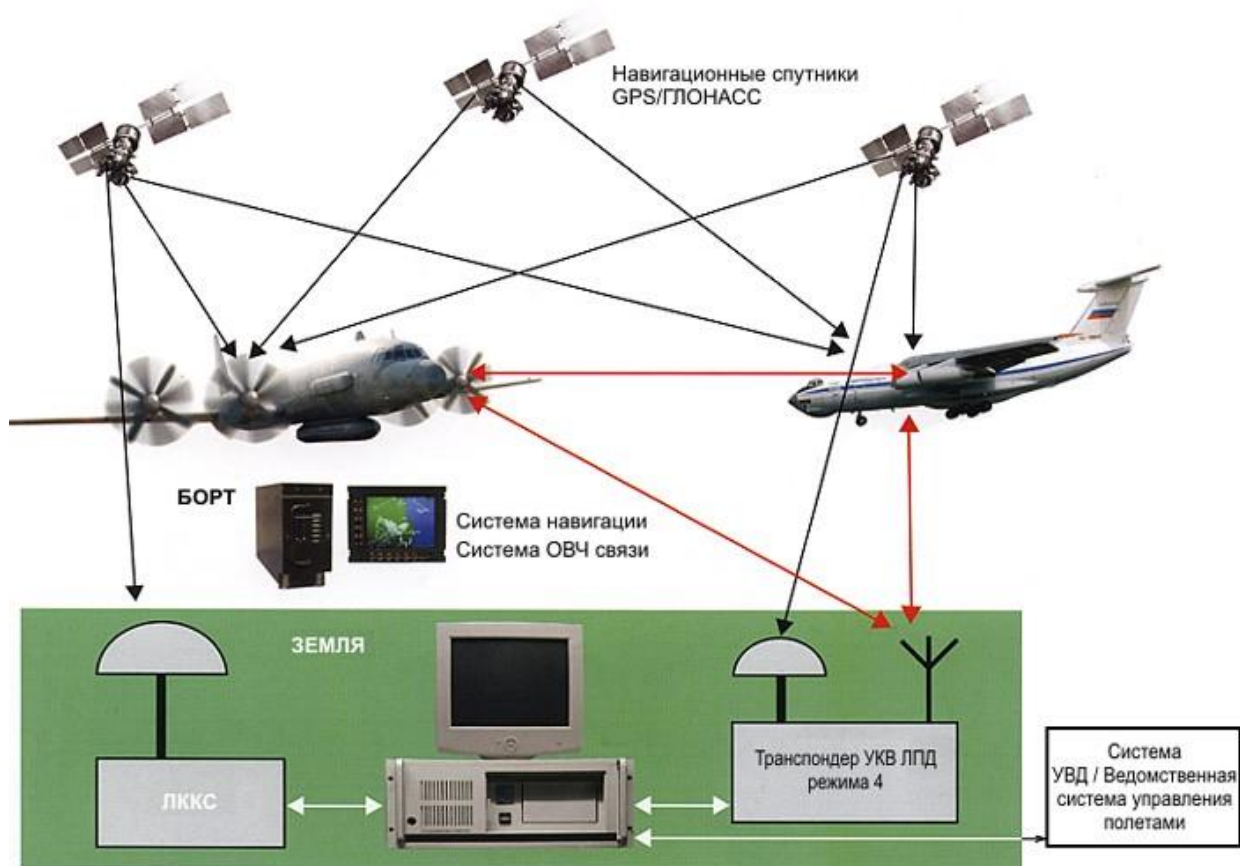


Рис.1.6. Система УПР

Система призначена для обміну по УКВ - радіоканалу інформацією про розташування ЛА за принципом «кожен з кожним» («борт-борт», «борт-земля», «земля-борт»). Навігаційні дані формуються за сигналами супутникових навігаційних систем ГЛОНАСС і GPS.

Система дозволяє:

- диспетчеру УВС / відомчої системи управління польотами мати повну і точну інформацію про становище, швидкості і наміри всіх ЛА в зоні видимості радіоканалу, а також передавати на ЛА додаткову інформацію;
- ЛА має повну картинку обстановки в повітряному просторі.

Бортовий комплект спорядження включає в себе:

- приймач (транспондер);
- індикатор повітряної обстановки (опція);
- антени.

Наземний комплекс спорядження системи включає в себе:

- приймач (транспондер);

- локальна контрольна-коригувальна станція (ЛККС) формування диференціальних поправок (опція);
- робоче місце диспетчера.

#### 1.1.4. Автоматичне залежне спостереження

В даний час в ІКАО розглядається безліч програм і проектів з підвищення ефективності повітряного руху. При цьому одним з найважливіших напрямків є впровадження технології автоматичного залежного спостереження (АЗН) за польотами НД і, зокрема, радіомовного автоматичного залежного спостереження (АЗН-В). Воно засноване на застосуванні лінії цифрової передачі даних про координати всіх учасників руху в повітрі та на землі, про їх наміри і про точностних параметрах переданих даних (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Автоматическое зависимое наблюдение (АЗН) с ДВЧ - каналом

Точність і надійність обчислення координат НД визначається супутниковою навігаційною системою з використанням диференціального режиму.

Відповідно до концепції ІКАО впровадження АЗН-В забезпечує: - надання всім учасникам руху точних бортових даних для використання їх в обчислювачах (бортових і наземних) в службах УВС і авіакомпаній; - Забезпечення екіпажу



більш точною, ніж радіолокаційна, інформацією про поточну обстановку повітряного руху та про найближчі плани учасників руху; - Надання інформації більш точною, більш оперативної та більш надійною, ніж мовна інформація. Технічні комітети і комісії ІКАО розглядають можливість впровадження технології АЗН-В на основі використання декількох конкуруючих каналів передачі даних. Після циклу робіт, виконаних російськими учасниками, ГСГА Росії вибрала в якості носія даних УКВ лінію передачі даних (ЛПД) режиму 4, що одержала широке поширення в Європі. Бортова апаратура ЛПД режиму 4 складається (в автономній конфігурації) з двох блоків: - блок транспондера (рис. 1.8), що складається з модуля УКВ приймача-, модуля зв'язкового процесора і модуля навігаційного ГЛОНАСС / GPS приймача, який при наявності штатного зовнішнього бортового приймача може бути відсутнім ; - Блоку індикатора повітряної обстановки (рис. 1.8), який забезпечує інтерфейс «пілот-система АЗН-В».

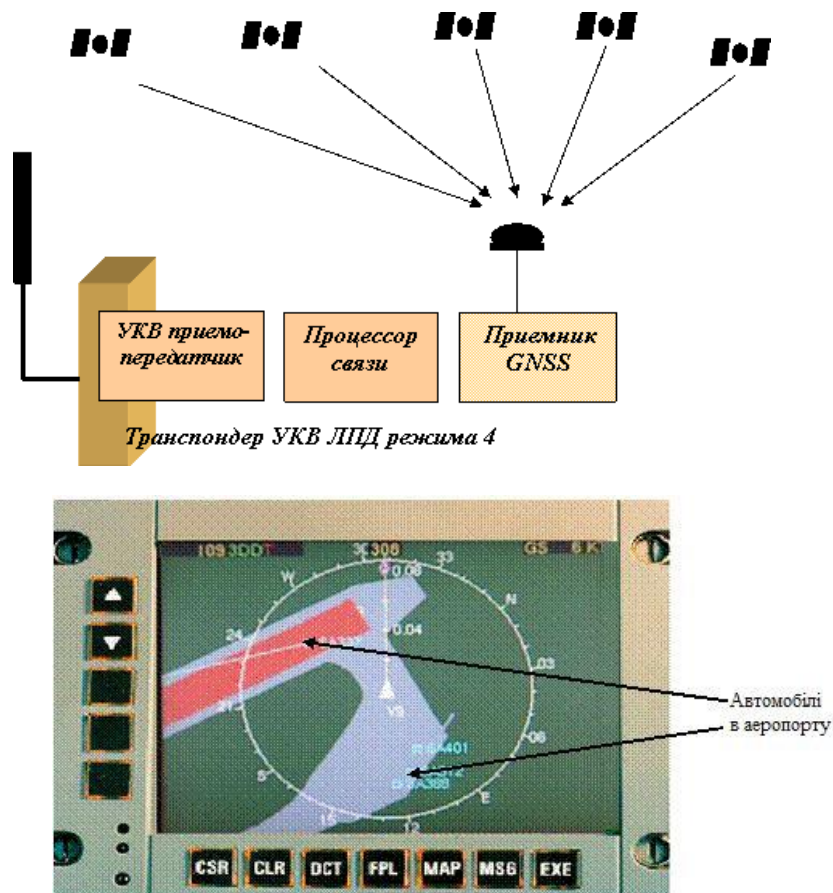


Рис. 1.8. Блок с УКВ ЛПД режима 4

Исследования по внедрению АЗН-В на основе УКВ ЛПД режима 4 наиболее интенсивно осуществляются в Европе. В 1995-1998 г.г. были проведены основные исследования прототипа системы, которые завершились построением сети АЗН-В, охватывающей Швецию, Данию, Бельгию, Германию, Италию, Испанию и часть Франции. В 1998 году начата аттестация системы, которую предполагается завершить в 2001 году. До 2005 года Евроконтроль предполагает реализовать некоторые предварительные варианты системы АЗН-В для Европы. В России активные работы по внедрению технологии АЗН-В на основе применения УКВ ЛПД режима 4 начались в 1998 году. Были выполнены демонстрационные и исследовательские полеты российских самолетов и вертолетов как в России, так и за рубежом.

Система “Альфа” является комплексом технических средств, обеспечивающих полный объем решения задач организации УПР. При этом входящие в состав системы функциональные модули (блоки) являются самостоятельными законченными изделиями, пригодными для отдельных поставок.

В склад системы “Альфа” входят:

- ✓ апаратура сполучення і обробки і інформації
- ✓ засоби відображення динамічної повітряної обстановки
- ✓ групове і індивідуальне обладнання локально обчислювальної системи мережі
- ✓ система планування повітряного руху
- ✓ засоби технічної діагностики і документування
- ✓ система синхронізації
- ✓ пультове обладнання
- ✓ система диспетчерського зв'язку
- ✓ інформаційно-довідкова система
- ✓ диспетчерський тренажер

На рис 1.9 представлена архітектура системи «Альфа».



Рис. 1.9. архітектура системи «Альфа»

Система має модульну архітектуру, що дозволяє легко додавати нові робочі місця, а також зберігати працездатність в режимі скороченого складу технічних засобів при відмовах. Архітектура комплексу передбачає 100% резервування. Апаратура оснащується джерелами безперебійного живлення.

Всі робочі місця взаємозамінні. Кількість робочих місць не обмежена.

Відкрита архітектура дозволяє забезпечувати сполучення з будь-якими джерелами і споживачами польотної інформації - як з традиційними, так і перспективними.

Апаратна частина системи "Альфа" будується на базі стандартного устаткування, виробленого провідними фірмами, що спрощує експлуатацію, технічне обслуговування та подальшу модернізацію системи.

Система УПР "Альфа" забезпечує:

- ✓ багатовіконний графічний інтерфейс, відповідний сучасним вимогам

Євроконтролю

- ✓ відображення на екрані одночасно аналогової і цифрової траекторної і польотної інформації.
- ✓ Супровід цілей по первинному та вторинному каналу без обмеження їх кількості
- ✓ побудова згладжених траєкторій руху повітряних суден з об'єднанням даних від кількох джерел інформації (траекторная і мультисенсорная обробка)
- ✓ автоматичне введення в супровід НД при надходженні польотної інформації
- ✓ планування повітряного руху та супровід цілей в режимі "трек за планом" за відсутності польотної інформації
- ✓ прогнозування положення НД і сигналізація про потенційні конфлікти
- ✓ виявлення та сигналізація про конфліктні ситуації і порушення мінімальної безпечної висоти
- ✓ відображення даних радіопеленгах до чотирьох каналів одночасно
- ✓ відображення кольорової картографічної інформації
- ✓ обробка і відображення ознак лиха і аварійних ситуацій
- ✓ відображення на екрані одночасно аналогової і цифрової траекторної і польотної інформації
- ✓ автоматизоване узгодження між секторами УВС
- ✓ синхронізацію всіх систем комплексу від всесвітнього часу з високою точністю
- ✓ навчання і тренування диспетчерів для підвищення рівня професійної підготовки з використанням тренажерного модуля
- ✓ додаткові сервісні функції (записна книжка, спеціалізований калькулятор, сигналізація заданих за часом подій, довідкова інформація).

Система має блок технічного контролю та діагностики, що забезпечує централізоване управління всіма системами та оперативне резервування її структурних елементів.

Система "Альфа" здійснює документування процесів функціонування системи і переговорів по каналах УПР із забезпеченням можливості відтворення в прискореному і реальному масштабах часу.

"Альфа" надає можливість реєстрації даних для статистичного аналізу прогнозованих і опрацьованих потоків НД

Програмне забезпечення працює під управлінням операційної системи WindowsNT™.

## **1.2. Основні цілі і задачі створення сучасної системи організації повітряного руху**

Цілі створення інтегрованої АС ОВС полягають в наступному:

- забезпечення регулярності та ефективності, відповідних потребам всіх користувачів при забезпеченні існуючого і знову задаються (вищих) рівнів безпеки польотів;
- підвищення пропускної спроможності системи і повне використання ресурсів системи, виходячи з необхідності задоволення потреб повітряного руху;
- динамічний облік бажаних для користувачів трьох-і чотиривимірних траєкторій польотів;
- забезпечення польотів всіх типів повітряних суден і реалізація всіх можливостей бортового обладнання;
- більш оперативне і наочне забезпечення інформацією користувачів про погодні умови, особливостях повітряного руху, наявності коштів;
- поліпшення навігаційних засобів для впровадження вдосконалених процедур заходження на посадку і вильоту;
- більш активну участь користувачів у процесі прийняття рішень в рамках системи ОВС, включаючи комп'ютерний діалог "повітря-земля" для узгодження умов польоту;
- організація по можливості єдиного повітряного простору з урахуванням забезпечення і процедур організації повітряного руху;
- мінімізація затримок і часу очікування в повітрі спільно з витриманням графіків виконання польотів з метою формування раціональних потоків повітряного руху та ефективного використання повітряного простору та аеропортів;

- більш досконале стратегічне планування ОВС з метою зведення до мінімуму кількості конфліктних ситуацій між повітряними судами і маневрів з тактичного вирішення конфліктних ситуацій.

Досягнення зазначених цілей можливе тільки з використанням сучасних досягнень науки та космічної техніки. Нова система зв'язку, навігації та спостереження повинна усунути недоліки існуючих систем таким чином, щоб управління повітряним рухом максимально відповідало потребам експлуатантів. При цьому повинні забезпечуватися:

- Зв'язок, навігація і стеження в глобальному масштабі по дальності і висоті;
- Перехід до цифрової техніки зв'язку між бортовими і наземними системами з метою повного використання можливостей автоматизації систем;
- Навігаційне забезпечення заходу на посадку і фази підходу.

Характерними особливостями майбутньої системи ОВС, заснованої на новій технології, є наступне.

В галузі зв'язку:

- Можливість передачі даних і гучномовний зв'язок за допомогою супутників;
- Використання ОКБ мовного зв'язку в континентальних і центральних районах управління;
- Передача даних за допомогою ВОРЛ в режимі S в зонах з високою інтенсивністю повітряного руху.

В області навігації:

- Поступове застосування зональної навігації;
- Використання глобальної супутникової системи навігації, яка повинні забезпечувати вирішення задачі навігації, а також заходження на посадку середньої точності;
- Поступове виключення з експлуатації засобів NDB і VOR / DME;
- Обмеження використання систем OMEGA і LORAN-C-B галузі спостереження:
- Використання режимів A / C і S вторинних оглядових радіолокаторів в вузлових районах та в зонах з високою інтенсивністю руху:

- Використання автоматичного залежного спостереження (АЗН), яке в інших районах замінить первинні РЛС.

Потенційна пропускна здатність авіатрас і аеропортів може бути реалізована тільки за умови спільного виконання стандартів і рекомендацій практики. Це передбачає зниження мінімумів ешелонування, сумісних з критеріями безпеки, при забезпе-ванні вдосконаленої технології та відповідних коштів.

