

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Водоп'янов Сергій В'ячеславович



УДК 004.738 (043.3)

**МЕТОДИ ПОБУДОВИ АВТОНОМНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ
СЕГМЕНТІВ АЕРОВУЗЛОВОЇ МЕРЕЖІ**

05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Дрововозов Володимир Іванович,
Національний авіаційний університет,
доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Стасюк Олександр Іонович,
Державний університет інфраструктури та технологій, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту;

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник,
Візор Ярослав Євстахійович,
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН
України, старший науковий співробітник відділу
мікропроцесорної техніки.

Захист відбудеться «14» лютого 2019 р. о 13-30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.07 Національного авіаційного університету за адресою:
03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою:
03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий «11» січня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В.Толстікова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інтенсивний прогрес інформаційних та телекомунікаційних технологій, їх впровадження в усі галузі людської діяльності пов'язані з розробкою та побудовою складних та розвинених інформаційно-обчислювальних систем. Вони стали невід'ємною частиною інформаційно-управляючих систем будь-якого призначення. Це стосується, у першу чергу, розподілених систем обробки інформації та управління складними об'єктами. Водночас з розширенням меж застосування технологій взаємодії відкритих систем і міжнародних стандартів функціонування інформаційно-обчислювальних структур зростають і вимоги до їх швидкодії та надійності, особливо за умовами використання в системах критичного застосування. До таких систем належать, наприклад, авіаційні, ракетно-космічні, транспортні, енергетичні та інші системи спеціального призначення. Вони, як правило, працюють в умовах безперервного цілодобового застосування у реальному часі.

До таких систем слід віднести і системи організації повітряного руху (ОрПР), управління повітряним рухом (УПР), зв'язку та навігації повітряних суден. Інтенсивність повітряного руху зростає в усьому світі і особливо – у регіонах, через які проходять транзитні траси повітряного руху. Повітряний простір України дуже інтенсивно використовується для транзитних рейсів між Європою, Південно-східною Азією, Близьким Сходом тощо. Тому вимоги до пропускнув спроможності вітчизняних автоматизованих систем ОрПР (АС ОрПР) зростають практично за показовим законом. Це, природно, потребує відповідного зростання ефективності інформаційно-обчислювальних систем, які використовуються для розрахунків та обміну інформацією між наземними та повітряними об'єктами. Тому задачі підвищення продуктивності обчислювальних структур, комп'ютерних та телекомунікаційних мереж для АС ОрПР як для систем критичного застосування, безумовно, є актуальними.

Значний внесок у розвиток цих наукових напрямів зробили такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як Т.Г. Анодіна, Г.С. Бюшгенс, А.И. Волевач, В.С. Дем'янчук, В.І. Дрововозов, Г.А. Крижановський, Е.Д. Маркович, Г.С. Пяткін, С.Г. Пятко, С.Г. Унгурян, Simon Plass, Ronald E. Morgan, Paul E. Illman, Jonathan M. Stern, T.S. Pett та ін.

Задача дисертаційних досліджень сформульована у такому вигляді: спираючись на результати, одержані цими та іншими науковцями, розробити моделі та методи підвищення якості сервісу автономного мережного сегменту інформаційно - обчислювальної системи реального часу для роботи в умовах критичного застосування, значних коливань навантаження та виникнення екстремальних ситуацій в аеровузлових мережах складеного типу з високим ступенем гетерогенності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі комп'ютерних систем та мереж Національного авіаційного університету (НАУ) в рамках держбюджетної

науково-дослідної роботи № 682-ДБ13 «Розроблення теорії, методів та технологій оптимального управління гарантоздатною комп'ютерною мережею» (номер державної реєстрації 0113U000028) та кафедральної НДР № 15/09.02.01 «Дослідження перспективних напрямків розвитку комп'ютерних технологій».

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення якості сервісу автономного мережного сегменту інформаційно-обчислювальної системи реального часу для роботи в умовах критичного застосування, значних коливань навантаження та виникнення екстремальних ситуацій в аеровузлових мережах складеного типу з високим ступенем гетерогенності. Для досягнення поставленої мети були вирішені такі науково-технічні задачі.

1. Проаналізовано характеристики інформаційних потоків у спеціалізованих обчислювальних комп'ютерних системах критичного застосування.

2. Вдосконалені методи визначення ключових параметрів ефективності інформаційно-обчислювальних систем авіації в умовах зміни пріоритетів виникаючих завдань та великих перепадів обсягів обчислень.

3. Розроблено методи обміну даними у бортових комп'ютерних мережах зі змінною структурою.

4. Розроблено метод самодіагностування автономних мережних сегментів з неоднорідною структурою.

5. Вдосконалено моделі стеку супутниково-незалежних та супутниково-орієнтованих протоколів для застосування широкосмугової мультимедійної супутникової мережі у завданнях обміну даними в аеровузловій мережі.

Об'єктом дослідження є процес обміну даними в автономних сегментах спеціалізованих мереж критичного застосування з різномірним трафіком.

Предмет дослідження – моделі й методи побудови автономних сегментів складених мереж гетерогенного типу для авіаційних інформаційно-обчислювальних та керуючих систем.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі застосовувалися наступні методи:

– теорія ймовірностей та математична статистика – використана для статистичного оцінювання параметрів мереж;

– теорія масового обслуговування – використана для аналізу черг та затримок доставки даних;

– системний аналіз – використаний для пошуку компромісів при виборі ключових показників ефективності авіаційних інформаційно-обчислювальних мереж;

– теорія оптимізації – використана для пошуку екстремумів функціоналів ефективності авіаційної мережі;

– теорія диференційних рівнянь з аргументом, що відхиляється – використана для синтезу моделей комп'ютерних мереж із затримками управляючих та інформаційних сигналів;

– комп'ютерне моделювання – використане для отримання кількісних порівняльних оцінок ефективності авіаційних інформаційно-обчислювальних

мереж.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі отримані наступні нові наукові результати.

1. Удосконалено метод визначення ключових показників ефективності (КПЕ) та оцінки їх статистичного взаємозв'язку в мережних структурах різних рівнів ієрархії, який, на відміну від існуючих, дозволяє обирати поточні пріоритети КПЕ. Це дає можливість підвищення швидкодії мережі аж до роботи в реальному часі при значних коливаннях інтенсивності трафіку та обсягів обчислень.

2. Вперше розроблено моделі управління структурою мереж та метод динамічної реконфігурації мережі з мобільними абонентами. Завдяки цьому прискорюється процес обміну даними між автономними сегментами мережі за умов дефіциту часу, мережних та обчислювальних ресурсів.

3. Знайшов подальший розвиток метод забезпечення потрібної якості сервісу (*QoS*), зокрема, якості передачі різнорідного трафіку, шляхом поточного узгодження ключових показників якості *QoS* та самодіагностування автономних мережних сегментів, що, за експертними оцінками, дає можливість підвищити надійність та відмовостійкість мережі приблизно до 10%. Це дозволяє, з одного боку, знизити затримки доставки даних в складених гетерогенних мережах критичного застосування, а з іншого боку – забезпечити їх доставку за умов великих затримок на розповсюдження сигналів – носіїв користувальницької інформації.

Практичне значення одержаних результатів визначається їхньою спрямованістю на наступне.

Нові науково-технічні рішення доведені до конкретних функціональних та алгоритмічних схем. Надані рекомендації з побудови ієрархічної мережної структури автономних комп'ютерних сегментів супроводжуються кількісними оцінками потрібних експлуатаційних характеристик.

