

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

КУЧУК НІНА ГЕОРГІЇВНА



УДК 004.414.2:004.77(043.3)

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ
СТРУКТУР ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ НА
ІНТЕГРОВАНІХ ПРОГРАМНИХ ПЛАТФОРМАХ**

Спеціальність 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі обчислювальної техніки і програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант

доктор технічних наук, професор
Семенов Сергій Геннадійович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
завідувач кафедри обчислювальної
техніки і програмування.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Чемерис Олександр Анатолійович,
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України,
заступник директора з наукової роботи;

доктор технічних наук, професор
Єременко Володимир Станіславович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського»,
завідувач кафедри інформаційно-вимірювальної
техніки;

доктор технічних наук, професор
Кривуля Геннадій Федорович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки
професор кафедри автоматизації проектування
обчислювальної техніки.

Захист відбудеться «10» грудня 2020 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.14 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».

Автореферат розісланий «04» листопада 2020 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ігор ЛІБЕРГ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стрімкий розвиток сучасного інформаційного суспільства практично цілком залежить від стану ІТ-інфраструктури, яка забезпечує всіх споживачів інформації новими інформаційними технологіями завдяки широкому застосуванню різноманітних комп'ютерних систем (КС) і мереж. Постійне вдосконалення і модернізація апаратного та програмного забезпечення КС сприяють зростанню зручності та ефективності ІТ-інфраструктури. Відповідно збільшуються інтенсивність та динамічність інформаційних потоків, що циркулюють у сучасних КС. Ігнорування вищенаведених факторів на сьогодні можуть залишити непідготовлене підприємство позаду конкурентів, особливо в період всесвітнього економічного спаду внаслідок пандемії COVID-19. Це стосується не тільки компаній і стартапів, які активно впроваджують нові технології, але і будь-якого бізнесу – від великих корпорацій до середніх і дрібних підприємств. Тому різноманітні комп'ютерні системи мають постійно розвиватися, модернізувати апаратні, програмні і апаратно-програмні платформи, що використовуються, та забезпечувати достатню масштабованість.

На протязі останнього десятиріччя все більше комп'ютерних систем використовують всілякі хмарні платформи, які надали користувачам багато переваг. Але із зростанням обсягів інформаційних потоків на перший план почали виходити завдання зниження операційних витрат і скорочення часу, необхідного для модернізації усіх типів їх компонентів. Крім того, постійно збільшуються витрати на управління інфраструктурою, яка постійно ускладнюється. Тому беззаперечним трендом сучасності є те, що все більше уваги користувачі звертають на комп'ютерні системи на інтегрованих програмних платформах (ІПП). Основна ідеологія ІПП полягає в об'єднанні зовнішньої пам'яті, обчислювальних і мережних ресурсів до загального пулу, сконфігурованого для роботи в базовій мережі КС, а концепція передбачає комбінування декількох інфраструктурних компонентів в попередньо інтегрований комплекс з допомогою зв'язуючого програмного забезпечення, тобто модульність платформи, завдяки якій всі необхідні віртуалізовані обчислювальні ресурси, мережні системи і системи зберігання даних працюють автономно всередині окремих модулів, що представляють собою готові віртуалізовані обчислювальні ресурси. Застосування ІПП дозволяє суттєво скоротити операційні та експлуатаційні витрати. В КС на ІПП всі компоненти мають високий ступінь інтеграції, забезпечується можливість централізованого управління віртуалізованими середовищами за допомогою одного інтерфейсу, реалізується масштабований підхід до побудови інфраструктури з використанням типових структурних блоків, а також можливе прискорене реконфігурування, розгортання та введення в експлуатацію. Тому при впровадженні КС на ІПП підприємство або фірма, звісно, отримують низку переваг, але, відповідно, у такому випадку мають місце і деякі недоліки, насамперед пов'язані із централізованим управлінням та уніфікацією вузлів, серед яких найбільш суттєвим є збільшення часу на передачу інформації, що у

таких системах зазвичай має регламентовані обмеження, котрі перше за все стосуються вимог до оперативності процесу передачі інформації. Також слід відмітити відсутність гнучкості при масштабуванні, низку труднощів при включенні та функціонуванні гетерогенних компонент та збільшення часу доступу до розподілених сховищ даних.

Зважаючи на вищенаведене, в процесі експлуатації КС на ІПП можуть виникнути труднощі із дотриманням вимог до якості обслуговування (QoS), тобто до якості послуг, які надає базова мережа комп'ютерної системи. Але при впровадженні або модифікації КС за рахунок синтезу її інформаційної структури, яка, відповідно, дозволить сформулювати рішення щодо технічної структури базової мережі КС, можна досягти необхідних значень показників QoS. Сучасні теоретичні розробки у даному напрямі налічують як значний теоретичний матеріал, так і ґрунтовний практичний досвід, набутий при зміні або модифікації програмних та апаратних платформ. Найбільш важливими роботами в цьому напрямі є дослідження зарубіжних і вітчизняних вчених, серед яких варто виділити таких: Д. Бертсекас, Р. Бесслер, Г. Ван, В. М. Вишневський, В. С. Заборовський, Ю. П. Зайченко, Д. Катабі, Д. Кларк, О. В. Лемешко, С. Лоу, Р. Морріс, О. М. Назаров, В. К. Стеклов, В. Столлінгс, С. Сундаресан, Е. Таненбаум, Д. Уолренд, С. Флойд, Ю. М. Чернишов, В. С. Харченко, О. І. Шелухін. Але всі ці дослідження не орієнтовані на усунення вищенаведених недоліків КС на ІПП. Зважаючи на відсутність в Україні єдиного комплексного підходу до синтезу інформаційних структур КС на ІПП, який враховує особливості таких платформ, необхідна розробка єдиної методології синтезу КС на ІПП з урахуванням особливостей та специфіки ІПП, що орієнтована на ефективне виконання прикладних задач КС. Аналіз існуючих підходів показав, що незважаючи на різноманіття зарубіжних і національних підходів до вирішення проблеми забезпечення вимог якості обслуговування в КС, на сьогодні не повною мірою вирішено низку актуальних питань, пов'язаних з важливими теоретичними аспектами й практичною реалізацією забезпечення вимог QoS, особливо це стосується оперативності процесу передачі інформації в КС на ІПП.

Отже, одночасно зі збільшенням обсягів інформації, яка передається в КС, та підвищенням вимог до оперативності процесу передачі інформації збільшується частка КС на інтегрованих програмних платформах, внаслідок чого якісно і кількісно змінюються структура і характер інформаційних потоків, що суттєво впливає на інформаційні структури комп'ютерних систем. Але існуючі методи синтезу інформаційних структур не враховують особливостей ІПП, що призводить до зниження показників оперативності.

Таким чином, має місце **протиріччя** між фактичними можливостями існуючих методів синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах, з одного боку, і необхідністю дотримання вимог до оперативності процесу передачі інформації з іншого боку.

Подолати цю суперечність можна шляхом вирішення **актуальної науково-прикладної проблеми** підвищення оперативності процесу передачі інформації в комп'ютерних системах на інтегрованих програмних платформах

на основі розробки математичного апарату (математичних моделей і методів) синтезу інформаційних структур.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких викладено в дисертаційній роботі, проводилися в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» та інших організаціях в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт МОН України, а також міжнародних проєктів: Проєкт Європейського Союзу Еразмус+ (Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens) dComFra (598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP); НДР «Дослідження методів і засобів балансування навантаження та захисту даних в комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних та розподілених системах» (ДР № 0118U002052), у яких здобувачка була виконавцем, а також НДР «Моделі інформаційних процесів та методи їх обробки» (ДР № 0116U003141), у якій здобувачка була відповідальним виконавцем 1 – 3 етапів.

Мета і завдання дослідження. Метою досліджень є підвищення оперативності процесу передачі інформації в комп'ютерних системах на інтегрованих програмних платформах шляхом розробки моделей і методів синтезу інформаційних структур.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були сформульовані такі завдання:

- 1) аналіз вимог до програмних платформ комп'ютерних систем, переваг і недоліків централізованих, розподілених та комбінованих програмних платформ;
- 2) розроблення моделей синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на ІПП та технічних структур базових мереж;
- 3) розроблення методів розподілу інформаційних потоків в базових мережах комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах з врахуванням вимог до обраного критерію якості і можливих обмежень;
- 4) розроблення методів динамічного перетворення інформаційних структур в комп'ютерних мережах на інтегрованих програмних платформах;
- 5) розроблення моделей та методів підтримки інформаційних структур в комп'ютерних мережах на інтегрованих програмних платформах з врахуванням плану виконання транзакцій та розгалуження запитів до сховищ даних;
- 6) проведення порівняльної оцінки розроблених та існуючих моделей та методів синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на ІПП;
- 7) дослідження та впровадження розроблених моделей та методів синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на ІПП.

Об'єкт дослідження – процес передачі інформації в комп'ютерних системах на інтегрованих програмних платформах.

Предмет дослідження – моделі та методи синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем.

Методи дослідження. При розв'язанні науково-прикладної проблеми було використано широкий спектр методів. Так, при розробці математичних моделей синтезу інформаційних структур на інтегрованих програмних платформах використовувалися: теоретико-множинний підхід, методи теорії масового обслуговування, теорії графів, дослідження операцій та еволюційні

методи комп'ютерного моделювання. При розробці методів розподілу інформаційних потоків та динамічного перетворення інформаційних структур використовувалися методи теорії інформації та теорії складних систем, функціонального аналізу, математичного програмування. Оцінка експериментальних даних, отриманих у ході роботи, проводилася на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів обумовлена розробленими моделями та методами синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на ІПП, котрі надали подальший розвиток відповідному науковому напрямку, та в межах яких отримані такі нові наукові результати:

вперше розроблені:

- комплекс взаємопов'язаних моделей синтезу інформаційної структури комп'ютерної системи та технічної структури базової мережі, який враховує особливості інтегрованої програмної платформи і базується на стратифікованому представленні основних складових комплексу, що дозволяє враховувати інформаційні взаємозв'язки між складовими комп'ютерної системи та підвищити ступінь адекватності моделей;

- комплекс методів оперативного перерозподілу інформаційних потоків в базовій мережі комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі, який враховує динаміку розвитку комп'ютерної системи і характерні особливості базової мережі, та базується на оперативній реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку, що дозволяє зменшити середню затримку пакетів;

- комплекс методів синхронізації інформаційної структури комп'ютерної системи з обчислювальними ресурсами вузлів базової мережі, який враховує як логічні зв'язки між завданнями комп'ютерної системи, так і використання композитних застосунків, та базується на адаптивному підході до знаходження раціонального розподілу завдань між вузлами мережі, що дозволяє оперативно провести синхронізацію, орієнтовану на зменшення витрат обчислювального ресурсу та підвищення оперативності передачі інформації;

удосконалені:

- метод розподілу інформаційних потоків за маршрутами у базовій мережі комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі, який відрізняється від відомих використанням процедури ітеративного балансування навантаження вузлів мережі, що дозволяє зменшити витрати обчислювального ресурсу;

- метод формування інформаційної структури підвищеної надійності у комп'ютерній системі на інтегрованій програмній платформі, який відрізняється від відомих одночасним розподілом інформаційних потоків по всіх основних і альтернативних маршрутах базової мережі, що дозволяє реалізувати безперервність обробки транзакцій комп'ютерної системи у разі однократної відмови вузла із забезпеченням стабільності основних показників та інформаційних структур;

отримали подальший розвиток:

- метод оптимізації інформаційної структури комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі за рахунок використання на етапі розподілу

навантаження інформаційних вузлів математичного апарату генетичних алгоритмів, що дозволяє зменшити часові витрати на синтез інформаційної структури та сформувати збалансоване навантаження на вузли базової мережі;

- метод вибору оптимального плану виконання транзакцій комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі за рахунок введення динамічної функції штрафу за перевищення часових показників, орієнтованої на специфіку інтегрованої програмної платформи, та шкалування часового періоду, що дозволяє зменшити часові витрати при проведенні оперативних змін плану виконання транзакцій;

- комплекс методів обробки запитів до сховища даних комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі за рахунок створення єдиного дискового пулу та врахування особливостей доступу до хмарних компонент сховища даних, що дозволяє включати до сховища розподілені гетерогенні компоненти та зменшити час виконання застосунків, які виконують запити транзакцій комп'ютерної системи на обмін інформацією із сховищем даних.

Достовірність нових наукових положень і висновків дисертаційної роботи підтверджується:

- збіжністю результатів експериментальних досліджень, отриманих при програмній реалізації розроблених моделей та методів, з теоретичними і практичними результатами, відображеними в публікаціях, і обумовлена їх відповідністю до положень теорії синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем;

- зведенням розроблених моделей до відомих та апробованих моделей при граничних значеннях параметрів, які було враховано при їх розробленні;

- обґрунтованістю припущень при розробленні моделей і методів, виходячи з досвіду експлуатації комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах;

- результатами практичного впровадження моделей та методів синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблені у роботі моделі та методи є науково-практичною основою для синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на ІПП. Представлені на їх основі інженерні методи та алгоритми дають змогу:

- виконати моделювання інформаційної структури комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі та її базової комп'ютерної мережі;

- оптимізувати інформаційну структуру комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі та розподіл інформаційних потоків за маршрутами у базовій мережі;

- підвищити показники оперативності завдань комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі до 10%;

- зменшити витрати обчислювального ресурсу базової мережі комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі до 5%;

- зменшити витрати на експлуатацію комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі до 10%;

– розширити корисну ємність сховища даних за рахунок включення гетерогенних складових та хмарних компонент.

Результати досліджень впроваджено у: Державному підприємстві «КБ «Південне» (м. Дніпро) в ході дослідницьких робіт та реалізовані в науково-дослідній роботі (акт впровадження від 18.09.2019 р.); Головному центрі спеціального контролю (Житомирська область) при розв’язанні перспективних задач реінжинірингу та планування розвитку мережі пунктів сейсмічного контролю (акт впровадження від 22.01.2020 р.); Харківському регіональному структурному підрозділі «Украерорух» (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи (акт впровадження від 28.01.2020 р.); науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті «МОЛНІЯ» Національного технічного університету «ХПІ» (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи НДР № 20440 (№ ДР 0119U002571) (акт впровадження від 11.02.2020 р.); Державному підприємстві «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості» (м. Харків) при виконанні науково-дослідної роботи за темою «Проектування аеродромів, вертодромів, аеропортів і об’єктів їх інфраструктури» (акт впровадження від 4.12.2019 р.); Державному підприємстві «Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування» при виконанні науково-дослідної роботи з проектування комп’ютерної системи та комп’ютерних мереж об’єктів інфраструктури машинобудування (акт впровадження від 16.07.2019 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, які виносяться на захист, одержані здобувачем особисто, серед них: дослідження нових принципів та підходів до синтезу інформаційних структур комп’ютерних систем на інтегрованих програмних платформах; розробка нових моделей та методів, що реалізують ці принципи та дозволяють підвищити оперативність передачі інформації; проведення експериментальних досліджень розроблених моделей та методів; участь у впровадженні результатів дисертаційних досліджень. Особистий внесок здобувача у наукових працях, написаних у співавторстві, зазначений у списку опублікованих праць за темою дисертації та відповідає темі та змісту дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися, обговорювалися та були визнані на таких науково-технічних конференціях і симпозіумах: «Новітні технології – для захисту повітряного простору» (м. Харків, 2016 р.), «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ» (м. Львів, 2016 р.), «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (м. Полтава, 2015, 2016 р.р., м. Кропивницький, 2017 р., м. Харків, 2018, 2019 р.р.), «IEEE Advanced information and communication technologies-2017» (м. Львів, 2017 р.), «Проблеми інформатизації» (м. Черкаси, 2017, 2019 р.р.), «Problems of Infocomunications. Science and technology (PIC S&T)» (м. Харків, 2017 р.), «Automatic Control and Information Technology» (м. Краків, Польща, 2017 р.), «Metrology and metrology assurance» (м. Созополь, Болгарія, 2018 р.), «Depandable Systems, Service and Technologies» (м. Київ, 2018 р.), «Комп’ютерне моделювання в наукоємних технологіях» (м. Харків, 2018 р.),

«Conflict Management in Global Information Networks (CMiGIN)» (м. Львів, 2019 р.).