Метою є також забезпечення максимальної гнучкості при використанні повітряними судами оптимальних маршрутів і виборі висоти польоту. Це зажадає встановлення ліній передачі даних, що володіють більш високим рівнем надійності зв'язку між пілотом і диспетчером, а також між літаковими системами і автоматизованими системами ОВС.

Використовуючи стандарти, розраховані на перспективні системи, розробники зможуть скористатися функціональними можливостями системи для її нарощування. Для європейського континенту Цілі програми уніфікації та інтеграції Європейських систем ОВС на завершальному етапі наступні:

- Впровадження загальної функціональної моделі з інтегруванням бортових і наземних елементів;

- Розробка програм переходу на базі загальної моделі;

- Впровадження в певних районах вдосконалених систем на базі широкої автоматизації та поліпшеної передачі даних шляхом використання режиму S, супутникових глобальних навігаційних систем і авіаційної мережі електрозв'язку;

- Поширення вдосконалених систем на інші райони.

Очікувані результати застосування Європейської системи ОВС визначаються таким чином:

- Підвищення пропускнуої спроможності системи при забезпеченні заданого рівня безпеки польотів;

- Виконання польотів на базі єдиних принципів в рамках повітряного простору держав - членів організації, з тим, щоб на основі прийнятих домовленостей могла функціонувати єдина Європейська система;

- Забезпечення безперервності ОВС і необхідного рівня безпеки повітряного

руху на кордонах із сусідніми державами;

- Забезпечення можливості підвищення тактичних характеристик системи для забезпечення ОВС при подальшій інтенсифікації повітряного руху (модульний принцип побудови системи ОВС);

- Поліпшення потенційної пропускну здатності європейських аеропортів і оточуючого їх повітряного простору при підтримці заданого рівня безпеки польотів і навколишнього середовища.

При створенні системи ОВС для України очевидним вимогою є її сумісність із загальноєвропейською системою і взаємодія з нею по всім необхідним параметрам[7,8].

Інтегрована система повинна створюватися на базі існуючої системи, з тим, щоб в максимально можливій мірі задовольнити потреби користувачів поряд з реалізацією потенційних переваг від застосування нових технологій. При розробці доцільно застосовувати системний підхід, адаптований до конкретних вимог регіонів. При різних рівнях (можливо, вельми відрізняються один від одного) обслуговування від регіону до регіону повинні досягатися необхідна інтенсивність повітряного руху і забезпечуватися необхідна безпека.

Система ОВС не повинна обмежуватися внутрішнім повітряним простором в рамках дії РЛС. Необхідно обслуговувати повітряний рух в розширеній зоні відповідальності, включаючи спостереження за наземним рухом.

Система ОВС включає наземну та повітряну частини, які необхідні для забезпечення безпечного і ефективного руху повітряних суден на всіх етапах польоту. При цьому передбачається тісна взаємодія наземної та повітряної частин за допомогою стандартизованих протоколів обміну даними.

Бортова частина передбачає функціональну можливість взаємодії з наземною частиною для реалізації спільних цілей ОВС.

Наземна частина включає обслуговування повітряного руху, організацію потоків повітряного руху (ОПВД) і організацію повітряного простору (ОВП). ОВС можна розділити на кілька видів обслуговування: управління повітряним рухом, польотно-інформаційне обслуговування, аварійне сповіщення.

Завдання системи ОВС заключається в забезпеченні оптимальних потоків



повітряного руху, що проходять в напрямку відповідних районів або перетинають ці райони протягом періоду часу, коли потреби перевищують або, як очікується, будуть перевищувати розпорядженню пропускну здатність системи управління повітряним рухом. Система організації потоків надає допомогу службам ОВС у виконанні їх функцій і забезпеченні найбільш ефективного використання розпорядженої пропускну спроможності повітряного простору або аеропортів, одночасно зводячи до мінімуму фінансові втрати, пов'язані із затримками рейсів. При цьому не повинна бути поставлена під загрозу безпеку польотів через перевантаженість зон повітряного руху, і в той же час має забезпечуватися ефективне управління повітряним рухом без введення зайвих обмежень потоків.

Система ОВД в значній мірі залежить від наявних у її розпорядженні даних про повітряний простір. Нова система повинна бути більш динамічно адаптується системою до мінливих умов. Маневри, пов'язані з очікуванням і затримками, є небажаними.

Важливе місце в системі відводиться засобам автоматизації організації потоку в реальному масштабі часу для обробки маси інформаційних даних та вироблення стратегій по потокам. У процесі прийняття рішень по стратегії потоків передбачається використовувати інформацію бортових систем управління режимами польоту, які перебуватимуть в режимі автоматичного зв'язку з наземною системою ОВД. Процес ОВД в значній мірі залежить від наявного та передбачуваного в короткостроковому плані наявності вільного повітряного простору та пропускну здатності аеропортів. Пропускна здатність повітряного простору залежить від його організації, руху на маршруті, пропускну здатності диспетчерського сектора, підтримки системи ОВД та експлуатаційних процедур. Пропускна спроможність аеропортів залежить від стану середовища, а також від місцевих умов ВПП.

Завдання організації повітряного простору полягає в оптимізації використання наявного повітряного простору в рамках заданої його структури на основі динамічного розподілу за часом, а в окремих випадках - в резервуванні повітряного простору для різних категорій користувачів з метою задоволення короткострокових потреб. Крім цього, при необхідності потрібно змінювати

кордони сфери організації повітряного простору в районах за межами прилеглого повітряного простору держави та забезпечувати передачу повноважень на обслуговування в межах деяких критичних сегментів. Передбачається, що система буде розташовувати повними даними, безперервно оновлюється в реальному масштабі часу, про наявність вільного повітряного простору та пропускну здатності аеропортів.

Основні завдання УПР полягають в запобіганні зіткнень повітряних суден один з одним і з перешкодами в зоні маневрування, а також у прискоренні та регулюванні повітряного руху з урахуванням метеоумов. Для забезпечення функцій УПР системі необхідні різні дані для всіх фаз, включаючи стратегічне і тактичне управління потоками повітряного руху, планування УПР і тактичне УПР. Ці дані повинні надходити від чотирьох основних джерел: повітряний простір, метеорологія, управління системою, рух.

Структура ВП і дані з управління повітряним простором, включаючи військові обмеження, повинні передаватися в систему на безперервній основі, що дозволить їй в будь-який час мати найбільш точну інформацію про характеристики повітряного простору під час виконання польоту. Ці дані дозволять найкращим чином задовольняють потреби користувачів повітряного простору.

Пропускна спроможність аеропортів - одна зі складових інформації про повітряний простір. Вона використовуватиметься при управлінні потоками та плануванні для згладжування піків навантаження.

Наявність інформації про погоду і стан атмосфери - обов'язкова умова для досягнення точності розрахунку профілю польоту, і вона буде використовуватися на всіх фазах ОВД. Статистичні дані та прогнози погоди, що забезпечуються відповідними наземними службами, будуть невід'ємною частиною системи управління потоками. Прогнози стану атмосфери (грозові фронти, наявність турбулентності в ясному небі і ін.) повинні оновлюватися на основі даних, одержуваних як від наземних служб, так і від повітряних суден, що знаходяться в польоті, по лініях передачі даних "повітря-земля". Це дозволить підвищити точність розрахунку профілю польоту і планування в цілому.

Дані про рух - найсуттєвіша інформація, яка повинна бути представлена у відповідній формі. На всіх етапах ОВД користувач повітряного простору повинен бути забезпечений необхідною інформацією, включаючи детальний опис необхідної траєкторії. Велике значення має оперативний план польоту, що надходить від авіакомпаній та інших користувачів, в якому всі події УПР повинні бути визначені і розраховані. З моменту початку виконання польоту екіпаж повинен мати зв'язок "повітря-земля" для обміну з центром УПР інформацією по поточному місцю розташування, умовам польоту, по траєкторії, яка визначається бортовою системою управління польотом і т.д.

Задача польотно-інформаційного обслуговування полягає в наданні консультацій та інформації для забезпечення безпеки і ефективності виконання польотів.

Завдання служби аварійного оповіщення полягає в повідомленні відповідних організацій про НД, які потребують допомоги пошуково-рятувальних служб, і наданні необхідного сприяння.

Якість системи ОВД і процесів УПР залежить насамперед від якості інформації, що надається системою зв'язку, навігації та спостереження. Для інтегрованої системи ОВД система зв'язку, навігації та спостереження повинна задовольняти вимогам глобальної концепції.

В галузі зв'язку передбачається:

- Здійснювати передачу даних і мови по прямих каналах зв'язку "супутник-ВС", при цьому ВЧ-зв'язок в перехідний період зберігати до тих пір, поки не буде забезпечена супутниковий зв'язок;

- Використовувати дуже високі частоти (ДВЧ) для передачі мови і даних в континентальних і вузлових районах;

- Використовувати лінії передачі даних режиму S ВОРЛ для ОВД в просторі з високою щільністю руху;

- Використовувати мережу авіаційного електрозв'язку для забезпечення обміну цифровими даними в пакетному режимі між користувачами за допомогою різних каналів зв'язку "повітря-земля" і "земля-земля";

В області навігації передбачається:

- Поступово впроваджувати засоби зональної навігації відповідно до критеріїв необхідних навігаційних характеристик;
- Використовувати глобальну супутникову навігаційну систему для навігації НД і для забезпечення неточних заходів на посадку;
- Застосовувати мікрохвильову систему посадки (MLS) і Інструментали-ную систему посадки (ILS). В області спостереження передбачається:
  - Використовувати режим А/С або режим S ВОРЛ в повітряному просторі з високою щільністю руху;
  - Використовувати автоматичне залежне спостереження (АЗН).

Оскільки АЗН забезпечує більш тісну взаємодію між наземною системою та користувачами повітряного руху, совершенство-ваніе ОВД дозволить більш гнучко і ефективно використовувати повітряний простір і підвищити безпеку і регулярність польотів. Грунтуючись на нових якостях системи зв'язку, навігації та спостереження, передбачається наступні напрямки розвитку системи ОВД та підвищення її продуктивності:

- Вдосконалення обробки і передачі інформації між експлуатантами, повітряними судами і ОВД;
- Розширення зони дії спостереження за рахунок використання інформації про місцезнаходження повітряних суден, отриманої від бортових систем за допомогою автоматичного залежного спостереження;
- Скорочення норм поділу між повітряними судами, включаючи скорочення норм ешелонування;
- Вдосконалення наземних систем обробки даних;
- Використання переваг точної навігації сучасних повітряних суден в чотирьох вимірах;
- Використання на всіх етапах польоту предпочті-тельного для обслуговується об'єкта профілю польоту;

вдосконалення виявлення і вирішення конфліктних ситуацій, адаптацію до мінливих умов повітряного руху.

Зазначені вище напрямки поряд з удосконаленням планування дозволять підвищити динамічність організації повітряного простору та повітряного руху, особливо в повітряному просторі з високою щільністю повітряного руху.

Удосконалення управління польотами в районі аеродрому передбачається за рахунок впровадження систем управління черговістю польотів, застосування системи спостереження та управління рухом на землі, системи сигналізації несанкціонованого виїзду на ЗПС.

Спостереження за системою за допомогою засобів самоконтролю підвищать живучість і готовність системи. Відкрита архітектура забезпечить високий рівень надійності. У разі серйозних відмов буде можливість поступової, нерезкої деградації системи, що дозволить вжити заходів щодо забезпечення безпеки повітряного руху.

Переваги перспективної інтегрованої системи ОВД можуть бути коротко сформульовані наступним чином:

- Задоволення попиту на повітряні перевезення;
- Забезпечення більш ефективного використання повітряного простору, підвищення пропускної спроможності аеропортів;
- Забезпечення скоординованого управління польотами, виконувати-мимі в будь-якому повітряному просторі;
- Більш економічне і ефективне обслуговування;
- Обслуговування в глобальному масштабі на уніфікованій основі.

Ефективним і практично єдиним способом реалізації вимог, що пред'являються до системи ОВД, є її автоматизація. Процес організації потоку повітряного руху ґрунтується на всеосяжних комп'ютерних базах даних, що дають опис поточного і прогнозованого рівня потреб і пропускної здатності. Для вироблення ефективних стратегій в реальному масштабі часу, що задовольняють надлишкові потреби, необхідно використовувати складні моделі, точно прогнозируючі перевантаженість і затримки. Користувачі повинні взаємодіяти в

процесі планування повітряного руху для вибору траєкторій, що найбільш відповідають їх потребам при дотриманні обмежень пропускну здатності. Для організації такої взаємодії необхідно створення мереж передачі даних (різнорідного комп'ютерного, телекомунікаційного трафіку і трафіку даних від різних сенсорів і вимірників) - конвергованої мереж - і їх постійна модернізація відповідно до знову виникаючими потребами.

Процес тактичної організації потоків та управління повітряним рухом складається в спостереженні за розвитком польоту окремого повітряного судна та внесення змін до його траєкторію польоту, коли це необхідно, для дотримання обмежень системи організації повітряного руху. Цей процес також вимагатиме широкого вико-вання автоматизації. У разі, коли користувач визначає необхідність внесення зміни до плану польоту або його оновленні, проводиться процес взаємозв'язку між бортовий комп'ютерною системою управління режимами польоту і наземної системою в цілях визначення нової траєкторії, найкращим чином відповідає цілям користувача і задовольняє обмеженням, таким як норми ешелонування. Аналогічно, коли в ході процесу організації руху на землі визнається необхідність внесення змін до дозволу траєкторію польоту, комп'ютер вступить у взаємодію з бортовим комп'ютером для визначення коригування, що відповідає обмеженням системи ОВД з мінімальним відхиленням від траєкторії, вибраної користувачем.

Повітряні судна, не обладнані комп'ютерами управління режимами польоту, здатними взаємодіяти з автоматизованими системами ОВД, підтримуватимуть зв'язок з наземною системою за допомогою лінії передачі даних і каналів мовної зв'язку. При цьому в розпорядженні диспетчера знаходитимуться допоміжні автоматизовані засоби, що допомагають йому в прийнятті рішень.

Автоматизована система ОВД - це мережа розподілених процесорів, здатна приймати дані від різних джерел, обробляти їх в реальному масштабі часу і надавати необхідну інформацію користувачам (д спетчерам на робочі місця і системі управління польотом на борту). Перед АС ОВД стоять такі основні завдання:

- Визначення для кожного літака його чотирехкоординатной траєкторії

планованого профілю польоту;

- Визначення, чи є профіль безконфліктним і, якщо ні, розрахунок характеристик конфліктів, пов'язаних з даними польотом;
- Модифікація і оновлення профілів польоту;
- Постійне відстежування повітряної обстановки;
- Надання систематично або за запитом польотних даних, необхідних диспетчерам і для екіпажів.

Профіль - передбачувана найбільш ймовірна чотирикоординатна траєкторія НД від його поточного місця розташування до кінцевого пункту польоту. Він описується списком істотних подій, що формують майбутнє виконання польоту, таких як:

- Проліт точки маршруту або проходження по прямій трасі;
  - Перетин кордону сектора;
  - Початок і кінець підйому, зниження, зміни швидкості і т.д. Кожна з цих подій зіставляється з розрахунковим часом, поточним і дозволеним ешелонам.
- Профіль складається з послідовних дозволів, даних службою УПР пілоту, і має силу домовленості. Будь-яка зміна в профілі повинно бути повторно погоджено. При розрахунку профілю польоту система повинна прагнути до максимального задоволення запитів та інтересів всіх користувачів, але з урахуванням сформованої повітряної обстановки, накладених обмежень, погодних умов, даних стану системи.

Систематична перевірка відхилень поточного місця розташування НД від зумовленого положення та оцінка ризику конфліктів складають основу автоматичного моніторингу повітряної обстановки в АС ОВД. Інформація, отримана в результаті обробки, розподіляється військовим і цивільним користувачам або на систематичній основі, або за запитом.

Інформація повинна також передаватися на борт НД Це - підтвердження дозволів, дані про погоду, стан ВП, інформація про літаки, що знаходяться в безпосередній близькості і т.д.

Нова концепція повністю змінить роль диспетчерів і розподілення їх обов'язків. Більше функцій виконуватиметься безпосереднім-ного системою,

відповідно до нового визначенням відповідальності диспетчера. Всі безконфліктні польоти вимагатимуть мінімум уваги диспетчера.