Результати можуть бути використані для практичних розробок інформаційно-обчислювальних систем критичного застосування зі змінною та стохастичною структурою.

Одержані результати дисертаційної роботи впроваджені на Державному підприємстві повітряного руху України «Украерорух», представляють практичний інтерес і успішно застосовуються в інформаційно-обчислювальних системах розкладу літаків та плануванні польотів в управляючих системах з високим ступенем гетерогенності та технологічних процесах підприємства. Результати роботи використовуються у навчальному процесі Навчально-наукового інституту комп'ютерних інформаційних технологій НАУ при викладанні навчальних дисциплін «Проектування та дослідження комп'ютерних мереж», «Мережні інформаційні технології» та «Гарантоздатні комп'ютерні системи та технології» на кафедрі комп'ютерних систем та мереж НАУ, що підтверджено відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, які складають основний зміст дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. У роботах, написаних у

співавторстві, автору належать:

[2] – метод урахування затримок мережних даних та забезпечення толерантності до затримок;

[4] – виведено систему рівнянь Колмогорова – Чепмена для нестационарних станів мережі та запропоновано метод гаусової апроксимації розподілу координат системи у просторі станів;

[5] – проведено розрахунки надійності методу обміну даними в аеровузловій мережі крупного аеровузла;

[6] – розроблено концептуальну модель побудови комбінованої системи захисту з впровадженням додатковим рівнем захисту – мережної медової пастки;

[7] – методика вибору ключових параметрів ефективності та порівняльного аналізу критеріїв оптимальності проектування складених комп'ютерних мереж;

[10] – розроблено моделі процесів стохастичної реконфігурації мережі з мобільними абонентами;

[11] – запропоновано новий метод та мультиструктурну систему управління комп'ютерною мережею гетерогенного типу;

[12] – методика комплексування мережних сегментів ОрПП та АС УПР, побудованої за концепцією CNS/ATM;

[17] – проведено аналіз графіків залежності ймовірності настання авіаційної події.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародних конгресах та конференціях:

1. VI Міжнародна науково-технічна конференція «АВІА-2004», 26-28 квітня 2004 р., м. Київ.

2. Другий всесвітній конгрес «Авіація в XXI столітті», 19-21 вересня 2005 р., м. Київ.

3. Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні технології лінгвістичного аналізу», 23-24 жовтня 2012 р., м. Київ.

4. VI Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерні системи та мережні технології, CSNT-2013», 11-13 червня 2013 р. м. Київ.

5. VI Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні комп'ютерні системи та мережі: проектування та застосування, ASCN-2013», 16-18 вересня 2013 р., м. Львів.

6. IX Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерні системи та мережні технології, CSNT-2016», 21-23 квітня 2016 р., м. Київ.

7. X Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерні системи та мережні технології, CSNT-2017», 20-22 квітня 2017 р., м. Київ.

Публікації. Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковані в 17 наукових працях, серед яких 9 – у наукових фахових виданнях України [1-9] (з них 3 статті у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз [1,4,6]), 1 стаття у збірнику наукових праць [10] та 7 – у матеріалах конференцій [11 – 17].

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу,

чотирьох розділів, висновків по розділам та роботи в цілому, списку використаних джерел із 124 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 164 сторінки і містить 17 рисунків та 7 таблиць. Основний текст дисертаційної роботи викладено на 118 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми підвищення якості сервісу автономного мережного сегменту інформаційно-обчислювальної системи реального часу для роботи в умовах критичного застосування, значних коливань навантаження та виникнення екстремальних ситуацій в аеровузлових мережах складеного типу з високим ступенем гетерогенності. Ця проблема може бути вирішена шляхом розробки моделі та нового методу забезпечення якості сервісу в мережі з мобільними вузлами, розробки математичної моделі бортової локальної мережі з мобільними вузлами та спорадичною зміною структури, математичної моделі процесу зростання розмірів черг у буферній пам'яті мережних вузлів, нового методу управління мультиструктурною системою, застосування удосконаленого методу покрової регресії стосовно мережі зі змінною структурою, удосконаленого методу визначення ключових показників ефективності та оцінки їх статистичного взаємозв'язку в мережних структурах різних рівнів ієрархії, подальшого розвитку методу забезпечення потрібної якості сервісу (*QoS*), розробки методу діагностування автономних сегментів аеровузлової мережі, модифікації структури супутниково-орієнтованих та супутниково-незалежних рівнів протоколу обміну даними з широкосмисловою супутниковою мультимедійною мережею.

Сформульовано мету та задачі дослідження. Визначені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наведено відомості про апробацію результатів і їх впровадження.

У **першому розділі** проведено аналіз методів організації та забезпечення якості обслуговування в перспективних інформаційно-комунікаційних та комп'ютерних мережах цивільної авіації.

Система УПР може бути представлена у вигляді багаторівневої ієрархічної структури. Можлива побудова різних ієрархій, що відображають рівні абстрактного опису, складності ухваленого рішення або організаційної і функціональної структур. При аналізі функціонування системи УПР за основну приймається багаторівнева структура. Вона охоплює всі задачі сучасної УПР: від стратегічного прогнозу повітряних перевезень до оперативного управління ПС у реальному часі. Відповідно до обміну даними у реальному часі між різними учасниками процесу УПР необхідно розробляти високошвидкісні інфокомунікаційні мережі, здатні передавати трафік будь-якого вигляду – мова, документальні і довідкові дані, результати розрахунків і планування.

Показано, що забезпечити високу продуктивність інформаційно-обчислювальних мереж авіаційних систем ОрПР можна шляхом децентралізації і

перерозподілу обчислювального навантаження, розробки методів оптимальної прокладки маршрутів доставки комп'ютерного трафіку до різних сегментів мереж, що забезпечують роботу систем управління повітряним рухом.

Отже, за результатами аналізу сучасного стану та перспектив розвитку мережної інфраструктури великих систем ОрПП, нагальних наукових проблем проектування, розробки та оптимізації складених мереж з суттєво гетерогенною структурою, не вирішених на цей час, можна стверджувати, що вельми актуальним є дослідження та розробки у таких напрямках:

- організація сумісної роботи телекомунікаційних та комп'ютерних мереж з обмінними даними у різних фізичних середовищах;
- узгодження базових характеристик мереж або автономних сегментів мережі для забезпечення наскрізної (*End-to-End*) якості обслуговування;
- забезпечення толерантності до затримок даних та гарантованої доставки даних у мережах зі змінною структурою, раптовими розривами з'єднань, зникненнями та появами мережних комутаційних вузлів;
- організація маршрутів доставки даних за умов неконтрольованих перепадів мережного та обчислювального навантаження (наприклад, при виникненні нештатних ситуацій або передпосилань до льотних пригод).

Всі ці та інші додаткові задачі організації інформаційно-комунікаційних, зокрема, комп'ютерних мереж як невід'ємної складової авіаційної транспортної інфраструктури є вельми нагальними й потребують розв'язання у досить короткі терміни за умов певних обмежень на матеріальні та технічні ресурси.

Виявлено, що основним проблемами для мереж є різноманітність мережного трафіку та перевантаження, які погіршують показники *QoS*. Запобігання перевантаженню реалізується шляхом побудови багаторівневої ієрархічної структури, але методи узгодження протоколів взаємодії автономних мережних сегментів потребують вдосконалення. Зроблено висновок про актуальність розробки і дослідження системи показників ефективності окремих мережних сегментів та мережі в цілому. Сформульовано загальну мету і завдання дослідження.