Публікації. Результати наукових досліджень відображено в 63 друкованих працях, зокрема в 45 статтях у наукових фахових виданнях України та інших держав (з них 4 статті входять до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, 36 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України, 5 – в закордонних журналах), 16 публікаціях в матеріалах міжнародних наукових конференцій (з них 4 внесені до міжнародної наукометричної бази SCOPUS) та 2 патентах на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій двома мовами, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 353 сторінки: з них 42 рисунки за текстом; 7 рисунків на 7 окремих сторінках; 3 таблиці за текстом; 2 додатки на 20 сторінках; 279 найменувань використаних літературних джерел на 29 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційних досліджень, сформульовано її мету та задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

У першому розділі проведено аналіз науково-прикладної проблеми, досліджено сучасний стан та тенденції розвитку програмних платформ комп'ютерних систем (КС), а також особливості інтегрованих програмних платформ. На основі аналізу існуючих вимог до сучасних програмних платформ КС сформульовані загальні вимоги до необхідного складу програмних продуктів платформи та підтримуючих їх апаратних засобів базової мережі комп'ютерної системи. Запропонована класифікація програмних платформ за способом управління, виявлені переваги та недоліки централізованих, розподілених та комбінованих платформ.

Показано, що поряд зі збільшенням обсягів інформації, яка передається між компонентами КС, суттєво збільшуються як експлуатаційні витрати, так і витрати на модернізацію. Найбільш вразливими стали відомчі КС, у яких існують жорсткі обмеження на експлуатаційні витрати та, зважаючи на тривалий життєвий цикл більшості відомчих КС, доводиться доволі часто проводити їх модернізацію. Проведений аналіз показав доцільність використання інтегрованих програмних платформ для відомчих комп'ютерних систем. Виділені характерні особливості ІПП, доведено, що за низкою суттєвих параметрів такі платформи на сьогодні є найбільш сприятливим вибором для відомчих КС. Показана необхідність вирішення завдання збільшення оперативності обробки транзакцій у базових мережах КС на ІПП, що можна зробити за рахунок використання специфічних властивостей таких платформ при формуванні базової мережі, синтезуючи інформаційну структуру (ІС) комп'ютерної системи. Також проаналізований взаємозв'язок між інформаційною структурою КС на ІПП та технічною структурою її базової

мережі. На основі проведеного аналізу доведено, що для формування необхідного складу програмних засобів комп'ютерної системи та її базової мережі необхідно синтезувати інформаційну структуру КС та на її основі запропонувати технічну структуру базової мережі. Обрано загальний критерій оцінки ефективності синтезу інформаційних структур для КС на ІПП, орієнтований на підвищення оперативності обробки транзакцій КС. Сформульована формалізована загальна постановка завдання вибору оптимальної інформаційної структури КС на ІПП відносно обраного показника.

Другий розділ присвячено розробці моделей синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах. Попередньо розглянуті загальні принципи побудови ІС КС на ІПП та технічних структур (ТС) їх базових мереж (БМ). Визначені особливості використання мереж масового обслуговування при проведенні аналізу БМ. Сформульовані основні принципи аналізу структури БМ для побудови ІС КС на ІПП. Показано, що основною метою аналізу є визначення параметрів інформаційних потоків, що проходять по каналах зв'язку мережі і надходять на вузли мережі. Ці дані дають можливість оцінити завантаження каналів зв'язку і обладнання мережі. Обґрунтовано необхідність синхронного моделювання ІС КС та ТС її БМ. Наведена узагальнююча схема проведення аналізу складових ІС КС на ІПП.

Для розробки математичної моделі ІС КС на ІПП було запропоновано формальне представлення інформаційної структури. Зазначені основні множини, котрі задіяні при моделюванні інформаційних взаємозв'язків у середовищі КС:

M_U – множина користувачів КС, $\dim M_U = U$;

M_N – множина інформаційних вузлів КС, $\dim M_N = N$;

M_A – множина застосунків, що функціонують у БМ, $\dim M_A = A$;

M_E – множина транзакцій комп'ютерної системи, $\dim M_E = E$;

M_D – множина фрагментів сховища даних, $\dim M_D = D$.

Параметри транзакції $e \in M_E$ ($e = \overline{1, E}$) задає кортеж $E_e = \langle A_e, D_e, U_e, W_e \rangle$, де $A_e = (a_{ea}) = (a_{e1}, \dots, a_{eA})$ – вектор необхідних для транзакції e застосунків КС; $D_e = (d_{ed}) = (d_{e1}, \dots, d_{eD})$ – вектор необхідних фрагментів сховища даних; $U_e = (u_{eu}) = (u_{e1}, \dots, u_{eU})$ – вектор користувачів, що запускають транзакцію; $W_e = (w_{ij})$ – матриця послідовності запуску застосунків транзакції e , $i, j = \overline{1, A}$. Всі вищенаведені вектори є булевими, та приймають ненульове значення тоді і тільки тоді, коли виконується відповідна умова, тобто транзакція e використовується або використовує відповідний ресурс. Матриця $\overline{W}_e$ – теж булева матриця, в якій елемент $w_{ij} = 1$ тоді і тільки тоді, якщо застосунок j повинен виконуватися тільки після повного завершення застосунку i .

Параметри застосунку a , що використовується транзакцією e , задаються кортежем $A_{ae} = \langle \overline{\lambda_{ae}}, \overline{\beta_{ae}} \rangle$, де $\overline{\lambda_{ae}} = (\lambda_{ae1}, \dots, \lambda_{aeD})$ – обсяги даних, що повинен отримати застосунок a транзакції e , та котрі знаходяться у відповідному фрагменті сховища; $\beta_{ae} = (\beta_{ae1}, \dots, \beta_{aeA})$ – обсяги даних для обміну з іншими

застосунками при виконанні транзакції e . Розміщення застосунків КС по вузлах БМ задає булева матриця $G=(g_{an})$, де $g_{an}=1$ тоді і тільки тоді, коли застосунок a запускається з інформаційного вузла n , $a \in \overline{1, A}$, $n \in \overline{1, N}$, тобто прямокутна матриця G має розмір $A \times N$. Крім того, множина застосунків умовно поділена на дві підмножини: $M_A = M_{AT} \cup M_{AS}$, де M_{AT} містить застосунки, що працюють безпосередньо з інформаційними вузлами комп'ютерної системи, а M_{AS} – безпосередньо зі сховищем даних.

Розміщення користувачів по інформаційних вузлах задає булева матриця $H=(h_{un})$, де $h_{un}=1$ тоді і тільки тоді, коли для користувача з номером e запланований інформаційний вузол n , $u \in \overline{1, U}$, $n \in \overline{1, N}$, тобто прямокутна матриця H має розмір $U \times N$. Розміщення фрагментів сховищ даних по вузлах КС визначається матрицею $S=(s_{dn})$, де $s_{dn}=1$ тоді і тільки тоді, коли фрагмент сховища з номером d буде розташований на інформаційному вузлі n , $d \in \overline{1, D}$, $n \in \overline{1, N}$, тобто прямокутна матриця S має розмір $D \times N$.

Узагальнена схема основних інформаційних взаємозв'язків у середовищі комп'ютерної системи наведена на рис. 1.



Рисунок 1 – Основні інформаційні взаємозв'язки у середовищі КС на PPP

Отже, модель може бути сформована таким кортежем множин та матриць:

$$\aleph = \langle M_U, M_N, M_A, M_E, M_D, \{E_e\}, \{A_{ae}\}, G, H, S \rangle. \quad (1)$$

При цьому слід враховувати такі обмеження на його елементи:

– будь-яка транзакція використовує хоча б один застосунок КС, тобто

$$\sum_{i=1}^A a_{ei} \geq 1 \quad \forall e \in \overline{1, E}; \quad (2)$$

– транзакція не обов'язково повинна звертатися до сховища даних, тобто

$$\sum_{i=1}^D d_{ei} \geq 1 \quad \forall e \in \overline{1, E}; \quad (3)$$

– кожна транзакція необхідна хоча б одному користувачеві:

$$\sum_{i=1}^U u_{ei} \geq 1 \quad \forall e \in \overline{1, E}; \quad (4)$$

– кожен активний користувач повинен запустити хоча б одну транзакцію:

$$\sum_{i=1}^E u_{iu} \geq 1 \quad \forall u \in \overline{1, U}; \quad (5)$$

– кожен застосунок повинен бути встановленим тільки на одному вузлі:

$$\sum_{i=1}^N g_{ai} = 1 \quad \forall a \in \overline{1, A}; \quad (6)$$

– кожен вузол має не менш одного активного застосунку (користувачі закріплюються тільки за інформаційними вузлами):

$$\sum_{i=1}^A g_{in} \geq 1 \quad \forall n \in \overline{1, N}; \quad (7)$$

– всі необхідні застосунки повинні бути встановлені, тобто

$$\sum_{i=1}^A \sum_{j=1}^N g_{ij} = A; \quad (8)$$

– всі користувачі повинні бути розподілені по інформаційних вузлах:

$$\sum_{i=1}^U \sum_{j=1}^N h_{ij} = N; \quad (9)$$

– кожен користувач повинен бути закріпленим тільки за одним вузлом:

$$\sum_{i=1}^N h_{ui} = 1 \quad \forall u \in \overline{1, U}; \quad (10)$$

– закріплення користувачів по інформаційних вузлах є довільним, тобто

$$\sum_{i=1}^U h_{in} \in [0, U]; \quad (11)$$

– усі фрагменти сховища даних розподілені по вузлах мережі, тобто

$$\sum_{i=1}^U \sum_{j=1}^N s_{ij} = D; \quad (12)$$

– можлива реплікація даних на декількох вузлах:

$$\sum_{i=1}^N s_{di} \geq 1; \quad (13)$$

– розміщення фрагментів сховища даних по вузлах БМ є довільним, тобто

$$\sum_{i=1}^D s_{in} \in [0, D] \quad \forall i \in \overline{1, N}. \quad (14)$$

Отже, кортеж (1) у сукупності із умовами (2) – (14) складають математичну модель інформаційної структури КС на ІПП. Модель враховує особливості платформи, дозволяє встановити інформаційні взаємозв'язки між складовими системи та провести аналіз базової мережі.

У кортежі (1) змінними є булеві матриці G, H, S , що задають розташування елементів інформаційної структури по її вузлах. Але при виборі оптимального варіанта потрібно проводити перевірку його на виконання обмежень (2) – (14), тобто включення рішення до простору допустимих рішень у трьохвимірному просторі прямокутних булевих матриць. Пропонується швидкий алгоритм визначення приналежності поточного рішення даному простору, який базується на тому, що матриці G, H, S мають однакову кількість стовпців. Сформуємо об'єднану матрицю (варіант інформаційної структури), використовуючи операцію вертикальної конкатенації матриць:

$$G_{\text{common}} = G!!H!!S, \quad \text{card}(G_{\text{common}}) = (A+U+D) \times N. \quad (15)$$

Проаналізуємо обмеження до математичної моделі. Тому що транзакції користувачів завжди запускаються з того ж інформаційного вузла, на якому розташоване відповідне користувацьке програмне забезпечення, то обмеження щодо транзакцій не впливають на матрицю G_{common} . Обмеження щодо розташування користувачів та застосунків швидко перевіряються за допомогою підтвердження обов'язкового виконання такої рівності:

$$\sum_{i=1}^{A+U} \left(\varsigma_1 \left(\sum_{j=1}^N G_{\text{common}}(i, j) \right) \right) = A+U, \quad (16)$$

$$\text{де} \quad \varsigma_1(\tau) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \tau = 1; \\ 0, & \text{якщо } \tau \neq 1. \end{cases} \quad (17)$$

Для швидкої перевірки обмеження щодо наявності на кожному інформаційному вузлу не менш одного активного застосунку, що є обов'язковою умовою для ІПП, аналізуються фрагменти відповідних стовпців:

$$\sum_{j=1}^N \left(\zeta_2 \left(\sum_{i=1}^A G_{\text{common}}(i, j) \right) \right) = N, \quad (18)$$

$$\text{де} \quad \zeta_2(\tau) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \tau \geq 1; \\ 0, & \text{інакше,} \end{cases} \quad (19)$$

а обмеження щодо фрагментів сховища даних перевіряються таким чином :

$$\sum_{j=1}^N \left(\zeta_2 \left(\sum_{i=A+U+1}^{A+U+D} G_{\text{common}}(i, j) \right) \right) = N. \quad (20)$$

На базі виразу (15) за допомогою умов (16)-(20) розроблений швидкий алгоритм визначення приналежності поточного рішення $\mathfrak{Z}$ даному простору. Даний алгоритм використаний при розробці методу пошуку оптимальної інформаційної структури КС ІПП за критерієм збалансованості навантаження на інформаційні вузли комп'ютерної системи :

$$\Psi(\mathfrak{Z}) = \Psi(G, H, S) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N |C_{n,m} - C_{\text{сер}}| \xrightarrow{\mathfrak{Z}} \min, \quad (21)$$

де $C_{\text{сер}} = \left(\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N C_{n,m} \right) / N$ – середнє завантаження одного інформаційного

вузла КС; $C_{n,m} = \sum_{j=1}^E C_{j,n,m}$, $C_{j,n,m} = \omega_j Z_{j,n,m}$, $Z_{j,n,m} = Z_{jnm1} + Z_{jnm2}$,

$Z_{jnm\xi 1} = \sum_{\eta=1}^D \alpha_{j,\eta} g_{\eta,m} \beta_{\xi,\eta}$, $Z_{jnm2} = \sum_{\xi=1}^A \alpha_{j,\xi} g_{\xi,n} \left(\sum_{\eta=1}^D d_{j,\eta} s_{\eta,m} \lambda_{\xi,\eta} \right)$ – інтенсивності

обміну між інформаційними вузлами n та m та завантаженість відповідних каналів запитами транзакції із інтенсивністю $\omega_j = \sum_i^U \omega_{i,j}$; $\omega_{i,j}$ – інтенсивність запуску j -ої транзакції i -м користувачем.

Розв'язання цієї задачі методом повного перебору потребує аналізу $N^A \cdot N^U \cdot N^D = N^{(A+U+D)}$ варіантів, що є неприпустимим навіть для невеликих комп'ютерних мереж. Затратними є і інші методи знаходження точного рішення. Тому пропонується використовувати наближений метод пошуку раціонального рішення з використанням генетичного алгоритму, де в якості хромосом використовуються стовпці матриці G_{common} , а в якості фітнес-функції – відхилення від фіксованого середнього завантаження для обраної популяції. Була проаналізована залежність часу виконання від розмірності задачі, що дорівнює на рішенні $\mathfrak{N}$ $\mathfrak{N}(\mathfrak{Z}) = N \cdot (A + U + D)$, при використанні запропонованого методу та методу пошуку в глибину (рис. 2). Аналіз результатів експерименту показав, що запропонований метод дає перевагу у часі над точними методами вже при $\mathfrak{N}(\mathfrak{Z}) > 60$ (незначний програш при $\mathfrak{N}(\mathfrak{Z}) < 60$ пов'язаний з часовими витратами генетичного алгоритму на початкових кроках). Однак, зі збільшенням кількості вузлів перевага запропонованого методу суттєво зростає (рис. 2, б).