Функції планування будуть спрямовані на успішне вирішення більшості проблем, прогнозованих у зоні відповідальності, щоб перетворити конфліктні профілі польоту в безконфліктні і залишити для виконання лише обмежена кількість конфліктів, вирішити які легше за допомогою простих тактичних засобів. функція; планування повинні гарантувати, щоб робітники тактичні функції не мали великої кількості одночасних або складних проблем.

Основна робоча функція спрямована на вирішення решти невирішених проблем і видачу нових дозволів. Система отримуватиме інформацію про рішення, які збирається прийняти диспетчер, і які можуть вплинути на поточні профілі польотів. Дані про профіль польоту і його змінах повинні передаватися на борт НД

Система ОВД повинна проектуватися з урахуванням нормальної пікового навантаження і піддаватися розширенню (модульний принцип) з урахуванням очікуваного в майбутньому збільшення обсягу повітряного руху. При розробці системи основний упор повинен робитися швидше на здатності системи ОВД забезпечувати прогнозовані потреби повітряного руху, ніж на здатності системи регулювати ці потреби.

Для отримання очікуваних переваг при проектуванні системи ОВД необхідно враховувати ряд факторів:

- Безперервність надходження і доступність інформації як для повітряного судна, так і для системи ОВД;
- Безперервність отримання інформації про повітряний рух на маршрутах, ділянках переходів і підходів до аеропорту;
- Оперативність інформації про поточні та прогнозовані ресурсних можливостях і способи підвищення якості та оперативності цих даних;
- Інформацію про місцезнаходження і передбачуваних маневрах воздушно-го судна, а також способи найкращого використання цієї інформації в рамках системи ОВД;
- Процедури і стандарти ешелонування, що обмежують предель-ну кількість



повітряних суден, яким може бути надано обслуговування, і способи їх вдосконалення.

Крім того, при розробці майбутньої системи необхідно враховувати наступні, що мають істотне значення принципи:

- Система забезпечує по громадянську діяльність, і згідно з досягнутими домовленостями служби повітряного руху активно співпрацюють з системами оборони;

- Сумісність і відсутність провалів на кордонах з системами ОВД в суміжних регіонах;

- Облік розробок в області аеронавігаційної технології, прогнозованих на даний період;

- Забезпечення відповідного резервування тай, де потрібна впровадження комплексних систем зв'язку, навігації та спостереження;

- Основні функції системи ОВД повинні здійснюватися наземної структурою;

- Відповідальність за навігацію повітряних суден в рамках системи покладається на пілота, за винятком випадків радіолокаційного наведення з боку органу ОВД.

При інтеграції системи обробки інформації й обслуговування ВД комплексування складових частин може здійснюватися:

- на етапі первинної обробки (виявлення цілей окремим вимірником, передача даних первинного виявлення на центр спільної обробки);
- на етапі вторинної обробки (виявлення цілей, вимірювання їх координат і параметрів руху, передача результатів виміру в центр спільної обробки для побудови траєкторій цілей);
- на етапі третинної обробки - об'єднання траєкторій цілей, побудованих окремими, в загальному випадку несинхронізованих вимірювачами.

### **1.3. Системи організації побудови зв'язку**

Нові системи зв'язку, навігації та спостереження, а також використання високопродуктивних засобів обробки і відображення інформації забезпечать істотне розширення можливостей і якість розв'язуваних завдань в перспективних системах організації повітряного руху.

Такі системи підвищують рівень безпеки польотів і пропускної спроможності повітряного простору, пропонують якісний розподіл і використання пропускної спроможності аеропортів на більш високому рівні, при цьому рівень затримок НД в повітрі і на землі, значно зменшується.

Ці системи дозволять значно підвищити рівень безпеки польотів та пропускної спроможності повітряного простору, раціональний розподіл і використання пропускної здатності аеропортів, скорочення затримок НД в повітрі і на землі. При цьому скорочення витрат експлуатанта на всіх рівнях роботи в аеропортах, при русі ПС на ешелонах, дозволяє знизити рівень навантаження на диспетчерів ПР і підвищити їх продуктивність праці.

Вирішення всіх цих завдань можна здійснити за допомогою автоматизації процесів організації повітряного простору, обслуговування польотів, що включає їх планування і безпосереднє управління, а також організацію потоків повітряного руху. При цьому потрібно виділити основний напрям при обслуговуванні ВР – розробку організації аварійного сповіщення, і при цьому обов'язково повинно бути якісне польотно-інформаційного обслуговування.

Підвищення пропускної спроможності повітряного простору буде забезпечуватися шляхом скорочення мінімумів ешелонування за умови збереження або підвищення існуючого рівня безпеки польотів.

Використання метричної і футової системи вимірювання висот представляє деякі труднощі, які ускладнюються тим, що ряд країн СНД переходить на футову систему.

Ефективність виробництва польотів при високій щільності повітряного руху викликає необхідність їх планування та управління "від перону до перону", що

пов'язано із забезпеченням відповідного маневрування НД на площі аеродрому та організації вантажно-розвантажувальних робіт безпосередньо на пероні.

Важливим показником ефективності перспективної системи ОрПР буде можливість забезпечення польотів НД в режимі зональної навігації ("вільного польоту").

Основна ідея концепції "вільного польоту" полягає в тому, щоб надати можливість всім користувачам повітряного простору виконувати польоти за оптимальними (динамічним) траєкторіях з використанням відповідних технічних засобів (CNS / АТМ) і процедур ОрПР, які забезпечують максимальну гнучкість виробництва польотів і високий рівень їх безпеки. Ці польоти будуть обмежуватися з боку системи ОрПР тільки в наступних випадках:

- Коли маршрут польоту і маневр одного НД заважатимуть польотам інших НД;
- Коли не виконуються умови "вільного польоту" в будь-якому районі руху ВС;
- Коли НД потрапляє в зону обмежень;
- При пониженні рівня безпеки "вільного польоту" на думку диспетчерів аеропорту.

Для успішного виконання методу "зональної навігації" потрібна еволюційна дорога і виконання відповідних заходів держави - учасниць СНД, спрямованих на гармонізацію цих процесів.

Збільшення пропускнуєї спроможності національних систем ОрПР буде також сприяти підвищенню ефективності використання аеродромного повітряного простору і безпосередньо аеропортів. Воно буде здійснюватися за рахунок комплексного вдосконалення всіх її складових, що потребують використання нових технічних засобів, вдосконалення як програмного забезпечення, так і апаратної частини обчислювальних підсистем.

## Висновок до розділу 1

Концепцією аеронавігаційної системи "Євроконтролю" передбачається:

1. Управління повітряним судном на всіх етапах польоту від моменту початку його руху на зліт до моменту зарулювання на стоянку при посадці ("від перону до перону")

2. Оперативний вибір траєкторії руху НР (маршруту польоту) на основі визначення раціонального балансу між споживачами використання ПП і фактичної ситуацією, що виникла при вирішенні задач ОрПР.

3. Спільне (диспетчер-пілот) прийняття рішень по УВС на основі діалогу між ними та оцінки інформації в реальному масштабі часу на всіх етапах польоту.

4. Організація гнучких секторів УВС, які забезпечують управління пропускнуою здатністю.

5. Спільне ІВП і УВС з боку представників військової і цивільної авіації.

6. Підвищення рівня автоматизації вирішення задач ОрПР.

Це все приведе до того, що рівень безпеки польотів, буде представлений на новому рівні безпеки, і ризиків. Де кожному ПС буде забезпечена 100% безпека руху, і не перебібійність зв'язку.

Також новітні системи спостереження за ПС, які стрімко розвиваються, і роблять вагомий внесок в систему авіаційної промисловості, базуватимуться на комплексному використанні нових бортових навігаційних засобів, що забезпечують досить точне і надійне визначення місцеположення ПС в реальному масштабі часу, а також на використанні каналів передачі даних, що дозволяють цю інформацію транслювати до відповідних органів управління повітряним рухом.

Тому, основними цілями і задачами створення сучасної системи організації безпеки повітряного руху є:

- забезпечення регулярності та ефективності, відповідних потребам всіх користувачів, при забезпеченні існуючого і новітнього (вищого) рівня безпеки польотів;
- підвищення пропускнуої спроможності системи і повне використання

ресурсів системи, виходячи з необхідності задоволення потреб повітряного руху;

- динамічний облік бажаних для користувачів трьох і чотиривимірних траєкторій польотів;

- забезпечення польотів всіх типів повітряних суден і реалізація всіх можливостей бортового обладнання;

- поліпшення навігаційних засобів для впровадження вдосконалених процедур заходження на посадку і зльоту;

- організація по можливості єдиного повітряного простору з урахуванням забезпечення і процедур організації повітряного руху;

- мінімізація затримок і часу очікування в повітрі.

## РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНО- ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

### 2.1. Узагальнена структура систем навігації і управління повітряним рухом

На сучасному етапі розвитку автоматизованих АС УПР відповідно до концепції АЗН актуальним є використання інформації про параметри руху НР від бортових комплексних систем навігації (КСН) та супутникових навігаційних систем.

Інформація від КСН про параметри руху НР передається в АС УПР по каналах космічної системи зв'язку.

В результаті діяльності комітету ICAO FANS розроблена і впроваджена система зв'язку, навігації та спостереження / організації повітряного руху GNS / ATM. Вона забезпечує значне підвищення пропускну здатності ПП, більш точний контроль руху НР в ПП і контроль висоти польоту, політ НР по гнучким маршрутам («вільний політ»), зменшення розмірів ешелонів НР в ПП, впровадження системи автоматичної передачі даних ADS.

Ціль впровадження системи *GNS/ATM* є:

- Задоволення зростаючих потреб ПР;
- Підвищення безпеки, регулярності та ефективності польотів;
- Підвищення економічності комерційних повітряних перевезень.

				<b>НАУ 21 22 83 000 ПЗ</b>			
<i>Виконав</i>	<i>Балибердін Б.О</i>			СТРУКТУРА ІНФОРМАЦІЙНО- ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ОРГАНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО РУХУ	<i>Літера</i>	<i>аркуш</i>	<i>аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Моржов В.І.</i>					46	31
<i>Консульт.</i>					УС-212М 122		
<i>Н. контроль</i>	<i>Райчев І.Е.</i>						

Безпека ПР забезпечується системою УПР та іншими службами УПР, що мають різну ступінь автоматизації. Навігаційні можливості сучасних НР часто перевершують можливості АС УПР, що не дає реалізувати всі переваги сучасних бортових систем. Відсутність повної інформації наземних систем УПР і бортових засобів є однією з головних технічних проблем на шляху вдосконалення системи УПР, особливо у зв'язку з необхідністю оптимального використання оцінок професійної поведінки людини-оператора, тобто пілотів НР і диспетчерів АС УПР. Об'єднання та узгодження дій людини-оператора і автоматизованих систем за допомогою інтерфейсів «людина-машина» є однією з найбільш важких завдань в розробці майбутніх АС УПР [9].

До складу сучасної комплексної системи зв'язку, навігації та УПР обов'язково повинні входити наступні підсистеми:

- Підсистема засобів передачі, прийому та обробки інформації (СППОІ), що забезпечують перехід від голосового зв'язку до автоматичних комп'ютерним комунікаційних лініях, що здійснює більш швидку і точну передачу інформації при значних обсягах;

- Підсистема навігації, що забезпечує широке використання супутникової системи навігації;

- Підсистема спостереження і контролю руху ВС.

Підсистема СППОІ повинна забезпечити передачу даних з борту НР в обчислювальну систему АС УПР. Програмне забезпечення бортового комп'ютера робить обробку даних і їх передачу по лініях зв'язку в центр УПР. Обробка даних полягає в ідентифікації типу та пріоритету повідомлення, декодуванні його змісту, обробці інформації в рамках конкретного повідомлення в форму доступну для сприйняття людиною-оператором (пілотом, диспетчером УПР). Пілот НР повинен мати можливість ввести до складу переданої інформації додаткові повідомлення з метою інформування диспетчера АС УПР про зміни в плані польоту або виниклих небезпечних ситуаціях. Програми підсистеми і АС УПР забезпечують також управління системою ліній зв'язку, їх автоматичне перемикання для передачі необхідних повідомлень своєчасно і за призначенням, а

також організацію обміну інформацією між диспетчерами АС УПР. Програми підсистеми СППОІ забезпечують комунікацію всіх НР з наземним обладнанням АС УПР. Склад обладнання підсистеми СППОІ н на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Склад обладнання підсистеми СППОІ



Підсистема навігації забезпечує відповідність розрахункових характеристик навігації, які визначаються або етапом польоту НР, або значеннями, вибраними з бази навігаційних даних для конкретного етапу плану польоту і реальних характеристик навігації. У разі їх невідповідності система формує і видає необхідні повідомлення пілотові. При цьому певна частина інформації може передаватися за допомогою підсистеми СППОІ в наземну обчислювальну систему АС УПР. Навігаційна підсистема повинна вирішувати також завдання польоту по маршруту з декількома поворотними пунктами і керування польотом за планом польоту.

Підсистема спостереження і контролю руху НР (НКД) здійснює періодичну автоматичну передачу з бортів НР незалежного сигналу відстеження про поточні значення координат положення, швидкості і курсу польоту НР та параметрах майбутнього етапу польоту відповідно до вимог наземної частини комплексної системи навігації і УПР. Дана інформація у вигляді формалізованих повідомлень надходить в обчислювальну систему АС УПР, де обробляються з метою забезпечення безпечного та оптимального руху НР знаходяться в зоні дії даної АС УПР. В процесі вирішення пов'язаного з цим комплексу обчислювальних задач, здійснюється також рішення задач, прогнозування положень сукупності НР, пошук і виявлення потенційних можливих конфліктних ситуацій і вироблення рекомендацій щодо їх розв'язання із забезпеченням оптимальних безконфліктних траєкторій руху НР в зоні відповідальності. Підсистема забезпечує контроль точності передачі повідомлень в АС УПР [10].

На рисунку 2.2. представлений сучасний комплекс імітаційного моделювання системи ОВД и УПР.

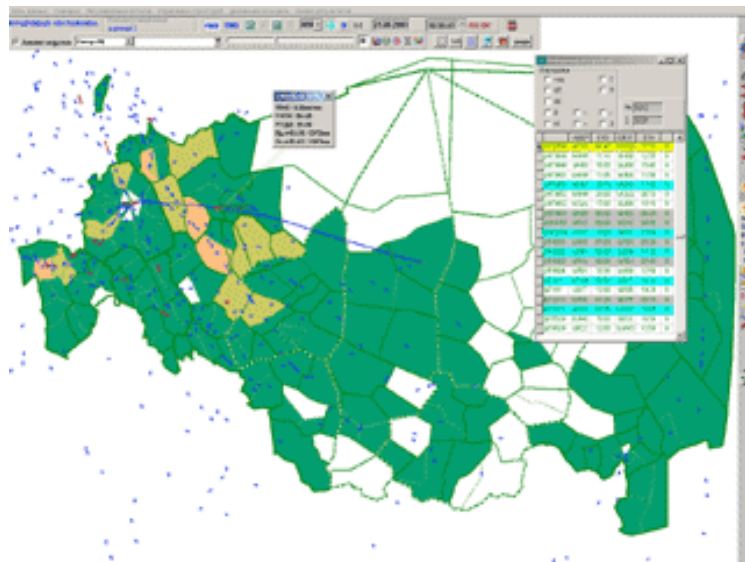
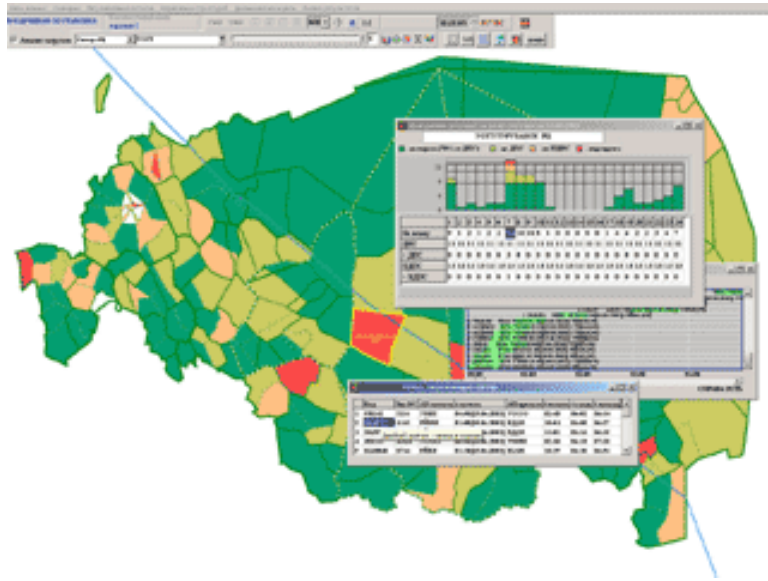


Рис.2.2. Комплекс імітаційного моделювання

Сучасний комп'ютерний комплекс дозволяє моделювати функціонування системи ОВД та її компонент (служб організації потоків повітряного руху (ОППР), організації повітряного простору (ОПП), диспетчерських служб УПР) і її взаємодія з авіаційної транспортної системою на всіх етапах планування та виконання польотів.

