

УДК 004.77:004.94 (045)

Дровозов В.І., к.т.н.,  
Цвєрава О.В.

## ОРГАНІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ПІДСИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Національний авіаційний університет

*Розглядаються особливості організації інформаційно-обчислювальної підсистеми для автоматизованих систем управління повітряним рухом, як системи реального часу*

**Ключові слова:** автоматизована система управління повітряним рухом, система реального часу, інформаційно-обчислювальна підсистема, локально-обчислювальна мережа, автоматизоване робоче місце.

**Вступ.** Автоматизована система управління повітряним рухом (АСУПР) є системою реального часу (СРЧ), особливістю функціонування якої є строго регламентований час реакції на зовнішні події. Іншою важливою особливістю є одночасна обробка даних – навіть якщо одночасно відбувається декілька подій, система повинна встигнути зреагувати на кожну з них протягом критичного інтервалу часу. Тому до систем реального часу пред'являються жорсткі вимоги. Засоби зв'язку в СРЧ мають гарантувати достовірність доставки необхідної для системи інформації в чітко визначений для неї період часу. Тому комп'ютерна мережа інформаційно-обчислювальної підсистеми (ІОПС) АСУПР є однією з найважливіших частин систем реального часу і має відповідати жорстким вимогам до часових характеристик, що пред'являються при передачі даних. Тому задача організації інформаційно-обчислювальної підсистеми для автоматизованих систем управління повітряним рухом є актуальною.

**Постановка задачі.** При реалізації систем реального часу складною частиною є вирішення проблеми щодо вибору вигляду і структури ІОПС, яка повинна забезпечувати високу швидкість та продуктивність функціонування АСУПР в режимі реального часу.

Передача інформації між різними застосуваннями, використовуваними в ІОПС забезпечується корпоративною мережею, яка, як правило, є територіально розподіленою, тобто об'єднуючою офіси, підрозділи і інші структури, що знаходяться на значному віддаленні один від одного.

Існуючі системи керування корпоративними комп'ютерними мережами, незважаючи на їхню функціональну надмірність, не мають у своєму складі розвитих інтелектуальних засобів, що дозволяють якісно прогнозувати поведінку комп'ютерної мережі. Більшість засобів керування в дійсності мережею не керує, а всього лише пасивно здійснює її моніторинг. Вони стежать за мережею, але не виконують активних дій, при цьому фіксуючи тільки факт збою. Ідеальним рішенням була б розробка системи аналізу, прогнозування і локалізації можливих збоїв у роботі як комп'ютерної мережі в цілому, так і окремих її елементів. Така властивість системи допоможе заздалегідь виявити можливі вузькі місця і вжити заходів по завчасній їхній ліквідації. Тому реальним підходом до рішення даної задачі в умовах реального часу представляється поточна адаптація деяких підсистем системи в цілому до умов застосування, що змінюються, перерозподіл ресурсів мережі для рішення конкретних пріоритетних задач. Такий підхід цілком логічний і природний, якщо врахувати, що будь-яка велика корпоративна мережа складається з окремих сегментів, що порівняно слабо впливають один на одного.

**Рекомендації з вибору вигляду і структури інформаційно-обчислювальної підсистеми.** Систематизуємо вимоги, що пред'являються до комп'ютерних мереж, за допомогою яких забезпечується робота АСУПР. Основною відмінністю АСУПР від СРЧ є вимога високої надійності і живучості. Для АСУПР найважливішою умовою застосування є збереження працездатності при повних або часткових відмов елементів, вузлів або навіть підсистем, що входять до її складу. Крім того, час відновлення працездатності в повному обсязі повинне бути мінімальним. Цей час визначається вимогами безперервності обслуговування повітряного руху: інтервали видачі команд і обміну даними звичайно складають одиниці або навіть частки секунд. Природно, і устаткування, і програмне забезпечення інформаційно-обчислювальної підсистеми – стандартні комп'ютери або сервери, спеціалізовані обчислювачі, мережне устаткування і лінійно-кабельні обладнання, операційні системи і бази даних, спеціалізовані прикладні програми і т.і. – повинні працювати в реальному часі. Швидкодія інформаційно-обчислювальної підсистеми повинна бути такою, щоб вимога обслуговування АСУПР у реальному часі виконувалося при самому інтенсивному навантаженні. У даному випадку мається на увазі максимальна очікувана інтенсивність повітряного руху для даного аероузла або аеродрому. Необхідно врахувати ту

обставину, що обчислювальні і комунікаційні ресурси устаткування знезацька 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 і нарощування існуючих систем.