У **другому розділі** розроблено модель ієрархічної багаторівневої структури аероузлової мережі. Найважливішим підходом для удосконалення авіаційної комунікаційної інфраструктури є інтеграція існуючих, а особливо майбутніх засобів ОрПП у так звану "систему систем", яка базується на безшовній організації авіаційних мереж та стиковці мережних сегментів. До таких проектів відноситься, наприклад, дослідницький проект *SANDRA* (*Seamless Aeronautical Networking through integration of Data-links, Radios and Antennas*). Система систем авіаційної комунікаційної інфраструктури базується на безшовному об'єднанні сегментів не тільки наземного та бортового розташування, але й супутникових сегментів, зокрема, так званих персональних супутникових сервісів (*PSATS*).

Слід відмітити, що основним автономним елементом авіатранспортної інфраструктури є аероузловий – близько розташовані аеродроми, організація і

виконання польотів з яких вимагають спеціального узгодження і координування. Для реалізації безшовної технології при побудові інтегрованої мережі аеровузла, перш за все, необхідно визначитися з комутаційними пристроями – їх принципами побудови, мережними протоколами та специфікою обробки даних. При застосуванні супутникових сегментів у складі інформаційно-обчислювальної мережі необхідно враховувати затримки доставки даних. Для супутників, що знаходяться на високих геостаціонарних орбітах, тільки затримки на розповсюдження сигналу від користувача до супутника й назад складають близько 250 мілісекунд. Тому в інтегрованих комутаційних вузлах, побудованих на базі маршрутизаторів, комутаторів звичайних (*Switch*) і програмних (*Softswitch*), систем передавання даних через *IP*-мережі (*IP Multimedia Subsystem – IMS*) набори протоколів доставки даних мають бути доповнені протоколами тривалого зберігання та гарантованої доставки даних (по типу протоколів мереж з толерантністю до затримок – *Delay-Tolerant Networks – DTN*). Крім того, необхідно забезпечувати взаємодію між успадкованими мережами *ATN* на основі еталонної моделі *OSI* та майбутніми мережами *ATN/IPS* на основі стандарту *IPv6*. На рис. 1 представлена модель архітектури інтегрованої мережі аеровузла.

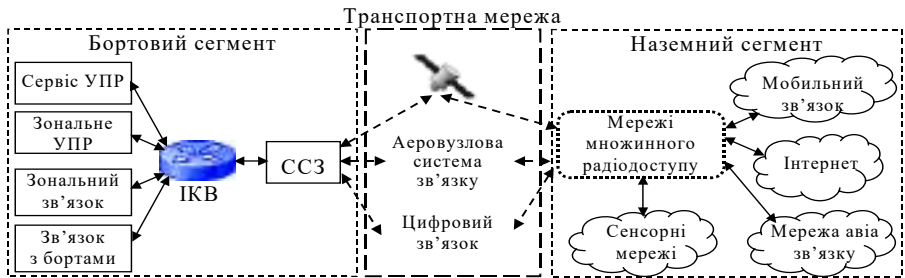


Рис. 1. Мережна архітектура інтегрованої мережі аеровузла. ССЗ – складена система зв'язку; ІКВ – інтегрований комутаційний вузол

Окрім складених комунікаційних мереж, які об'єднують різні сегменти, до складу інтегрованої мережі аеровузла входить безліч сервісних мереж, які використовуються для забезпечення обміну інформацією, безпосередньо не пов'язаною з організацією повітряного руху. Це мережі авіакомпаній, аеропортів, що входять до складу аеровузла, спеціалізовані мережі для контролю стану аеродрому – льотного поля, службових приміщень, ангарів, диспетчерських веж тощо.

Обмін інформацією у мережі між будь-якими абонентами системи забезпечується в реальному часі при змінах вигляду, пріоритету, інтенсивності мережного трафіку в широких межах. Для вирішення цієї задачі параметри і структура мереж вибираються залежно від кількості робочих місць, починаючи від одиниць до сотень робочих місць, і передбачається можливість зміни конфігурації без зупинки роботи системи. При цьому необхідно вибрати і обґрунтувати критерії ефективності інформаційно-обчислювальної мережі

аеровузла, по яких оптимізуються структура і параметри мережі. На жаль, нині не існує обґрунтованих критеріїв, які дозволяють оцінити якість ОрПР в зоні відповідальності конкретного аеровузла. У даній роботі зроблена спроба заповнити цей пропуск.

Загальні критерії ефективності повинні вибиратися так, щоб можна було одержувати порівняльні оцінки якості роботи мереж різних аеровузлів, а головне – щоб можна було забезпечувати гарантовану якість сервісу, що для систем ОрПР як систем критичного застосування є першочерговою задачею. Розроблено метод вибору та обґрунтування ключових показників ефективності на основі кореляційно-регресійних моделей.

Розглянуті імовірнісні характеристики системи, по яких обґрунтовуються вимоги до якості сервісу. Одним із основних показників якості сервісу інформаційно-обчислювальної мережі системи ОрПР є імовірність успішного виконання польоту за час між моментами зльоту і посадки.

Вирішено задачу оцінювання часткового показника – якості сервісу по інтегральному показнику – імовірність успішного виконання польоту. Ця задача, по суті, є зворотною задачею і відноситься до класу некоректних задач математичної фізики. Для отримання стійкого рішення необхідно вводити додаткові обмеження на параметри і структуру мережі, а також конкретизувати вимоги до продуктивності мережі.

Звично імовірність успішного виконання польоту за час ΔT_{TL} між моментами зльоту і посадки підкоряється експоненціальному закону розподілу:

$$P(t) = \exp(-\lambda \times \Delta T_{TL}). \quad (1)$$

Відповідно, імовірність неуспішного завершення польоту

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - \exp(-\lambda \times \Delta T_{TL}). \quad (2)$$

Тут λ – середня частота виникнення льотних подій (ЛП) або передумов до ЛП за одиницю часу польоту.

Якщо врахувати, що величина λ значно менше одиниці, можна розкласти експоненту в ряд Тейлора і обмежитися лінійним членом розкладання. Тоді наближений вираз (2) матиме вигляд:

$$Q(t) = 1 - 1 + \frac{\lambda \times \Delta T_{TL}}{1!} - \frac{(\lambda \times \Delta T_{TL})^2}{2!} - \dots (-1)^n \frac{(\lambda \times \Delta T_{TL})^n}{n!} + \varepsilon (\lambda \times \Delta T_{TL})^n \approx \lambda \times \Delta T_{TL}. \quad (3)$$

Якщо інформаційно-обчислювальна мережа входить до складу системи ОрПР аеровузла, обслуговуючого N повітряних судів одночасно, то імовірність успішного виконання польотів за певний період визначатиметься як

$P_N(t) = \exp\left(-\sum_{k=1}^N \lambda_k \times \Delta T_{TLk}\right)$, де λ_k – середня частота виникнення ЛП з k -м повітряним судном; ΔT_{TLk} – сумарна тривалість виконання польотів k -м повітряним судном. Відповідно:

$$Q_N(t) = 1 - P_N(t) = 1 - P_N(t) = 1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^N \lambda_k \times \Delta T_{TLk}\right).$$

Оскільки число N може бути достатньо великим, тут вже не можна використовувати наближений вираз вигляду (3).

