

КОСЕНКО В.В., НЕВЛЮДОВ І.Ш.

**МОДЕЛІ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ
ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ
ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ
СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

МОНОГРАФІЯ

Харків 2019

УДК 004.94+519.673

Затверджений до друку Науково-технічною Радою Харківського національного університету радіоелектроніки (Протокол №2 від 22березня 2019р.)

Рецензенти:

О. Є. Федорович – д-р техн. наук, проф., Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки 2016 р., зав. кафедрою комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного аерокосмічного університету імені М. Є. Жуковського "ХАІ";

Г. А. Кучук – д-р техн. наук, проф., професор кафедри обчислювальної техніки та програмування Національного технічного університету "ХПІ";

В. О. Тимофєєв – д-р техн. наук, проф., професор кафедри фінансово-економічної безпеки, обліку і аудиту ХНУМГ імені О. М. Бекетова.

Моделі структурного синтезу для управління параметрами інфокомунікаційних мереж систем критичної інфраструктури: моногр. / В. В. Косенко, І. Ш. Невлюдов. – Х.: Харківський національний університет радіоелектроніки, 2019. – 163 с.

ISBN 978-617-7771-28-8

Монографія містить опис моделей структурного синтезу інфокомунікаційних мереж систем критичної інфраструктури. Вказані моделі є частиною науково-методологічного апарату ризик-адаптивного управління параметрами потоків даних для забезпечення вимог щодо оперативності та обміну інформацією в інфокомунікаційних мережах систем критичної інфраструктури. Аналіз структури мережі засновано на дослідженні взаємодії системних додатків при виконанні прикладних завдань систем критичної інфраструктури. Реалізовано структурно-параметричний синтез інформаційної та технічної складової інфокомунікаційної мережі. На основі формалізованої моделі інформаційної структури ІКМ розроблено метод визначення параметрів потоків даних. Відповідно до ієрархічного подання структур запропоновано метод синтезу структурних моделей. Застосування методу передбачає побудову математичної моделі для визначення оптимальних варіантів структур відповідно до критеріїв якості.

Рекомендована для студентів, магістрів, аспірантів та вчених широкого кола спеціальностей, пов'язаних з вирішенням завдань структурного синтезу мереж передачі даних для забезпечення вимог щодо оперативності та обміну інформацією в умовах високого рівня ризику.

Іл. 22. Табл. 6. Бібліогр.: 127 назв.

УДК 004.94+519.673

ISBN 978-617-7771-28-8

© В. В. Косенко, І. Ш. Невлюдов, 2019 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТІ СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	9
1.1 Особливості систем критичної інфраструктури та їх інформаційного забезпечення.....	9
1.2 Питання якості інфокомунікаційної мережі системи критичної інфраструктури.....	14
1.3 Вимоги до інформаційних технологій управління розподілом трафіку в інфокомунікаційній мережі.....	22
2 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ РИЗИК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	26
2.1 Узагальнена структурна схема функціонування системи критичної інфраструктури в режимі реального часу.....	26
2.2 Структура методології ризик-адаптованого управління потоками даних інфокомунікаційних мереж СКІ.....	29
3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ МЕТОДОЛОГІЇ РИЗИК- АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	39
3.1 Основні принципи методології ризик-адаптованого управління потоками даних інфокомунікаційної мережі СКІ.....	39
3.2 Принцип ієрархічності в мережевих протоколах ІКМ.....	42
3.3 Принцип потокового аналізу на транспортному рівні мережі.....	49
3.4 Принцип потокового управління в методах розподілу трафіка....	63
3.4.1 Мережеві методи управління потоками даних.....	63
3.4.2 Методи управління потоками даних на базі диференційно- інтегральних рівнянь.....	65

3.5 Принцип оптимізації при управлінні параметрами ІКМ.....	66
3.5.1 Узагальнений критерій якості структури ІКМ.....	66
3.5.2 Критерій ефективності передачі даних в ІКМ.....	69
4 МОДЕЛІ СТРУКТУР ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	73
4.1 Формалізація завдання визначення інформаційної та технічної структури мережі.....	73
4.2 Модель інформаційної структури ІКМ.....	78
4.3 Метод визначення параметрів потоків даних інформаційної структури мережі.....	87
4.4 Математична модель стратифікованої інформаційної структури мережі.....	96
4.5 Математична модель технічної структури мережі.....	104
5 МОДЕЛІ ТА МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ	113
5.1 Метод синтезу структури ІКМ на основі графових і теоретико- множинної моделей.....	113
5.2 Математична модель задачі вибору структур ІКМ з урахуванням ресурсів мережі.....	119
5.3 Математична модель розподілу завдань по вузлах ІКМ.....	124
5.4 Метод розв'язання задачі розподілу завдань по вузлах ІКМ.....	131
5.4.1 Приведення задачі мінімізації витрат ресурсів ІКМ до лінійного виду.....	131
5.4.2 Методи розв'язання задачі булевого програмування великої розмірності.....	135
5.4.3 Оптимізація розподілу завдань по вузлах ІКМ.....	137
ВИСНОВКИ.....	144
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	149