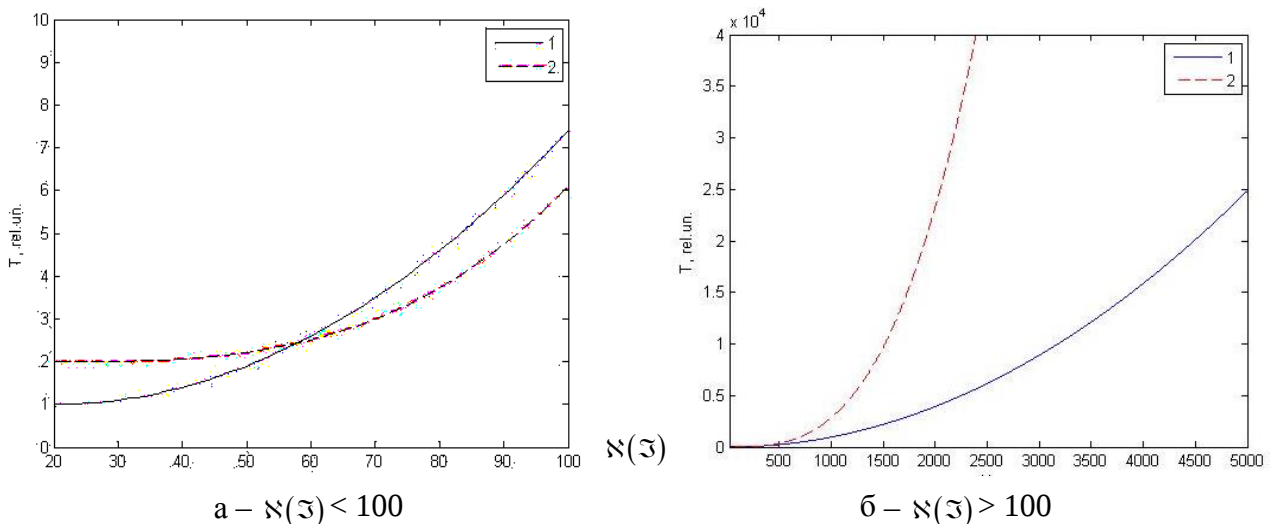


Рисунок 2 – Час пошуку рішення (21) у КС ІПП :
1 – запропонований метод; 2 – метод пошуку в глибину

Отримані результати дозволили розробити модель технічної структури базової мережі, що ізоморфна інформаційній структурі КС на ІПП. Для її формування запропонована стратифікована трьохярусна структура. На першому ярусі розташовується центр управління, другий ярус – віртуальні локальні мережі, деякі з них можуть самостійно забезпечувати функціонування інформаційних вузлів, інші мають у складі фізичні компоненти підтримки функціонування інформаційних вузлів, котрі складають 3 ярус. Разом з моделями інформаційних структур комп'ютерної системи дана модель створює комплекс моделей, який враховує особливості комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі і базується на стратифікованому представленні основних складових моделей, що дозволяє враховувати інформаційні взаємозв'язки між складовими комп'ютерної системи та підвищити ступінь адекватності моделей.

Третій розділ присвячено аспектам розподілу інформаційних потоків в базових мережах КС на інтегрованих програмних платформах. Зокрема, для мереж на інтегрованій програмній платформі удосконалено метод статичного розподілу інформаційних потоків за маршрутами та запропоновано комплекс методів оперативного перерозподілу потоків.

Запропоновано підхід до розрахунку ймовірності своєчасної доставки повідомлення у мережі P_{pi} за час T_{pi} не більше заданого значення T_m , який використовує особливості інтегрованих програмних платформ, тобто $P_{pi} = P(T_{pi} \leq T_m)$. При цьому враховуються характеристики мережного обладнання, інтенсивність вхідного потоку, інтенсивність обслуговування пакетів, кількість ретрансляцій, характеристики черг мережних пристроїв. Зважаючи на те, що інтегрована програмна платформа вимагає фіксованої довжини пакета ℓ_p на всіх ділянках, при проведенні розрахунків обирається найбільш сприятливе її значення, виходячи із таких умов: ℓ_p не може бути занадто мала, так як при фіксованій довжині службової частини пакета знижується частка інформаційної частини, що передається в одному пакеті, та збільшуються часові витрати на складання та розбирання повідомлень, а при

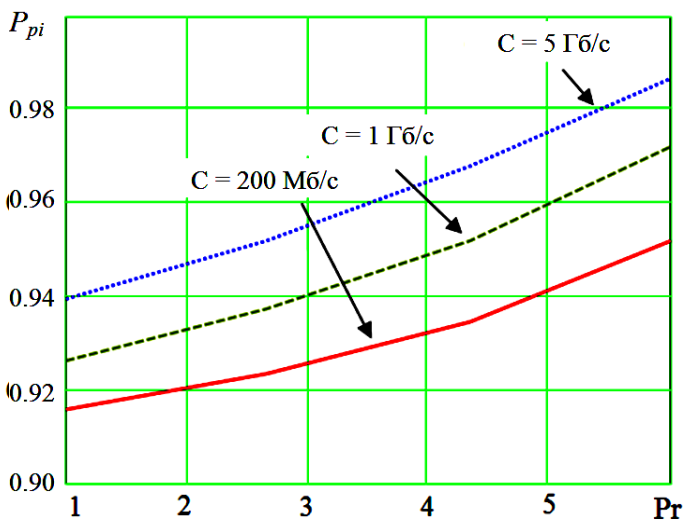


Рисунок 3 – Ймовірність своєчасної доставки повідомлення

великому значенні підвищується ймовірність передачі пакета з помилкою, збільшується частота повторних передач пакетів та знижується ефективність роботи системи. Імовірнісна оцінка своєчасності доставки повідомлень розраховується з урахуванням швидкісних обмежень та пріоритетності повідомлень.

На рис. 3 наведені результати розрахунків (для університетської системи дистанційного навчання) ймовірності своєчасної доставки повідомлення в залежності від

пріоритетів повідомлень Pr та швидкості передачі C .

Запропонований статичний метод розподілу інформаційних потоків за маршрутами у мережі на інтегрованій програмній платформі. Попередньо узагальнюються причини затримки пакетів у мережі на інтегрованій програмній платформі, яка складається з чотирьох компонент: затримка пакета даних на обробку (комутацію); затримка пакета даних в черзі; затримка передачі пакета даних; затримка поширення пакета даних. Доведено, що довжина черги пакетів до каналу зв'язку і його коефіцієнт завантаження залежать від таких параметрів: інтенсивність інформаційних потоків; пропускна здатність каналу зв'язку, а коефіцієнт завантаження каналу зв'язку визначається величиною сумарної інтенсивності інформаційних потоків, тобто для розрахунку затримки пакета

достатньо мати значення таких параметрів: інтенсивність інформаційних потоків; довжина маршрутів; час комутації пакета; пропускна здатність каналів зв'язку (КЗ); довжина пакета.

Метод базується на трьохетапному підході до вирішення завдання.

На першому етапі обчислюється прогнозована середня затримка пакета

$$T_p = \sum_{j=1}^{h_r} \sum_{a=1}^{h_m} \left(c_{ma}^j \cdot h_{wa}^j \cdot \left(t_{comm} + k_z \cdot (\ell_p / p_z) + (\ell_{wait} / p_z) \cdot \ell_p \right) \right) / c_u, \quad (22)$$

де h_r – кількість інформаційних потоків між множиною вузлів мережі; h_m – кількість маршрутів для передачі j -го потоку в розподілі γ ; c_{ma}^j – інтенсивність j -го потоку за маршрутом m_a^j ; h_{wa}^j – довжина маршруту m_a^j , що визначається кількістю каналів зв'язку, що входять до маршруту; t_{comm} – середній час комутації пакета; k_z – середній коефіцієнт завантаження КЗ; ℓ_{wait} – середня довжина черги до КЗ; ℓ_p – середній розмір пакетів, переданих в мережі; p_z – середня пропускна здатність КЗ з урахуванням їх завантаження; c_u – сумарна інтенсивність розподілених інформаційних потоків, $c_u = \sum_{j=1}^{h_r} \sum_{a=1}^{h_m} c_{ma}^j$.

На другому етапі обчислюються значення інтенсивностей потоків даних, що циркулюють в системі, запускається процес ітеративного розподілу для отримання значень максимально можливих інтенсивностей інформаційних потоків, та обирається критерій раціонального розподілу: мінімізація функції витрат обчислювального ресурсу для розподілу γ :

$$F(\gamma) = \sum_{j=1}^{h_r} \sum_{a=1}^{h_m} \left(c_{ma}^j \cdot \ell_{ma}^j \right) / c_u \xrightarrow{\gamma} \min, \quad (23)$$

де $\ell_{ma}^j = \sum_{b=1}^{h_{wa}^j} \ell_{wb}$, ℓ_{wb} – довжина КЗ w_b , що входить до маршруту m_a^j .

При цьому повинні виконуватися такі обмеження:

$$\sum_{a \in M^j} c_{ma}^j = u_{r_j} \quad \forall r_j \in R; \quad c_{ma}^j > 0 \quad \forall a \in M^j, r_j \in R, \quad (24)$$

де $R = \{r_j\}$ – множина пар вузлів, між якими проводиться обмін інформацією;

M^j – множина всіх маршрутів, що сполучають j -ту пару вузлів мережі.

На третьому етапі сформульована оптимізаційна задача вирішується ціленаправленим перебором варіантів розподілу. Послідовність дій при використанні запропонованого метода наведена на рис. 4. Як показало моделювання (рис. 5), з ростом складності мережі запропонований метод дозволяє зменшити витрати обчислювального ресурсу мереж на інтегрованій програмній платформі до двох разів.

Але у багатьох випадках внаслідок зміни умов функціонування (відмови обладнання, зміни параметрів інформаційних потоків тощо) продуктивність обробки транзакцій комп'ютерної системи різко падає внаслідок невідповідності розподілу інформаційних потоків, не виконуються вимоги щодо забезпечення необхідної якості обслуговування.

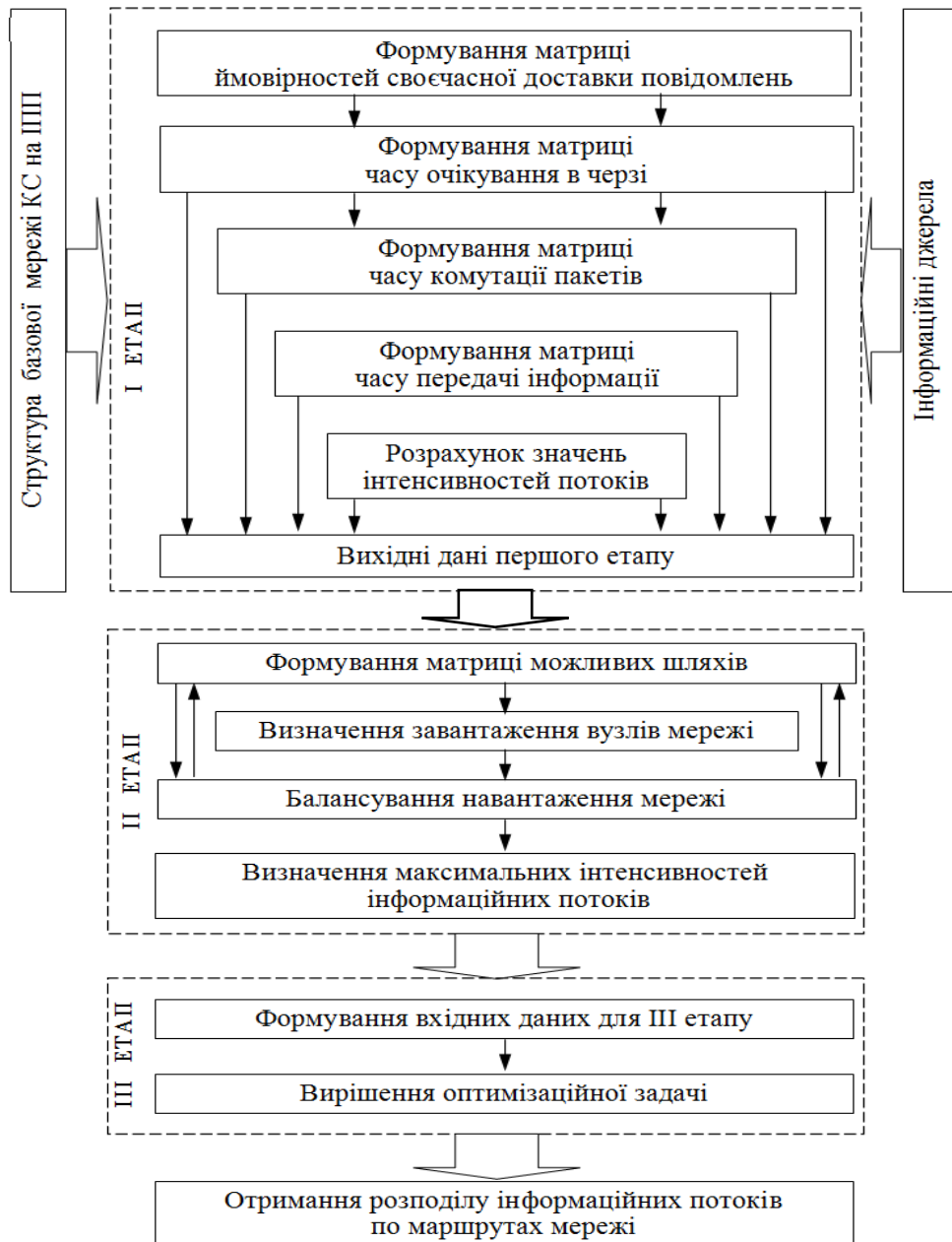


Рисунок 4 – Послідовність дій при статичному розподілі інформаційних потоків

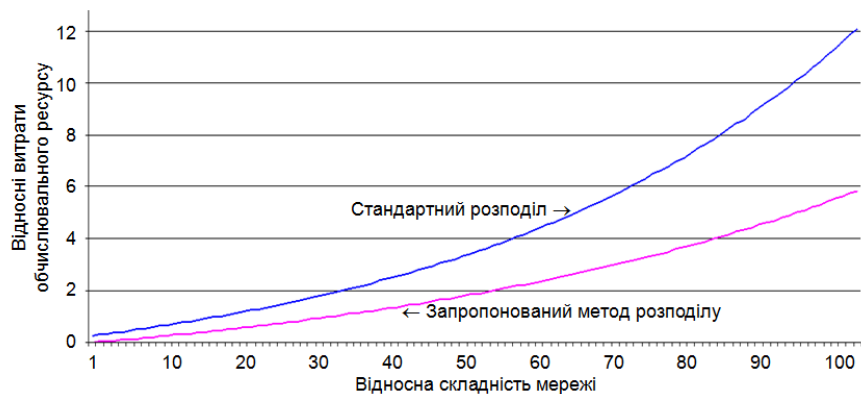


Рисунок 5 – Залежність відносних витрат обчислювального ресурсу від відносної складності мережі

Тому пропонується комплекс методів оперативного перерозподілу інформаційних потоків в мережі на інтегрованій програмній платформі, який враховує динаміку розвитку комп'ютерної системи та характерні особливості базової мережі.

Комплекс складається із 3 методів, які базуються на математичній моделі реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку.

Вхідні дані моделі: мережа зв'язку, що представлена у вигляді сукупності вузлів системи віртуальних каналів зв'язку (ВКЗ) $\{Z_i\}, i = \overline{1, N}$, де N – кількість вузлів системи ВКЗ, а кожен віртуальний канал (i, j) задається парою вузлів Z_i і Z_j ; вектор потоків, що надходять в мережу $\lambda_r, r = \overline{1, R}$, де R – кількість пар вузлів в мережі, між якими циркулюють інформаційні потоки; статичний план розподілу потоків в мережі.

Цільова функція моделі налаштована на балансування навантаження, тобто на знаходження такого розподілу пропускних здатностей ВКЗ для нової структури (визначення вектора пропускних здатностей ВКЗ $\|n_{ij}\|, j = \overline{1, N_i}$), при якому максимізується мінімальне значення коефіцієнта використання каналу зв'язку в мережі:

$$\max_{i, j = \overline{1, N}} \min \{P_{i, j}\}, P_{i, j} = \lambda(i, j) / (\mu \cdot n_{i, j}) \quad (25)$$

при таких **обмеженнях**:

$$\sum_{j=1}^N n_{i, j} = C_{Zi}; \quad \sum_{i=1}^N n_{i, j} = C_{Zj}, \quad (26)$$

де $P_{i, j}$ – коефіцієнти використання каналу в мережі; $\lambda(i, j)$ – сумарний потік віртуального каналу зв'язку, що з'єднує вузли Z_i і Z_j ; μ – середня інтенсивність обслуговування; $C_{Zj}, C_{Zi}, i, j = \overline{1, N}$ – пропускна здатність фізичних каналів зв'язку відповідного локального ресурсу.