### **Склад програмних засобів:**

Бази даних и знань:

- аеропорти, ПС, ПП, плани польотів, авіакомпанії, засоби управління ВД і ін.;
- показники ефективності ОВД, безпеки, продуктивності, завантаження ПП, обмеження ОПП.

Моделі ОВД:

- політ ПС, робота АП, УПР, CNS, диспетчерські служби, ОВД.

Методи аналізу і синтезу:

- технології статистичного моделювання;
- алгоритми оптимізації, прийняття рішення.
- Комп'ютерні технології (діалог, графіка і картографія).

### **Призначення комплексу:**

Оцінка техніко-економічної ефективності системи УПР:

- аналіз ефективності виконання польоту по заданому маршруту, добового плану;
- оцінка пропускної здатності і завантаження елементів повітряного простору;
- аналіз стратегій і алгоритмів вирішення конфліктних ситуацій.

Випереджаюче аналіз технічних і організаційних рішень, таких як:

- оптимізація і прокладка нових трас;
- використання перспективних принципів і засобів організації ВД (CNS / ATM, АЗН, АЗН-В);
- зміна ступеня використання повітряного простору, викликане змінами попиту на нього;

- закриття на певні терміни, відкриття або модифікація аеропортів, ВПП, центрів управління ВД, областей повітряного простору або наземних районів;
  - зміна процедури обслуговування ПС в аеропортах і на трасах польоту.
- Інформаційна підтримка проведення досліджень системи ВД та її компонент.
- Графічна підтримка різних аспектів моделювання керованого ВД.

#### **Приклади розв'язуваних завдань:**

- Аналіз ефективності виконання польоту (Аналіз якості, вартості та ефективності польоту ПС в різних умовах).
  - Інформаційно-картографічна довідкова служба (інформаційна та графічна підтримка системних досліджень різних аспектів ОВД).
  - Побудова оптимальних планів польоту в рамках концепції "free flight" (формування чотиривимірних траєкторій, що забезпечують мінімізацію вартості польоту при виконанні чинних обмежень).
  - Прокладка маршруту трасового польоту між двома точками, формування оптимального профілю.
  - Аналіз потоків повітряного руху (автоматизований аналіз стану потоків ВД на стратегічному, тактичному і оперативному етапах планування).
- Організація потоків повітряного руху (забезпечення ефективного використання ПП, корекція потоків з метою розвантаження областей ПП).

## **2.2. Аналіз вихідних даних для побудови інформаційно-обчислювальної системи.**

У структурі інформаційно-обчислювальної системи необхідно передбачати пристрої передачі та обробки всіх видів даних, необхідних для функціонування системи УПР. Розглянемо коротко основні блоки.

Блок статичної інформації:

- Характеристики повітряних суден, що обслуговуються системою УПР;
- Карти земної поверхні, необхідні для роботи даної АС УПР;
- Графіки та параметри трас руху, загальний режим польотів;

- Номенклатура і технічні характеристики засобів УПР.

Хоча цей блок і називається статичним, його зміст може змінюватися, причому в деякі періоди - досить часто.

Блок планової інформації:

- Номери, характеристики та особливості рейсів, закладених в поточних і перспективних планах;

- Номери трас, по яких проходять відповідні рейси;
- Розклад польотів (час вильоту та прибуття, прольоту контрольних пунктів кожним рейсом);
- Дані про запасні аеродроми;
- Перспективні і річні плани перевезень;
- Розрахунок режимів використання повітряного простору;
- Структура органів УПР і управління системою в цілому.

Блок динамічної інформації:

- Дані про повітряні судна, що знаходяться в зоні обслуговування;
- Поточні координати і параметри руху повітряних суден;
- Метеоумови на трасах і в районі аеровузли (аеродрому, трасового комплексу тощо);
- Дані про залишки палива повітряних суден в зоні обслуговування;
- Дані про відмови, особливих умовах польоту, особливих випадках польоту;
- Дані про поточний стан запасних аеродромів;
- Дані про конфлікти і передумови до конфліктів повітряних суден в зоні обслуговування.

Зміст розглянутих блоків, природно, може змінюватися в досить широких межах залежно від зовнішніх умов, типу і призначення системи УПР. Тут важливо визначитися, які дані підлягають зберіганню, які необхідно передати іншим користувачам, до яких даними можуть мати доступ різні користувачі й т.д.

Характеристики інформаційно-обчислювальної системи змінюються залежно від передачі даних, тому вимоги до них визначаються широкими межами.

Однією з важливих характеристик трафіку є чутливість до затримок [11]. Основні типи трафіку які використовуються в автоматизованих системах УПР наступні:

1. Асинхронний (або "еластичний") трафік. Це трафік, при якому обмеження є м'якими на час затримки.
2. Синхронний (або обмежено еластичний) трафік. Це трафік, при якому відбуваються непомітні затримки, наприклад – декілька секунд.
3. Інтерактивний трафік. Основна відмінність полягає в тому, що при роботі затримки можуть бути видні користувачам, але при цьому не погіршується виконання функцій системи.
4. Ізохронний трафік. Це трафік з пороговою чутливістю.
5. Трафік реального годині часу (або нееластичний). Цей трафік використовується в режимі «вільного польоту», тобто при роботі диспетчер – екіпаж.

При такій роботі трафіку в автоматизованій системах УПР повинні враховуватися такі характеристика як міра пульсації і чутливість до спотворення даних або до втрати інформації. При трафіку, в якого коефіцієнт пульсації малий, можна внести наступні дані радіолокаційного спостереження, навігаційних систем, систем діагностики та інші.

Відповідно, такі види трафіку, як передача даних в системах зв'язку, метеоданих, планова інформація, дані про критичні і конфліктних ситуаціях в повітряному просторі, є пульсуючим з коефіцієнтами пульсації від 2 до 200.

Коли відбувається передача інформації втрата (або спотворення) пакетів, кадрів характеризує вигляд трафіку. Втрата малих фрагментів при передачі алфавітно-цифрових даних дуже чутлива. Особливо це виявляється при використанні розподілених базах даних, також при роботі файлового сервісу і при роботі електронної пошти. Якщо чутливість до втрат не заходить за допустимі межі, це говорить про те, що є оцифрування даних екстраполяції траєкторії повітряного судна і передача переговорного трафіку.

І так, виходячи з вищевикладеного, при побудові системи УПР (апаратного комплексу, ПЗ і так далі) обов'язково повинен враховуватися проведений аналіз даних всіх систем.

### **2.3. Принципи побудови і особливості інформаційно-обчислювальних систем.**

За сучасними концепціям автоматизації системи ОПП все зводиться до створення розподіленої обчислювальної системи, яка є багатопроцесорною і багатомашинною структурою. Ця структура включає у себе:

- «Острова» - є локальні мережі (тобто робочі групи), які пов'язані між собою мережею доступу, а із зовнішніми джерелами інформації через опорні або як їх називають - базові мережі;

- Для вирішення складних завдань глобального характеру контролю і управління використовуються мейнфрейми (або сервери).

- Всі комп'ютери мають бути підключені до всіх систем навігації, спостереження і так далі;

- Комутаційне устаткування в основному використовують для розподілу трафіку між вище перерахованими групами.

Така розподілена обчислювальна система дозволяє реалізувати модульний принцип побудови. Це дозволяє модернізувати будь-яку апаратуру, ПЗ окремих вузлів, локальних мереж конкретних робочих груп, автоматизованих робочих місць, і тому подібне з мінімальними втручаннями в роботу інших вузлів.

Для приведення до єдиної системи процесу обміну інформації між ПС і центром УПР краще всього використовувати стандартні процедури взаємодії - семирівневу еталонну модель взаємодії відкритих систем [12,13]. Це дозволяє також використовувати відповідні стеки протоколів локальних і глобальних мереж.

Гідністю багаторівневої моделі взаємодії відкритих систем, в першу чергу, є відділення технологічних проблем конвергенції мереж від організаційних задач надання послуг доставки даних, підтримання гарантованого (guarantee) або максимально досяжного (best effort) якості обслуговування - Quality of Service, QoS.

Крім того, необхідно враховувати, що хоча ідеологія побудови та управління національних аеронавігаційних систем, загалом, є єдиною, однак технічна архітектура - сукупність основних технічних засобів - принципово різна для аеродромно-районних, районних, аероузлових, аеродромних систем УПР. Мабуть, навіть для однотипних систем, розгорнутих в різних регіонах, технічна архітектура ніколи не буде абсолютно ідентичною. Тому тільки при використанні єдиної моделі взаємодії типу OSI і стандартних стеків протоколів обміну інформацією можна виключити вплив відмінностей в технічних рішеннях.

Нарешті, при використанні моделі OSI можна реалізувати багат шарові структури транспортної мережі самого різного виду: мультисервісна мережу поверх IP, або цифрова ієрархія E1 поверх IP, або IP поверх ATM, IP поверх Frame Relay, IP поверх FDDI або прямо поверх SDH, або прямо поверх DWDM . Кінцевий користувач не відчує ніяких особливостей даних технічних рішень. Це дає більше свободи вибору для замовника з урахуванням його фінансових та інших можливостей, прагнення поступової модернізації обладнання та інших факторів.

В даний час серйозною проблемою є надмірне навантаження на диспетчерів. Ще в 1999 році відзначалося [14], що при обслуговуванні так званого клетонського коридору - найзавантаженішого сектора повітряного простору в світі, через який рейси з Північної Європи слідуєть в Лондон - деяким диспетчерам доводилося одночасно керувати 40 літаками. Ясно, що диспетчери працюють на межі своїх можливостей, і при таких перевантаженнях втрачають контроль ситуації на ввірених їм ділянках повітряного простору. Одним з перспективних шляхом зниження навантаження на диспетчерів до прийнятних рівнів є розробка так званих автоматизованих робочих місць (АРМ) з



максимально можливим ступенем автоматизації та комп'ютеризації вирішення стандартних, рутинних, постійно повторюваних задач.

Автоматизоване робоче місце, по суті, являє собою апаратно-програмний комплекс на основі окремої ЕОМ або локальної мережі робочої групи. Ключовою вимогою до сучасних автоматизованих систем організації та управління повітряним рухом є необхідність забезпечення безперебійної роботи, як при штатних, так і при пікових навантаженнях. При цьому повинні зберігатися необхідний рівень безпеки польотів та забезпечуватися максимальне наближення просторово-часових траєкторій руху ПС до оптимальних. Тому АС УПР відносять до систем критичного застосування. Відповідно до цього можна сформулювати основні вимоги до обчислювальної системи АС УПР, а саме:

- Обробка та передача в режимі реального часу всіх даних, які необхідні для безперебійного обслуговування повітряного руху;

- Висока надійність і безпека, високий рівень захисту від несанкціонованого вторгнення, відкритість і прозорість алгоритмів і програм, стандартизація та уніфікація протоколів обміну інформацією;

- Розширюваність і масштабованість, можливості модернізації апаратури та модифікації програмного забезпечення без зупинки системи УПР або обмеження її функціональних можливостей.

Для задоволення поставленим (багато в чому суперечливим) вимогам доцільно реалізувати обчислювальну систему у вигляді розподіленої структури - обчислювальної мережі реального часу по типу великої корпоративної мережі [11].

Відповідно до рекомендацій Євроконтролю доцільно використовувати UNIX-подібну операційну систему реального часу OS-9000. Гідністю ОС типу UNIX є, в першу чергу, відкритість вихідного коду (на відміну від Windows-подібних систем). Крім того, ОС UNIX менш уразлива для вірусів.

Обчислювальна мережа з ОС UNIX і їм подібним, як мережа реального часу, достатньо природним чином сполучається як з цифровими, так і з аналоговими елементами системи УПР.

Оскільки АС УПР, як правило, є розподіленою, в тому числі і в географічному сенсі, її інформаційно-обчислювальна підсистема буде являти собою сукупність фрагментів - локальних мереж, пов'язаних з найрізноманітніших телекомунікаційних каналах. Така мережа, як і будь-яка корпоративна мережа, є гетерогенною в принципі - по складу обчислювальних систем, призначених для вирішення різноманітних завдань, по комутаційної апаратурі, по топології кожного фрагмента мережі, за характеристиками фізичних каналів передачі даних і т.д. [11,15]. Тому для забезпечення сумісності і узгодженої роботи мережі вкрай важливо використовувати стандартні моделі взаємодії і стеки протоколів. Цілком природною тому є рекомендація використовувати еталонну модель взаємодії відкритих систем OSI для організації функціонування розподілених інформаційно-обчислювальних комплексів, які забезпечують роботу АС УПР.

При використанні моделі OSI процедури узгодження протоколів доступу, обміну інформацією в мережі, адресації і т.д. реалізуються природним чином. Вони не пов'язані з параметрами конкретних додатків і пристроїв, застосовуваних у системі, зокрема, в системі УПР.

Розбиття загальної структури на локальні мережі дає можливість враховувати специфічні особливості підсистем зв'язку, навігації, спостереження та ін. Та відповідним чином підлаштовувати під них локальну обчислювальну мережу (ЛОМ). З урахуванням специфіки роботи персоналу системи УПР апаратно-програмні комплекси, що входять до її складу, будуються на основі концепції автоматизованих робочих місць (АРМ), що дозволяє істотно знизити завантаження диспетчерів рутинними, одноманітними процедурами і вивільнити їх для інтелектуальної, творчої діяльності - вироблення і прийняття швидких, оптимальних і правильних рішень з управління технологічним процесом.

Будь-яке АРМ системи УПР будується з використанням обчислювальної техніки, а в даний час, як правило, або на основі ЛВС, або з безпосереднім підключенням до ЛВС, до якої може бути підключено кілька АРМ.

Комп'ютери, що входять до складу АРМ, локальної та корпоративної мережі, можуть істотно відрізнятися за своїми обчислювальними можливостями, структурі,

набору периферійного устаткування і т.д. від стандартних персональних комп'ютерів (ПК) рівня Pentium до робочих станцій, серверів і мейнфреймів з унікальними можливостями.

У комп'ютерах і ЛВС автоматизованих робочих місць можуть використовуватися ОС Windows NT / 2000 / XP і мережеві бази даних типу MS SQL Server. У великих вузлових або аеродромно-районних системах УПР використовуються, як правило, потужні обчислювальні системи (робочі станції і сервери) провідних виробників: IBM, DEC, HP, SUN. Завдяки використанню стандартних відкритих UNIX-подібних ОС і моделі OSI відкриваються можливості переносу розробленого програмного забезпечення для АС УПР на будь-яку з перерахованих вище платформ.

В якості систем управління базами даних (СКБД) для великих аероузлів, мабуть, доцільно використовувати програмні продукти так званої «великої трійки»: Oracle, Informix, MS SQL Server. Їх перевагами є високий ступінь опрацювання деталей, надійність, відпрацьовані методики написання клієнтських додатків, постійний супровід виробниками цього програмного забезпечення.

Як зазначалося вище, корпоративні мережі будуються по «острівній» принципом, тобто у вигляді сукупності більш-менш незалежних фрагментів, між якими відбувається обмін даними через мережі доступу і транспортну мережу. Останні являють собою багатопарову інфраструктуру, на нижньому (фізичному) рівні якої можуть використовуватися канали передачі даних, побудовані з використанням самих різних фізичних принципів:

- Дротові;
- Кабельні коаксіальні і на кручений парі;
- Волоконно-оптичні;
- Радіоканали наземної, авіаційної та космічної зв'язку;
- Радіорелейні лінії;
- Змішані.

Крім гетерогенності корпоративних мереж (у тому числі і мереж систем УПР), про яку йшлося вище, їх характерним властивістю в даний час є

конвергірованность - об'єднання різнорідного трафіку - голос, дані, відео - і передача по одним і тим же каналам безпосередньо кінцевому користувачеві.