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку інформаційно-комунікаційних систем виділився клас об'єктів, для яких особливо важливим є вирішення поставлених задач, зрив виконання яких може призвести до вкрай небажаних наслідків. До таких об'єктів та систем можна віднести енергетичні та транспортні магістральні мережі, нафто- й газопроводи, морські порти, канали швидкісного та урядового зв'язку, системи життєзабезпечення мегаполісів, утилізації відходів, служби екстреної допомоги населенню та служби реагування на надзвичайні ситуації, високотехнологічні підприємства і підприємства військово-промислового комплексу, а також центральні органи влади. Тому такий клас об'єктів прийнято називати системами критичної інфраструктури (СКІ). В зв'язку з ускладненням самих систем, підвищенням вимог до забезпечення виконання задач, відбуваються зміни в управлінні, які обумовлені такими факторами, як: оновлення технічної оснащеності, розширення територіального розмаху, збільшення динаміки виконання функціональних завдань, зміна їх характеру і змісту, виникнення нових технологічних способів функціонування. Для забезпечення інформаційного обміну при функціонуванні СКІ створюється єдина інформаційно-комунікаційних мережа, при цьому здійснюється поступовий перехід системи зв'язку і автоматизації на сучасні цифрові засоби передачі та обробки інформації, автоматизацію процесів управління.

Системи критичної інфраструктури сьогодні характеризуються високою інтенсивністю інформаційних потоків в процесі управління, причому вимоги до оперативності управління, своєчасного прийняття і доведення до виконавців рішень і завдань постійно підвищуються. У інфокомунікаційній мережі (ІКМ) забезпечити необхідний час реакції досить складно через високу інтенсивність і різноманітність потоків даних, необхідність проведення пошуку даних в сховищах і базах даних великої розмірності, складної взаємодії розподілених додатків, невисоку швидкість ліній зв'язку, уповільнення швидкості взаємодії

неоднорідних компонент різних підмереж ІКМ. Необхідно враховувати, що в сучасних мультисервісних мережах використовується складне багатофункціональне комунікаційне обладнання, яке забезпечує підтримку спеціальних механізмів контролю та управління якістю і реалізацію політики інформаційної безпеки.

Надважливою характеристикою ІКМ є її структура, яка багато в чому визначає параметри мережі. У зв'язку з цим структура мережі може розглядатися як об'єкт управління, спрямований вплив на яку дозволяє управляти потоками даних, що є основним завданням управління мережею.

Досить часто основні переваги багатьох систем управління – універсальність і багатофункціональність стають в СКІ і їх основними недоліками. Це пов'язано, як правило, з необхідністю врахування специфіки роботи системи, яка вимагає відповідних налаштувань мережі та методів управління її роботою. Таким чином, існує і постійно поглиблюється розрив між зростаючими універсальними можливостями систем управління і реальними потребами при управлінні, орієнтованими на конкретні застосування.

У зв'язку з цим актуальним є напрямок, пов'язаний з розробкою моделей формування структури мережі, визначення її параметрів, орієнтованих на вирішення заданого набору прикладних завдань і забезпечення необхідної безпеки СКІ в середовищі інфокомунікаційної мережі.

У першому розділі монографії проводиться огляд існуючих проблем в області формування та управління ІКМ. Обґрунтовується необхідність створення математичних моделей, технологій і рішень для підтримки мережевих ресурсів на рівні, необхідному для забезпечення функціонування СКІ. Визначається протиріччя між тенденцією збільшення топологічної складності розподілених СКІ, підвищення кількості інформації, що передається в ІКМ в умовах високого інформаційного ризику, підвищення вимог до оперативності обміну інформацією і відсутністю науково обґрунтованого підходу до формування структур ІКМ СКІ, які забезпечать ефективне виконання прикладних

задач СКІ.

У другому розділі розглядаються етапи аналізу інфокомунікаційної мережі, з урахуванням яких розроблено структурну схему методології управління потоками даних ІКМ. Методологія ризик-адаптованого управління параметрами потоків даних ІКМ СКІ реалізує структурно-параметричний синтез інформаційної і технічної складової, адаптивне управління трафіком з урахуванням оптимального розподілу прикладних завдань по вузлах мережі та двоконтурне управління ризиками, що дозволить забезпечити функціонування ІКМ, адаптивне до зовнішніх умов.

В третьому розділі розглядаються основні принципи методології управління потоками даних, які відображають особливості СКІ та спосіб вирішення основних завдань управління потоками даних мережі та реалізовані в моделях структури мережі. Формулюються дві задачі з критеріями якості структури та управління трафіком. Перша задача визначає узагальнений критерій якості структури ІКМ. Друга задача призначена для вибору показників ефективності передачі даних.