Таким чином, основними вимогами до інформаційно-обчислювальної підсистеми АСУПР, є висока надійність і живучість, ремонтпридатність і поновлювальність. Оскільки АСУПР повинна при цьому працювати в реальному часі, першочерговою вимогою до інформаційно-обчислювальної підсистеми є забезпечення необхідної продуктивності при будь-яких запланованих, у тому числі і пікових навантаженнях. Зупинимося більш докладно на мережних елементах інформаційно-обчислювальної підсистеми, оскільки вони найчастіше є найбільше «вузьким місцем», і саме від них залежить результуюча продуктивність. Комп'ютерну мережу ІОПС АСУПР можна віднести до корпоративних мереж. Можна затверджувати, що корпоративна мережа АСУПР – це гетерогенна мережа з перемінною структурою. Змінність структури в даному випадку варто розуміти як випадкову послідовність змін у процесі функціонування мережі. Це обумовлено, по-перше, безперервною зміною числа активних користувачів, по-друге, випадковими і найчастіше неконтрольованими змінами параметрів і структури мережі (наприклад, відмовлення устаткування), по-третє – істотною неоднорідністю трафіка даних, що циркулюють у мережі.

Під гетерогенністю мереж звичайно розуміють різноманітність комутаційного устаткування і каналостворюючої апаратури, великі розходження (іноді на кілька порядків) у пропускній здатності окремих фрагментів мережі, наявність різних мережних технологій, протоколів обміну даними і т.д.

З обліком сказаного можна затверджувати, що корпоративна мережа АСУПР об'єктивно являє собою сегментовану структуру. Окремі сегменти функціонують досить самостійно і слабо впливають один на одного. Співвідношення обсягів внутрісегментного  $V_{вн}$  і міжсегментного  $V_{мс}$  трафіка  $q_{тр} = V_{вн}/V_{мс}$  міняється в широких межах. За результатами аналізу можна зробити наступні висновки:

– у мережах загального призначення – комп'ютерних, телекомунікаційних, конвергованих – традиційне співвідношення  $q_{тр} = 80/20$ , тобто 80% трафіка – звертання до локальних ресурсів усередині сегмента і 20% трафіка – обмін даними між сегментами. В даний час воно трансформується у бік збільшення частки міжсегментного обміну: «50/50» і навіть «20/80»;

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

В екстремальних ситуаціях воно міняється до «20/80», причому пріоритет міжсегментного обміну є значно більш високим. Фактично це веде до подальшого збільшення частки міжсегментного трафіка як більш пріоритетного:  $q_{тр} = V_{вн}/V_{мс} \approx \ll 10/90 \gg$  і більш. Однак і менш пріоритетний внутрісегментний трафік повинний обслуговуватися в реальному часі, особливо в екстремальних ситуаціях.

Таким чином, корпоративна мережа ІОПС повинна будуватися по «острівному» принципі. Топологія мережі, як правило, є змішаною. У ній можуть бути присутніми такі елементи: коміркова топологія, загальна

шина, ієрархічна зірка, кільце.

Для досягнення необхідної продуктивності, сумісності мережних технологій і протоколів обміну, масштабованості і розширюваності мережі доцільно використовувати підхід, заснований на еталонній моделі взаємодії відкритих систем (*OSI – Open System Interconnection*). Найбільш важливим є наступні принципи особливості моделі *OSI*:

– семирівнева структура організації обміну даними: від нижнього – фізичного рівня, до верхнього – рівня додатків;

– всі операції по обміні даними контролюються «зверху вниз»: якщо один з

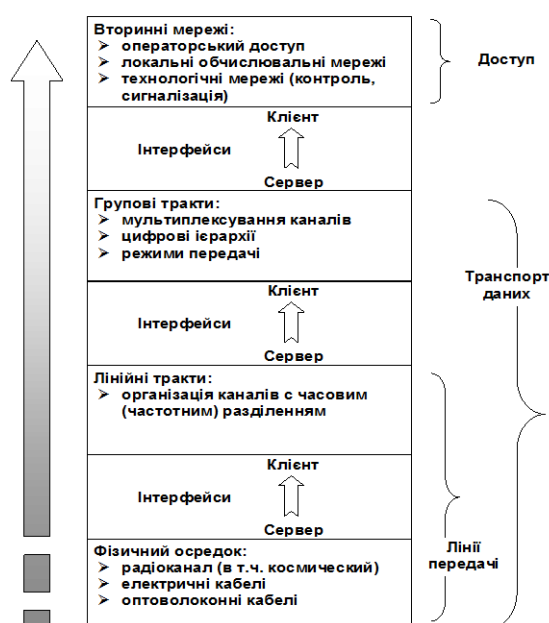


Рис. 1. Багатошарова модель корпоративної мережі ІОПС АСУПР

нижніх рівнів не виконав свої функції (або виконав їх з помилками), те на верхніх рівнях виниклі проблеми усуваються, а при неможливості їхнього дозволу операції нижніх рівнів повторюються.