Отже, запропонована математична модель надає можливість перерозподілу інформаційних потоків у мережі за критерієм збалансованості навантаження на фізичні канали зв'язку. Далі у розділі запропонований метод оперативної реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку, що базується на запропонованій математичній моделі. Пропонується така послідовність дій.

1. Визначити значення сумарних потоків на віртуальних каналах зв'язку.
2. Задати початкові значення вектора пропускних здатностей ВКЗ:

$$n_{i, j}^0 = \{[\lambda(i, j) / m] + 1\}m, \quad (27)$$

де m – розмір мінімального блоку обміну інформацією в мережі.

3. Підготувати допоміжну булеву матрицю стану кросуючого комутатора

$$\Omega = \|\omega_{ij}\|, \quad i, j = \overline{1, \eta}. \quad (28)$$

4. Обчислити значення коефіцієнта використання лінії зв'язку в мережі

$$P_{k, \ell} = f\{\lambda(k, \ell), n_{k, \ell}\}, \quad k, \ell = \overline{1, N}. \quad (29)$$

5. Змінюючи значення m у (27) досягти рівномірності розподілу.
6. Обчислити нові значення пропускних здатностей віртуальних каналів:

$$n_{p,q}^t = n_{p,q}^{t-1} + \omega_{pq}^t \cdot m. \quad (30)$$

7. Якщо обмеження моделі не виконуються, то корегувати матрицю стану кросуючого комутатора, при виконанні – результат отримано.

Оперативна реконфігурація системи віртуальних каналів зв'язку, що мінімізує максимальне значення коефіцієнта використання фізичних каналів зв'язку, при зміні навантаження системи ВКЗ в процесі її експлуатації, призводить до зниження середньої величини затримки пакетів повідомлень.

Запропонований метод варто застосовувати при змінах у структурі мережі, але при стабільних характеристиках інформаційних джерел. Якщо в процесі роботи системи спостерігаються або порушення інформаційної структури, або змінюються параметри інформаційних потоків, доцільно використання метод перерозподілу інформаційних потоків, що не орієнтований на існуючий статичний план. У даному методі рішення задачі визначення оптимальних пропускних здатностей каналів зв'язку розглядається при таких варіантах побудови цільової функції та обмежень:

1) при виконанні обмежень на вартість оренди каналів мережі ($C \leq C_{зад}$) і мінімізації середньої затримки ($T_{сер} \rightarrow \min$):

$$T_{сер} = \frac{1}{\zeta} \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{(V_i - v_i)} \rightarrow \min; \quad C = K \sum_{i=1}^n V_i \leq C_{зад}, \quad (31)$$

де ζ – загальний трафік в мережі, тобто кількість пакетів в секунду, що надходять в мережу ззовні, або залишають її; i – поточний канал мережі ($i = \overline{1, n}$, n – кількість каналів), що має вартість оренди C_i , пропускну здатність V_i та обслуговує потік пакетів з інтенсивністю λ_i ; $v_i = \ell \cdot \lambda_i$; ℓ – довжина пакету (є постійною величиною у мережах на інтегрованій програмній платформі); K – коефіцієнт врахування вартості каналів.

2) при виконанні обмежень на середню затримку у мережі ($T_{сер} \leq T_{сер.зад}$) і мінімізації вартості оренди каналів мережі ($C \rightarrow \min$):

$$C = K \sum_{i=1}^n V_i \rightarrow \min; \quad T_{сер} = \frac{1}{\zeta} \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{(V_i - v_i)} \leq T_{зад}. \quad (32)$$

При прийнятті допущень щодо необмеженості мережних ресурсів та пуассонівського розподілу потоку пакетів у мережі в роботі за допомогою методу невизначених множників Лагранжа отримані оптимальні значення пропускних здатностей каналів зв'язку для задачі (3.72):

$$V_j = v_j + d_1 \sqrt{v_j}; \quad d_1 = \left(C_{зад} - K \sum_{i=1}^n v_i \right) / \left(K \sum_{i=1}^n v_i \right); \quad j = \overline{1, n}, \quad (33)$$

при яких досягається мінімум середньої затримки

$$T_{cep}^{(min)} = \frac{1}{d_1 \cdot \zeta} \cdot \sum_{i=1}^n \sqrt{v_i} . \quad (34)$$

Аналогічно, для задачі (32) розраховуються значення пропускних здатностей ліній зв'язку V_i , що мінімізують вартість оренди каналів мережі при тих же допущеннях:

$$V_j = v_j + d_2 \sqrt{v_j} ; d_2 = \frac{1}{\zeta \cdot T_{зад}} \sum_{i=1}^n v_i ; j = \overline{1, n} ,$$

яка має таке мінімальне значення

$$C_{min} = K \sum_{i=1}^n (\rho_i + d_2 \sqrt{v_i}) . \quad (35)$$

Таким чином, при заданому обмеженні на середню затримку у мережі на інтегрованій програмній платформі визначені оптимальні пропускні здатності каналів зв'язку та мінімальна вартість оренди каналів. В обох випадках оптимальні значення пропускних спроможностей перевищують мінімально допустимі значення $v = \min_i (\lambda_i \cdot \ell)$, котрі насичують мережу, на деяку величину ΔV_i . Отже, запропонований метод при необмежених ресурсах дозволяє провести перерозподіл інформаційних потоків. Але є випадки, коли необхідно провести перерозподіл інформаційних ресурсів при нестачі мережних ресурсів, особливо на мережних вузлах. Для реалізації такого випадку перерозподілу пропонується метод, описаний у даному розділі.

На відміну від попереднього методу математична модель буде мати додаткові змінні - кількість місць в чергах до кожного вузла. Після низки перетворень задача (31) приймає такий вигляд: визначити оптимальні значення щільності інформаційного потоку, що мінімізують середню затримку

$$T_{cep} = \frac{1}{\zeta} \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot \frac{\partial S_{m_i}}{\partial \rho_i} \Big/ S_{m_i} \rightarrow \min \quad (36)$$

при обмеженні на вартість передачі сумарної кількості інформації, що припадає на одиницю пропускної здатності ліній зв'язку

$$C = K \sum_{i=1}^n \rho_i \leq C_{зад} , \quad (37)$$

де $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$; m_i – кількість місць в черзі і-го ВКЗ; $S_{m_i} = \sum_{k=0}^{m_i+1} \rho_i^k = \frac{1 - \rho_i^{m_i+2}}{1 - \rho_i}$.

Доведено, що оптимальні значення щільності інформаційного потоку однакові для всіх гілок і не залежать від номера гілки зв'язку, тобто $\rho_i^{opt} = \rho = const$. Зважаючи на це, та використовуючи метод невизначених множників Лагранжа, отримано умову виконання (36)-(37) відносно ρ :

$$\left(\rho_{onm} - \frac{C_{зад}}{K \cdot n} \right) \cdot \left((m+1)/2 - \frac{\partial S_m}{\partial \rho} / S_m \right) = 0,$$

тобто оптимальне значення питомого потоку у гілках $\rho_{onm} = C_{зад} / (K \cdot n)$ забезпечує мінімальне значення середнього часу затримки

$$T_{сер}^{(min)} = \frac{1}{\zeta} \cdot \frac{C_{зад}}{K} \cdot \left(\frac{\partial S_m}{\partial \rho} / S_m \right), \quad 0 < \rho_{опт} < 1. \quad (38)$$

Залежності мінімальних значень середньої затримки при всіляких значеннях кількості буферів у вузлах комутації від оптимальних значень щільності питомого потоку представлені на рис. 6 та ймовірності відмови, яка неминуче виникає через обмеження на кількість буферів у вузлах комутації.

Таким чином, у розділі запропонований комплекс методів оперативного перерозподілу інформаційних потоків в БМ КС на ІПП, що складається з таких методів:

- 1) метод оперативної реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку за критерієм відновлення збалансованості навантаження;
- 2) метод перерозподілу інформаційних потоків при спотворенні інформаційної структури базової мережі комп'ютерної системи на ІПП;
- 3) метод перерозподілу інформаційних потоків при нестачі мережних ресурсів.

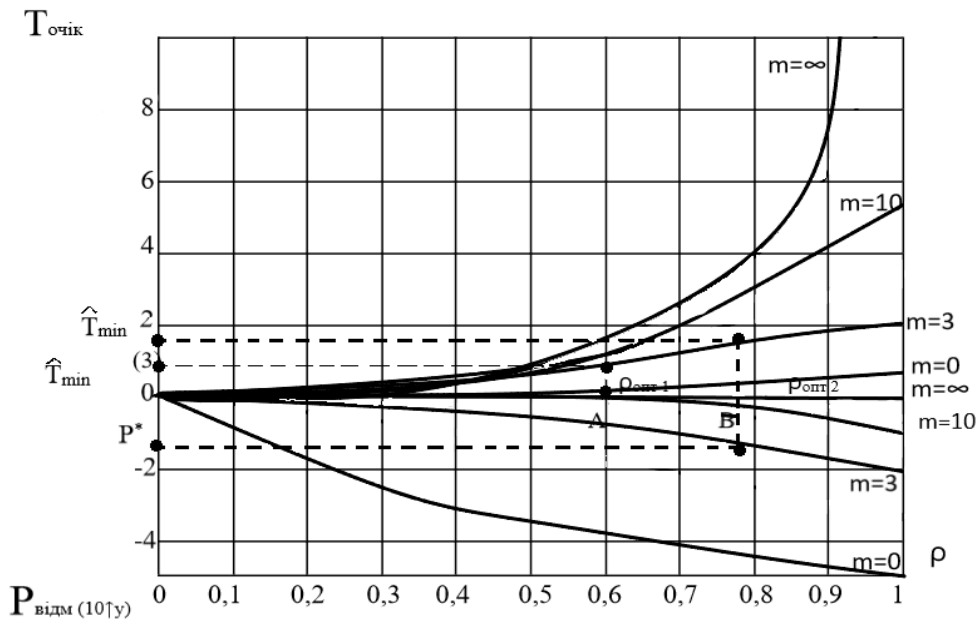


Рисунок 6 – Мінімальні значення середньої затримки $T_{очік}$

Четвертий розділ присвячено методам динамічного перетворення інформаційних структур в комп'ютерних мережах на ІПП.

Запропоновано метод формування інформаційної структури підвищеної надійності. Вважаючи на особливості мереж КС на ІПП, наведені у першому розділі, особливо централізоване управління, пропонується при формуванні інформаційної структури на кожному напрямі обміну інформацією між мережевими вузлами мати не менше ніж два альтернативних віртуальних

канали для забезпечення вимог QoS для комп'ютерної системи. Метод базується на запропонованій моделі взаємодії інформаційної структури комп'ютерної системи на ІПП та технічної структури базової мережі.

Технічна структура базової мережі задається неорієнтованим зваженим по ребрах графом $S=(Y,W,p_w,\ell_w)$, що визначає наявність, пропускну здатність і довжину каналів зв'язку між вузлами мережі. Неорієнтований, зважений по ребрах граф $U=(Y,R,u_r)$, визначає інтенсивності інформаційних потоків КС ІПП, які необхідно розподілити між вузлами базової мережі. Для графів S і U прийняті такі позначення: $Y=\{y_1,\dots,y_{h_y}\}$ – множина вершин графів S і U , ізоморфна до вузлів мережі, $|Y|=h_y$; $W=\{w_1,\dots,w_{h_w}\}$ – множина ребер графа S , ізоморфна до каналів зв'язку, $|W|=h_w$; $p_w:W\rightarrow N_+$ – вагова функція (для ребра $w_i\in W$ – пропускну здатність p_{w_i}); $\ell_w:W\rightarrow N_+$ – вагова функція (для ребра $w_i\in W$ – довжина каналу ℓ_{w_i}); $R=\{r_1,\dots,r_{h_r}\}$ – перенумерована множина ребер графа U , $|R|=h_r$; $u_r:R\rightarrow N^+$ – вагова функція (для ребра $r_j\in R$ – інтенсивність потоку u_{r_j}). Також у математичній моделі використовуються: ℓ_p – розмір пакету даних для ІПП; k_z – коефіцієнт завантаження каналу зв'язку, гранично допустиме перевантаження є таким: $k_{z_{\max}}=2\cdot k_z$; t_y – час комутації пакету у вузлі; $M_w^{1(\gamma)}$, $M_w^{2(\gamma)}$ – квадратні матриці, розміром $h_y=|Y|$, що визначають назви ребер, інцидентних вершині $x\in Y$, по яких прямують потоки даних з вершини x до всіх адресатів множини Y , кожний елемент $m_w^1(x,y)$ і $m_w^2(x,y)$ цих матриць визначає ребро $w_{x,y}\in W$ графа S , інцидентне вершині $x\in Y$, яким прямують потоки поодинокі або декількома маршрутами до адресата $y\in Y$. Зауважимо, що в матрицях $M_w^{1(\gamma)}$ і $M_w^{2(\gamma)}$ діагональні елементи дорівнюють нулю, тобто $m_w^1(x,x)=m_w^2(x,x)=0$, перед початком розподілу потоків всі елементи цих матриць дорівнюють нулю.

Взаємозв'язок структур визначає кортеж розподілу

$$\gamma = \left\langle S, U, M^{(\gamma)}, M_v^{(\gamma)}, C_r^{(\gamma)}, C_w^{(\gamma)}, u_y^{(\gamma)} \right\rangle, \quad (39)$$

де $M^{(\gamma)} = \{M^{(1)}, \dots, M^{h_r}\}$ – сімейство множин $M^j = \{m_1^j, \dots, m_{h_m}^j\}$, складених з маршрутів, де передається j -й потік в розподілі γ ; h_m – кількість маршрутів для передачі j -го потоку в розподілі γ ; $M_v^{(\gamma)} = \{M_v^1, \dots, M_v^{h_w}\}$ – сімейство множин M_v^i , $1 \leq i \leq h_w$; кожна множина $M_v^i = \{m_{v1}^i, \dots, m_{v\beta}^i\}$ складена з назв маршрутів, які включають ребро $i \in W$ графа S , β – кількість маршрутів, що проходять ребром i ; $C_r^{(\gamma)} = \{c_{r1}, \dots, c_{r_{h_r}}\}$ – множина, визначає інтенсивності потоків даних, що реалізуються між кожною парою вершин, зв'язаних в графі U

ребром; $C_w^{(\gamma)} = \{c_{w_1}, \dots, c_{w_{h_w}}\}$ – множина, кожен елемент якої c_{w_i} є сумарною інтенсивністю потоків даних, що передаються ребром $w_i \in W$ графа S ; $\mathbf{u}_y^{(\gamma)}(x) = \{u_{y_1}(x), \dots, u_{y_{h_y}}(x)\}$ – вектор сумарної інтенсивності нерозподілених потоків даних для вершини $x \in Y$, $1 \leq x \leq h_y$, елементи визначаються як

$$\mathbf{u}_y(x) = \sum_{y=1}^{h_y} u_r(x, y), \quad 1 \leq y \leq h_y. \quad (40)$$

Враховуючи дану модель, дамо формалізовану постановку завдання визначення допустимості розподілу потоків, що формуються інформаційними структурами мережі на інтегрованій програмній платформі з можливістю забезпечення альтернативного маршруту між всілякими вузлами мережі, задіяними комп'ютерною системою.