Рівень безпеки повітряного руху в зоні ОрПР за вибраний період визначатиметься як $p_{\Sigma}(t) = \exp\left(-\sum_{k=1}^N \lambda_k \times \Delta T_{\Sigma k}\right)$, де $\Delta T_{\Sigma k}$ – сумарний час

перебування k -го повітряного судна в зоні ОрПР за період аналізу. Тоді:

$$q_{\Sigma}(t) = 1 - \exp\left(-\sum_{k=1}^N \lambda_k \times \Delta T_{\Sigma k}\right).$$

При обраному вище параметрі безпеки польотів можна записати вираз для функціонала якості роботи інформаційно-обчислювальної мережі в наступній формі:

$$\Psi[q_{\Sigma}(t)] \Big|_{N \geq N_{\min}} \xrightarrow{\vec{V}_C, \vec{U}} \min,$$

де N_{\min} – мінімальне число обслуговуваних повітряних судів за період аналізу;

$\vec{V}_C^T = [C_{\min}, \tau_d, \delta\tau_d, BER, M_L, K_{nod}, \dots]$ – вектор параметрів мережі;

$\vec{U}[\tau_{d \max}, \delta\tau_{d \max}, K_{nod \max}] \Big|_{N \geq N_{\min}}$ – вектор обмежень на параметри.

C_{\min} – пропускна спроможність найповільнішого мережного вузла або сегменту;

τ_d – середня затримка доставки даних; $\delta\tau_d$ – варіація затримок доставки даних;

BER – відношення числа спотворених кадрів (пакетів, повідомлень) до загального числа переданих; M_L – відношення числа втрачених кадрів до загального числа переданих; K_{nod} – загальне число термінальних і мережних

вузлів.

У даній роботі розглядається система ключових показників ефективності для комп'ютерної мережі як великої системи із затримками сигнальної і управляючої інформації. Ключові показники ефективності (англ. *Key Performance Indicators, KPI*) – система оцінок, яка застосовується при рішенні стратегічних і тактичних задач, що виникають в складних технічних системах. Використання ключових показників ефективності дає можливість оцінити стан і допомогти в оцінці реалізації методів управління. Розглянута система ключових показників ефективності для комп'ютерної мережі як великої системи із затримками сигнальної і управляючої інформації. Розроблено систему ключових показників ефективності функціонування аеровузлової мережі. При оптимізації характеристик мережі необхідно враховувати параметри, від яких залежить якість сервісу і взаємозв'язок між цими параметрами.

У даному розділі проведений аналіз системи ключових параметрів ефективності та особливостей їх застосування для управління якістю сервісу

комп'ютерної мережі. Показано, що при використанні статистичного підходу можна виділити залежності між ключовими параметрами мережі, що дає можливість побудови системи управління якістю сервісу. Обрано набір ключових параметрів ефективності для типової локальної мережі з мобільними вузлами. При використанні ключових параметрів ефективності комп'ютерної мережі як складної системи із затримками сигнальної і управляючої інформації можна забезпечити прогноз її стану і вирішувати задачі управління якістю сервісу в реальному часі.

Вдосконалено метод покрокової регресії стосовно мережі зі змінною структурою та розроблено алгоритм обчислення множинних коефіцієнтів кореляції, за якими розраховуються множинні коефіцієнти регресії для передбачення та встановлення поточних ключових показників ефективності авіаційної бортової мережі як невід'ємної складової частини аероузлової інформаційно-обчислювальної системи.

Розраховані часткові коефіцієнти кореляції параметрів, що оптимізуються, по яких надалі з використанням методу покрокової регресії розраховуються часткові коефіцієнти регресії.

У **третьому розділі** запропоновані методи оцінювання та забезпечення ефективності автономних сегментів аероузлової мережі. Перехід від виключно супутникових комунікаційних систем до змішаних та автономних мережних систем обумовлений у тому числі й бажанням забезпечити неперервний доступ до джерел інформації та знизити затримки доставляння, особливо у нештатних ситуаціях.

Одним з наріжних каменів удосконалення авіаційної комунікаційної інфраструктури є безшовна організація авіаційних мереж та стиківка мережних сегментів. Якщо розглядати аероузол як автономний елемент авіатранспортної інфраструктури, то одним з найважливіших автономних мережних сегментів аероузла, відповідно, є авіаційна мережа з мобільними вузлами. На рис. 2 зображено типову схему організації авіаційної бортової мережі для обміну даними по напрямкам "борт – борт" та "борт – земля".

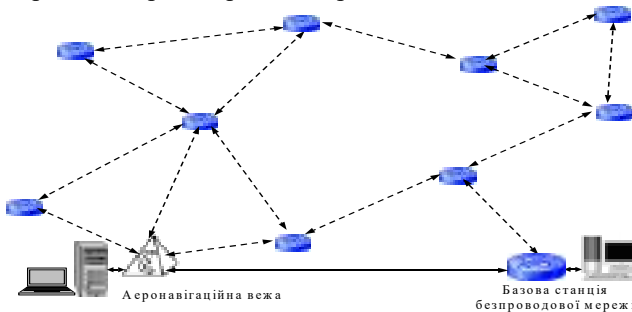


Рис. 2. Приклад поточної топології авіаційної бортової мережі

Мережа включає мобільні мережні вузли, що розташовані на літаках. Специфіка таких мереж полягає в безперервній зміні структури і складу

користувачів мережі і в підвищених вимогах до захисту від зовнішніх і внутрішніх впливів.

Для урахування ефектів самоподібності у мережі з технологією *CSMA/CA* та організацією сеансів обміну даними з розподілом по часовим слотам методом *TDMA* проаналізовані вимоги до термінального і комутаційного обладнання бортових мереж з мобільними комутаційними вузлами для простого і самоподібного входного потоків. У роботі виведені вирази для оцінки імовірності появи пакету, що передається в мережі, для потоку з розподілом Ерланга k -го порядку зі змінною інтенсивністю потоку $\lambda_i(t)$:

$$P(t_1 - \tau_i \leq t \leq t_1 + \tau_j) = \frac{\lambda_i(t_1 - \tau_i)(\lambda_i(t_1 - \tau_i + t)t)^{k-1}}{(k-1)!} \exp\left(-\int_{t_1 - \tau_i}^{t_1 + \tau_j} \lambda_i(t) dt\right), \quad (4)$$

та для потоку самоподібного трафіку з параметром Херста H :

$$P(t_1 - \tau_i \leq t \leq t_1 + \tau_j) = \frac{\lambda_{in\delta}^{1/2(1-H)} (\lambda_{in\delta}^{1/2(1-H)} t)^{k-1}}{(k-1)!} \exp(-\lambda_{in\delta} H/(1-H)). \quad (5)$$

Якість сервісу в мережі з мобільними вузлами та топологією, яка змінюється у процесі руху повітряних суден – носіїв мережних комутаційних вузлів залежить не тільки від інтенсивності мережного трафіку та його типів, а й від геометричних співвідношень у мобільній мережі, яку можна розглядати як систему масового обслуговування з очікуванням класу $GI/G/m$. При групуванні однорідних пакетів (що характерно для самоподібного трафіку), можна зробити допущення про детермінований час обслуговування (модель $GI/D/m$).

За виразами (4–5) розраховані характеристики середньої довжини черги пакетів, які очікують обробки, знаходячись у буферній пам'яті. Результати розрахунків наведені на рис. 3.