У рамках моделі *OSI* побудова корпоративної мережі ІОПС є найбільш ефективні і наочним, оскільки полегшуються задачі перетворення інформації в процесі обміну. Представимо, що кожен рівень обслуговується найближчим нижнім рівнем (є клієнтом нижнього рівня), а сам, у свою чергу, обслуговує найближчий верхній рівень (є, відповідно, сервером для верхнього рівня). Тоді одержимо багат шарову (багаторівневу) модель мережі, з багаторазовим використанням технології «сервер-сервер-клієнт-сервер». Структура моделі зображена на рис. 1. При такій організації мережі контроль, керування і модернізація є децентралізованими. Усі ці процедури спрощуються, а ефективність їхнього виконання і надійність системи в цілому підвищуються. У рамках запропонованої багат шарової моделі легко логічно і технічно обґрунтувати структуру мережі ІОПС. Як відомо, у цифрових конвергованих мережах (або мережах нових поколінь – *NGN*) найбільш розповсюдженими є *ATM* і *IP*-технології. Основними достоїнствами протоколу *IP* є його простота і можливість динамічної фрагментації пакетів. Однак протокол *IP*, будучи, по суті, дейтаграмним протоколом, не дає ніяких гарантій доставки повідомлень. Якщо при цьому на якій-небудь ділянці мережі відбулася втрата пакетів, вузли комутації (або маршрутизатори) починають посилати запити своїм сусідам. Навантаження росте лавиноподібно і може взагалі паралізувати даний фрагмент мережі, що для умов критичного застосування неприпустимо.

З іншого боку, *ATM*-технологія гарна тим, що є високошвидкісною і забезпечує універсальну обробку різноманітного трафіка в гетерогенній мережі. Крім того, *ATM*-технологія забезпечує гарантоване значення *Qo* – *quality of service* (якість сервісу).

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 по довжині хвилі.

З обліком приведених вище розумінь можна представити структуру корпоративної мережі ІОПС у виді магістральної мережі (так називаної *backbone* або *core network*), до якої через мережі доступу підключаються багатосегментні мережі окремих аеровузлів/районів. Як відомо, така структура застосовується практично в будь-яких великих, у тому числі і глобальних мережах унаслідок своєї простоти і гарних можливостей нарощування і модернізації. Магістральна мережа являє собою *ATM*-мереж на основі оптоволокна. Мережі доступу і локальні обчислювальні мережі (ЛОМ) 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. Тому використовувати такі високошвидкісні підмережі доцільно тільки на самих відповідальних ділянках, наприклад, у мережах керування, обробки конфліктних ситуацій і ін.

Основним термінальним устаткуванням інформаційно-обчислювальної структури є автоматизовані робочі місця (АРМ) диспетчерів і керівників. АРМ різного призначення зв'язуються між собою через локальну обчислювальну мережу, виконану по одній з базових технологій ЛОМ. За результатами аналізу вітчизняних і закордонних розробок АСУПР можна зробити висновок, що найбільше широко застосовуваною базовою технологією ЛОМ є *Ethernet* різних модифікацій: стандартний 10 Мбіт, *Fast Ethernet*, *Gigabit Ethernet*.

Основним достоїнством технології *Ethernet* є простота організації і керування ЛОМ. Зберігається наступність принципів організації попередніх і наступних модифікацій *Ethernet*. Тому модифікація мережного устаткування, нарощування мережі до меж, обумовлених стандартами *IEEE 802.x*, здійснюються досить просто.

У корпоративній мережі ІОПС АСУПР також превалює «острівний» принцип, що досить розповсюджений у телекомунікаційних і комп'ютерних мережах. Цей принцип об'єктивно є найбільш придатним унаслідок великого територіального розносу локальних елементів корпоративної мережі, причому найчастіше – уздовж трас польотів.

Розглянемо один з типових «острівців» корпоративної мережі АСУПР – локальну обчислювальну мережу аеродромно-районної АСУПР (АРАС УПР). Ієрархічна структура АРАС УПР надана на рис. 2. Вона містить у собі універсальні і спеціалізовані обчислювачі, бази і сховища даних, набір АРМ операторів – диспетчерів, керівників, груп зв'язку, метео, довідкової інформації й ін.