Як відомо [9.16,17,18], трафік конвертованих мереж вже не можна з задовільною точністю описувати, використовуючи класичні моделі (поток Пуассона, Пальма, Ерланга, марковские моделі). Специфікою різнорідного трафіку є фрактальний або самоподібний характер. Неврахування такої специфіки призводитиме до завищених оцінок продуктивності мережі і, відповідно, до недооцінки вимог до швидкодії і обсягами необхідної буферної пам'яті комутаційного обладнання.

Другою важливою особливістю гетерогенної мережі системи УПР, особливо актуальною в світлі забезпечення режиму реального часу, є режим обробки колізій (одночасної передачі кадрів двома станціями) в «острівцях» локальних мереж з технологією Ethernet. Режим виявлення та обробки колізій (CD - collision defection) - це штатний режим технологій Ethernet, Fast Ethernet і Gigabit Ethernet - плата за простоту методу доступу до середи передачі даних. Метод доступу CSMA / CD (carrier sense multiply access with collision detection) в принципі не гарантує доступу до середовища. Користувач (робоча станція) може отримати доступ тільки випадковим чином, з імовірністю, меншою 1 і яка від коефіцієнта використання мережі - відносини середнього завантаження мережі до потенційної пропускної здатності. При зростанні інтенсивності трафіку ймовірність виникнення колізій збільшується, і мережа все більшу частину часу починає працювати «на себе», обробляючи колізії. Частка корисної інформації в загальному потоці зменшується. При деякій гранично допустимій інтенсивності трафіку, коли ймовірність колізій близька до 1, коефіцієнт використання мережі теж прагне до 1, проте реальна пропускна здатність (в сенсі передачі корисної інформації) падає до нуля. У мережі циркулюють лише сигнали про наявність колізій (jam-послідовності).

Ясно, що дана ситуація недопустима для таких систем реального часу, як система УПР і навігації. Тому одним із завдань дисертаційних досліджень є розробка методики оцінки гранично допустимого коефіцієнта використання локальних мереж у складі корпоративної мережі АС УПР, методів структурної

адаптації окремих сегментів ЛВС і вироблення рекомендацій щодо коректного конфігуруванню мереж.

## **2.4. Рекомендації по вибору вигляду і структури інформаційно-обчислювальної підсистеми**

Перш за все, систематизуємо вимоги, які пред'являються до обчислювальних пристроїв і комп'ютерних мережах, за допомогою яких забезпечується робота автоматизованих систем управління критичного застосування (АСУ КП). Відзначимо, що обсяг вимог до АСУ КП як до такої ширше, ніж просто до систем реального часу (СРЧ). Основною відмінністю АСУ КП від СРЧ є вимога високої надійності і живучості. Під цим маються на увазі не тільки порівняно велика середній час безвідмовної роботи і збереження своїх функціональних можливостей в екстремальних умовах, зокрема, при впливі техногенних, природних і людських чинників. Для АС УПР як системи критичного застосування найважливішою умовою застосування є збереження працездатності (з відповідним обмеженням обсягу і якості розв'язуваних завдань) при повних чи приватних відмовах елементів, вузлів або навіть підсистеми, що входять до її складу. Крім того, час відновлення працездатності в повному обсязі повинно бути мінімальним. Це час визначається вимогами безперервності обслуговування повітряного руху: інтервали видачі команд і обміну даними зазвичай складають одиниці або навіть частки секунд. За цей час система повинна перейти на резервне пристрій або підсистему.

Природно, і обладнання, і програмне забезпечення інформаційно-обчислювальної підсистеми - стандартні комп'ютери, сервери або мейнфрейми, спеціалізовані обчислювачі, мережеве обладнання та лінійно-кабельні споруди, операційні системи та бази даних, спеціалізовані прикладні програми і т.д. - повинні працювати в реальному часі. Швидкодію інформаційно-обчислювальної підсистеми повинно бути таким, щоб вимога обслуговування АС УПР в реальному часі виконувалося при самій інтенсивної навантаженні. В даному випадку мається на увазі максимальна очікувана інтенсивність повітряного руху

для даного аеровузла або аеродрому. Необхідно враховувати ту обставину, що обчислювальні і комунікаційні ресурси обладнання несподівано швидко виснажуються через стрімке зростання обсягів нових послуг і додатків. Отже, при впровадженні нових комп'ютеризованих систем необхідно заздалегідь закладати резерви обчислювальних і комунікаційних потужностей і передбачати можливості розширення та нарощування існуючих систем.

Таким чином, основними вимогами до інформаційно-обчислювальної підсистемі АС УПР як системи критичного застосування, є висока надійність і живучість, ремонтпридатність і восстанавлюваність. Оскільки АС УПР повинна при цьому працювати в реальному часі, першочерговою вимогою до інформаційно-обчислювальної підсистемі є забезпечення необхідної продуктивності при будь-яких запланованих, в тому числі і пікових навантаженнях.

Звичайно, самим простим і очевидним є вирішення задачі «в лоб»: для підвищення надійності використовувати дорогі високонадійні вузли й елементи, резервувати цілі пристрої та лінійки обладнання; для досягнення необхідної продуктивності - експлуатувати систему на граничних режимах. Ясно, що при цьому одні результати іноді будуть досягатися за рахунок інших. Тому потрібно використовувати більш тонкі інструменти управління надійністю і якістю системи. В даному підрозділі зупинимося більш детально на мережевих елементах інформаційно-обчислювальної підсистемі, оскільки вони найчастіше є найбільш «вузьким місцем», і саме від них залежить результуюча продуктивність.

Відповідно до прийнятої в справжній час класифікації обчислювальних (комп'ютерних) мереж [12,13 и др.], інформаційно-обчислювальну підсистему АС УПР можна віднести до корпоративних мереж.

Корпоративні мережі мають такі характерні особливості.

1. За допомогою таких мереж покривається велика територія, аж до цілої країни або навіть континенту. Територіальний рознос вузлів мережі може досягати сотень і тисяч кілометрів.

2. Число користувачів (робочих станцій) може вимірюватися тисячами, число серверів - сотнями, мейнфреймів і спеціалізованих обчислювачів - десятками.

3. Дистанційні вузли найчастіше представляють собою високошвидкісні локальні мережі. Ці мережі можуть бути пов'язані між собою через будь-які фізичні канали, а топологія - як правило, змішана, причому не виключена наявність петель.

4. Канали глобального зв'язку між локальними «острівцями» корпоративної мережі, як правило, повинні мати швидкодiю такого ж порядку, що і швидкодiя цих локальних мереж - острiвцiв.

5. Процеси адміністрування корпоративних мереж, обліку користувачів, встановлення ієрархії і розподілу прав доступу повинні бути, по-перше, максимально автоматизовані, а по-друге, мати раціональну ступiнь децентралізації.

Тут перераховані лише деякі, найбільш важливі особливості корпоративних мереж. Можна стверджувати, що корпоративна мережа АС УПР - це гетерогенна мережа із змінною структурою. Змінність структури в даному випадку слід розуміти як випадкову послідовність змін в процесі функціонування мережі. Це зумовлено, по-перше, безперервним змінюючись числом активних користувачів, по-друге, випадковими і часто неконтрольованими змінами параметрів і структури мережі (наприклад, відмови устаткування), по-третє - суттєвою неоднорідністю трафіку даних, що циркулюють в мережі.

Під гетерогенністю мереж зазвичай розуміють різнорідність комутаційного обладнання та каналобразуючої апаратури, великі відмінності (іноді на кілька порядків) в пропускну здатності окремих фрагментів мережі, наявність різних мережевих технологій, протоколів обміну даними і т.д.

З урахуванням сказаного можна стверджувати, що корпоративна мережа автоматизованої системи управління повітряним рухом об'єктивно являє собою сегментовану структуру. Окремі сегменти функціонують досить самостійно і слабо впливають один на одного.

Співвідношення обсягів внутрисегментного  $V_{вн}$  і міжсегментного  $V_{мс}$  трафіку  $q_{тр} = V_{вн} / V_{мс}$  змінюється в широких межах. За результатами аналізу можна зробити наступні висновки.

1. У мережах загального призначення - комп'ютерних, телекомунікаційних, конвергованої - традиційне співвідношення  $q_{tr} = 80/20$ , тобто 80% трафіку - звернення до локальних ресурсів всередині сегмента і 20% трафіку - обмін даними між сегментами. В даний час воно трансформується в бік збільшення частки міжсегментного обміну: «50/50» і навіть «20/80».

2. У мережах систем критичного застосування аналізовані співвідношення дуже сильно залежать від режиму роботи. В штатному режимі може мати місце співвідношення «80/20» і навіть менше.

В екстремальних ситуаціях воно змінюється до «20/80», причому пріоритет міжсегментного обміну є значно вищим. Фактично це веде до подальшого збільшення частки міжсегментного трафіку як більш пріоритетного:  $q_{tr} = V_{вн} / V_{мс} \square$  «10/90» і більше. Однак і менш пріоритетний внутрішньосегментний трафік повинен обслуговуватися в реальному масштабі часу, особливо в екстремальних ситуаціях.

Таким чином, корпоративна інформаційно-обчислювальна (інфокомунікаційних) мережа АС УПР повинна будуватися по «острівній» принципом. Топологія мережі, як правило, є змішаною. У ній можуть бути присутні такі елементи:

- скринькова топологія;
- Загальна шина;
- Ієрархічна зірка;
- Кільце.

Для досягнення необхідної продуктивності, сумісності мережевих технологій і протоколів обміну, масштабованості і розширюваності мережі доцільно використовувати підхід, заснований на еталонній моделі взаємодії відкритих систем (OSI - Open System Interconnection). Модель OSI - це міжнародний стандарт, прийнятий спільно міжнародною організацією по стандартизації ISO та міжнародним союзом з телекомунікацій (сектор стандартів у галузі телекомунікацій) ITU-T. Всі сучасні комп'ютерні та телекомунікаційні мережі будуються на базі моделі OSI. Детальний опис стандарту моделі OSI



займає більше 1000 сторінок тексту. Для нас же найбільш важливим є наступні принципові особливості моделі OSI:

- Семирівнева структура організації обміну даними: від нижнього - фізичного рівня, до верхнього - рівня додатків;
- Всі операції з обміну даними контролюються «зверху вниз»: якщо один з нижніх рівнів не виконав свої функції (або виконав їх з помилками), то на верхніх рівнях виниклі проблеми усуваються, а при неможливості їх дозволу операції нижніх рівнів повторюються.

В рамках моделі OSI побудову корпоративної мережі АС УПР є найбільш ефективним і наочним. Уявімо, що кожен рівень обслуговується найближчим нижнім рівнем (є клієнтом нижнього рівня), а сам, в свою чергу, обслуговує найближчий верхній рівень (є, відповідно, сервером для верхнього рівня). Тоді ми отримаємо багат шарову (багаторівневу) модель мережі АС УПР, з багаторазовим використанням технології «клієнт-сервер». Така модель зображена на рис. 2.3.

При такій організації мережі контроль, управління і модернізація є децентралізованими. Всі ці процедури спрощуються, а ефективність їх виконання і надійність системи в цілому підвищуються.

В рамках запропонованої багат шарової моделі легко логічно і технічно обґрунтувати структуру корпоративної мережі АС УПР. Як відомо [19,20.21], в цифрових конвергованих мережах (або мережах нових поколінь - NGN) найбільш поширеними є АТМ і ІР-технології. Основними достоїнствами протоколу ІР є його простота і можливість динамічної фрагментації пакетів. Однак протокол ІР, будучи, по суті, дейтаграмним протоколом, не дає ніяких гарантій доставки повідомлень. Якщо при цьому на якій-небудь ділянці мережі сталася втрата пакетів, вузли комутації (або маршрутизатори) починають посилати запити своїм сусідам. Навантаження зростає лавиноподібно і може взагалі паралізувати даний фрагмент мережі, що для умов критичного застосування неприпустимо.

З іншого боку, АТМ-технологія хороша тим, що є високошвидкісний (швидкості до 622 Мбіт / с) і забезпечує універсальну обробку різнорідного трафіку в гетерогенній мережі. Крім того, АТМ-технологія забезпечує гарантоване значення QoS - quality of service (якість сервісу).

## Багатошарова (багаторівнева) модель мережі АС УПР

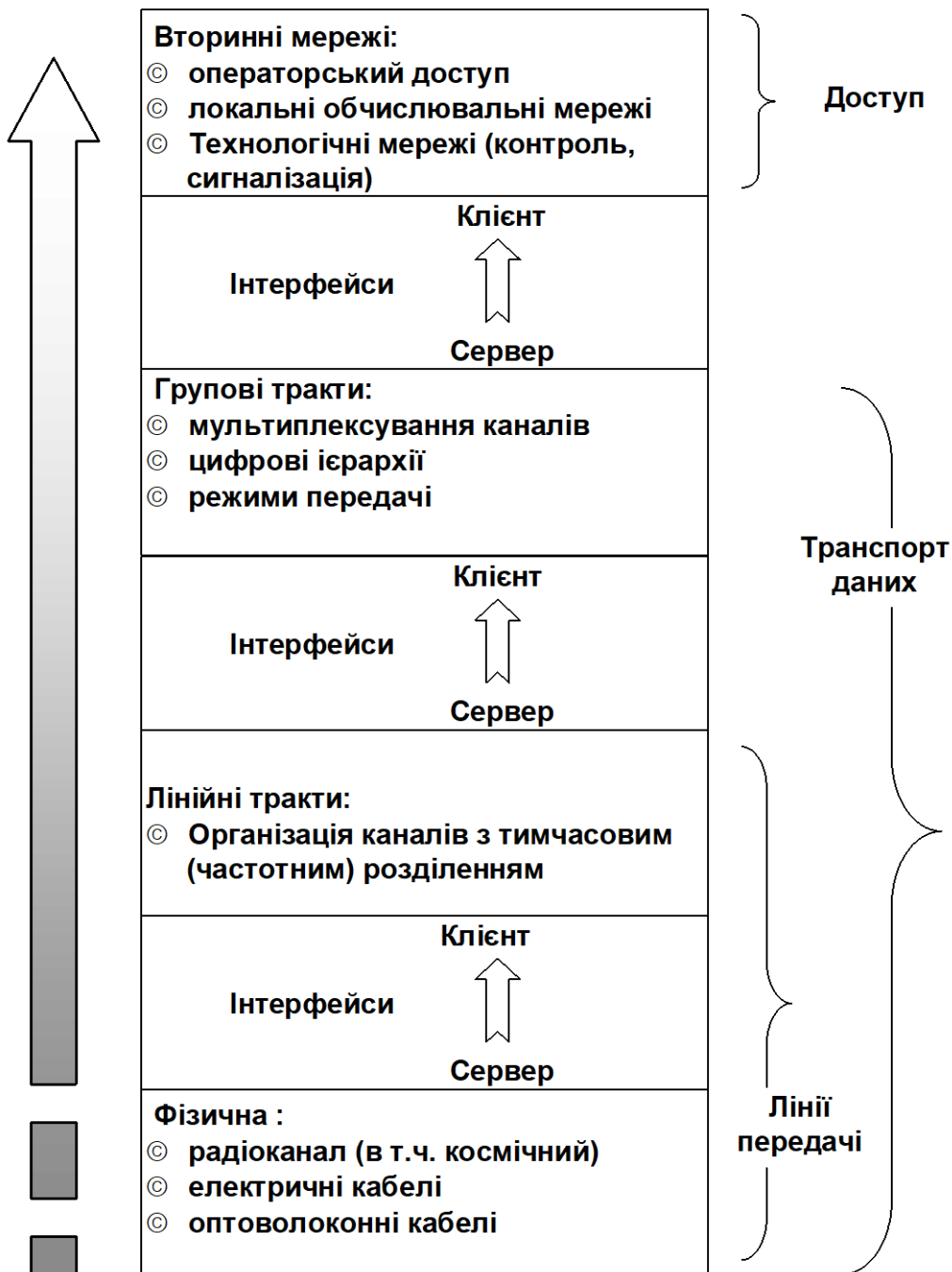


Рис. 2.3. Багаторівнева модель мережі УПР.