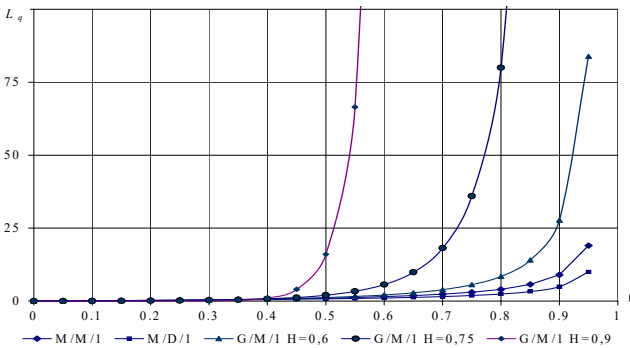


Рис. 3. Залежності асимптотичної довжини черги L_q від інтенсивності ρ та статистичних характеристик трафіку

У роботі також розраховані залежності довжини черги L_q при наявності заявок (пакетів) з обмеженою тривалістю очікування у черзі. Сумарний ефект від

факторів нееластичності трафіку та раптових змін структури мережі виражається через так званий "потік відходів" заявок, що обслуговуються. Таким чином, на кожну заявку, що стоїть в черзі, діє як би "потік відходів" з певною інтенсивністю. При збільшенні частки "нетерплячих заявок" у загальному потоці трафіку черги ростуть повільніше, тобто можна допускати більший коефіцієнт використання мережі. Однак це не знімає проблеми ефективного управління потоками трафіку, його раціонального перерозподілу з урахуваннями пріоритетів надійності та швидкості доставки різних видів трафіку.

Відповідно до поставленої мети роботи отримані рівняння і структурні схеми систем управління безпекою мережних структур. Для досягнення поставленої мети застосовано математичний апарат методів теорії марковських процесів та теорії систем зі змінною структурою.

Специфіка авіаційних бортових мереж полягає в безперервній зміні структури і складу користувачів мережі та в підвищених вимогах до захисту від зовнішніх і внутрішніх впливів. Для реалізації різних сценаріїв еволюції мобільних мережних структур в умовах не тільки параметричної і структурної невизначеності, а й невизначеності цілей конфлікту доцільно використовувати найбільш універсальні методи статистичного опису вихідних даних і власне процесів протиборства. Водночас необхідно отримувати рішення в замкнутій формі – у вигляді систем функціональних рівнянь, алгоритмів і схем, асимптотичних оцінок. Універсальним апаратом для вирішення цих завдань є теорія марковських процесів, зокрема, процесів загибелі й розмноження, якими з достатньою для практики адекватністю і точністю описуються процеси розвитку конфлікту.

Системи управління мережною структурою мають елементи, що випадково змінюються, а процеси в них визначаються рівняннями з випадковими параметрами. Випадкові зміни параметрів є повільними в порівнянні з часами процесів управління, що протікають в системі. Відповідні системи класифікуються як лінійні параметричні.

Однією з основних проблем організації та функціонування авіаційних бортових мереж є забезпечення їх безпеки і захисту інформації, що циркулює в мережі. Оскільки авіаційні бортові мережі в принципі можуть бути тільки бездротовими, їх вразливість до несанкціонованого доступу (вторгненням) є досить високою.

У дисертаційній роботі процес зміни топології і структури бортовий авіаційної мережі представлено у вигляді процесу "загибелі та розмноження". Подія появи нового мережного вузла розглядається як розмноження, вихід вузла із зони покриття мережі – як загибель.

Стосовно до задачі організації авіаційної бортової мережі, розглянуто стан і параметри мережних вузлів, які входять в неї. Один зі станів відповідає повній відсутності вузлів (літаків в зоні аеровузла), а інші – функціонуванню з різним їх кількістю. Перехід системи з одного стану в будь-яке інше характеризується відповідними імовірностями. Цей процес є марковським з кінцевим числом

станів. Перехідні імовірності не залежать від поведінки системи до моменту часу t і визначаються тільки ймовірністю стану системи і тривалістю інтервалу Δt – величини другого порядку малості. Дана система має змінну або мультиструктурну структуру, математична модель якої описується марковським процесом загибелі й розмноження. Без будь-якої втрати спільності опису прийемо $0 \leq N \leq 7$, тобто загальне число елементів мережі в моменти часу t_i може змінюватися від нуля (відсутність літаків в зоні аеровузла) до 7 (максимально дозволена кількість літаків в зоні аеровузла). При переході зі стану j в стан $j+1$ конфігурація мережі змінюється відповідним чином з інтенсивністю реконфігурації, що дорівнює μ_p . При цьому вважається, що ймовірність переходу зі стану j в стан $j+m$, $m \geq 1 \in$ величина j другого порядку малості. Керуючись наведеними вище міркуваннями, побудована математична модель системи управління структурою мережі. На рис. 4 зображено схему моделі загибелі та розмноження.

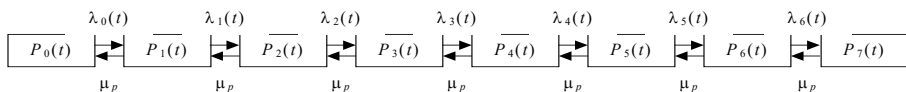


Рис. 4. Модель процесу функціонування авіаційної бортової мережі.

λ_i , $i = \overline{0,7}$ – інтенсивності переходів; μ_p – інтенсивність реконфігурації мережі при зміні її параметрів.

Ймовірності знаходження мережі в певному j -му стані P_{kj} в рамках моделі загибелі й розмноження визначаються з рівнянь Колмогорова-Чепмена з урахуванням умови нормування $\sum_{k=0}^{N-1} P_k(t) = 1$:

$$\begin{cases} -P_0(t)7\lambda_d + P_1(t)\mu_\delta = 0; \\ P_0(t)7\lambda_d - P_1(t)(\mu_\delta + 6\lambda_d) + P_2(t)\mu_\delta = 0; \\ P_1(t)6\lambda_d - P_2(t)(\mu_\delta + 5\lambda_d) + P_3(t)\mu_\delta = 0; \\ P_2(t)5\lambda_d - P_3(t)(\mu_\delta + 4\lambda_d) + P_4(t)\mu_\delta = 0; \\ P_3(t)4\lambda_d - P_4(t)(\mu_\delta + 3\lambda_d) + P_5(t)\mu_\delta = 0; \\ P_4(t)3\lambda_d - P_5(t)(\mu_\delta + 2\lambda_d) + P_6(t)\mu_\delta = 0; \\ P_5(t)2\lambda_d - P_6(t)(\mu_\delta + \lambda_d) + P_7(t)\mu_\delta = 0; \\ P_6(t)\lambda_d - P_7(t)\mu_\delta = 0, \end{cases} \quad (6)$$

де λ_d – інтенсивність відключення того чи іншого елемента мережі з будь-якої причини (ослаблення сигналу при видаленні літака від зони покриття, поява завад даному абоненту тощо).

Принциповою відмінністю системи рівнянь (6) від рівнянь звичайної моделі загибелі й розмноження є нестационарність ймовірностей переходу $P_i(t)$ на інтервалі спостереження. Рішення в замкнутій формі для такої системи неможливо отримати в принципі, тому необхідно застосовувати наближені (чисельні) методи аналізу. Для кожного типу структури мережі, інтенсивності відключення мережного елемента і заданого критерію зв'язності базової станції безпроводової мережі з цим елементом $l_{wn} \geq l_{qos}$ ($l_{wn} \geq 1$ або $l_{wn} \geq 2$) проводиться розрахунок коефіцієнта захищеності елемента, яким характеризується ймовірність його знаходження в стані з заданим числовим показником якості сервісу l_{qos} .