Задані графи $S = (Y, W, p_w, \ell_w)$, $U = (Y, R, u_r)$ і значення ℓ_p , k_z , t_y , T_{max} . Також $M_w^1(\gamma) = M_w^2(\gamma) = 0$. Необхідно провести розподіл інформаційних потоків по маршрутах в мережі, тобто сформувати сімейства множин $M^{(\gamma)}$, $M_v^{(\gamma)}$, множини $C_w^{(\gamma)}$, $C_r^{(\gamma)}$, вектор $\mathbf{u}_y^{(\gamma)}$ і матриці $M_w^1(\gamma)$, $M_w^2(\gamma)$, так, щоб при максимальному значенні сумарної інтенсивності розподілених потоків даних c_u і виконанні умов:

$$1) \quad \forall w_{x,y} \in W \quad c_w(x, y) \leq p_w(x, y); \quad (41)$$

$$2) \quad \forall r_{x,y} \in R \quad c_r(x, y) \leq u_r(x, y); \quad (42)$$

$$3) \quad c_u \leq \sum_{r_{x,y} \in R} u_r(x, y); \quad (43)$$

$$4) \quad \forall m \in M \quad T_m \leq T_{max}, \quad (44)$$

передача даних у напрямі кінцевого адресата здійснювалася не менш, ніж по двох маршрутах, тобто в матрицях $M_w^1(\gamma)$ і $M_w^2(\gamma)$ значення елементів $m_w^1(x, y)$ і $m_w^2(x, y)$ повинні бути відмінні від нуля, а цільова функція витрат обчислювального ресурсу для розподілу γ $F^{(\gamma)}$ (вираз (23)) приймала мінімальне значення, тобто

$$F^{(\gamma)} \rightarrow \min. \quad (45)$$

На першому етапі реалізації метода визначається максимальне допустиме значення сумарної інтенсивності розподілених потоків даних при заданих графах S та U при вирішенні оптимізаційної задачі лінійного програмування:

$$c_u = \sum_{j=1}^{h_r} \sum_{a=1}^{h_m} c_{ma}^j \rightarrow \max; \quad (46)$$

$$1) \quad \forall w_i \in W \exists c_{w_i} \in C_w^{(\gamma_n)} \wedge p_{w_i} \in p_w(W) \mid c_{w_i} \leq p_{w_i}; \quad (47)$$

$$2) \quad c_{ma}^j \geq 0 \quad (48)$$

з використанням модифікованого симплекс-методу.

На другому етапі рішення даної задачі формується базовий розподіл інформаційних потоків. Розподіл потоків і формування маршрутів проводиться послідовно для кожної вершини $x \in Y$ графа U , у якої $u_y(x) > 0$.

Третій, заключний етап – знаходження рішення оптимізаційної задачі (4.1)-(4.5) шляхом послідовного ітеративного покращення поточного розв'язку. В процесі рішення враховуються пріоритети інформаційних потоків. Результатом розподілу інформаційних потоків в мережі є сформоване сімейство множини маршрутів $M^{(\gamma)}$, що визначає маршрути передачі даних між кожною парою вузлів мережі і значення інтенсивностей потоків даних, що розподіляються по них. При цьому для кожної пари вузлів мережі визначаються два незалежні маршрути передачі даних, що не мають загальних каналів зв'язку.

Також в розділі запропонований комплекс методів синхронізації інформаційної структури комп'ютерної системи на ІПП з обчислювальними ресурсами вузлів базової мережі, який враховує як інформаційні зв'язки між завданнями системи, так і використання композитних застосунків. Комплекс має такі складові: математичну модель розподілу завдань між вузлами; метод розподілу завдань між вузлами; метод розподіленої обробки завдань між вузлами базової мережі комп'ютерної системи на ІПП.

В математичній моделі розглядається базова мережа передачі даних, що складається з множини вузлів Y , в якій необхідно здійснити обробку із множини Z незалежних одне від одного завдань. Кожне завдання $z_b \in Z$, $1 \leq b \leq h_z$, де h_z – кількість незалежних завдань, що обробляються в мережі, характеризується необхідним обчислювальним ресурсом ϕ_{z_b} для його обробки,

вектор $\phi_z = (\phi_{z_1}, \dots, \phi_{z_{h_z}})$ – необхідні обчислювальні ресурси мережі по всіх

завданнях. Для кожного завданню $z_b \in Z$ заданий вектор $u_{z_b} = (u_{z_b,1}, \dots, u_{z_b,h_y})$,

що визначає інтенсивність обміну завдання z_b з кожним з вузлів мережі. Для всієї сукупності завдань, що обробляються в мережі, маємо прямокутну матрицю U_z розміром $h_z \times h_y$, складену з векторів u_{z_b} . При цьому кожне

завдання множини Z може оброблятися будь-яким одним вузлом множини Y , а максимальна сумарна інтенсивність обміну завдань, що обробляються в мережі є такою: $u_{z_{\max}} = \sum_{b=1}^{h_z} \sum_{i=1}^{h_y} u_{z_b,i}$. Поточний зв'язок вузлів і завдань фіксується

булевою матрицею $K^{(\gamma)} = \|k_{b,a}\|$ з елементами $k_{b,a}$, що дорівнюють 1 тоді і

тільки тоді, коли виконана умова $z_b^{(\gamma)} \rightarrow y_a$, а навантаження КЗ між двома вузлами a та i ($a \neq i$) є таким: $u_{r_{a,i}} = \sum_{b=1}^{h_z} (k_{b,a} \cdot u_{z_b,i})$.

Введення поняття штрафу при розподілі завдання $z_b \in Z$ на вузол мережі $y_a \in Y$, що визначається за допомогою виразу $s_{z_b,a} = \sum_{i=1}^{h_y} u_{z_b,i} \cdot h_{wa,i}$, дозволило

після низки перетворень привести функцію $F_1^{(\gamma)}$, що задає середню інтенсивність обміну між вузлами, до такого вигляду:

$$F_1^{(\gamma)} = \sum_{a=1}^{h_y} \sum_{b=1}^{h_z} \left(k_{b,a} \cdot s_{z_{b,a}} \right) / u_{z_{\max}} \rightarrow \min.$$

Отже, завдання розподілу є таким: знайти розподіл, при якому функція середньої інтенсивності обміну між вузлами, приймає мінімальне значення:

$$F_1^{(\gamma)} \rightarrow \min, \quad (49)$$

$$\text{якщо} \quad \forall z_b \in Z \quad \sum_{a=1}^{h_y} k_{b,a} = 1; \quad \text{та} \quad \forall y_a \in Y \quad \sum_{b=1}^{h_z} k_{b,a} \cdot \phi_{z_b} \leq \phi_{y_a}. \quad (50)$$

У постановці (49)-(50) є припущення: відсутність взаємодії між різними завданнями, тобто заборонена розподілена та паралельна обробка завдань. Рішення задачі пошуку раціонального розподілу завдань множини Z по вузлах множини Y має ітераційний характер, для його знаходження застосовується модифікований метод штрафних функцій. Модифікація полягає у перетворенні матриці штрафів за допомогою вектора мінімальних штрафів з метою прискорення знаходження раціонального рішення.

Запропонований алгоритм реалізації методу розподілу завдань між вузлами мережі на інтегрованій програмній платформі дозволяє здійснити розподіл множини завдань, що обробляються в мережі, по множині вузлів мережі, що мінімізує середню затримку пакету даних в ній, і забезпечує врахування вимоги надійності обробки завдань в мережі і їх пріоритетності. Разом з математичною моделлю він складає метод розподілу завдань між вузлами мережі на інтегрованій програмній платформі.

Але даний метод не припускає можливості розподіленої обробки завдань в мережі, що істотно звужує область його застосування. Тому виникла необхідність в розробці відповідного метода, котрий дозволяє знайти раціональне розбиття множини завдань, що обробляються в мережі, на підмножини і їх розподіл по вузлах мережі із врахуванням обміну між завданнями, з метою зменшення витрат обчислювального ресурсу. Для цього виключимо припущення щодо відсутності взаємодії між різними завданнями множини Z , на яке спиралися при розробці математичної моделі та методу розподілу завдань між вузлами комп'ютерної мережі на інтегрованій програмній платформі. Тому в умовах розробленої математичної моделі для кожного завдання z_b додатково до наведеного вектора інтенсивності обміну завдання z_b з кожним з мережевих вузлів u_{z_b} розглянемо вектор u'_{z_b} ,

$u'_{z_b} = \left(u'_{z_{b1}}, \dots, u'_{z_{bh_z}} \right)$, котрий визначає інтенсивність обміну завдання z_b з іншими завданнями множини Z , причому $u'_{z_{bb}} = 0$. По всій сукупності завдань,

що обробляються в мережі, маємо додатково прямокутну матрицю U'_z розміром $h_z \times h_y$, складену з векторів u'_{z_b} . Відповідно, розшириться кортеж множини Z таким чином: $\langle Z, \phi_z, U_z, U'_z \rangle$, змінюються коефіцієнти $u_{r_{a,i}}$:

$$u_{r_{a,i}} = \sum_{b=1}^{h_z} \left(k_{b,a} \cdot \left(u_{z_{b,i}} + \sum_{j=1}^{h_z} k_{j,i} \cdot u'_{z_{b,j}} \right) \right), \quad \text{де булевий коефіцієнт } k_{j,i} \in$$

ненульовим тільки у випадку, коли завдання j обмінюється із завданням b у випадку його розташування на вузлі i .

Відповідно, змінюється цільова функція завдання оптимізації:

$$F_1^{(\gamma)} = \left(\sum_{a=1}^{h_y} u_{r_a} \cdot h_{w_a} \right) / c_u^{(\gamma)} \rightarrow \min, \quad (51)$$

де $c_u^{(\gamma)} = \sum_{a=1}^{h_y} \sum_{i=1}^{h_y} u_{r_{a,i}}$ – сумарна інтенсивність обміну між вузлами мережі при отриманому розподілі γ завдань $z_b \in Z$ по вузлах $y_a \in Y$.

Отримання раціонального рішення пов'язане з повним перебором різних варіантів розбиття.

Для вирішення таких завдань, як правило, використовується метод гілок і меж, недоліком якого є складність реалізації при порівняно невисокій ефективності (рішення в розумних часових термінах можливо отримати, якщо $h_z + h_y < 200$).

Оскільки в реальних мережах значення $h_z + h_y > 200$, то для вирішення даного завдання доцільно використовувати наближені алгоритми оптимізації, зокрема ітераційні алгоритми послідовного поліпшення наближень за допомогою парних перерозподілів завдань між вузлами мережі. Дані алгоритми дозволяють знайти рішення, що відрізняються від оптимальних на 5 – 10%, і були застосовані до завдань з $h_z + h_y \square 10^3 \dots 10^4$.

П'ятий розділ присвячено розробці моделей та методів підтримки інформаційних структур комп'ютерних систем на ІПП.

Специфіка інтегрованих платформ призводить до зменшення часових резервів при виконанні транзакцій користувачів КС, тому необхідно змінювати стандартний план, орієнтований на особливості ІПП. Для цього розроблена математична модель процесу планування виконання транзакцій, що на інтервалі часу T_z , дискретизованого з кроком Δt , планування виконання транзакцій із множини Z ($\text{card } Z = h_z$) НП множині вузлів БМ Y ($\text{card } Y = h_y$) для розподілу γ описується за допомогою кортежу

$$\Gamma(\gamma) = \langle Z, \phi_z, T_z, \phi_t, M_\phi^{(\gamma)}, F^{(\gamma)} \rangle, \quad (52)$$

де ϕ_z – вектор обчислювальних ресурсів (ОР) БМ, необхідних для обробки транзакцій із множини Z ; ϕ_t – вектор, який визначає кожному підінтервалу сумарний доступний ОР; $M_\phi^{(\gamma)} = (m_{\phi_{b,i}})$ – матриця, що є розкладом виділення обчислювальних ресурсів БМ; $F^{(\gamma)}$ – функція якості розподілу, сформована сумою штрафів всіх транзакцій із множини Z за порушення часових вимог.

На множині всіх можливих розподілів $\{\Gamma\}$ будується підмножина $\mathfrak{Z}$ всіх можливих допустимих планів виконання транзакцій таким чином:

$$\mathfrak{Z} = \{ \Gamma(\gamma) \mid F^{(\gamma)} = 0 \}; \quad (53)$$

$$\text{card } \mathfrak{Z} = \emptyset \Rightarrow \mathfrak{Z} = \left\{ \Gamma(\gamma^*) \mid F(\gamma^*) = \min_{\gamma} F(\gamma) \right\}. \quad (54)$$

Якщо в (53) $\text{card } \mathfrak{Z} = 1$, то отримаємо рішення, в інших випадках необхідно зробити вибір з елементів даної множини, кожен з яких задовольняє вимогам до запитів транзакцій. Для цього проводиться подальша деталізацію розглянутої інфраструктури КС на ІПП, додається додаткова функція штрафу за надмірне використання ресурсів, відповідно модернізується функція якості розподілу та розв'язується сформована задача її мінімізації.

Для перевірки теоретичних положень попередніх підрозділів був розроблений програмний комплекс, що дозволяє імітувати розподіл обчислювального ресурсу в інтегрованому середовищі. Інтервал часу планування вибирався рівним академічному часу (45 хвилин). Результати експерименту наведені в табл. 1 (τ – час розрахунку плану, h_t – кількість підінтервалів) та на рис. 7. Аналіз результатів моделювання дозволив сформулювати вимоги до алгоритму розв'язання задачі планування виконання транзакцій КС на ІПП.

Таблиця 1 – Результати експерименту

$h_z = 20,$ $h_y = 10$	h_t	$\text{card } \mathfrak{Z}$	$F(\gamma)$	τ	$h_z = 100,$ $h_y = 30$	h_t	$\text{card } \mathfrak{Z}$	$F(\gamma)$	τ
	15	1	1	2		15	3	0,95	124
	45	5	0,92	19		45	124	0,88	—*
	90	32	0,88	78		90	2842	—*	—*
	180	47	0,87	322		180	—*	—*	—*

* – результати не були отримані протягом астрономічної години

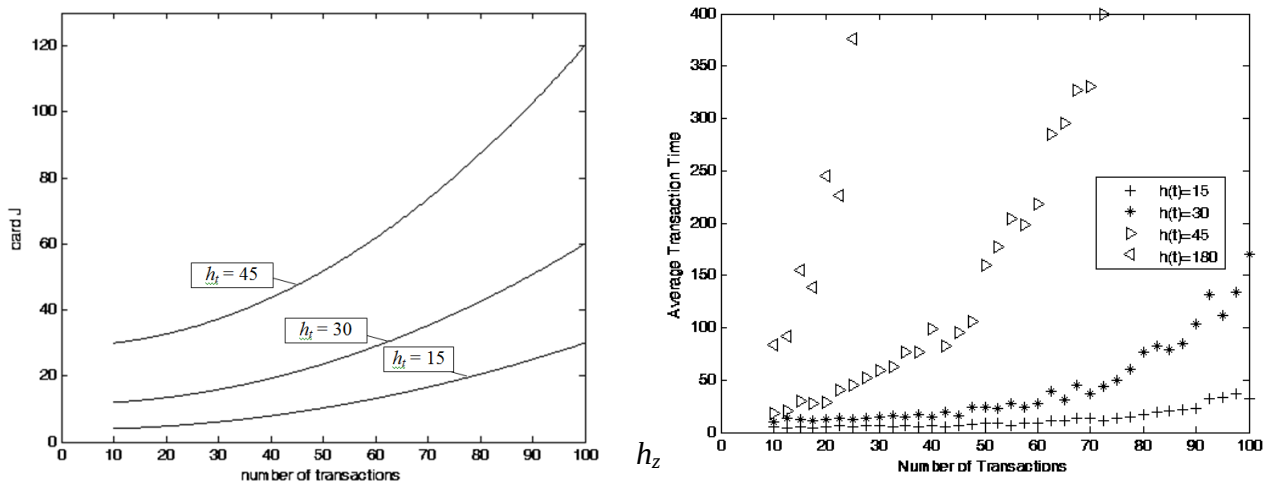


Рисунок 7 – Залежність потужності множини допустимих рішень та середнього часу виконання транзакцій (в умовних одиницях) від кількості транзакцій на інтервалі часу T_z

Також зауважимо, що в процесі функціонування КС на ІПП за рахунок централізованого управління збільшується час доступу до сховищ даних (СД). Тому для зменшення часу доставки інформації пропонується метод розгалуження потоку даних по каналах зв'язку мережі, котрий враховує особливості даної платформи. На етапі формування маршруту до СД зазвичай стоять два завдання, які виходять із вимог оперативності та живучості:

1) необхідно знайти оптимальний маршрут передачі даних при заданій пропускній здатності трактів і вузлів підмережі таким чином, щоб час передачі був не більше заданої величини;

2) всі підмережі, що входять до знайденого маршруту, повинні бути m -зв'язковими (в найпростішому випадку $m = 2$), тобто має бути мінімум m маршрутів, які відповідають попередній умові і не мають спільних вузлів і трактів.