В четвертому розділі на основі формалізованої моделі інформаційної структури ІКМ пропонується метод визначення параметрів потоків даних, який враховує обмін даними між вузлами мережі при виконанні як прикладних завдань, так і системних додатків, яка формалізовано визначає підмережі та групи вузлів, що дає змогу визначати параметри потоків даних між вузлами в межах групи, а також між підмережами. В моделі технічної структури відображається з'єднання груп і вузлів у вигляді каналів зв'язку.

В п'ятому розділі на основі формалізованих моделей структур і параметрів ІКМ синтезується множина варіантів на кожному рівні уявлення мережі. Вирішується завдання вибору з заданої множини допустимих варіантів переважних варіантів структур згідно з критеріями якості. Метод формування структури ІКМ передбачає синтез ієрархії структур і формалізацію задач вибо-

ру на основі теоретико-множинних моделей, що дозволить підвищити ність використання інформаційних і технічних ресурсів мережі.

Практична апробація запропонованих моделей проводилася для «Комплексу з переробки твердих побутових відходів з системою збору, утилізації полігонного газу та виробництво електроенергії». Однією з підсистем комплексу є Програмно-технічний комплекс верхнього рівня і загальностанційних систем, що призначений для управління технологічними процесами загальностанційних і допоміжних систем і відноситься до класу АСУ ТП. Комплекс має трирівневу розподілену структуру, реалізує функції збору, обробки та подання інформації, а також функції управління, регулювання, захисту, блокування і сигналізації. Для реалізації зазначених функцій використовується гетерогенна мультисервісна інфокомунікаційна мережа.

На основі проведеного аналізу прикладних задач програмно-технічного комплексу було вироблено умовне розбиття вирішуваних завдань управління і технологічних завдань на підгрупи. В рамках завдання побудови структури мережі і визначення її параметрів були сформовані множини елементів інформаційної структури, побудовані матриці їх взаємозв'язків, визначені інтенсивності потоків даних. В результаті були сформовані вимоги до технічної структурі мережі. Експериментальне застосування моделей та методів синтезу структури ІКМ показало, що при її використанні підвищується оперативність передачі інформації в інфокомунікаційних мережах АСУ ТП.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТІ СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

1.1 Особливості систем критичної інфраструктури та їх інформаційного забезпечення

У більшості провідних країн світу задля систематизації об'єктів, втрата або порушення нормального функціонування яких призведе до значних або навіть непоправних негативних наслідків для національної безпеки, введено термін «критична інфраструктура» [1, 2].

Критична інфраструктура – сукупність об'єктів інфраструктури держави, які є найбільш важливими для економіки та промисловості, функціонування суспільства та безпеки населення. Виведення з ладу або руйнування цих об'єктів може мати вплив на національну безпеку та оборону, природне середовище, призвести до значних фінансових збитків та людських жертв. *Об'єкти критичної інфраструктури* – підприємства та установи таких галузей, як енергетика, хімічна промисловість, транспорт, банки та фінанси, інформаційні технології та телекомунікації (електронні комунікації), продовольство, охорона здоров'я, комунальне господарство, що є стратегічно важливими для функціонування економіки і безпеки держави, суспільства та населення [3]. Зазвичай до критичної інфраструктури відносять енергетичні та транспортні магістральні мережі, нафто- й газопроводи, морські порти, канали швидкісного та урядового зв'язку, системи життєзабезпечення (водо- й теплопостачання) мегаполісів, утилізації відходів, служби екстреної допомоги населенню та служби реагування на надзвичайні ситуації, високотехнологічні підприємства і підприємства військово-промислового комплексу, а також центральні органи влади [4].

Важливим складником критичної інфраструктури є інформаційна інфраструктура. Результатом науково-технічного прогресу останніх десятиліть, що

визначив основний напрямок світового розвитку, є широке застосування інформаційно-комунікаційних систем (ІКС) і технологій для підвищення ефективності функціонування основних державних структур і їх об'єктів «критичної інфраструктури» [5].

Останніми десятиріччями у світі спостерігається стійка тенденція до зростання кількості надзвичайних подій різного походження. Вказані об'єкти є вразливими для негативного впливу зовнішнього інформаційного середовища, негативними наслідками порушення безпеки систем критичної інфраструктури (СКІ) є [6]:

- виникнення надзвичайної ситуації техногенного характеру та/або негативний вплив на стан екологічної безпеки держави (регіону);
- негативний вплив на стан енергетичної безпеки держави (регіону);
- негативний вплив на стан економічної безпеки держави;
- негативний вплив на стан обороноздатності, забезпечення національної безпеки та правопорядку у державі;
- негативний вплив на систему управління державою;
- негативний вплив на суспільно-політичну ситуацію в державі;
- негативний вплив на імідж держави;
- порушення сталого функціонування фінансової системи держави;
- порушення сталого функціонування транспортної інфраструктури держави (регіону);
- порушення сталого функціонування інформаційної та/або телекомунікаційної інфраструктури держави (регіону), в тому числі її взаємодії з відповідними інфраструктурами інших держав.