Для реалізації різних сценаріїв еволюції мобільних мережних структур побудовано математичну модель системи управління структурою мережі у вигляді моделі загибелі і розмноження з нестационарністю ймовірностей переходу на інтервалі спостереження.

У четвертому розділі сформульовано загальні вимоги до аеровузлової мережі. Ці вимоги конкретизовано стосовно задачі забезпечення роботи АС ОрПР як системи критичного застосування при великих перепадах інтенсивності повітряного руху. Головною задачею аеровузлової мережі є забезпечення можливості функціонування системи ОрПР у реальному часі за рахунок сумісного використання ресурсів. Для того, щоб мережа успішно справлялася з цією задачею, вона повинна відповідати вимогам по продуктивності, надійності і ін.

Показано, що в рамках моделі *OSI* побудова корпоративної мережі АС ОрПР є більш ефективною і наочною. 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). Розроблено багатопшарову (багаторівневу) модель мережі АС ОрПР, з багатократним використанням технології "клієнт-сервер". Відповідно до задач надійного та безпечного обміну даними модифіковано стек супутниково-орієнтованих та супутниково-незалежних рівнів протоколу обміну даними з широкосмуговою супутниковою мультимедійною мережею. Структура цього стеку протоколів зображена на рис. 5.

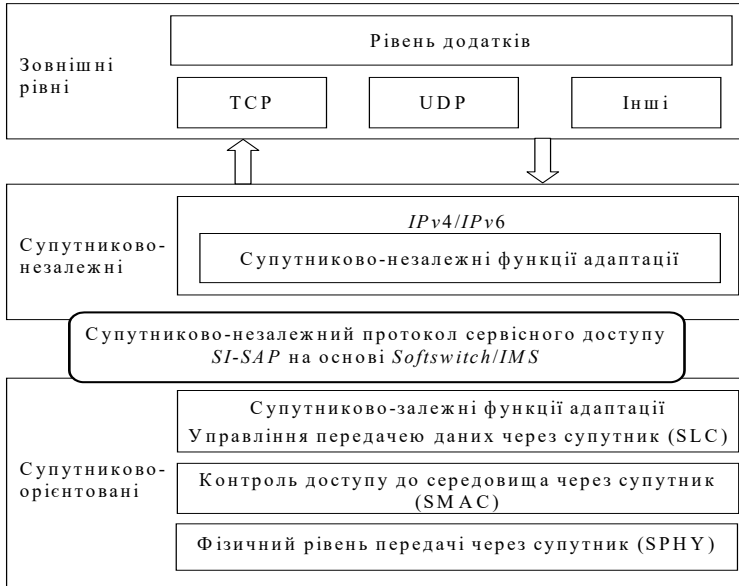


Рис. 5. Співвідношення між супутниково-незалежними та супутниково-орієнтованими рівнями протоколів для широкосмугової мультимедійної супутникової мережі

Відповідно до розробленого стеку протоколів обміну модифіковано багаторівневу архітектуру мережі літака як автономного мобільного сегменту аеровузлової мережі. Ця архітектура має як горизонтальне, так і вертикальне структурування.

Для контролю надійності та визначення нештатних ситуацій в аеровузлових мережах необхідно проводити поточний моніторинг, аналіз мереж та діагностування мережних сегментів, вузлів та елементів. Якщо розглядати складену мережу крупного аеровузла як розподілену обчислювальну систему, побудовану за модульним принципом, з високошвидкісними каналами обміну даними, то для такої системи найбільш придатним є метод самодіагностування з взаємними перевірками та змінною логічною структурою перевірочних зв'язків. У контексті проблеми, що розглядається, самодіагностування слід трактувати як процес виявлення нештатної ситуації в системі шляхом аналізу та узагальнення результатів взаємного контролю функціональних елементів нижчого рівня.

У роботі запропонована багаторівнева архітектура мережі літака як автономного мобільного сегменту аеровузлової мережі. На рис. 6 надана приблизна структурна схема мережних сегментів, що входять до складу бортової мережі.

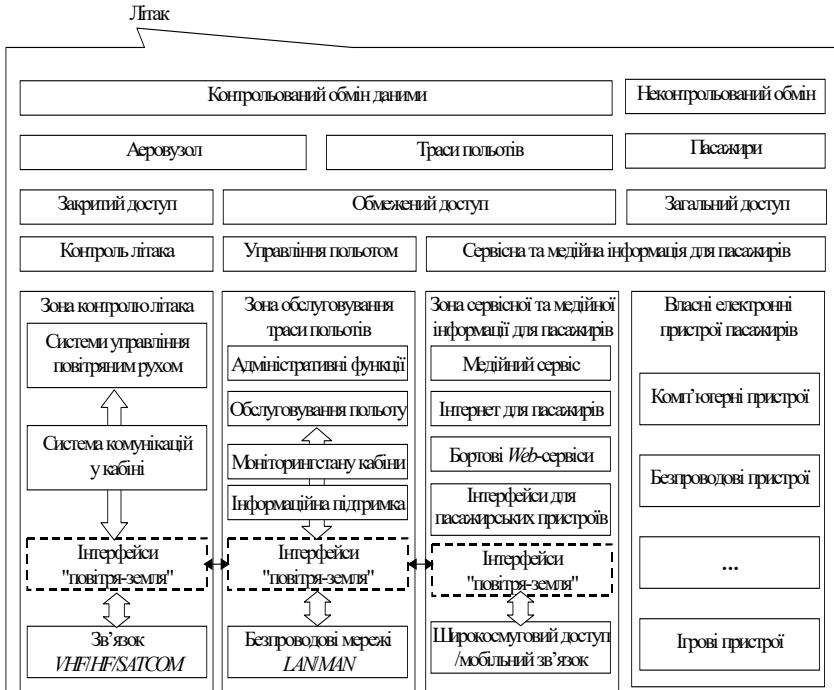


Рис. 6. Типова архітектура інформаційно-комунікаційної системи літака

Запропоновані структури корпоративної мережі і локальних обчислювальних мереж для систем критичного застосування (рис. 5, рис.6) можуть служити в основі побудови інформаційно-обчислювальної підсистеми АС ОрПР, тобто розгалуженої аероузлової мережі з автономними супутниковими та авіаційними бортовими мережними сегментами.

У дисертаційній роботі модифікований метод самодіагностування з блукаючим діагностичним ядром. Розроблено діагностичний граф обчислювальної системи. Вершини графа відповідають таким елементам об'єкту діагностики, що здатні виконувати перевірку технічного стану всіх інших його частин. Сукупність результатів елементарних перевірок являє собою синдром, тобто набір ознак, характерних для того або іншого явища. Синдромом вектора діагностичних параметрів є вектор $S_{rij} = R_{ij} C_{Kij}^T$, де R_{ij} – вектор отриманих результатів перевірок; C_{Kij} – матриця зв'язків між обчислювальними модулями. T – символ транспонування. Для забезпечення потрібної достовірності діагностування пропонується нова організація самодіагностування обчислювальних модулів. Сутність її полягає в наступному.