Особливість інтегрованих програмних платформ, що пов'язана з централізованим управлінням, дозволяє суттєво спростити перше завдання. Доступ до сховищ даних, як і всі інші процеси, що відбуваються в такому середовищі, обов'язково здійснюється через центр управління, а основні мережеві елементи створюють ієрархічну структуру. Тому для отримання даних зі сховища існує тільки один маршрут, тобто пошук зводиться до знаходження оптимального рішення другого завдання. Для цього пропонується алгоритм розгалуження запиту до сховища даних, що є базою для відповідного методу, в якому поруч із мінімізацією затримки

$$\max_{i \in I_k} (T_{IU} - T_i) = \Delta T_i \rightarrow 0 \quad \forall i \in I_k, \quad (55)$$

де T_{IU} – час, виділений для передачі необхідного обсягу даних V_{IU} ; T_i – час передачі відповідного обсягу V_i i -м каналом; I_k – k -й варіант розподілу каналів, додаються обмеження щодо часу доставки даних та витрат на оренду каналів.

Метод є двохетапним та складається із послідовності кроків знаходження можливих маршрутів та знаходження оптимального із знайдених варіантів розподілу каналів.

Крім того, інтегрована платформа може мати розподілене сховище даних. Для його створення у інтегрованому середовищі необхідно створити єдиний дисковий пул (ЄДП), доступ до якого буде організований із центру управління БМ та котрий дозволить забезпечити гнучке управління розподілом ресурсів і робочого навантаження. Отже, дискові підсистеми всіх вузлів об'єднуються в єдиний пул, який надається гіпервізору базової мережі як загальний дисковий простір для використання віртуальними машинами. Обраний критерій – мінімізація сумарного часу доступу до необхідної інформації дискового пулу в процесі її функціонування. Додані обмеження щодо необхідності фізичної реалізації логічних зв'язків та сумарного об'єму задіяної зовнішньої пам'яті дозволили знайти оптимальну логічну структуру ЄДП, задану графом

$$G = (V, (W)), \quad (56)$$

де $V = \{v_i \mid i = \overline{1, m}\}$ – множина інформаційних сегментів; які взаємодіють з ЄДП; $W = \{\omega_j \mid j = \overline{1, n}\}$ – множина зв'язків між елементами V , що визначається відображенням $\psi: \tilde{V} \rightarrow W$, $\tilde{V} \subseteq V \times V$.

Це дозволило вибрати топологію фізичної структури ЄДП, БМ КС на ІПП, оптимальну щодо обраного критерію, вирішивши сформульовану задачу дискретного програмування:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} (a_{ij} y_{ij} + b_{ij} t_{ij} (1 - y_{ij})) \rightarrow \min, \quad (57)$$

при виконанні таких умов:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \ell_{ij} (1 - x_{ij}) = 0; \quad \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n d_{ij} x_{ij} = 0; \quad \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 2M; \quad \sum_{i=1}^n x_{ij} \geq \ell; \quad i, j = \overline{1, n}, \quad (58)$$

де n – кількість вузлів ЄДП; x_{ij} – булеві змінні, що дорівнюють 1 тільки тоді, коли між вузлами i та j є прямий зв'язок для передачі даних; y_{ij} – булеві змінні, $y_{ij} = 1$, якщо існуючий зв'язок є достатнім із середніми витратами ресурсу за часовий період, що розглядається, у розмірі a_{ij} ; $y_{ij} = 0$, якщо зв'язок потребує додатково b_{ij} умовних одиниць ресурсу; коефіцієнти t_{ij} , c_{ij} задають для каналу (i, j) середнє завантаження та ваговий коефіцієнт каналу відповідно; булевий коефіцієнт d_{ij} дорівнює одиниці тоді і тільки тоді, коли між вузлами i та j відсутня можливість прямого зв'язку; булевий коефіцієнт ℓ_{ij} дорівнює одиниці тоді, коли між вузлами i та j відповідно до логічної структури необхідне додаткове з'єднання; M – максимальна кількість каналів зв'язку; ℓ – мінімальна кількість альтернативних маршрутів.

Для вирішення задачі (57) – (58) запропоновано здійснювати ціле-направлений перебір можливих рішень, орієнтований на динамічне формування нижньої та верхньої оцінки рішення, виходячи з обмежень (58).

ЄДП може мати хмарну компоненту (ХК), для якої розподіл ресурсів має специфічні особливості. Тому у роботі запропонований двохетапний метод оптимізації розподілу ресурсів мережевого середовища при обслуговуванні запитів гіпервізора базової системи до хмарного середовища (ХС). На першому етапі аналізується процес розподілу набору запитів. Декомпозиція цього процесу здійснюється на двох рівнях: "запити гіпервізора та хмарні вузли" та "хмарна компонента дискового пулу". На другому етапі розподіляються ресурси, які використовуються при багатофазній обробці запитів. Для перевірки методу було розглянуто модель ХК, що входить до ЄДП, а запити гіпервізора до нього надходять у ХС, яке має такі змінні параметри: K –

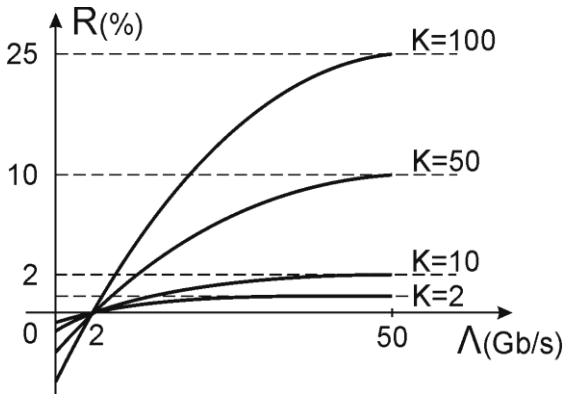


Рисунок 8 – Результати моделювання

кількість мережевих вузлів, які мають безпосередній логічний або фізичний зв'язок з гіпервізором; Λ – загальна інтенсивність запитів, що надсилає гіпервізор до ХК на протязі зафіксованого значення часового періоду; $\Lambda_{\max}$ – максимально допустиме значення Λ для зафіксованих параметрів ХС.

Результати моделювання показані на рис. 8, де R – коефіцієнт, що показує економію ресурсів за допомогою

запропонованого методу порівняно зі стандартним серійним методом

розподілу. Аналізуючи результати проведеного моделювання можна побачити, що використовуючи запропонований метод, зменшити споживання ресурсів можливо не завжди, а лише тільки за певних умов. Зауважимо, що якщо інтенсивність запитів до хмарної компоненти дискового пулу є невеликою, то, як бачимо, запропонований метод поступається стандартному методу розподілу ресурсів. Така ж тенденція спостерігається і при експлуатації хмарної компоненти з невеликою кількістю вузлів (як фізичних, так і віртуальних). При збільшенні інтенсивності запитів та наближення до максимально можливого для ХКДП, також при великій кількості вузлів, то виграш щодо зменшення споживання ресурсів хмарного середовища при використанні запропонованого методу в порівнянні зі стандартним вже стає відчутним та може досягати 25%.

Вищенаведені методи обробки запитів до сховища даних БМ КС на ІПП дозволили розвинути відповідний комплекс методів, який відрізняється від відомих використанням процедури ітеративного балансування навантаження вузлів мережі, що дозволяє з ростом відносної складності мережі зменшити витрати обчислювального ресурсу мережі.

Шостий розділ присвячено дослідженню моделей та методів синтезу інформаційних структур КС на ІПП. Розроблено алгоритм розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів базової мережі КС ІПП за комплексним показником, що враховує як оперативність передачі інформації, так і на мінімізацію ймовірності відмови в обслуговуванні під час передачі інформації. Визначені особливості побудови моделі підсистеми забезпечення дистанційного навчання КС технічного вишу на ІПП. Проведено дослідження ефективності запропонованих у дисертаційному дослідженні результатів на моделях відомих КС. Зокрема, проведена оцінка ефективності підсистеми забезпечення дистанційного навчання комп'ютерної системи (ПЗДН) технічного вишу за запропонованим критерієм мінімізації сумарного часу, витраченого на обробку транзакцій КС з об'єктивними обмеженнями на максимально можливий допустимий час передачі повідомлень і пропускну здатність фізичних ліній зв'язку. Також наведені результати комплексного застосування запропонованих методів при формуванні проекту комп'ютерної системи управління виробничими структурами аеропорту, де за рахунок підвищення оперативності передачі інформації були досягнуті вимоги замовника щодо граничного рівня значення ймовірності виконання часових меж для оперативних транзакцій КС при зростанні завантаження базової мережі.

Запропонований алгоритм розрахунку ефективності використання обчислювальних ресурсів дозволив отримати оптимальні значення ступеня завантаження каналів, тобто для кожного модуля базової мережі комп'ютерної КС на ІПП розрахувати кількість каналів передачі даних і необхідну пропускну здатність. Це дає можливість при синтезі інформаційної структури отримати числові значення відповідних характеристик технічних засобів базової мережі з метою забезпечення середнього мінімального часу доставки повідомлень і ймовірності відмови в обслуговуванні пакетів мережі в допустимих межах.

Для дослідження ефективності запропонованих результатів у КС вишу була використана модель ПЗДН комп'ютерної системи технічного вишу на інтегрованій програмній платформі. Була проаналізована залежність відносного

значення сумарного часу, витраченого на обробку запитів користувачів ПЗДН на протязі академічної години ($L_{відн}$) від відносного значення об'єму інформації, що повинна бути обслуговуваною, а також від нерівномірності завантаження технічних засобів базової мережі. На графіках рис. 9 наведені залежності $L_{відн}(T)$ від $V_{відн}(T)$ і $H_{сер}$ на часовому інтервалі тривалістю $T = 1$ година для 50 одночасно функціонуючих дистанційних курсів, що ініціюють не більше 1000 транзакцій при використанні не більше 100 композитних застосунків базової мережі, при цьому при формуванні віртуального каналу може використовувати до 20 фізичних з'єднань. Розглядалися два варіанти топології базової мережі: S_p – топологія базової мережі не порушена, всі 200 фізичних каналів зв'язку функціонують, з великою ймовірністю навантаження на фізичні канали не перевищує їхньої пропускної здатності (рис. 9, а); S_k – топологія базової мережі за якихось причин порушена (деякі модулі нижнього рівня знаходяться у непрацездатному стані), функціонування мережі можливе, але утворилося декілька критичних ділянок, на яких навантаження перевищує пропускну здатність фізичних каналів (рис. 9, б).

Для кожного із варіантів розглядається два підходи до синтезу інформаційних структур моделі ПЗДН:

використання при синтезі стандартних моделей та методів (S);

синтез інформаційних структур з комплексним використанням запропонованих методів, котрі враховують особливості ПП (U).

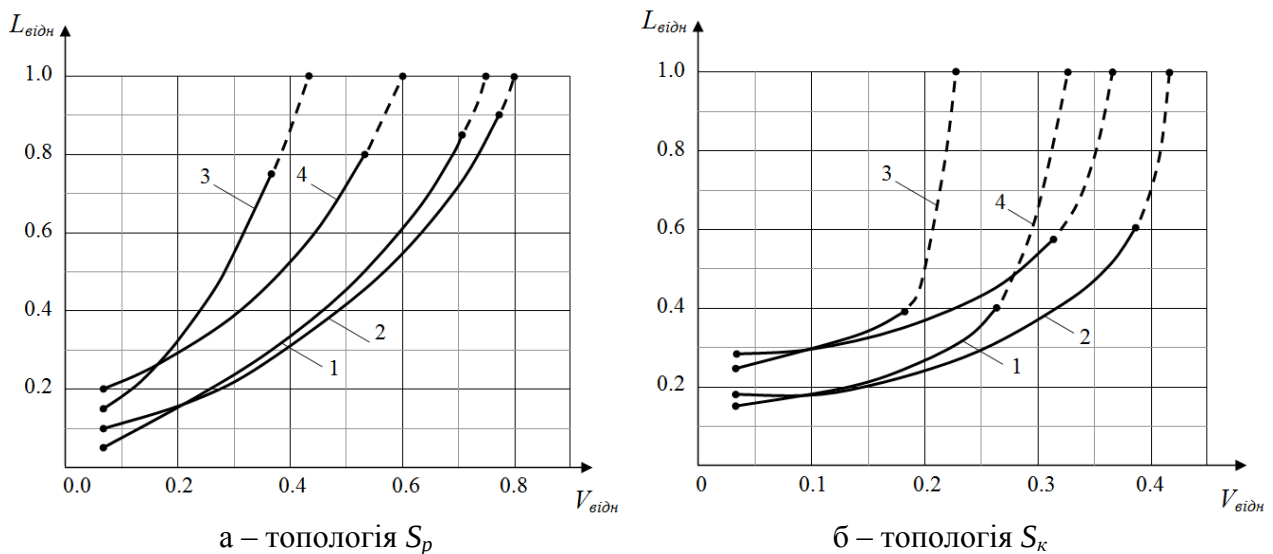


Рисунок 9 – Аналіз залежності $L_{відн}$ від $V_{відн}$:

ступінь нерівномірності завантаження: 1, 2 – $H_{сер} = 0,55$; 3, 4 – $H_{сер} = 0,75$;

вибір підходу до синтезу інформаційних структур: 1, 3 – S; 2, 4 – U

(пунктирна лінія – порушення вимог до своєчасності доставки інформації)

Аналіз отриманих результатів показав таке: при збільшенні завантаження мережі і нерівномірності завантаження запропоновані моделі та методи дозволили підвищити оперативність передачі інформації до 12%, в порівнянні з використанням стандартних засобів синтезу; при можливих порушеннях топології базової мережі, котрі призводять до тимчасової непрацездатності окремих модулів та до появи критичних ділянок (функціонування системи є

можливим, працює гіпервізор та більша частка модулів, але навантаження на фізичні складові базової мережі суттєво збільшується), запропонований підхід є суттєво ефективнішим за стандартний і дозволяє підвищити оперативність передавання інформації до 15% при дотриманні вимог до своєчасності передачі повідомлень.

Комплексне застосування запропонованих методів при формуванні проекту КС управління виробничими структурами аеропорту (УВСА), який був орієнтований на ІПП, виходячи із необхідності зниження експлуатаційних витрат, скорочення обслуговуючого персоналу КС та необхідності передбачення можливості оперативного розширення базової мережі, паралельно з виконанням завдань комп'ютерної системи у повному обсязі, дозволило підвищити оперативність передачі інформації всередині даної відомчої КС. Це, в свою чергу, дозволило виконавцям проекту виконати вимоги замовника щодо граничного рівня значення ймовірності виконання діючих часових меж ($P_{вик}$) для оперативних транзакцій КС при зростанні завантаження базової мережі ρ (рис. 10).

На рис. 10 позначено: 1 – стандартна реалізація ІПП; 2 – запропонований

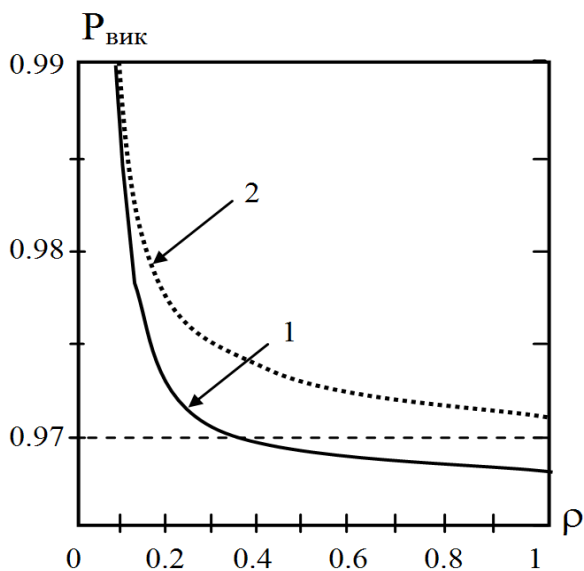


Рисунок 10 – Порівняння варіантів використання реалізацій інтегрованих програмних платформ для КС УВСА

у дисертаційному дослідженні підхід до реалізації ІПП; горизонтальна пунктирна лінія – нижня границя ймовірності $P_{вик}$, встановлена вимогами замовника КС УВСА для групи оперативних транзакцій КС. Для синтезу інформаційних структур використовувалась модель інформаційних взаємозв'язків при управлінні виробничими структурами аеропорту, розроблена виходячи із даних технічного завдання на розробку КС УВСА. Також результати моделювання показали переваги запропонованого підходу і для груп транзакцій, що не потребують жорстких вимог до оперативності передачі інформації, особливо при

завантаженні базової мережі КС, близького до максимально допустимого.