Запровадження системного підходу до розв'язання проблем захищеності критичної інфраструктури потребує дієвого механізму координації зусиль, спрямованих на недопущення втрати чи завдання не виправної шкоди вузловим елементам критичної інфраструктури внаслідок дії негативних чинників будь-

якого походження: техногенного, природного, соціально-політичного або будь-якої їх комбінації.

В Україні діє низка законодавчих актів, що визначають особливості забезпечення захисту вказаної інфраструктури [3,57].

Зважаючи на те, що більшість систем критичної інфраструктури має розподілену мережеву архітектуру, Т. Льюїс вважає, що захищати необхідно передусім головні «вузли» цих систем [2].

У Стратегії національної безпеки одним зі способів зміцнення енергетичної безпеки названо «дієвий захист критичної інфраструктури паливно-енергетичного комплексу від еколого-техногенних впливів і зловмисних дій», а одним зі способів забезпечення інформаційної безпеки «забезпечення безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем, що функціонують в інтересах управління державою, забезпечують потреби оборони й безпеки держави, кредитно-банківської та інших сфер економіки, систем управління об'єктами критичної інфраструктури» [7].

Системи критичної інфраструктури є комплексом технічних засобів збору, передачі, зберігання, обробки, відображення, документування і розмноження інформації разом з інформаційним, програмним і організаційним забезпеченням, та містять чергові зміни обслуговування, які розміщуються на відповідних пунктах управління (в органах управління) з метою оптимізації управління [8]. Такі системи розгорнуті та функціонують в критично важливих сегментах інформаційної інфраструктури і містять:

- системи органів державної влади;
- системи органів управління правоохоронних структур;
- системи фінансово-кредитної та банківської діяльності;
- системи попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій;
- географічні та навігаційні системи;
- мережі зв'язку загального користування на ділянках, які не мають резервних або альтернативних видів зв'язку;

- системи спеціального призначення;
- супутникові системи, які використовуються для забезпечення органів управління і в спеціальних цілях;
- системи управління видобутком і транспортуванням нафти, нафтопродуктів і газу;
- системи управління водопостачанням;
- системи управління енергопостачанням;
- системи управління транспортом (наземним, повітряним, морським);

Існує також терміни «критичні IT-інфраструктури», які з одного боку, створюють можливості для підвищення безпеки об'єктів, з іншого – нові технології привносять додаткові дефіцити безпеки. Згідно із Законом України «Про Національну систему конфіденційного зв'язку» є сукупність спеціальних телекомунікаційних систем (мереж) подвійного призначення, які за допомогою криптографічних та/або технічних засобів забезпечують обмін конфіденційною інформацією в інтересах органів державної влади та органів місцевого самоврядування, створюють належні умови для їх взаємодії в мирний час та в разі введення надзвичайного й воєнного стану [9]. Держспецзв'язок здійснює управління Національною системою конфіденційного зв'язку, забезпечує її функціонування, розвиток, використання та захист інформації.

Телекомунікаційні мережі є одним з основних і найбільш вразливих складників критичної інфраструктури. *Інфокомунікаційна мережа* (Infocommunication Network) – це сукупність територіально розподілених інформаційних, обчислювальних ресурсів, програмних комплексів управління, що розміщуються в кінцевих системах мережі та термінальних системах користувачів, взаємодія між якими забезпечується за допомогою телекомунікацій, і які спільно утворюють єдину мультисервісну платформу.

Критично важливою є інформація, що обробляється в СКІ, а саме це інформація про стан критично важливого об'єкта, інформація про її структуру, характеристики програмного і апаратного забезпечення, розміщення, комуніка-

ції та ін. [10]. Ця інформація в разі її розкрадання може бути безпосередньо використана для деструктивних інформаційних впливів. Її знищення, блокування або спотворення може привести до порушення функціонування СКІ.

Під забезпеченням безпеки інформації в ключових системах інформаційної інфраструктури розуміється діяльність, яка спрямована на ліквідацію загроз або на мінімізацію збитку від реалізації загроз безпеці інформації в ключових системах інформаційної інфраструктури.

Інфокомунікаційна мережа, яка реалізує інформаційне забезпечення критично важливих об'єктів, вважається ключовою системою інформаційної інфраструктури.

Саме тому постає питання підвищення ефективності інфокомунікаційних мереж (ІКМ). Для систем критичної інфраструктури ІКМ являють собою сукупності інформаційно-телекомунікаційних систем державного та приватного сектору, що забезпечують функціонування та безпеку стратегічних інститутів, систем і об'єктів держави і безпеку громадян, несанкціоноване втручання в роботу яких може загрожувати економічній, екологічній, соціальній та іншим видам безпеки або завдати шкоди міжнародному іміджу держави.