1. Структура перевірочних зв'язків приймається не детермінованою і такою, що припускає гнучкі зміни; елементарні перевірки в системі проводяться методом випадкового пошуку; для організації перевірок використовуються вільні часові слоти роботи двох обчислювальних модулів, що підлягають взаємній перевірці.

2. Передача діагностичної інформації виконується за умов завершення елементарних перевірок.

3. Кожен обчислювальний модуль отримує діагностичну інформацію, після чого у ньому формується ознака достатності структури перевірочних зв'язків для реалізації алгоритму діагностування; критерієм достатності є мінімум часу діагностування; при задоволенні зазначеного критерію обчислювач виконує алгоритм діагностування і визначає технічний стан кожного обчислювального модуля системи. У роботі розроблено схему станів обчислювальних модулів (рис. 7) та виведено вираз для оцінки імовірності видачі результату діагностування для поточної структури і стану обчислювальної системи у будь-який момент:

$$P_{\text{res}} = \left(\sum_{i=2}^{M-1} C_M^{ix} p^{ix} q^{M-ix} \right) \frac{C_{ix}}{C_M^{ix}} = \sum_{i=2}^{M-1} C_{ix} p^{ix} q^{M-ix} .$$

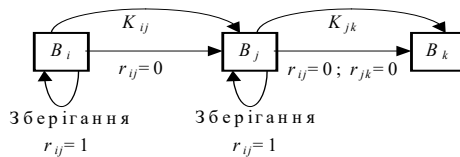


Рис. 7. Схема станів обчислювальних модулів при умовній передачі діагностичної інформації

Після проведення самодіагностування можливий один з двох взаємовиключних результатів:

- обчислювальний модуль видає результат оцінки технічного стану системи;
- обчислювальний модуль видає результату. Видається команда на продовження елементарних перевірок.

Після видачі результату самодіагностування здійснюється відновлення працездатності системи шляхом відключення із системи несправного ОМ (вузла, маршруту) і покладання задач обчислення та/або передавання даних на модулі, що залишилися справними. Після цього вся інформаційно-обчислювальна система продовжує функціонувати за призначенням. Паралельно виконується відновлення працездатності модулів, що відмовили, та продовжується оперативне самодіагностування системи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, відповідно до поставленої мети, виконано теоретичне обґрунтування та одержано нове вирішення актуальної наукової задачі: розробка та вдосконалення методів побудови автономних сегментів авіаційної інформаційно-обчислювальної системи для роботи в умовах значних коливань навантаження та виникнення екстремальних ситуацій в аеровузлових мережах складеного типу з високим ступенем гетерогенності.

Основні наукові та практичні результати дисертаційних досліджень полягають у наступному.

1. Проведений аналіз методів обміну різномірним та різнопріоритетним мережним трафіком та встановлені приблизні співвідношення міжсегментного та внутрішнього сегментного трафіку аеровузлової мережі при штатному режимі та в екстремальних ситуаціях. Відповідно до цих умов обґрунтований вибір принципу побудови та типу топології мережі, що застосовується.

2. Удосконалено метод покрової регресії стосовно мережі зі змінною структурою та розроблено алгоритм обчислення множинних коефіцієнтів кореляції, за якими розраховуються множинні коефіцієнти регресії для передбачення та встановлення поточних ключових показників ефективності авіаційної бортової мережі як невід'ємної складової частини аеровузлової інформаційно-обчислювальної системи.

3. Удосконалено метод визначення ключових показників ефективності (КПЕ) та оцінки їх статистичного взаємозв'язку в мережних структурах різних рівнів ієрархії, який, на відміну від існуючих, дозволяє обирати поточні пріоритети КПЕ. Це дає можливість підвищення швидкодії мережі аж до роботи в реальному часі при значних коливаннях інтенсивності трафіку та обсягів обчислень.

4. Вперше розроблено моделі управління структурою мереж та метод динамічної реконфігурації мережі з мобільними абонентами. Завдяки цьому прискорюється процес обміну даними між автономними сегментами мережі за умов дефіциту часу, мережних та обчислювальних ресурсів.

5. Знайшли подальший розвиток методи забезпечення потрібної якості сервісу (*QoS*), зокрема, якості передачі різномірного трафіку, шляхом поточного узгодження ключових показників якості *QoS* та самодіагностування автономних мережних сегментів, що, за експертними оцінками, дає можливість підвищити надійність та відмовостійкість мережі приблизно до 10%. Це дозволяє, з одного боку, знизити затримки доставки даних в складених гетерогенних мережах критичного застосування, а з іншого боку – забезпечити їх доставку за умов великих затримок на розповсюдження сигналів – носіїв користувальницької інформації.

6. Розроблений та обґрунтований метод діагностування автономних сегментів аеровузлової мережі, що сприяє підвищенню надійності та забезпечує відмовостійкість аеровузлової мережі.

6. Модифіковано структуру супутниково-орієнтованих та супутниково-

незалежних рівнів протоколу обміну даними з ширококутковою супутниковою мультимедійною мережею за рахунок додавання стеку протоколів доступу до мультимедійних додатків, що забезпечує підвищення захищеності мережі від несанкціонованого втручання до закритих каналів обміну польотними даними.

7. Запропоновані структури сегментів аеровузлової мережі і локальних обчислювальних мереж для систем критичного застосування. Надані рекомендації з вибору параметрів мережних вузлів (зокрема, розміру буферної пам'яті) для побудови розгалуженої аеровузлової мережі з автономними супутниковими та авіаційними бортовими мережними сегментами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Водоп'янов С.В. Вплив параметрів комунікаційної мережі аеровузла на ефективність організації повітряного руху. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Львів, 2015. № 818. С. 110-119.

2. Водопьянов С.В., Дровозов В.И. Применение моделей трафика данных для мониторинга компьютерных сетей системы управления воздушным движением. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. пр. Київ, 2012. Вип. 1(37). С. 30 - 35.

3. Водопьянов С.В. Ключевые показатели управления качеством сервиса в информационно-вычислительной сети аэроузла. *Наукові записки УНДІЗ: Науково-виробничий збірник*. Київ, 2012. №3(23). С. 71-75.

4. Водопьянов С.В., Харлай Л.О., Толстікова О.В., Боровик В.М. Управление безопасностью бортовой локальной сети в информационно-вычислительной системе аэроузла. *Захист інформації*. 2015. Т. 17. № 4. С. 292 - 297.

5. Водопьянов С.В., Кренц П.А. Оценка надежности обмена данными в перспективной аэроузловой информационно-телекоммуникационной сети. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. Київ, 2013. № 4. С. 79-85.

6. Водопьянов С.В., Дровозов В.И., Толстикова Е.В. Защита авиационных бортовых сетей от атак методами теории конфликта с применением медовых ловушек. *Захист інформації*. 2015. Т. 17. №3. С. 255 - 263.

7. Амирханов Э.А., Водопьянов С.В., Заруцкий В.А., Зубарева Е.А. Применение системы ключевых показателей эффективности для оценивания параметров компьютерных сетей. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. Київ, 2012. Т.10. №4. С. 82-86.

8. Водопьянов С.В. Алгоритм выбора оптимальной топологии компьютерной сети для автоматизированной системы управления воздушным движением. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. пр. Київ, 2012. Вип. 3(39). С. 35 - 38.

9. Водопьянов С.В. Корреляционно-регрессионный анализ ключевых параметров эффективности коммуникационной сети аэроузла в задаче организации воздушного движения. *Наукові записки УНДІЗ: Науково-*

виробничий збірник. Київ: УНДІЗ, 2015. №4. С. 55 - 66.