У додатках наведено документи, що підтверджують практичне значення і впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено основні результати розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми підвищення оперативності процесу передачі інформації в комп'ютерних системах на інтегрованих програмних платформах на основі розробки математичного апарату (математичних моделей і методів) синтезу інформаційних структур.

Це дало змогу отримати такі нові наукові і практичні результати:

1) проведено аналіз існуючих вимог до сучасних програмних платформ комп'ютерних систем та переваг та недоліків централізованих, розподілених та комбінованих програмних платформ; на основі аналізу сформульовані загальні вимоги до необхідного складу програмних продуктів платформи та підтримуючих їх апаратних засобів базової мережі комп'ютерної системи; проведений аналіз показав доцільність використання інтегрованих програмних платформ для відомчих комп'ютерних систем; доведена необхідність збільшення оперативності обробки транзакцій у базових мережах комп'ютерних систем, котрі використовують інтегровані програмні платформи, що можна зробити за рахунок використання специфічних властивостей таких платформ, синтезуючи інформаційну структуру комп'ютерної системи;

2) розроблено комплекс взаємопов'язаних моделей синтезу інформаційної структури комп'ютерної системи та технічної структури її базової мережі, який враховує особливості інтегрованої програмної платформи і базується на стратифікованому представленні основних складових моделей, що дозволяє враховувати інформаційні взаємозв'язки між складовими комп'ютерної системи та підвищити ступінь адекватності моделей; при моделюванні використовувався метод оптимізації інформаційної структури комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі за рахунок використання математичного апарату генетичних алгоритмів, що дозволило при великих розмірностях суттєво прискорити рішення відповідної задачі оптимізації;

3) розроблено комплекс методів оперативного перерозподілу інформаційних потоків в базовій мережі комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі, який враховує динаміку розвитку комп'ютерної системи і характерні особливості базової мережі, та базується на оперативній реконфігурації системи віртуальних каналів зв'язку, що дозволило зменшити середню затримку пакетів до 10%; також удосконалено метод розподілу інформаційних потоків за маршрутами у базовій мережі, який відрізняється від відомих використанням процедури ітеративного балансування навантаження вузлів мережі, що дозволило зменшити витрати обчислювального ресурсу до 5%;

4) розроблено комплекс методів динамічного перетворення інформаційних структур в комп'ютерних мережах на інтегрованих програмних платформах, зокрема метод формування інформаційної структури підвищеної надійності, який відрізняється від відомих одночасним розподілом інформаційних потоків по всіх основних і альтернативних маршрутах базової мережі, що дає змогу у разі виникнення відмови будь-якого вузла мережі продовжити обробку транзакцій комп'ютерної системи без зменшення показників якості обслуговування та без зміни інформаційної структури мережі, а також методи синхронізації інформаційної структури з обчислювальними ресурсами вузлів базової мережі, які враховують як інформаційні зв'язки між завданнями комп'ютерної системи, так і можливість використання композитних застосунків, та базуються на адаптивному підході до знаходження раціонального розподілу завдань між вузлами мережі, що дозволяє оперативно провести синхронізацію, орієнтовану на зменшення витрат обчислювального ресурсу;

5) розроблені моделі та методи підтримки інформаційних структур в комп'ютерних мережах на інтегрованих програмних платформах, зокрема, запропоновані математична модель процесу планування виконання транзакцій та метод вибору оптимального плану виконання транзакцій за рахунок введення динамічної функції штрафу за перевищення часових показників, орієнтованої на специфіку платформи, та шкалування часового періоду, що дозволили зменшити час планування до 8%, а також методи обробки запитів до сховища даних комп'ютерної системи на інтегрованій програмній платформі, які дозволили створити єдиний дисковий пул та врахувати особливості доступу до хмарних компонент сховища даних, що дозволило включати до сховища даних розподілені гетерогенні компоненти та зберігати частину даних у хмарних середовищах;

6) проведена порівняльна оцінки розроблених та існуючих моделей та методів синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах, за результатами якої доведено ефективність запропонованих методів;

7) досліджені та впроваджені розроблені моделі та методи синтезу інформаційних структур комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах;

8) практичні результати, які отримані, підтверджені актами впровадження та доводять коректність теоретичних положень дисертаційної роботи, високу ефективність розроблених моделей та методів; результати роботи впроваджено у Державному підприємстві «КБ «Південне» ;у Головному центрі спеціального контролю; у Харківському регіональному структурному підрозділі «Украерорух»; у науково-дослідному та проектно-конструкторському інституті «МОЛНІЯ» Національного технічного університету «ХПІ»; у Державному підприємстві «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості»; у Державному підприємстві «Харківський науково-дослідний інститут технології машинобудування».

Подальші дослідження синтезу інформаційних структур для комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах пов'язані із розробкою методології синтезу, орієнтованого на зелений комп'ютинг.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Kuchuk N., Hani Attar, Mohammad R. Khosravi, Shmatkov S. Review and performance evaluation of FIFO, PQ, CQ, FQ, and WFQ algorithms in multimedia wireless sensor networks. *Int. Journal of Distributed Sensor Networks*. 2020. Vol. 16, No. 2. P. 1-9.

Здобувачкою виконані розрахунки показників QoS для систем на інтегрованих програмних платформах.

2. Кучук Н. Г. Синтез мережевої моделі комп'ютерної системи на гіперконвергентній платформі. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2020. Вип. 1(59). С. 86-93.

3. Кучук Н. Г. Мерлак В. Ю., Скороделов В. В. Метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних. *Сучасні інформаційні системи : щоквартальний науково-технічний журнал*. 2020. Т. 4, № 1. С. 97-102.

Здобувачкою запропонований метод зменшення часу доступу до слабкоструктурованих даних.

4. Kuchuk N., Mukhin V. Kosenko N., Artiukh R. Decomposition Method for Synthesizing the Computer System Architecture. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol 938. Springer, Cham. P. 289-300.

Здобувачкою запропонований метод синтезу архітектури комп'ютерної системи з орієнтацією на інтегровані програмні платформи.

5. Kuchuk N., Hani A., Mohammad R., Shmatkov S. E-Health Communication System with Multiservice Data Traffic Evaluation Based on a G/G/1 Analysis Method. *Current Signal Transduction Therapy*. 2020. Vol. 14, No. 1. P. 1-7.

Здобувачкою запропонований метод оцінки ефективності обслуговування черги за критерієм, який враховує затримку часу та джитер.

6. Kuchuk N., Smatkov S., Sieja M. The method of centralised distribution of electronic educational resources in academic e-learning. *Czasopismo Techniczne*. 2019. Vol. 2. S. 119-128.

Здобувачкою розроблено математичну модель розподілу ресурсу для систем на інтегрованих програмних платформах.

7. Кучук Н. Г. Синхронізація інформаційної структури мережі на гіперконвергентній платформі з обчислювальними ресурсами її вузлів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2019. Вип. 6(58). С. 48-53.

8. Кучук Н. Г., Можаяєв М. О., Усатенко М. О. Метод визначення джитера телекомунікаційній мережі комп'ютерної системи на спеціальній програмній платформі. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості : щоквартальний науково-технічний журнал*. 2019. № 4 (10). С. 134-140.

Здобувачкою виконано постановку завдання та удосконалення методу визначення джитера.

9. Кучук Н. Г., Зиков І. С., Панченко В. І. Метод розгалуження запитів до сховищ даних систем, що мають гіперконвергентну інфраструктуру. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2019, Вип. 5(57). С. 51-54.

Здобувачкою виконано постановку завдання та удосконалено метод розгалуження запитів до сховищ даних гіперконвергентних систем.

10. Кучук Н. Г., Семенов С. Г., Лукова-Чуйко Н. В. Метод визначення оптимальних пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної мережі. *Сучасні інформаційні системи : щоквартальний науково-технічний журнал*. 2019. Т. 3, № 4. С. 28-32.

Здобувачкою розроблено математичну модель для розрахунку пропускних здатностей каналів зв'язку.

11. Кучук Н. Г. Метод розрахунку максимальних інтенсивностей інформаційних потоків у гіперконвергентній системі. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2019. Вип. 4(56). С. 53-56.

12. Кучук Н. Г. Метод управління інформаційними потоками в гіперконвергентній системі. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України* : щоквартальний науково-технічний журнал. 2019. № 3(36). С. 114-121.

13. Kuchuk N. Method for calculating the probability delivery time of messages in a hyperconvergent system. *Системи обробки інформації*. Харків : ХНУПС, 2019. Вип. 3(158). С. 79-83.

14. Kuchuk N. H. Comprehensive performance criterion for hyper-converged infrastructure. *Телекомунікаційні та інформаційні технології* : науковий журнал. Київ : ДУТ, 2019. № 3 (64). С. 55-63.

15. Кучук Н. Г., Луйкова-Чуйко Н. В., Собчук В. В. Оптимізація пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної системи. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2019. Вип. 3(55). С. 120-126.

Здобувачкою виконано постановку завдання, розроблено математичну модель процесу оптимізації пропускних здатностей каналів зв'язку.

16. Кучук Н. Г., Гавриленко С. Ю., Луйкова-Чуйко Н. В., Собчук В. В. Перерозподіл інформаційних потоків в гіперконвергентній системі. *Сучасні інформаційні системи* : науково-технічний журнал. 2019. Т. 3, № 2. С. 116-122.

Здобувачкою розроблено математичну модель перерозподілу інформаційних потоків.

17. Кучук Н. Г., Панченко В. І., Філоненко А. М., Петровська І. Ю. Рівномірний розподіл ресурсів, що мають гіперконвергентну інфраструктуру. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2019. Вип. 2(54). С. 119-123.

Здобувачкою розроблено математичну модель процесу рівномірного розподілу ресурсів.

18. Кучук Н. Г., Мерлак В. Ю. Метод перерозподілу ресурсів університетської системи e-learning на гіперконвергентній платформі *Радіoeлектронні і комп'ютерні системи* : науково-технічний журнал. 2019. № 1(89). С. 91-99.

Здобувачкою обґрунтовано переваги інтегрованих програмних платформи для університетської e-learning.

19. Kuchuk N., Mohammed A. S., Shyshatskyi A., Nalapko O. The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. 2019. No. 8(1). P. 1-6.

Здобувачкою розроблено математичну модель процесу самоорганізації мережі.

20. Kuchuk N., Semenov S., Sira O., Gavrylenko S. Identification of the state of an object under conditions of fuzzy input data. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. 2019. No. 1/4(97). P. 22-30.

Здобувачкою розроблено імітаційну модель для перевірки результатів застосування запропонованого методу ідентифікації.

21. Kuchuk N., Hani A., Alhihi M., Samour M., Shmatkov S. A Mathematical Model for Managing the Distribution of Information Flows for MPLS-TE Networks under Critical Conditions. *Communications and Network*. 2018. Vol. 10, No. 2. P. 31-42.

Здобувачкою виконано постановку завдання, розроблено математичну модель розподілу інформаційних потоків.

22. Kuchuk N., Semenov S., Sira O. Development of graphic-analytical models for the software security testing algorithm. *Eastern-european journal of enterprise technologies*. 2018. No. 2/4(92), P. 39-46.

Здобувачкою удосконалено графоаналітичну модель.

23. Кучук Н. Г., Зиков І. С., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи : науково-технічний журнал*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60-67.

Здобувачкою удосконалено метод управління транзакціями системи.

24. Кучук Н. Г., Шматков С. І., Донець В. В. Моделювання інформаційної системи e-learning з використанням генетичних алгоритмів. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2018. Вип. 3(49). С. 153-156.

Здобувачкою виконано постановку завдання, розроблено математичну модель інформаційної структури.

25. Кучук Н. Г., Можаяев А. А., Шматков С. І., Косенко Н. В. Уменьшение задержки транзакций e-learning в компьютерных сетях гиперконвергентной архитектуры. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості : науково-технічний журнал*. 2018. № 2 (4). С. 19-24.

Здобувачкою виконано постановку завдання, обґрунтовано переваги гиперконвергентної платформи для університетської e-learning.

26. Кучук Н. Г., Шматков С. І., Донець В. В. Модель інформаційної структури гіперконвергентної системи підтримки електронних обчислювальних ресурсів університетської e-learning. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2018. Вип. 2(48). С. 97-100.

Здобувачкою розроблено математичну модель інформаційної структури.

27. Kuchuk N., Donets V., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. *Сучасні інформаційні системи : науково-технічний журнал*. 2018. Т. 2, № 2. С. 117-121.

Здобувачкою розроблено модель процесу синтезу інформаційної системи .

28. Кучук Н. Г. Лукова-Чуйко Н. В. Ефективність управління ресурсами e-Learning в гіперконвергентному середовищі. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2018. Вип. 1(47). С. 123-126.

Здобувачкою обґрунтовано переваги інтегрованого середовища при управління ресурсами e-Learning.

29. Kuchuk N., Bulba S. Mathematical model of distribution of resources between composite applications. *News of science and education*. Sheffield : Science and education LTD, 2017. No. 6 (54). P. 72-80.

Здобувачкою виконано постановку завдання та удосконалено математичну модель розподілу ресурсів.

30. Кучук Н. Г., Шишацький А. В., Прокопенко Є. М. Методика синтезу раціональної топології безпроводних самоорганізуючих мереж спеціального призначення з використанням генетичного алгоритму. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2017. Вип. 6(46). С. 260-264.

Здобувачкою виконано постановку завдання та обґрунтовано необхідність використання генетичного алгоритму.

31. Кучук Н. Г. Метод вибору оптимального плану виконання транзакцій e-Learning. *Системи управління та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2017. Вип. 5(45). С. 83-87.

32. Кучук Н. Г., Шматков С. І., Коломоєць Ж. О. Аналіз інформаційних технологій у системах мобільного навчання. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2017. Вип. 4(44). С. 141-149.

Здобувачкою виконано постановку завдання, проведений аналіз існуючих інформаційних технологій для інтегрованих програмних платформ.

33. Kuchuk N., Artiukh R., Nechausov A. Method of building the semantic network of distributed search in e-Learning. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості : науково-технічний журнал*. 2017. № 2(2). С. 63-69.

Здобувачкою розроблено математичну модель семантичної мережі.

34. Кучук Н. Г., Нечаусов С. М. Математична модель процесу оперативного перерозподілу обчислювальних ресурсів в гіперконвергентному середовищі. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Полтава : ПНТУ, 2017. Вип. 3(43). С. 80-83.

Здобувачкою розроблено математичну модель процесу перерозподілу обчислювальних ресурсів в гіперконвергентному середовищі.

35. Kuchuk N., Nechausov A., Mamusuc I. Synthesis of the air pollution lever control system on the basis of hyperconvergent ifrustructures. *Сучасні інформаційні системи : науково-технічний журнал*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21-26.

Здобувачкою обґрунтовані переваги використання гіперконвергентної інфраструктури для системи контролю рівня забруднення повітря.

36. Кучук Н. Г., Косенко В. В. Взаємодія технічних і програмних засобів при управлінні розподілом трафіка. *Системи озброєння та військова техніка : науковий журнал*. 2016. Вип. 3(47). С. 72-75.

Здобувачкою удосконалено математичну модель управління трафіком.

37. Кучук Н., Субач І., Чаузов О. Метод рішення задачі розподілу інформаційного ресурсу в АСУ спеціального призначення при варіативному розмірі інформаційних блоків. *Information Technology and Security*. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. Т. 4, Вип. 2 (7). С. 269-276.

Здобувачкою виконано постановку завдання, розроблено схему алгоритму методу рішення задачі розподілу інформаційного ресурсу.

38. Кучук Н. Г., Косенко В. В. Моделювання технічної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі на основі конкретної реалізації її інформаційної структури. *Системи обробки інформації*. Харків : ХУПС, 2016. Вип. 9(146). – С. 167-171.

Здобувачкою розроблено математичну модель технічної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі.

39. Кучук Н. Г. Аналіз сучасних технологій і розробок e-learning. *Системи управління, навігації та зв'язку*: Полтава : ПНТУ, 2016. Вип. 4(40). С. 76 - 80.