Тому цілком логічним підходом є створення багаторівневої цифрової архітектури мережі виду IP / ATM / SDH / DWDM, де IP - Internet Protocol (протокол Інтернет); ATM - Asynchronous Transfer Mode (технологія асинхронного режиму передачі або переносу пакетів стандартного розміру 53 байта); SDH - Synchronous Digital Hierarchy (синхронна цифрова ієрархія); DWDM - Dense Wave Division Multiplexing - оптична технологія високоплотного мультиплексування з поділом за довжиною хвилі.

На рис 2.4. представлений варіант сучасної багаторівневої архітектури.



Рис 2.4. Багаторівнева архітектура

З урахуванням наведених вище міркувань можна представити структуру корпоративної мережі АС УІР у вигляді магістральної мережі (так званої backbone або core network), до якої через мережі доступу підключаються багатосегментні мережі окремих аеровузлів / районів. Як відомо [22], така структура застосовується практично в будь-яких великих, в тому числі і глобальних мережах внаслідок своєї простоти і хороших можливостей нарощування і модернізації. Магістральна мережа являє собою АТМ-мережу на основі оптоволокна. Мережі доступу і локальні обчислювальні мережі (МВС) доцільно будувати на мідних кабелях типу кручений пари (Fast Ethernet) або на оптичних кабелях (Gigabit Ethernet). Відзначимо, що оптичні технології в цілому набагато дорожче, ніж технології на основі мідних кабелів (в основному через дорожнечу оптичного комутаційного обладнання та буферної пам'яті). Тому використовувати такі високошвидкісні підмережі доцільно тільки на найвідповідальніших ділянках, наприклад, в мережах управління, обробки конфліктних ситуацій та ін.

На рис 2.5. зображений варіант структури корпоративної мережі АС УПР. Судячи з цієї схемою, основним термінальним обладнанням інформаційно-обчислювальної структури є автоматизовані робочі місця (АРМ) диспетчерів і керівників. Відповідно до концепції Гармонізації національних систем організації повітряного руху держав - ділянок співдружності незалежних держав, що базується, в свою чергу, на концепції аеронавігаційної системи «Євроконтролю», планується масове впровадження АРМ з метою зниження завантаження операторів АС УПР. Оператори (диспетчери, керівники) вивільняються від рутинних, одноманітних, багаторазово повторюваних операцій і отримують більше можливостей для ефективного і швидкого вирішення нестандартних завдань.

АРМ різного призначення пов'язуються між собою через локальну обчислювальну мережу, виконану за однією з базових технологій ЛВС. За результатами аналізу вітчизняних і зарубіжних розробок АС УПР можна зробити висновок, що найбільш широко застосовуваної базовою технологією ЛВС є Ethernet різних модифікацій: стандартний 10 Мбіт, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet.

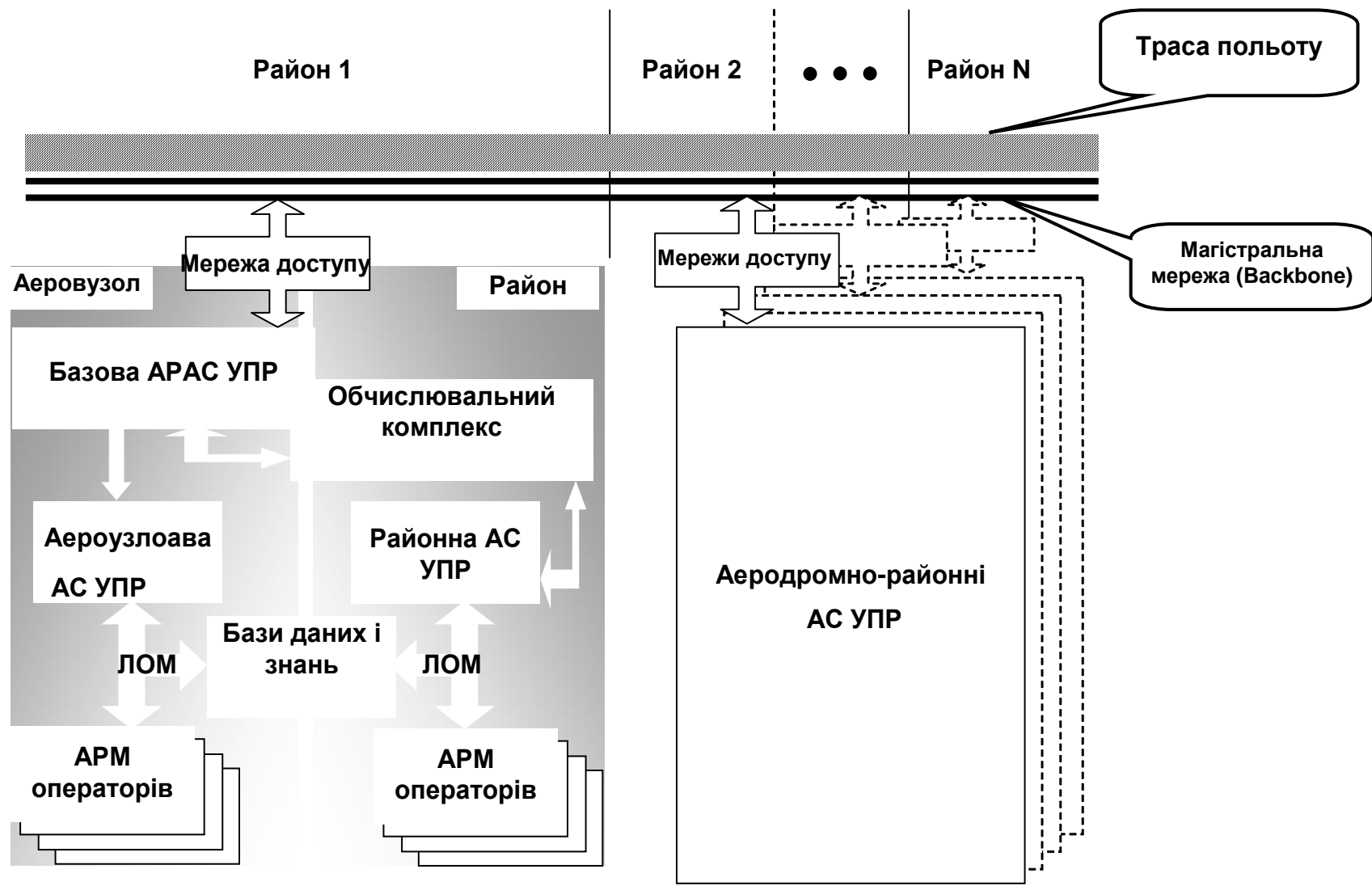


Рис. 2.5. Магістральна мережа АС УПР

Основною перевагою технології Ethernet є простота організації та управління ЛВС. Зберігається спадкоємність принципів організації попередніх і наступних модифікацій Ethernet. Тому модифікація мережного обладнання, нарощування мережі до меж, що визначаються стандартами IEEE 802.x, здійснюються досить просто.

У корпоративній мережі АС УПР також превалює «острівної» принцип, який дуже поширений в телекомунікаційних та комп'ютерних мережах [23]. Тут цей принцип об'єктивно є найбільш придатним внаслідок великого територіального розносу локальних елементів корпоративної мережі, причому найчастіше - вздовж трас польотів (см. рис. 2.6).

Розглянемо один з типових «острівців» корпоративної мережі АС УПР - локальну обчислювальну мережу аеродромно-районної АС УПР (Арас УПР). Вона включає в себе універсальні та спеціалізовані обчислювачі, бази та сховища даних, набір АРМ операторів - диспетчерів, керівників, груп зв'язку, метео, довідкової інформації та ін.

Між окремими АРМ, які виконують самостійні функції, необхідні розв'язки з внутрішнього та міжсегментного трафіку. Також необхідні розв'язки і між обчислювальними мережами сусідніх районів. Як зазначалося вище, розв'язки - це основа структуризації мереж із загальною розділяється середовищем, які обслуговують системи реального часу і особливо системи критичного застосування.

На малюнку 2.4 представлений варіант типової структурної схеми обчислювальної мережі та набору АРМ диспетчерів Арас УПР. Тут абревіатури NA (network adaptor) - мережевий адаптер, Hub - концентратор, Root hub - кореневої концентратор. ТКНС означає «технологічний контроль, навігація та зв'язок».

Мережеві адаптери, які, на сьогоднішній день, з успіхом виробляються і використовуються сьогодні в комп'ютерах, можна впевнено віднести до четвертого покоління мережних адаптерів. Всі сучасні адаптери розроблені на базі інтегральних схем ASIC, і це обов'язково, і вони виконують не тільки функції MAC - рівня, але і багато інших, що знаходяться на більш високих рівнях.

Наприклад, можна виділити наступні функції: дистанційне керування комп'ютером, підтримка агента віддаленого моніторингу RMON, схема пріоритезації кадрів і багато інших. Якщо говорити про серверному мережевому адаптері, то він вимагає наявності потужного процесора, який би розвантажував центральний процесор. До мережевих адаптерам четвертого покоління відноситься, наприклад, розробка від компанії 3Com Fast EtherLink XL 10/100.





## Структура автоматизованих робочих місць диспетчерів системи управління повітряним рухом

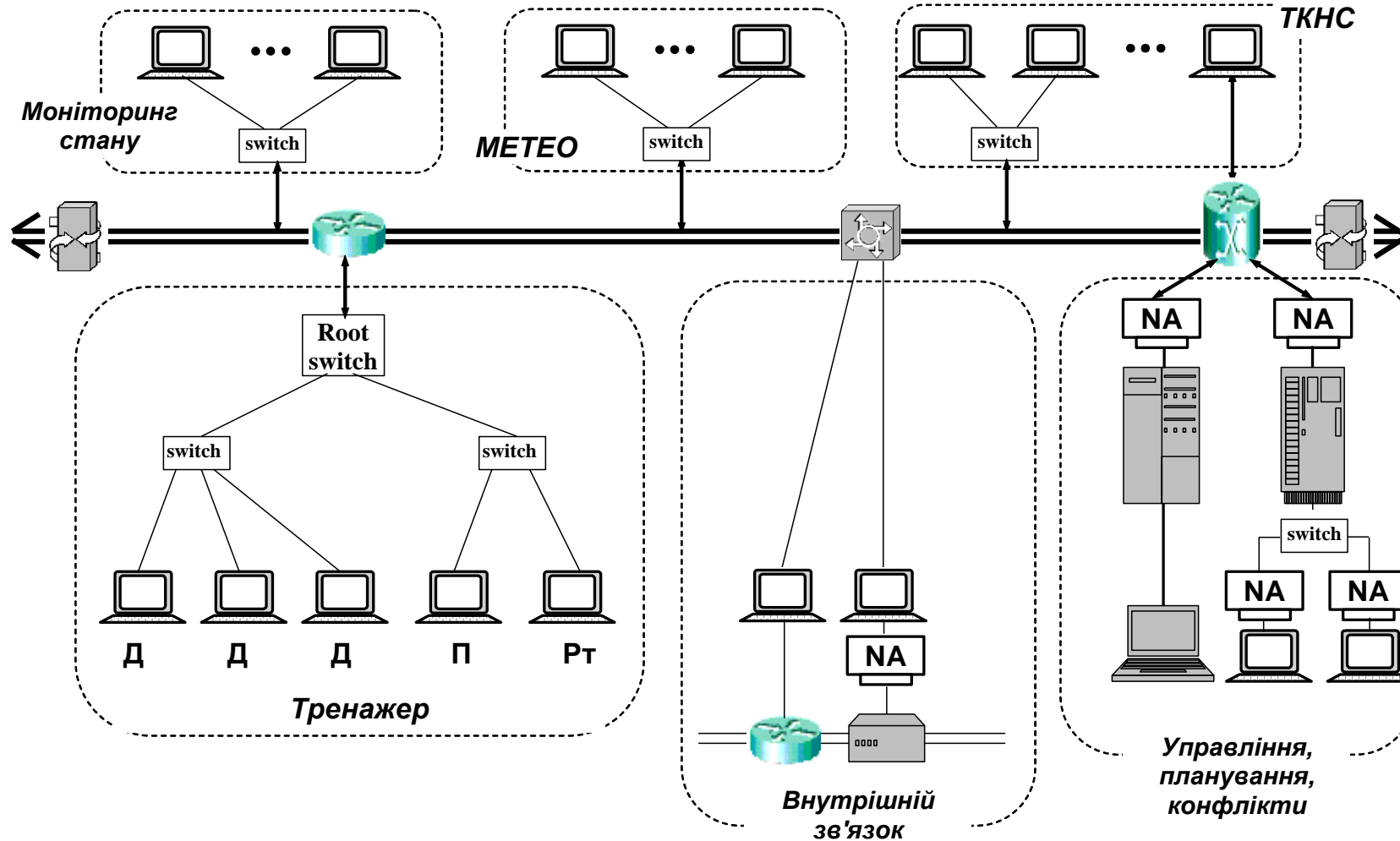


Рис. 2.6. Структура автоматизованих робочих місць

Мається на увазі зв'язок із зовнішніми абонентами (земля, повітряні судна, супутникові системи). Для внутрішнього зв'язку використовується окрема локальна мультисервісна мережу, по якій здійснюється транспорт як аналогових сигналів (термінальний вузол під'єднується через модем), так і цифрових сигналів (через комутатор).

Передбачається, що локалізація ділянки магістральної мережі, яка проходить через розглянутий район, здійснюється за допомогою шлюзів. Локалізація окремих ЛВС, обслуговуючих відповідні АРМ, може здійснюватися за допомогою комутаторів, а для найвідповідальніших ланок - за допомогою програмних комутаторів або маршрутизаторів з різними можливостями і наборами надаються. Такий вибір вузлів комутації ґрунтується на результатах порівняльного аналізу їх характеристик: ефективності, вартості, можливості застосування при розширенні або зміні масштабу мережі 13,22,23,24,25.

Для вирішення обчислювальних задач, пов'язаних з обробкою конфліктних або екстремальних ситуацій, сплесками інтенсивності повітряного руху та пр., До складу ЛВС включаються спеціалізовані обчислювачі реального часу (див. Попередні розділи). Обробка статистики навантаження на магістральну і локальні обчислювальні мережі може здійснюватися в універсальному обчислювачі. Там же реалізуються алгоритми адаптивної логічної структуризації мереж.

Кількість термінальних вузлів кожного АРМ залежить від обсягу та напруженості розв'язуваних завдань і визначається індивідуально для кожної конкретної АРАС УПР. Відповідно, і при загальному виборі конкретного мережевого комутаційного, термінального та лінійно-кабельного обладнання необхідно враховувати безліч організаційних, технічних і економічних факторів.

Розроблені принципи побудови розглянутої інформаційно-обчислювальної підсистеми є досить універсальними. Завдяки широким можливостям і простоті зміни режимів роботи комутаційного обладнання

забезпечується швидка і ефективна адаптація логічної структури обчислювальних мереж підсистеми.

Таким чином, запропоновані структури корпоративної мережі і локальних обчислювальних мереж для систем критичного застосування (рис. 2.5, 2.6) можуть служити в основі побудови інформаційно-обчислювальної підсистеми АС УПР.

## Висновок до розділу 2

1. В розділі дані рекомендації з вибору вигляду і структури корпоративної обчислювальної мережі АС УПР як системи критичного застосування ґрунтуються на результатах теоретичного аналізу, математичного моделювання та експериментальних досліджень.

2. Запропоновано багатопшарова структура інформаційно-обчислювальної системи типу «магістральна мережа - мережі доступу - автономні локальні мережі - автоматизовані робочі місця - універсальні ЕОМ - спеціалізовані обчислювачі». Використовуючи такі принципи побудови, можна максимально розвантажити операторів, залишивши їм тільки завдання, що вимагають творчого, нешаблонного підходу. Крім того, така структура дає широкі можливості швидкої адаптації до мінливих обставин, перерозподілу обчислювальних і мережевих ресурсів, зосередження їх на дозволі нештатних ситуацій (особливо конфліктів НР), коли потрібно в реальному часі виконувати обчислення та передачу даних, обсяги яких на кілька порядків перевищують аналогічні обсяги для штатних ситуацій.

3. Для забезпечення ефективного функціонування систем критичного застосування з гетерогенною структурою, типовим прикладом яких є АС УПР, необхідно, по-перше, мати резерв продуктивності обчислювачів, а, по-друге, забезпечувати обмін інформацією між споживачами в реальному часі.

4. Для обміну даними між ланками АС УПР в умовах різноманітного трафіку зі змінною інтенсивністю необхідно розробити методи раціонального перерозподілу навантаження на елементи корпоративної мережі АС УПР.