Територіальна розподіленість елементів СКІ обумовлює жорсткі вимоги до оперативності прийняття управлінських рішень по забезпеченню безпеки її функціонування. Це особливо актуально для об'єктів, функціонування яких тісно пов'язане з відповідними державними об'єктами, що в значній мірі ускладнює проведення заходів організаційно-технічного забезпечення безпеки їх в умовах впливу різного роду негативних факторів [10].

Одним з найбільш істотних факторів зниження ефективності СКІ є загрози порушення інформаційної безпеки. Впровадження концепції захисту критичної інфраструктури не має обмежуватися заходами щодо захисту тільки від кіберзагроз. Рішення даного завдання має здійснюватися системно, на основі всебічного дослідження як інформаційних процесів, що реалізуються в СКІ, так і механізмів реалізації загроз їх інформаційної безпеки і технологій захисту

інформації. Та обставина, що подібні процеси, механізми та технології характеризуються великою кількістю різномірних параметрів, відносить питання організаціїно-технічного забезпечення безпеки інформації СКІ до числа складних як у методичному, так і в практичному плані [11].

1.2 Питання якості інфокомунікаційної мережі системи критичної інфраструктури

В сучасних умовах високий рівень інформаційного забезпечення стає визначальним фактором досягнення цілей систем критичної інфраструктури, які пред'являють додаткові особливі вимоги щодо засобів обробки і передачі інформації. В даний час велику увагу приділяють роботі зі створення і розгортання єдиного інформаційного простору в розподілених системах критичної інфраструктури.

Важливим напрямком розвитку засобів інформаційної підтримки є забезпечення широкомасштабного управління СКІ у всіх функціональних модулях і створення засобів, що дозволяє формувати єдину картину ситуації на основі інформації, яку одержано від різних джерел. Доводити її до системи управління в зручному для прийняття рішення вигляді, а також забезпечити планування діяльності в близькому до реального масштабу часу. Реалізація даного завдання має сприяти ефективній організації, своєчасному плануванню і узгодженню роботи системи управління і функціональних підсистем, забезпечення своєчасного зворотного зв'язку з модулями системи для отримання відомостей про їх стан, і засоби, які сприяють виконанню поставлених завдань.

Створення єдиного інформаційного простору СКІ вимагає вирішення наступних завдань [12]:

- створення глобального інформаційного середовища, яке забезпечує комплексну обробку відомостей в реальному масштабі часу;
- створення єдиної інформаційно-довідкової мережі;

- створення розподіленої мережі обробки та зберігання інформації з різними пріоритетами доступу і обмеженнями.

Успішна реалізація впровадження комплексу робіт в цілому дозволить забезпечити ефективність СКІ за рахунок істотного підвищення оперативності управління та якості прийняття рішень, скорочення часу між отриманням інформації та прийняттям управлінського рішення [13].

Крім того, доступність оперативної інформації про поточний стан для всіх ланок управління буде приводити до появи нових способів дій, які є взаємопов'язаними та працюють як єдина розподілена система.

Структура, призначення елементів, сукупність завдань, що підлягають визначенню, умови функціонування різних підсистем СКІ [14, 15] дозволяють визначити основні чинники, які обумовлюють застосування і розробку інформаційних технологій, спрямованих на забезпечення ефективної роботи всієї системи.

Перераховані завдання визначають один з факторів, який зумовлює вибір інформаційних технологій адаптивного управління потоками даних – різноманітність використовуваних додатків (текстові дані, графічні дані, відеоінформація, голосова інформація). Цей фактор зумовлює також вимоги до забезпечення передачі інформації з критерієм пріоритетності.

Існує множина факторів, які визначають особливості ефективного функціонування СКІ [16, 17]. Згідно тенденціям розвитку СКІ за принципом масштабованості визначається такий фактор, як постійне зростання обсягів циркулюючої інформації [18]. Відповідно до існуючих мережних технологій, інформаційні потоки даних будуть поєднуватися в інтегровані потоки великої інтенсивності. При збільшенні обсягу циркулюючої інформації висока ймовірність виходу з ладу каналів зв'язку і поява критичних ділянок з обмеженим мережевим ресурсом, обумовленим пропускнуою спроможністю ІКС, обсягом буферної пам'яті, пам'яті мережного обладнання і продуктивністю процесора мережевого обладнання [19].

Системи критичної інфраструктури повинні мати високу готовність, стійкість, мобільність, необхідну пропускну здатність ІКМ, доступність, захищеність, керованість і забезпечувати виконання вимог щодо своєчасності, достовірності та безпеки інформаційного обміну. Наслідком цього є посилення залежності СКІ від її інформаційної складової, основу якої утворюють інфокомунікаційні системи.