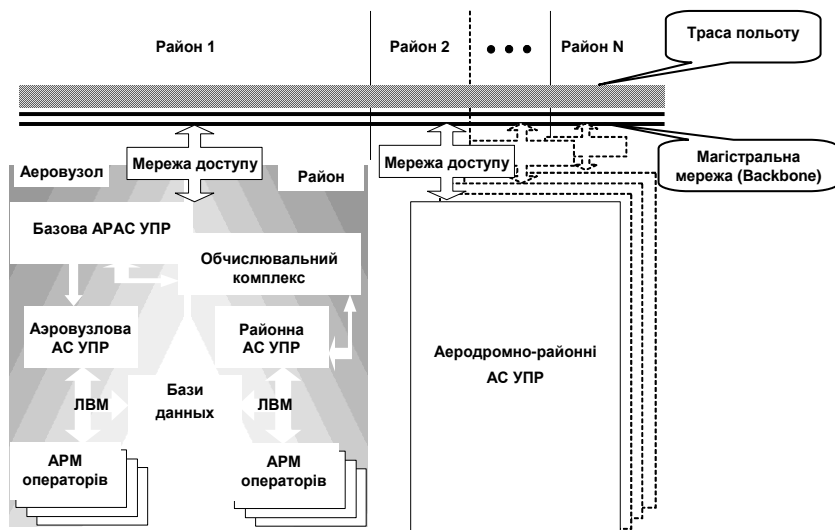


Рис. 2. Ієрархічна структура АРАС УПР

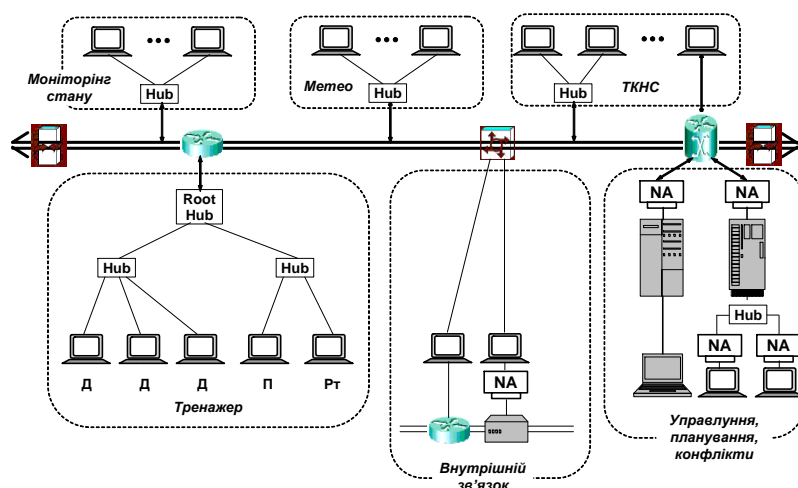


Рис. 3. Структурна схема типової мережі АС УПР

комутатор). Передбачається, що локалізація ділянки магістральної мережі, що проходить через розглянутий район, здійснюється за допомогою шлюзів. Локалізація окремих ЛОМ, що обслуговують відповідні АРМ, може здійснюватися за допомогою комутаторів, а для самих відповідальних ланок – за допомогою програмних комутаторів або маршрутизаторів з різними можливостями і наборами наданих послуг. Такий вибір вузлів комутації ґрунтується на результатах порівняльного аналізу їхніх характеристик: ефективності, вартості, розширюваності або масштабованості мережі [1-4].

**Висновки.** Пропоновані принципи побудови розглянутої інформаційно-обчислювальної підсистеми є досить універсальними. Завдяки широким можливостям і простоті зміни режимів роботи комутаційного устаткування забезпечується швидка й ефективна адаптація логічної структури обчислювальних мереж підсистеми. Запропоновані структури можуть служити в основі побудови інформаційно-обчислювальної підсистеми АС УПР.

#### Список літературних джерел

1. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 864 с.
2. Жуков І.А., Дрововозов В.І., Гузій М.М. Підвищення ефективності системи керування рухом повітряних суден застосуванням комплексних систем навігації, зв'язку і керування повітряним рухом. Зб. наук. пр. КІ ВПС. – К: КІВПС 1999. – Вип. 6 – 34 – 40 с.
3. Дрововозов В.І. Анализ нагрузки на вычислительные сети автоматизированных систем управления воздушным движением. Проблемы информатизации та управління: Зб. наук. пр.: – К.: НАУ, 2005. – Вип. 12 – 58 – 67 с.
4. Дрововозов В. І. Адаптивная структуризация вычислительной сети // Проблемы системного підходу в економіці: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2004. – Вип. 7. – С. 126 – 131.

Між окремими АРМ, що виконують самостійні функції, необхідні розв'язки по внутрішньому і міжсегментному трафіку. Також необхідні розв'язки і між обчислювальними мережами сусідніх районів. Розв'язки – це основа структуризації мереж із загальним поділюваним середовищем, що обслуговують системи реального часу й особливо системи реального часу. Відповідно до приведених розумінь і на основі результатів попередніх досліджень пропонується структурна схема обчислювальної мережі і набору АРМ диспетчерів АРАС УПР. На рис. 3 зображений варіант типової структури. Тут абревіатури *NA* (*network adaptor*) – мережний адаптер, *Hub* – концентратор, *Root hub* – кореневий концентратор. ТКНЗ означає «технологічний контроль, навігація і зв'язок».

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