## РОЗДІЛ 3. НАДІЙНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

### 3.1. Основні поняття теорії надійності інформаційних систем

Будь-яка наука розвивається, виходячи з основних понять і визначень. Такими поняттями в теорії надійності є "надійність" і "відмова". Надійністю називається фізична властивість технічного пристрою зберігати свої характеристики в процесі експлуатації. Це визначення є об'єктивним фундаментальним поняттям. Воно не викликає заперечень і будь-яких уточнень, якщо мова йде про надійність техніки [26].

Відмовою називається подія, після виникнення якої характеристики технічного пристрою виходять за допустимі межі. Це поняття є суб'єктивним, т. К. Допустимі межі залежать від нашої свідомості і в більшості випадків не можуть бути встановлені об'єктивно. У класичній теорії надійності нетехнічні системи, наприклад інформаційні, не розглядалися. Більше того, вважалося, що поняття надійності до таких систем, як виробництво, диспетчерський пункт, економічне підприємство і т. П., Не застосовується. Функціонування цих об'єктів з позиції теорії надійності повинно було оцінюватися показниками їх ефективності. Зазначене обмеження в теорії надійності необхідно зняти. Теорія надійності повинна розвиватися не тільки вглиб, але і вшир. Її поняття і методи корисно використовувати для оцінки функціонування не тільки технічних об'єктів. Поняття "надійність" в тому вигляді, як воно було сформульовано раніше, не застосовується для нетехнічних об'єктів.

НАУ 21 22 83 000 ПЗ

Виконав	Балибердін Б.О			НАДІЙНІСТЬ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	Літера	аркуш	аркушів
Керівник	Моржов В.І.					77	17
Консульт.					УС-212М 122		
Н. контроль	Райчев І.Е.						

Надійність функціонування нетехнічних системи не є її фізичним властивістю. Це лише здатність системи виконувати певні функції. Цьому поняттю можна дати наступне визначення: надійністю називається здатність об'єкта виконувати свої функції в процесі експлуатації.

Демо таке визначення поняттю "відмова". Відмовою нетехнічного об'єкта називається подія, після виникнення якого його показники виходять за допустимі предели. По аналогією з технічними об'єктами, видами відмов нетехнічного об'єкта можуть бути: раптові, поступові і перемежуються. При раптовому відмову функціонування об'єкта або припиняється, або стає мало ефективним. При поступову відмову характеристики об'єкта з плином часу погіршуються до настання повної відмови, коли функціонування об'єкта стає недоцільним. Переміжним відмовою називається подія, після виникнення якого функціонування об'єкту лише тимчасово стає неефективним. Откази нетехнічного об'єкта є подіями випадковими, т. К. У більшості випадків передбачити час їх виникнення практично неможливо, хоча прогнозування відмови тут більш імовірно, ніж в технічних системах. Типічними прикладами інформаційних систем є: інформаційнопоісковие системи, бази даних, диспетчерські системи, банкомати, бібліотеки, телефонні мережі, довідкові системи і т. д. заявки на обслуговування в цих системах є люди - споживачі інформації, обслуговуючими органами- бази даних, диспетчерські пункти, бібліотеки, довідники, банки даних і т. п. Всі ці системи можна віднести до систем масового обслуговування (СМО) Широке поширення СМО вимагає серйозних наукових досліджень з оцінки їх ефективності, одним з показників якої є надійність. Розглянемо функціонування СМО з позиції її надійності і уточнимо поняття "надійність" і "відмова". Існують два класи СМО: системи з відмовами та системи з чергою. Як ті, так і інші можуть бути одноканальні і багатоканальні з різними пріоритетами обслуговування. системи масового обслуговування с отказами наиболее часто бывают многоканальными.

У цих системах чергу на обслуговування не утворюється. Якщо всі канали зайняті, то черговий заявці відмовляють в обслуговуванні. Прикладами таких систем є: лікарня з обмеженим числом місць для хворих, диспетчерський пункт системи управління повітряним рухом, платна стоянка автомобілів, телефонний вузол і т. П. Для заявок на обслуговування найбільш важливим показником функціонування СМО є можливість обслуговуючого органу прийняти заявку на обслуговування в будь довольний момент часу  $t$ . Тоді відмовою СМО є подія, при якому заявка не буде прийнята на обслуговування в момент її надходження.

Системи масового обслуговування з чергою в обслуговуванні не відмовляють. Можна подумати, що ці системи відмов не мають. Однак це далеко не так. Якщо, наприклад, черга на обслуговування довга, а заявка обмежена в часі, то остання покине обслуговуючий орган і для неї така СМО є ненадійною. Для СМО з чергою відмовою є подія, при якому заявка залишає чергу. У даному випадку відмова СМО є поняттям суб'єктивним, залежним від думки заявки. Для заявки найбільш важливим показником функціонування такої СМО є тривалість обслуговування.

### 3.2. Критерії надійності інформаційних систем

Аналіз функціонування інформаційних систем дозволяє стверджувати, що критеріями їх надійності можуть бути ті ж критерії, які в теорії надійності застосовуються для аналізу надійності невідновлювальних та відновлюваних технічних систем. Відмінність полягає лише в їх фізичному сенсі. Основними з них є:

$P(t)$  — вірогідність безвідмовної роботи;

$T_1$  — середній час безвідмовної роботи;

$K_r(t)$  — функція готовності;

$K_r$  — коефіцієнт готовності;

$T$  — напрацювання на відмову.

Дано визначення цим критеріям.

*Ймовірністю безвідмовної роботи інформаційної системи* будемо називати ймовірність того, що жодній з заявок не відмовлено в обслуговуванні протягом часу  $t$ . Ймовірність безвідмовної роботи є функцією, спадної в часі і має такі властивості:  $P(0) = 1$ ,  $P(\infty) = 0$ . Ймовірність безвідмовної роботи є інтервальна характеристика надійності інформаційної системи.

*Середнім часом безвідмовної роботи* називається математичне очікування часу до відмови. Ця характеристика є інтегральною. Її застосування доцільно в тих випадках, коли інформаційна система тривалого функціонування без перерв у роботі. Інформаційну систему слід розглядати, як систему з відновленням. Дійсно, при виникненні відмови в обслуговуванні заявки система не припиняє функціонування. Через час, рівний часу обслуговування однієї заявки, вона буде готова обслуговувати чергову заявку. функцією готовності інформаційної системи називається ймовірність того, що в довільний момент часу  $t$  інформаційна система готова прийняти заявку на обслуговування. Функція готовності може мати вигляд, показаний на рис. 3.1.

*Коефіцієнт готовності* є граничним значенням функції готовності і визначається виразом:

$$K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} K_r(t)$$



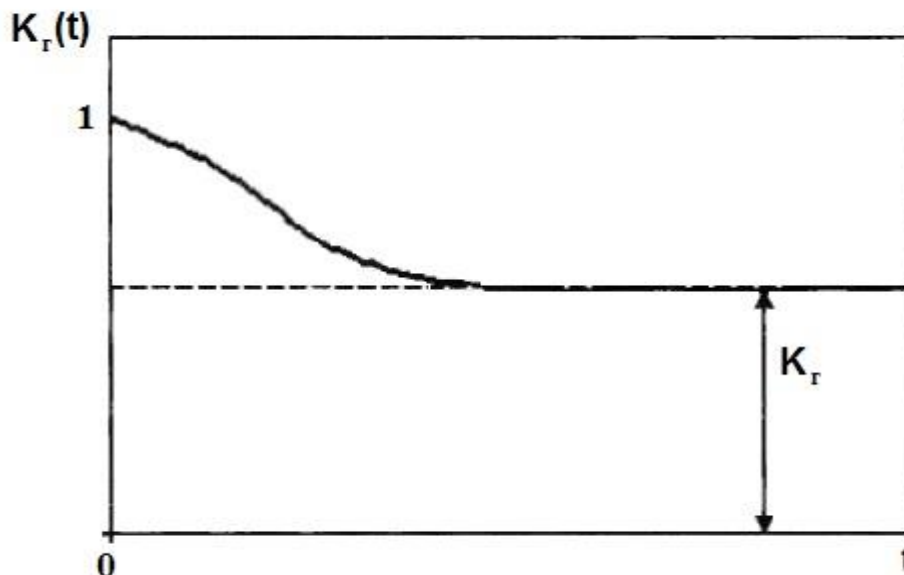


Рис. 3.1. Функція готовності інформаційної системи

*Напрацюванням на відмову T* називається математичне очікування часу між відмовами системи. Жоден з розглянутих показників не може повною мірою характеризувати надійність функціонування інформаційної системи. Тільки сукупність цих критеріїв дозволить оцінити надійність системи масового обслуговування.

### 3.3. Методи аналізу надійності інформаційних систем

Весь обсяг інформації, що зберігається в системі, можна представити як сукупність  $n$  незалежних, відмінних за змістом частин. Тоді функціонування інформаційної системи, в сенсі її надійності, можна описати у вигляді послідовного (основного) з'єднання елементів. Джерел інформації може бути декілька (наприклад, кілька комп'ютерів з базами даних). Тоді для споживача інформації така система є структурно резервованою. При цьому резерв може бути постійний (якщо системи працюють одночасно) або заміщенням (якщо резервна система підключається тільки при відмові основній). Інформаційна система є, як правило, відновлюваною. Однак її надійність іноді корисно оцінювати до першої відмови. Заявки на обслуговування-це споживачі інформації. При цьому час між заявками є

величина випадкова, аналогічно часу між відмовами технічної системи. Будемо вважати, що потік заявок на обслуговування є дуже простим. Час обслуговування заявки залежить від безлічі факторів: обсягу необхідної інформації, кваліфікації обслуговуючого органу і т. п. Цей час також є величиною випадковою. Будемо вважати, що час обслуговування заявки має експоненціальне розподіл вірогідностей. Із сказаного раніше видно, що з точки зору надійності функціонування інформаційної системи аналогічно технічної. А це дає нам право стверджувати, що методи аналізу надійності, розроблені в теорії надійності технічних систем придатні також для аналізу надійності інформаційних систем.

### 3.4. Аналіз багатоканальної системи масового обслуговування з відмовами

Відомі три основних способи опису функціонування технічних систем в сенсі їх надійності: структурна схема, граф станів і система диференціальних або алгебраїчних рівнянь. Ці способи застосовні і для випадку надійності функціонування СМО.

1. Ефективним способом опису функціонування СМО в сенсі її надійності є граф станів. Вузлам графа приписуються стани системи, а гілкам, їх з'єднує, інтенсивності переходів з стану в стан. Функціонування багатоканальної СМО з відмовами описується графом, наведеним на рис.3.2.

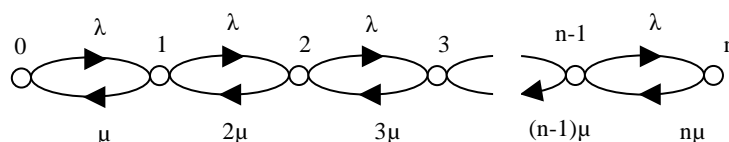


Рис. 3.2. Граф станів багатоканальної СМО.

Далі на рис. 3.2 використовуються наступні позначення:

$\lambda$ — інтенсивність потоку заявок на обслуговування;

$\mu$  — інтенсивність обслуговування заявки;

$n$ — число обслуговуючих органів;

$S_0$  — стан системи, при якому заявок на обслуговування немає;

$S_j$ ,  $i= 1,2,\dots, n-1$  — стан системи, при якому обслуговуються заявки;

$S_n$  - стан відмови системи, коли всі канали зайняті і чергова заявка отримує відмову в обслуговуванні. Предположимо спочатку, що система працює до першої відмови. У цьому випадку відсутній перехід з отказового стану  $S_n$  в справний стан  $S_{n-1}$ . У цьому випадку говорять, що на відповідній гілці графа ставиться екран.

2. Математична модель функціонування системи масового обслуговування з відмовами представляється системою диференціальних рівнянь, де:

$P_0(t)$ — ймовірність того, що в момент часу  $t$  система знаходиться в стані відсутності заявок;

$P_i(t)$ ,  $i = 1,2, \dots, n-1$  — ймовірність того, що в момент часу  $t$  система знаходиться в стані обслуговування  $i$  заявок;

$P_n(t)$  — ймовірність того, що в момент часу  $t$  система знаходиться в відмовному стані, тобто, в такому стані, коли на обслуговуванні перебуває граничне число заявок і черговий заявці буде відмовлено в обслуговуванні.

$P_n(t)$  є ймовірністю відмови системи протягом часу  $t$ . Тоді ймовірність безвідмовної роботи системи  $P_c(t)$  виражатиметься наступною залежністю:

$$P_c(t) = 1 - P_n(t) \quad (3.1)$$

Отримавши математичну модель системи за умови відсутності екрану із стану  $S_n$  в справний стан  $S_{n-1}$ . Така модель аналогічна моделі Технічне системи з відновленням відмов. Вона дозволить оцінити надійність СМО за критеріями  $K_r(t)$ ,  $T$ . У цьому випадку система диференціальних рівнянь буде мати вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t); \\ \frac{dP_i(t)}{dt} = \lambda P_{i-1}(t) - (\lambda + i\mu)P_i(t) + (i+1)\mu P_{i+1}(t), \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \\ \frac{dP_n(t)}{dt} = \lambda P_{n-1}(t) - n\mu P_n(t). \end{array} \right. \quad (3.2)$$

Вірогідність  $P_n(t)$  має сенс неготовності системи прийняти наступну заявку в момент часу  $t$  (коефіцієнт простою). Тоді функцією готовності буде наступний вираз:

$$K_r(t) = 1 - P_n(t) \quad (3.3)$$

При  $t \rightarrow \infty$  ймовірності  $P_0, P_i, P_n$  прагнуть до постійних величин, і система диференціальних рівнянь (3.3) перетворюється на наступну систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda P_0 + \mu P_1 = 0; \\ \lambda P_{i-1} - (\lambda + i\mu)P_i + (i+1)\mu P_{i+1} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n-1; \\ \lambda P_{n-1} - n\mu P_n = 0. \end{array} \right. \quad (3.4)$$

Ця система має незліченну безліч рішень. Проте має місце рівняння

$$P_0 + P_1 + \dots + P_n = 1$$

яке заміщає одне будь-яке рівняння системи (3.4). Тоді система буде мати єдине рішення. В системі (3.4) ймовірність  $P_n$  має сенс коефіцієнта неготовності системи. Тоді коефіцієнт готовності, як граничне значення функції готовності, визначається виразом:

$$K_r = 1 - P_n. \quad (3.5)$$

Обчислення ймовірності безвідмовної роботи системи потребує вирішення системи диференціальних рівнянь. Можливі два способи

вирішення: чисельний і аналітичний. Аналітичний метод переважніше, т. К. Він дає рішення у вигляді формули. Сутність аналітичного методу полягає в наступному:

- ✓ система записується у вигляді перетворення Лапласа;
- ✓ система алгебраїчних рівнянь в перетвореннях Лапласа вирішується за допомогою універсальних математичних програмних засобів символної математики (Mathematica, Maple, Derive, Mathcad, Matlab);
- ✓ знаходиться зворотне перетворення Лапласа за допомогою тих же систем символної математики;
- ✓ за ймовірністю безвідмовної роботи знаходиться середній час безвідмовної роботи, використовуючи співвідношення:

$$T_1 = \lim_{s \rightarrow 0} P_c(s). \quad (3.6)$$

Система (3.1) у перетворенні Лапласа має вигляд:

$$\begin{cases} (s + \lambda)P_0(s) - \mu P_1(s) = 1; \\ (s + \lambda + i\mu)P_i(s) - \lambda P_{i-1}(s) - (i + 1)\mu P_{i+1}(s) = 0, i = 1, 2, \dots, n - 2; \\ (s + \lambda + (n - 1)\mu)P_{n-1}(s) - \lambda P_{n-2}(s) = 0; \\ sP_n(s) - \lambda P_{n-1}(s) = 0. \end{cases} \quad (3.7)$$

Отримані нами результати є спільними в теорії надійності. Справа в тому, що аналогом функціонування багатоканальної системи масового обслуговування з відмовами є резервована відновлювана система з резервуванням за методом заміщення з кратністю, що дорівнює числу  $n$  одночасно обслуговуваних заявок.