На сучасному етапі ІКС характеризуються такими особливостями [20]:

- необхідністю істотного скорочення термінів впровадження нових перспективних технологій обробки і передачі даних;
- необхідністю впровадження і реалізації нових підходів щодо концепції адаптивного управління потоками даних;
- наданням окремим користувачам (наприклад, посадовим особам) більш широкого спектра телекомунікаційних послуг.

Відповідно виникли такі напрямки удосконалення комплексів телекомунікацій:

- розширення функціональних можливостей телекомунікацій;
- вдосконалення архітектури ІКМ для реалізації принципів розподіленої обробки даних і її узгодження із загальною структурою управління СКІ;
- стандартизація та уніфікація обладнання, інформаційного та програмного забезпечення;
- істотне розширення спектра телекомунікаційних послуг.

Таким чином, основою інформаційного забезпечення СКІ є глобальна розподілена інфокомунікаційна мережа, яка створюється на базі наявних і перспективних мереж зв'язку і передачі даних із застосуванням сучасних телекомунікаційних технологій, які мають забезпечити високі технічні характеристики. Така мережа забезпечує безперервний і однаковий обмін інформацією для всіх підсистем і модулів СКІ.

Забезпечення виконання комплексних вимог до якості вирішення прикладних завдань є основною метою управління СКІ. При цьому основна мета

управління містить ряд часткових цілей, кожна з яких може бути пов'язана з певним прикладним завданням. Проте, в процесі досягнення мети виникає ряд проблем, обумовлених специфікою роботи ІКМ і прикладного програмного забезпечення СКІ. До основних з цих проблем можна віднести такі [21, 22]:

- необхідність визначення комплексного критерію якості роботи мережі, що відображає якість вирішення прикладних завдань;
- формування часткових цілей управління, що забезпечують отримання прийнятних результатів роботи мережі;
- необхідність узгодження часткових цілей управління при рішенні різних прикладних завдань в єдиному мережевому середовищі;
- необхідність узгодження цілей управління з можливостями мережевої апаратури і програмного забезпечення;
- необхідність урахування динаміки процесів розвитку мережі, пов'язаних з появою нових прикладних завдань, нового мережевого устаткування, підключенням нових користувачів;
- необхідність враховувати різноманітність запитів від різних груп користувачів мережі до якості обслуговування, сервісів, що надаються;
- необхідність ефективного використання апаратно-програмного комплексу мережі, щоб уникнути невиправданих витрат на експлуатацію мережі;
- необхідність урахування особливостей взаємодії із зовнішнім середовищем (зовнішні мережі різного рівня, провайдери каналів зв'язку, обслуговуючі апаратне і програмне забезпечення організації).

Існує велике різноманіття відповідних інформаційних технологій управління [23 – 26]. Так як СКІ відносяться до класу складних систем зі змінними параметрами, до них треба застосовувати принцип адаптивного управління (рис. 1.1). Адаптивне управління – це управління в системі з неповною апріорною інформацією про керований процес, яке змінюється в процесі накопичення інформації й застосовується з метою поліпшення якості роботи системи. Голо-

вне завдання адаптивного управління – підтримка внутрішньої стабільності системи.



Рисунок 1.1 – Види управління відповідно до класів систем

З урахуванням підвищених вимог до безпеки, це управління має бути ризик-адаптивним, тобто поєднувати в собі властивості адаптації до змін завдань і структури системи і бути стійким по відношенню до можливих ризиків.

Управління мережею має забезпечувати комплексне вирішення вказаних вище проблем функціонування СКІ. Відзначимо, що управління роботою ІКМ, як правило, пов'язане з управлінням мережевим трафіком і, отже, управління структурованим устаткуванням мережі [22].

Основною підсистемою СКІ, призначеної для якісної доставки інформації є система зв'язку, яка представляє собою сукупність взаємопов'язаних і узгоджених за завданнями, місцем і часом дій вузлів і ліній зв'язку різного призначення, що розгортаються або створюються за єдиним планом для вирішення завдань забезпечення управління.

В умовах зростання обсягів інформаційних потоків, що передаються в СКІ і динамічної зміни структури ІКМ, зумовленої впровадженням мобільних компонент системи зв'язку або втратою мережевих елементів, однією з найважливіших характеристик є оперативність обміну інформацією [27]. Саме завдяки швидкому і надійному обміну даними між складовими такої системи буде забезпечуватися ефективність інформаційного обміну. З огляду на високу інтенсивність обміну в даній мережі та зміни характеру інформаційних потоків, виникає необхідність у зміні підходів до управління розподілом інформаційно-обчислювального ресурсу в мережі з метою досягнення необхідної оперативності (найчастіше в режимі, наближеному до режиму реального часу).

Сучасні телекомунікаційні системи та мережі порівняно з мережами критичного призначення зробили великий крок уперед. Тому, подальший розвиток ІКМ критичного призначення повинен відбуватися на основі існуючих наукових та практичних розробок у сфері телекомунікацій з урахуванням стану та перспектив розвитку ІКМ критичного призначення провідних країн світу.