10. Водоп'янов С.В., Дрововозов В.І., Журавель Н.В. Моделі й методи оцінювання характеристик та управління автономними сегментами інформаційно-керуючої системи крупного аеровузла. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. пр. Київ, 2016. Вип.1 (53). С. 27 - 33.

11. Водоп'янов С.В., Мартынова О.П. Автоматизированное управление компьютерной сетью системой с гибридной многокомпонентной структурой. *Авиа-2004*: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 26-28 квітня 2004 р. Київ, 2004. С. 13.53 - 13.56.

12. Konin V.V., Sushich O.P., Babeychuk D., Vodopianov S.V. Computer-aided system of navigation systems accessibility. «*Aviation in XXI-st century*»: Proceedings of the second world congress. Kyiv, Ukraine, September 19-21, 2005. Kyiv, 2005. PP. 3.57 - 3.61.

13. Vodopianov S.V. Optimisation of Network Structures of Air Traffic Control Systems. «*Advanced Computer Systems and Networks: Design and Application*»: Proceedings of the 6th International Conference (ASCN – 2013). Lviv, Ukraine, September 16 –18, 2013. Lviv, 2013. PP. 84 - 85.

14. Водоп'янов С.В. Оптимизация параметров системы организации воздушного движения. «*Інтелектуальні технології лінгвістичного аналізу*»: матеріали міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 23 – 24 жовтня 2012 р. Київ, 2012. С. 38 - 39.

15. Водоп'янов С.В. Стабилизация процесса выбора оптимальной топологии сети методом анализа иерархий. *Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT – 2013)*: матеріали VI Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 11 – 13 червня 2013 р. Київ, 2013. С. 24.

16. Водоп'янов С.В. Зв'язок параметрів функціонування інформаційно-керуючих систем аеровузлів та ефективності авіаційних комп'ютерних і телекомунікаційних мереж. *Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT – 2016)*: матеріали IX Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 21 – 23 квітня 2016 р. Київ, 2016. С. 17-18.

17. Водоп'янов С.В., Заруцкий В.А., Дрововозов В.И. Перспективы развития кооперативного подхода в аэронавигационных системах крупных аэроузлов. *Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT – 2017)*: матеріали X міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 20 – 22 квітня 2017 р. Київ, 2017. С. 19-20.

АНОТАЦІЯ

Водоп'янов С.В. Методи побудови автономних комп'ютерних сегментів аеровузлової мережі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний авіаційний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2018.

У дисертаційній роботі розроблено методи побудови автономних сегментів інформаційно-обчислювальної системи реального часу для роботи в умовах

критичного застосування, значних коливань навантаження та виникнення екстремальних ситуацій в аеровузлових мережах складеного типу з високим ступенем гетерогенності.

Показано, що при використуванні статистичного підходу можна виділити залежності між ключовими параметрами мережі, що дає можливість побудови системи управління якістю сервісу.

При використуванні ключових параметрів ефективності комп'ютерної мережі як складної системи із затримками сигнальної і управляючої інформації можна забезпечити прогноз її стану і вирішувати задачі управління якістю сервісу в реальному часі.

Розглянуті завдання неперервного доставляння аеронавігаційної інформації до користувачів, організації мовного обміну через безпроводові мережі, що працюють під управлінням протоколів IEEE802.11x, з урахуванням специфіки побудови мобільної бортової мережі, статистичних характеристик мережного трафіку.

Розроблено математичну модель бортової локальної мережі з мобільними вузлами та спорадичною зміною структури, коли одні вузли виходять з зони дії мережі, нові вузли з'являються. Виведено розрахункові формули для середнього часу очікування заявок у пам'яті, середньої довжини черги тощо для змішаного – еластичного та нееластичного трафіку.

Розраховані можливі розміри черг у буферній пам'яті мережних вузлів за наявності заявок (сигнальних пакетів) з необмеженим часом очікування та заявок з обмеженим часом очікування у чергах. За результатами розрахунків можна обирати максимально можливий коефіцієнт використання мережі, при якому зростання черги у буферній пам'яті є припустимим.

Запропоновані структури сегментів аеровузлової мережі і локальних обчислювальних мереж для систем критичного застосування, які можуть служити в основі побудови інформаційно-обчислювальної підсистеми АС ОрПР, тобто розгалуженої аеровузлової мережі з автономними супутниковими та авіаційними бортовими мережними сегментами.

Для забезпечення надійності та відмовостійкості аеровузлової мережі розроблено метод діагностування автономних сегментів аеровузлової мережі. Завдяки цьому забезпечується потрібна живучість мережі як складної системи, зменшуються інтервали між моментом виникнення несправності та моментом її виявлення завдяки регулярному діагностуванню модулів.

Ключові слова: аеровузол, автономний сегмент, комп'ютерна мережа, самоподібний трафік, параметр Херста, система управління комутаційним вузлом.

ANNOTATION

Vodopianov S.V. The methods of construction of autonomous computer segments of air cluster network – As a manuscript.

Thesis for a Ph.D. degree by specialty 05.13.05 – Computer system and components. – National Aviation University of Department of education and science of Ukraine, Kiev, 2018.

The methods of construction of the autonomous segment of information and calculation real-time system for work in the conditions of critical application, considerable vibrations of loading and origin of extreme situations in the air cluster networks of the made type with the high degree of heterogeneity are developed in dissertation work.

It is shown that at the use of statistical approach it is possible to select dependences between the key parameters of network, that enables construction of the control system by quality of service.

At the use of key parameters of efficiency of computer network as complex system with the delays of alarm and managing information it is possible to provide the prognosis of its state and decide the tasks of quality management of service in real time.

Considered tasks of continuous delivery of air navigation information to the users, organization of linguistic exchange through wireless networks which work under the management of the IEEE 802.11x protocols, taking into account the specific of construction of mobile side network, statistical descriptions of network traffic.

The mathematical model of side local network with mobile nodes and sporadic change of structure is developed, when one node go out from the area of action of network, new nodes appear. Calculation formulas for mean time of expectation of requests at memory, middle length of turn and others like that for mixed are shown out – elastic and inelastic traffic.

The possible sizes of turns in annex memory of network nodes after the presence of requests (alarm packages) with unlimited time of expectation and requests with the limited time of expectation in turns are expected. As a result of calculations it is possible to elect the maximally possible coefficient of the use of network, at which growth of turn in annex memory is possible.

The structures of segments of the air cluster network and local area networks for the systems of critical application, which can serve in basis of construction of the information and calculation subsystem of automated traffic management system, are offered, that the ramified air cluster network with autonomous satellite and aviation airborne network segments.

For providing of reliability and fault tolerance of the air cluster network the method of self-diagnostics of autonomous segments of the air cluster network is developed. Due to it necessary vitality of network as complex system is provided, intervals between the moment of origin of disrepair and moment of its exposure due to regular diagnostics of the modules diminish.

Keywords: air cluster, autonomous segment, computer network, self-similar traffic, the Hurst parameter, control system of a commutation node.

Підп. до друку 26.12.2018. Формат 60x84/16. Папір офс.
Офс.друк. Ум. друк арк. 1,16. Обл.-вид. арк. 1,25
Наклад 100 пр. Замовлення № 2612-1.

Видавець і виготовлювач
видавництво ТОВ «АБРИС ПРИНТ»
02099, Київ, вул.Ялтинська 5-Б.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 4383 від 06.08.2012 р.