40. Кучук Н., Субач І., Чаузов О. Моделі розподілу інформаційного ресурсу в АСУ спеціального призначення. *Information Technology and Security*. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. Т. 4., Вип. 1 (6). С. 75-83.

Здобувачкою розроблено математичну модель процесу розподілу інформаційного ресурсу для спеціальних програмних платформ.

41. Кучук Н. Г., Нечаусов С. М. Метод створення єдиного дискового пулу гіперконвергентної системи. *Системи обробки інформації*. Харків : ХУПС, 2015. Вип. 12 (137). С. 130-133.

Здобувачкою виконано постановку завдання, розроблено математичну модель єдиного дискового пулу гіперконвергентної системи.

42. Кучук Н. Г., Адаменко М. І., Березуцький В. В., Палант О. Ю. Загальносистемний ризик відмови системи після модернізації. *Системи обробки інформації*. Харків : ХУПС, 2015. Вип. 10 (135). С. 159–163.

Здобувачкою запропоновано метод визначення вагових коефіцієнтів ризиків за окремими факторами.

43. Кучук Н.Г. Метод оперативного перерозподілу ресурсів при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій глобального характеру. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. Харків : ХУПС, 2015. Вип. 2(43). С. 119-122.

44. Кучук Н.Г. Метод оцінки ефективності функціонування органів управління при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій глобального характеру. *Системи обробки інформації*. Харків : ХУПС, 2015. Вип. 5(130). С. 172-176.

45. Кучук Н.Г. Узагальнена математична модель процесу оперативного управління ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій глобального характеру. *Системи обробки інформації*. Харків : ХУПС, 2015. Вип. 3(128). С. 140-143.

46. Спосіб вибору топології мережі : патент на корисну модель UA 124344 (U), Україна / Кучук Н. Г. Шишацький А.В. та інші; № заявки u201708810 від 04.09.2017; МПК від 10.04.2018.

Здобувачкою проведений аналіз існуючих топологій.

47. Спосіб формування топології мережі : патент на корисну модель UA 125698 (U), Україна / Шишацький А.В., Кучук Н.Г., Зубрицький Г.М., Прокопенко Є.М., Животовський Р.М.; № заявки u201711310 від 20.11.2017; МПК від 25.05.2018.

Здобувачкою проведений аналіз існуючих підходів до формування топології мережі.

48. Kuchuk N., Bulba S., Semenova A., Hu Z. Transaction Planning Methods in Hyperconverged Architecture Systems. *Conflict Management in Global Information Networks, CMiGIN 2019 : Proceedings of the International Workshop* (November 29, 2019, Lviv, Ukraine). Lviv, 2019. P. 35-46.

Здобувачкою виконано постановку завдання та удосконалення методу планування транзакцій.

49. Kuchuk N., Smatkov S., Doneth V. The model of e-learning program based on hyperconvergent server. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Матеріали дев'ятої міжнародної науково-технічної конференції (11-13 квітня 2019 р., Харків). Баку – Харків – Жиліна, 2019. С. 4.

Здобувачкою розроблено математичну модель функціонування e-learning та обґрунтовано переваги гіперконвергентного сервера.

50. Kuchuk N. Analysis of hyperconverged infrastructure components. *Проблеми інформатизації*: Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції (13-15 листопада 2019 р., Черкаси). Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Харків, 2019. С. 28.

51. Кучук Н. Г., Шматков С. І., Донець В. В. Модель синтезу інформаційної системи e-learning. *Комп'ютерне моделювання в наукоємних технологіях*: праці міжнародної науково-технічної конференції (22-25 травня, 2018 р., Харків). Харків, 2018. С. 340-344.

Здобувачкою розроблено математичну модель синтезу інформаційної системи e-learning.

52. Kuchuk N., Merlac V., Smatkov S. Resources Distribution Method of University e-learning on the Hypercovergent platform. *Depandable Systems, Sevice and Technologies, DESSERT'2018*: Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference (May 24-27, 2018, Kyiv, Ukraine). Kyiv, 2018. P. 136-140.

Здобувачкою виконано постановку завдання та удосконалення методу розподілу ресурсів для систем на інтегрованих програмних платформах.

53. Kuchuk N., Goncharenko O., Shmatkov S. Qualitative measurements in complex organizational systems using the technology of open distributed registries. *Metrology and metrology assurance*: materials of 28-th int. scientific symposium (10-14 September, Sozopol, Bulgaria). Sofia – Sozopol, 2018. P. 314-319.

Здобувачкою виконано моделювання організаційної системи.

54. Кучук Н. Г., Шарко М. Задача розподілу ресурсів багатосерверного вузла. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Матеріали восьмої міжн. науково-технічної конференції (26-27 квітня 2018 р., Полтава). Полтава – Баку – Харків – Жиліна, 2018. С. 84.

Здобувачкою виконано постановку завдання та запропоновано метод розподілу ресурсів багатосерверного вузла у системах на інтегрованих програмних платформах.

55. Kuchuk N. G. Distribution model of the softwares electronic educational resources to quantum of the defined interval of time. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції (20-21 квітня 2017 р., Кропивницький). Полтава – Баку – Кропивницький – Харків, 2017. С. 6.

56. Kuchuk N., Mozhaev O., Mozhaev M., Lohvynenco M. Multiservice network security metric. *IEEE Advanced information and communication*

technologies. Proceedings of the second international conference (4-7 July 2017, Lviv, Ukraine). Lviv, 2017. P. 133-136.

Здобувачкою виконано постановку завдання та обґрунтовано переваги гіперконвергентного середовища.

57. Кучук Н.Г. Метод перерозподілу завдань по вузлах гіперконвергентної мережі підтримки e-learning. *Проблеми інформатизації* : Тези доповідей п'ятої міжнародної науково-технічної конференції (13-15 листопада 2017 р., Черкаси). Черкаси – Баку – Бельсько-Бяла – Полтава. С. 78.

58. Kuchuk N., Mozhaev O., Mozhaev M. Method for calculating of e-learning traffic peakedness. *Problems of Infocomunications. Science and technology* : IEEE 4-th International Scientific – Practical Conference (October 10-13, 2017., Kharkiv, Ukraine). Kharkiv, 2017. P. 359-362.

Здобувачкою розроблено математичну модель гіперконвергентного середовища.

59. Kuchuk N., Smatkov S., Sieja M. Graph model of functioning university e-learning on the hiperkonwergencja platform. *Automatic Control and Information Technology* : Proceedings of the Fourth International Conference (14-16 December 2017, Cracow, Poland). Cracow, 2017. P. 75-87.

Здобувачкою виконано постановку завдання та розроблено математичну модель.

60. Кучук Н. Г., Кожушко Я. М., Пугач А. В. Аналіз можливості використання гіперконвергентних інфраструктур у телекомунікаційних мережах систем управління військами. *Новітні технології – для захисту повітряного простору* : тези доповідей дванадцятої наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (13–14 квітня 2016 р., Харків). –Харків, 2016. С. 248.

Здобувачкою виконано постановку завдання та обґрунтовано переваги гіперконвергентної інфраструктури.

61. Kuchuk N.G. Hyperconverged system. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління* : Тези доповідей шостої міжнародної науково-технічної конференції (21-22 квітня 2016 р., Полтава). Полтава – Баку – Кіровоград – Харків, 2016. С. 44.

62. Кучук Н. Г., Усачова О. А. Гіперконвергентна інфраструктура телекомунікаційної мережі системи управління військами. *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ* : тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції (18–20 травня 2016 р., Львів). Львів, 2016. С. 50.

Здобувачкою обґрунтовано переваги гіперконвергентної інфраструктури у галузі, що розглядається.

63. Кучук Н.Г. Математична модель процесу оперативного управління ліквідацією наслідків надзвичайних ситуацій. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Матеріали четвертої міжнародної науково-технічної конференції (23-24 квітня 2015 р., Полтава). Полтава – Баку – Кіровоград – Харків, 2015. С. 52.

АНОТАЦІЇ

Кучук Н. Г. Моделі і методи синтезу інформаційних структур для комп'ютерних систем на інтегрованих програмних платформах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – комп'ютерні системи та компоненти. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Міністерство освіти і науки України, Харків, 2020.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми підвищення оперативності процесу передачі інформації в комп'ютерних системах (КС) на інтегрованих програмних платформах (ІПП) на основі розробки математичного апарату синтезу інформаційних структур. Проведено аналіз стану проблеми. Зі збільшенням обсягів інформації, яка передається в КС, та підвищенням вимог до оперативності її передачі, все більше застосовуються ІПП. Це суттєво впливає на інформаційні структури КС та призводить до зниження показників оперативності.

Розроблено комплекс взаємопов'язаних моделей інформаційної структури КС та технічної структури базової мережі, який дозволяє враховувати інформаційні взаємозв'язки між складовими КС та підвищити ступінь адекватності моделей. Розроблено комплекс методів оперативного перерозподілу інформаційних потоків в базовій мережі КС на ІПП, який дозволяє зменшити середню затримку пакетів. Розроблено комплекс методів синхронізації інформаційної структури КС з обчислювальними ресурсами вузлів базової мережі, що дозволяє оперативно провести синхронізацію, орієнтовану на зменшення витрат обчислювального ресурсу та підвищення оперативності передачі інформації. Удосконалено метод статичного розподілу інформаційних потоків за маршрутами у базовій мережі КС на ІПП. Удосконалено метод формування інформаційної структури підвищеної надійності у КС на ІПП, що дає змогу у разі виникнення відмови будь-якого вузла мережі продовжити обробку транзакцій комп'ютерної системи без суттєвого зменшення показників якості обслуговування та без зміни інформаційної структури. Дістав подальшого розвитку метод оптимізації інформаційної структури КС на ІПП за рахунок використання на етапі розподілу навантаження інформаційних вузлів математичного апарату генетичних алгоритмів, що дозволяє зменшити часові витрати на синтез інформаційної структури та сформувати збалансоване навантаження на вузли базової мережі. Дістав подальшого розвитку метод вибору оптимального плану виконання транзакцій КС на ІПП за рахунок введення динамічної функції штрафу за перевищення часових показників. Дістав подальшого розвитку комплекс методів обробки запитів до сховища даних КС на ІПП за рахунок створення єдиного дискового пулу та врахування особливостей доступу до хмарних компонент сховища даних.

Ключові слова: комп'ютерна система, синтез, інтегрована програмна платформи, інформаційна структура, технічна структура, базова мережа.

Кучук Н. Г. Модели и методы синтеза информационных структур для компьютерных систем на интегрированных программных платформах. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.05 – компьютерные системы и компоненты. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2020.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы повышения оперативности процесса передачи информации в компьютерных системах (КС) на интегрированных программных платформах (ИПП) на основе разработки математического аппарата синтеза информационных структур. Проведен анализ проблемы. С увеличением объемов информации, которая передается в КС, и повышением требований к оперативности ее передачи, все больше применяются ИПП. Это существенно влияет на информационные структуры КС и приводит к снижению показателей оперативности.

Разработан комплекс взаимосвязанных моделей информационной структуры КС и технической структуры базовой сети, который позволяет учитывать информационные взаимосвязи между составляющими КС и повысить степень адекватности моделей. Разработан комплекс методов оперативного перераспределения информационных потоков в базовой сети КС на ИПП, который позволяет уменьшить среднюю задержку пакетов. Разработан комплекс методов синхронизации информационной структуры КС с вычислительными ресурсами узлов базовой сети, позволяет оперативно провести синхронизацию, ориентированную на уменьшение расходов вычислительного ресурса и повышения оперативности передачи информации. Усовершенствован метод статического распределения информационных потоков по маршрутам в базовой сети КС на ИПП. Усовершенствован метод формирования информационной структуры повышенной надежности в КС на ИПП, что позволяет в случае возникновения отказа любого узла сети продолжить обработку транзакций компьютерной системы без существенного уменьшения показателей качества обслуживания и без изменения информационной структуры. Получил дальнейшее развитие метод оптимизации информационной структуры КС на ИПП за счет использования на этапе распределения нагрузки информационных узлов математического аппарата генетических алгоритмов, что позволяет уменьшить временные затраты на синтез информационной структуры и сформировать сбалансированную нагрузку на узлы базовой сети. Получил дальнейшее развитие метод выбора оптимального плана выполнения транзакций КС на ИПП за счет введения динамической функции штрафа за превышение временных показателей. Получил дальнейшее развитие комплекс методов обработки запросов к хранилищу данных КС на ИПП за счет создания единого дискового пула и учета особенностей доступа к облачным компонентам хранилища данных.

Ключевые слова: компьютерная система, синтез, интегрированная программная платформа, информационная структура, техническая структура, базовая сеть.

Kuchuk N. H. Models and methods of synthesis of information structures for computer systems on integrated software platforms. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in the specialty of 05.13.05 – Computer Systems and Components. – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to solving actual scientific and technical problem of increasing the efficiency of the information transfer process in computer systems on integrated software platforms. It is based on the development of a mathematical apparatus (mathematical models and methods) for the synthesis of information structures.

The analysis of the problem state was carried out. It was revealed that, simultaneously with the increase in the volume of transmitted information in the computer system and the increased requirements for the speed of information transmission, integrated software platforms are increasingly used. As a result, the structure and nature of information flows change qualitatively and quantitatively. This significantly affects the information structures of computer systems and leads to a decrease in efficiency indicators.

A complex of interrelated models of the information structure of the computer system and the technical structure of the basic network has been developed. It takes into account the peculiarities of the integrated software platform. The complex is based on a stratified representation of the main constituents of the models. This allows you to take into account the informational relationships between the components of the computer system. It also allows increasing the degree of model adequacy.

A set of methods for operational redistribution of information flows in the basic network of a computer system on an integrated software platform has been developed. This complex takes into account the dynamics of the development of a computer system and the characteristic features of the underlying network. It is based on the operational reconfiguration of the virtual communication channel system. This helps to reduce the average packet delay.

A set of methods for synchronizing the information structure of a computer system with the computing resources of the nodes of the basic network has been developed. The complex, which has been developed, takes into account information links between the tasks of a computer system and the possibility of using composite applications. This complex is based on an adaptive approach to finding a rational distribution of tasks between network nodes. The complex allows you to quickly synchronize. Synchronization is focused on reducing the cost of computing resources and increasing the efficiency of information transfer.

The method of distribution of information flows along routes in the basic network of a computer system on an integrated software platform has been improved. The method differs from the known ones by using iterative load balancing of hosts. This is what makes it possible to reduce the cost of computing resources.

The method of forming an information structure of increased reliability in a computer system on an integrated software platform has been improved. This method differs from the known ones by the simultaneous distribution of information flows along all the main and alternative routes of the core network. This allows, in the event of a failure of any network node, to continue processing transactions of the computer system. The computer system will operate without a significant decrease in service quality indicators and without changing the information structure.

The method of optimizing the information structure of a computer system on an integrated software platform has been further developed. The method is based on the use of the mathematical apparatus of genetic algorithms. This device is used at the stage of load distribution of information nodes. This makes it possible to reduce the time spent on synthesizing the information structure and to form a balanced load on the nodes of the core network.

The method of selecting an optimal plan for executing transactions of a computer system on an integrated software platform was further developed. A dynamic penalty function was introduced for exceeding time indicators. It is focused on the specifics of the integrated software platform and time scaling. This allows you to reduce the time spent on operational changes to the transaction execution plan.

The complex of methods for processing requests to the data storage of a computer system on an integrated software platform has been further developed. A single disk pool was created. The peculiarities of access to the cloud components of the data warehouse were taken into account. This allows distributed heterogeneous components to be included in repositories. It also reduces the execution time of applications that access data warehouse components.

Keywords: computer system, synthesis, integrated software platforms, information structure, component, technical structure, basic network.



Відповідальний за випуск
Учений секретар НТУ «ХП»
д.т.н., проф. О. Ю. Заковоротний

Підписано до друку 02.11.2020 Формат 60×84/16.
Папір офсетний. Друк – різнографічний. Ум.-друк. арк. 1,9.
Гарнітура Times New Roman. Наклад 140 прим. Зам. № 1102/4-20

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009.
61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: **bookfabrik@mail.ua**