Основою сучасних інфокомунікаційних мереж СКІ є мультисервісні мережі [28]. Як показують дослідження процесів в різних системах передачі даних, заснованих на мультисервісних мережах [29 – 31], фізичне виведення з ладу каналів зв'язку призводить до зменшення загальної пропускної здатності, але не тільки за рахунок втрати каналів. Зміна структури мережі тягне за собою зростання обсягів службової інформації, спрямованої на забезпечення функціонування системи передачі даних, а отже до зменшення частки обчислювального ресурсу елементів мережі, спрямованого на виконання основної функції – передачі даних. У цих умовах перспективними напрямком в удосконаленні СКІ є розробка і впровадження інформаційних технологій для ефективної роботи систем передачі даних, які б забезпечили передачу інформації між підсистемами і функціональними модулями та ланками системи з необхідною якістю [32].

Таким чином, основними завданнями щодо розвитку ІКМ в СКІ є [33]:

- приведення ІКМ у відповідність структурі СКІ;
- забезпечення готовності ІКМ, що буде випереджати готовність підсистеми управління СКІ;
- впровадження уніфікованого телекомунікаційного обладнання (мультиплектори, модеми, цифрові АТС, комутаційні пристрої, ІР-телефони, обладнання на основі технології Wi-Fi, Wimax і Іте);
- використання нових способів організації управління і телекомунікацій, які забезпечують високу ефективність СКІ з урахуванням її територіальної розподіленості.

Зазначені вище завдання розвитку вже знаходять відображення в новітніх засобах ІКМ. При цьому особливу увагу приділяють підвищенню пропускної здатності існуючих каналів і ліній зв'язку, модернізації та пошуку нових технічних рішень, які дозволять поліпшити характеристики управління.

Комплекс засобів телекомунікацій, зв'язку та обміну даними в реальному масштабі часу в значній мірі дозволить підвищити ефективність роботи СКІ [34].

Архітектура ІКМ орієнтована на [35, 36]:

- широке планомірне впровадження сучасних цифрових методів і технологій передачі, зберігання і обробки повідомлень;
- вдосконалення структурних компонентів мереж зв'язку, які входять до складу системи зв'язку;
- застосування сучасних методів забезпечення таємності інформації;
- сучасні технології організації цифрового зв'язку (доступу) абонентів.

Єдина телекомунікаційна мережа забезпечує можливість передачі телекодової і цифрованої мовної інформації як по дротових, так і по бездротових каналах зв'язку. Основними структурними одиницями комплексу є апаратура бездротового зв'язку, апаратура дротового зв'язку і базові блоки, до яких через внутрішній комутатор підключаються абоненти мережі.

У разі побудови та впровадження єдиної незалежної телекомунікаційної мережі в СКІ мінімізується час обробки інформації та підготовки рішень шляхом використання спеціального телекомунікаційного обладнання, що виключає необхідність використання засобів стаціонарних вузлів зв'язку, а також надає можливість їх автономної роботи.

Особливістю впровадження новітніх стандартів передачі даних є застосування для внутрішніх з'єднань уніфікованого інтерфейсу Ethernet 100Base-t [37, 38]. Після підключення до внутрішнього комутатора до загальної мережі можуть передаватися дані від центрального обчислювального комплексу, робочих місць операторів, засобів передачі цифрової мовної інформації, і інших джерел цифрової інформації з зазначеним інтерфейсом. Відзначимо, що даний інтерфейс використовується виключно для внутрішньої захищеної комутації. Для зовнішньої і магістральної передачі даних використовується інтерфейс 100Base-FX.

Кожен абонент, який підключений до мережі, отримує можливість автоматично входити в організовану мережу обміну інформацією, стаючи її частиною, і передавати необхідні дані будь-якому абоненту в цій мережі.

Апаратура зв'язку автоматично формує єдиний адресний простір. Зв'язок між абонентами відбувається як з використанням дротових з'єднань, так і з використанням радіоканалу в якості дублюючого. Вхідження абонента в мережу здійснюється автоматично при його появі в зоні дії мережі. Бездротові технології, а також технології адаптивної маршрутизації дозволяють взаємодіяти з усіма абонентами мережі. Така архітектура істотно збільшує живучість усієї системи в цілому за рахунок створення множинних дублюючих шляхів передачі даних з постійним автоматичним контролем структури мережі. Цим забезпечується оперативне реагування на будь-які зміни, наприклад, вихід з ладу окремих засобів або погіршення перешкодової ситуації на ділянці зв'язку.

1.3 Вимоги до інформаційних технологій управління розподілом трафіка в інфокомунікаційній мережі

Важливою умовою ефективного функціонування ІКМ в СКІ є максимальна погодженість у вирішенні задач мережного рівня – маршрутизації, *управлінні інтенсивністю трафіка* тощо. На сьогодні різнотипність моделей маршрутизації і доступу, які використовуються, ускладнює координацію мережних процесів і отримання погоджених рішень задач мережного рівня. Це, в свою чергу, є джерелом виникнення в мережі явищ перенавантаження як локального, так і глобального характеру.