Структурна схема такої системи і граф її станів наведено на рис. 3.5, а і б соответственно. 3.5, а и б соответственно. На малюнку прийняті наступні позначення:

$\lambda$  - інтенсивність відмов нерезервованої системи;

$\mu$  - інтенсивність відновлення системи;

$m$  - кратність резервування, рівна в даному випадку числа резервованих елементів.

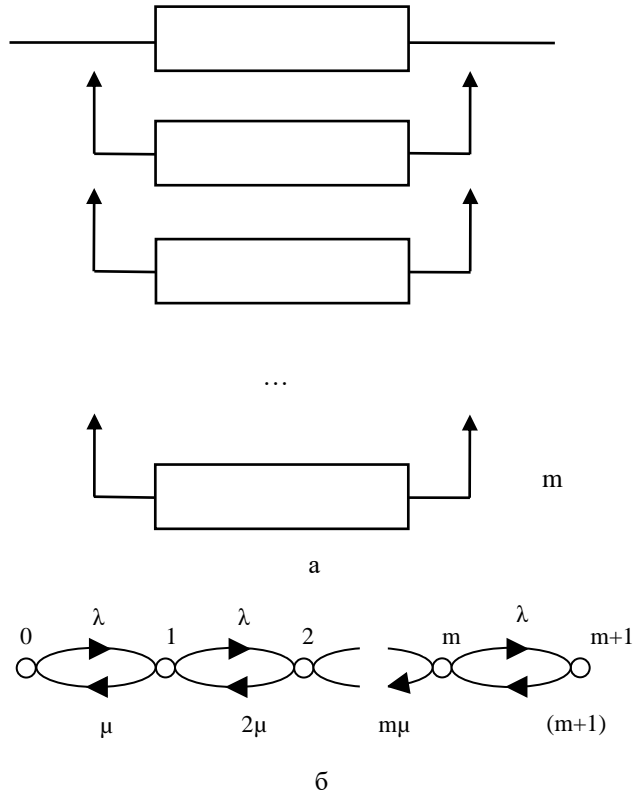


Рис. 3.5. Структурная схема (а) и граф состояний (б) системы

Порівнюючи графи станів рис. 3.2 і 3.5, б, бачимо, що при кратності резервування  $m = n$  вони є ідентичними. Таким чином, з позицій теорії надійності б агатоканальна система масового обслуговування - це резервована система, інтенсивність відмов елементів якої є інтенсивність потоку заявоку  $\lambda$ , а інтенсивність відновлення відмовивших елементів є інтенсивність обслуговування заявки. Отримані раніше формули в повній мірі відносяться до надійності резервованих відновлюваних систем при загальному резервуванні заміщення.

### **3.5. Надійність диспетчерського пункту системи управління повітряним рухом**

Як приклад виконаємо аналіз надійності диспетчерського пункту системи управління повітряним рухом (УПС). Диспетчерський пункт - це обслуговуючий орган системи УПС, потоком заявок якої є повітряні судна, які прибувають в аеропорт. Диспетчер при цьому може обслуговувати кілька літаків одночасно. Проміжки часу між прибуттям літаків є випадковими. Це пояснюється багатьма причинами: запізненням вильоту літака з пункту відправлення, відмовами техніки, метеорологічними умовами і т. Д. З цих причин можливі випадки відмови системою УПС в прийомі літака з відправленням повітряного судна на друге коло, або в зону очікування, або на запасний аеродром . Таким чином, диспетчерський пункт системи УПС є багатоканальної СМО з відмовами. Аналіз надійності цієї системи вимагає знання інтенсивності повітряних суден та інтенсивності їх обслуговування. Аналіз функціонування аеропорту Жуляни (Київ) показав, що інтенсивність потоку повітряних суден є величиною постійною і рівною 3,7 судів

### **3.6. Надійність диспетчерського пункту системи управління повітряним рухом**

Як приклад виконаємо аналіз надійності диспетчерського пункту системи управління повітряним рухом (УПС). Диспетчерський пункт - це обслуговуючий орган системи УПС, потоком заявок якої є повітряне судно, які прибувають в аеропорт. Диспетчер при цьому може обслуговувати кілька літаків одночасно. Проміжки часу між прибуттям літаків є випадковими. Це пояснюється багатьма причинами: запізненням вильоту літака з пункту відправлення, відмовами техніки, метеорологічними умовами і так далі. З цих причин можливі випадки відмови системою УПС в прийомі літака з

відправленням повітряного судна на додаткове коло, або в зону очікування, або на запасний аеродром. Таким чином, диспетчерський пункт системи УПС є багатоканальної СМЗБ відмовами. Аналіз надійності цієї системи вимагає знання інтенсивності повітряних суден та інтенсивності їх обслуговування. Аналіз функціонування аеропорту Жуляни показав, що інтенсивність потоку повітряних суден є величиною постійною і рівною 3,7 судів на годину, добо.  $\lambda = 3,7 \text{ год}^{-1}$ . Інтенсивність обслуговування повітряного судна диспетчером дорівнює  $\mu = 4,7 \text{ год}^{-1}$ . Так як інтенсивність обслуговування  $\mu > \lambda$ , то обслуговування повітряних суден було б абсолютно надійним, якби літаки літали за розкладом. Яка ж надійність системи УПР в умовах випадковості потоку літаків?

Визначимо показники надійності системи  $P(t)$ ,  $T_1$  і показники готовності  $K_r(t)$ ,  $K_r$ ,  $T$ .

Подаючи у вирази для ймовірності відмови  $P_n(s)$  значення  $\lambda = 3,7 \text{ год}^{-1}$  і  $\mu = 4,7 \text{ год}^{-1}$  і визначаючи оригінали  $P_n(t)$ , отримаємо вирази для ймовірності безвідмовної роботи системи

$$P_c(t) = 1 - P_n(t).$$

Представлені наступні формули:

$$n = 1$$

$$P_1(t) = 1 - e^{-3,7t};$$

$$n = 2$$

$$P_2(t) = 1 - e^{-6,05t}(1,264 \sinh(4,79t) + \cosh(4,79t));$$

$$n = 3$$

$$P_3(t) = 50,65(0,02e^{-0,21t} + 0,00043e^{-12,5t} \cos(9,33t) + 0,000123e^{-12,5t} \sin(9,33t));$$

$$n = 4$$

$$P_4(t) = 187,4(0,0053 + 0,000164e^{-3,82t} - 0,0055e^{-0,104t} + 3,16 \cdot 10^{-6}e^{-7,54t} \cos(20,43t) + 3,845 \cdot 10^{-6}e^{-7,54t} \sin(20,43t));$$

$$n = 5$$

$$P_5(t) = 693,4(0,00144 - 2,06 \cdot 10^{-7}e^{-30,2t} + 2,2 \cdot 10^{-6}e^{-19,1t} - 8,72 \cdot 10^{-6}e^{-11,12t} + 0,0000184e^{-5,03t} - 0,00145e^{-0,214t});$$

$$n = 6$$



$$P_6(t) = 2565,73(0,00039 + 4,063 \cdot 10^{-9}e^{-36,3st} - 5,64 \cdot 10^{-8}e^{-24,9st} + 2,88 \cdot 10^{-7}e^{-16,5st} - 7,36 \cdot 10^{-7}e^{-10,0st} + 1,103 \cdot 10^{-6}e^{-4,7st} - 0,00039e^{-0,003st});$$

$$n = 7$$

$$P_7(t) = 9493,2(0,000105 + 1,24 \cdot 10^{-9}e^{30,7t} - 7,96 \cdot 10^{-9}e^{-22,0st} + 2,58 \cdot 10^{-8}e^{-15,2st} - 4,63 \cdot 10^{-8}e^{-9,6st} + 5,18 \cdot 10^{-8}e^{-4,7st} - 0,000105e^{-0,0004st}).$$

На підставі отриманих розрахунків (при  $n = 2$  і  $n = 7$ ) вірогідність відмови системи УПР показані в таблицях 3.2-3.4. Результат показав, що при  $n$  менше 2 – надійність дуже мала, а при  $n = 2$  система не працює.

Таблиця 3.2.

Розрахунки при  $P_2(t)$

t, час	$P_2(t)$	
	$\gamma=1$	$\gamma=1,27$
1	0,213273	0,679868
2	0,455459	0,909465
3	0,627799	0,974396
4	0,745934	0,992759
5	0,826598	0,997952
6	0,881654	0,999421
7	0,919229	0,999836
8	0,844874	0,999954
9	0,962377	0,999987
10	0,974323	0,999996

Таблиця 3.3.

Розрахунки при  $P_7(t)$ 

t, час	$P_7(t)$	
	$\gamma=1$	$\gamma=1,27$
0	0,000008	0,021016
100	0,040238	0,043431
200	0,079714	0,088111
300	0,117565	0,130697
400	0,153860	0,171287
500	0,188662	0,209975
600	0,222032	0,246850
700	0,254030	0,281997
800	0,284712	0,315496
900	0,314132	0,347426
1000	0,342342	0,377859

Таблиця 3.4.

Розрахунки при  $P_7(t)$  (змінений діапазон)

t= час	$P_7(t)$	
	$\gamma=1$	$\gamma=1,27$
0	0,000008	0,021016
1000	0,342342	0,377859
2000	0,567888	0,613804
3000	0,716082	0,759802
4000	0,813453	0,850144
5000	0,877430	0,906046
6000	0,919466	0,940637
7000	0,947086	0,962042
8000	0,965232	0,975286

Виходячи з вище викладеного, проведемо розрахунки трьох основних показників роботи аеропортів.

### **Безвідмовність роботи аеропорту**

Підставимо у формулу  $T_1 = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=0}^{n-1} i! C_n^{i+1} \gamma^i$  значення  $\gamma = \frac{4,7}{3,7} = 1,27$ , і отримаємо середню за часом кількість літаків, при якій диспетчерська служба аеропорту зможе обслужити їх одночасно. Розрахунки представлені в таблиці 3.1. З розрахунків видно, що безвідмовність роботи аеропорту за часом сильно залежить від  $n$ .

Додаток до табл. 3 4

n	1	2	3	4	5	6	7
$T_1, \text{ час, } \gamma = 1$	1	3	8	22	89	415	2372
$T_1, \text{ час, } \gamma = 1,27$	0,27	0,884	2,71	9,95	47	296	2077

### **Готовність роботи аеропорту**

Спершу проаналізуємо  $K_r(t)$  і бачимо, що процеси в системі УВС швидкодіючі, тобто настання постійного режиму роботи системи займає декілька годин. Це приводить до того, що основною характеристикою готовності аеропорту до роботи, потрібно рахувати коефіцієнт готовності (3.10).

$$K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} K_r(t) \quad (3.10)$$

### **Коефіцієнт готовності**

Проведемо наступні розрахунки  $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{3,7}{4,7} = 0,787$  формула (3.11),

$$K_r = 1 - \frac{\frac{\rho^n}{n!}}{\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!}} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \frac{\rho^i}{i!}}{\sum_{i=0}^n \frac{\rho^i}{i!}} \quad (3.11)$$

і занесемо дані в таблицю (таблиця. 3.5).

Таблиця 3.5

Розрахунки  $K_r$

$n$	1	2	3	4	5	6	7
$K_r$	0,56	0,85	0,96	0,993	0,999	0,9998	0,99998

Провівши аналіз, потрібно відзначити, що коефіцієнт готовності роботи аеропорту, безпосередньо залежить від кількості ПС при обслуговуванні системою УВС.

Напрацювання на відмову підставляючи у вираз (3.12) значення

$$\text{де } \gamma = \mu \bar{\lambda} \quad (3.12)$$

$\gamma = 1,27$ , отримаємо значення напрацювання на відмову в залежності від  $n$ . Розрахунки  $\gamma$  приведені у табл. 3.6.

Таблиця 3.6

Розрахунки  $\gamma$

$n$	1	2	3	4	5	6	7
T, час	0,27	0,61	1,83	7,24	37	235	1794

### Висновок до розділу 3

У третьому розділі був проведений аналіз надійності в роботі диспетчерського пункту управління повітряним рухом. Були розглянуті інформаційні системи, для яких критерії надійності і математичні моделі є багатоканальними системами масового обслуговування (СМО). Мається на увазі СМО з чергою.

За допомогою формул був проведений аналіз надійності УПР в аеропорту Жуляни (Київ). Завдяки чому можна зробити наступні висновки:

- ✓ роботу системи УПС краще всього оцінювати по коефіцієнту готовності;
- ✓ система надійніша при обслуговуванні диспетчером не більше 5 літаків;
- ✓ враховуючи розрахунки по аеропорту Жуляни – безвідмовність роботи при 100 годин досягає 0,96, а коефіцієнт готовності, якщо  $n \geq 5$  не менше 0,999.

## ВИСНОВКИ

Розглянувши критерії надійності інформаційних систем, математичні моделі яких представляють собою багатоканальні системи масового обслуговування (СМО) з чергою. Були розглянуті формули для оцінки надійності цих систем, проведений розрахунок і аналіз надійності УПР. З аналізу надійності системи УПС аеропорту Жуляни (Київ) можна зробити наступні важливі висновки:

- сталий режим функціонування системи УПС настає після декількох годин її роботи, тому готовність системи доцільно оцінювати за коефіцієнтом готовності;

- надійність системи УПС висока при  $n \geq 5$ , тобто за умови можливості диспетчера обслуговувати одночасно не менше 5 літаків;

- система УПС аеропорту Жуляни (Київ) високонадійна: її коефіцієнт готовності при  $n \geq 5$  не менше 0,999, а ймовірність безвідмовної роботи на протязі 100 годин не менше 0,96.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила інформаційного забезпечення системи управління безпекою польотів повітряних суден цивільної авіації України: за станом на 19 березня 2009 р., Наказ № 295 / Державна Авіаційна Адміністрація. – Київ, 2009. – 160 с. – (Нормативне видання).
2. Руководство по координации между органами обслуживания воздушного движения, службами аэронавигационной информации и авиационными метеорологическими службами / Doc 9377AN/915. – [3-е изд.]. – Международная организация гражданской авиации, 2007. – 154 с.
3. Приложение 13 к Конвенции о международной гражданской авиации. Расследование авиационных происшествий. – ИКАО, 2001. – 76 с.
4. Хиленко В.В., Михайлов В.Ф., Ткаченко В.О. Конвергенція мереж: стан, проблеми, перспективи. // «Зв'язок», № 6, 2002. 11 – 19 с.
5. Global Aviation Safety Roadmap. – ICAO, 2006. – 23 p.
6. Унгуриян С.Г., Маркович Е.Д., Волевач А.И. Анализ и моделирование систем управления воздушным движением. – М.: Транспорт, 1980. – 205 с.
7. Андрусак А.І., Дем'янчук В.С., Юр'єв Ю.М. Мережа авіаційного електрозв'язку. К.: НАУ, 2001. – 448 с.
8. Бочаров П.П. Сеть массового обслуживания с сигналами со случайной задержкой / П.П. Бочаров // Автоматика и телемеханика. – 2002. – №9 – С. 90-101.
9. Вишневикий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
10. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 864 с.
11. Кризис управления небом // Авиатранспортное обозрение. – 1999. - № 23, сентябрь, с. 18 – 21.

12. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
13. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Советское радио, 1969. – 576 с.
14. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания, 2-е изд. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
15. Гольдштейн Б.С., Орлов О.П., Ошев А.Т., Соколов Н.А. Эволюция услуг в сетях следующего поколения // Вестник связи № 7, 2003.
16. Шнепс-Швеппе М.А. Перспективы компьютерной телефонии в свете создания гибридных сетей. // Технологии и средства связи. – 2001. – №1, с. 10 – 13.
17. Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 282 с.
18. Хиленко В.В., Михайлов В.Ф., Ткаченко В.О. Конвергенция сетей: стан, проблемы, перспективы. // «Зв'язок», № 6, 2002 с. 11 – 19.
19. Балтер Ю.Б. Конвергенция ТСОП с интеграцией услуг и широкополосной мультисервисной магистральной сети общего пользования. // Зв'язок, №1. – 2003. – с. 6 – 9.
20. Гольдштейн А.Б. Устройства управления мультисервисными сетями: Softswitch // Вестник связи. М.: - 2002. - № 4. с. 25 – 32.
21. Виноградов Н.А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений // Зв'язок. К.: - 2004. - №4. – с. 10 – 17.
22. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – 2-у изд., перею и доп. – СПб.: БХВ - Перербург, 2006. – 704 с.