В сучасних мережах критичного призначення, які є мультисервісними, достатньо гостро існує проблема надання гарантій та контролю якості зв'язку QoS (Quality of Service) одночасно за декількома швидкісними і ймовірнісно-часовими показниками. Застосування багатошляхової маршрутизації дозволяє виконувати суперечливі вимоги щодо забезпечення гарантованого QoS та збалансованого навантаження ресурсів будь-якої телекомунікаційної мережі [39]. Однак на сьогодні, під час вирішення маршрутних задач досить складно представити адекватною математичною моделлю процесу динаміки стану мережі, забезпечення мультисервісу та гарантованої якості зв'язку. Складним залишається і питання оцінки якості управління різнорідними потоками інформації в мультисервісних мережах [29, 32, 33, 40].

При моделюванні таких систем та вирішенні основних мережних задач знайшли своє застосування ряд підходів, в яких найчастіше задачі структурного і функціонального синтезу розв'язуються незалежно, у кращому випадку, визначаючи один для одного вихідні дані, прийняті як допущення й обмеження [41, 42]. Вирішення задачі маршрутизації та абонентського доступу може бути досягнуте лише за умови цілісного подання мережі, що забезпечить формалізацію процесів управління як мережними ресурсами, так і доступу до мережі [43].

Трафік потоків даних має структуру, яка не дозволяє використовувати при проектуванні існуючі методи, засновані на пуассонівських моделях і формулах Ерланга [44 – 47]. Особливості трафіка проявляються в його специфічному профілі, що визначають флуктуаційний характер відповідних процесів: в реалізації завжди присутня деяка кількість досить сильних викидів на тлі відносно низького середнього рівня, тобто збільшується коефіцієнт відхилення пікових значень інтенсивності інформаційного потоку.

Зазначена властивість значно погіршує характеристики (збільшує втрати пакетів, годину затримок) при проходженні трафіка навіть у випадках, коли середня інтенсивність трафіка набагато нижче потенційно досяжної швидкості передачі в даному каналі, що неприпустимо для ІКМ СКІ.

Дану структуру має трафік в інформаційно-телекомунікаційних мережах при роботі з широко поширеними протоколами Ethernet, LAN, WAN, TCP при передачі стислого відео, WWW-трафіка та ін. Також виявлені аналогічні ефекти в мобільних телефонних мережах з комутацією пакетів і в каналах бездротового зв'язку [48, 49].

Структура, призначення елементів, сукупність завдань, умови функціонування різних підсистем дозволяють визначити основні чинники, які обумовлюють застосування і розробку інформаційних технологій, спрямованих на забезпечення ефективної роботи всієї системи [23, 50].

1. Зовнішніми факторами, які визначають характер потоків даних ІКМ СКІ, є різноманітність системних додатків, що використовуються; великі обсяги переданих даних; збільшення інтенсивності інформаційних потоків на критичних ділянках мережі [51].

2. Основними факторами, які впливають на зміну часу передачі пакету даних, є [23, 52 – 54]:

- інтенсивність інформаційних потоків;
- час комутації пакета, що залежить від мережевого пристрою і визначається його технічними характеристиками;

- пропускна здатність каналу передачі даних;
- обсяг пакетних даних;
- тривалість черги пакетів даних до каналу передачі даних;
- коефіцієнт завантаження каналу службовою інформацією.

3. Факторами, які досліджуються при управлінні потоками даних, є флуктуаційний характер процесів передачі інформації [55], наявність довготривалих залежностей статистичних характеристик інформаційних процесів [56], збільшення коефіцієнта відхилення пікових значень інтенсивності інформаційного потоку [32, 57].

4. Традиційні методи перерозподілу мережевих ресурсів припускають згладжування профілю трафіка інформаційних потоків. Наприклад, застосуванням методу статистичного мультиплексування [58] або методу згладжування інтенсивності інформаційного потоку [52].

Існуючі методи управління перевантаженнями, які використовуються на виникаючих критичних ділянках, також не враховують можливості зміни властивостей трафіка, тому процес управління не завжди є адекватним профілю трафіка. При виникненні пікових значень інтенсивності даних складно існуючими методами врахувати їх короткочасність і сам момент часу виникнення пікових значень.

Особливостями сучасних інфокомунікаційних систем є їх територіальна розподіленість, гетерогенність і мультисервісність (рис. 1.2). Часто основні переваги систем управління – універсальність і багатофункціональність стають в СКІ їх основними недоліками. Це пов'язано з необхідністю врахування специфіки роботи системи, яка вимагає відповідних налаштувань мережі та методів управління її роботою. Таким чином, існує і постійно поглиблюється розрив між зростаючими універсальними можливостями систем управління і реальними потребами при управлінні, які орієнтовані на конкретні програми.

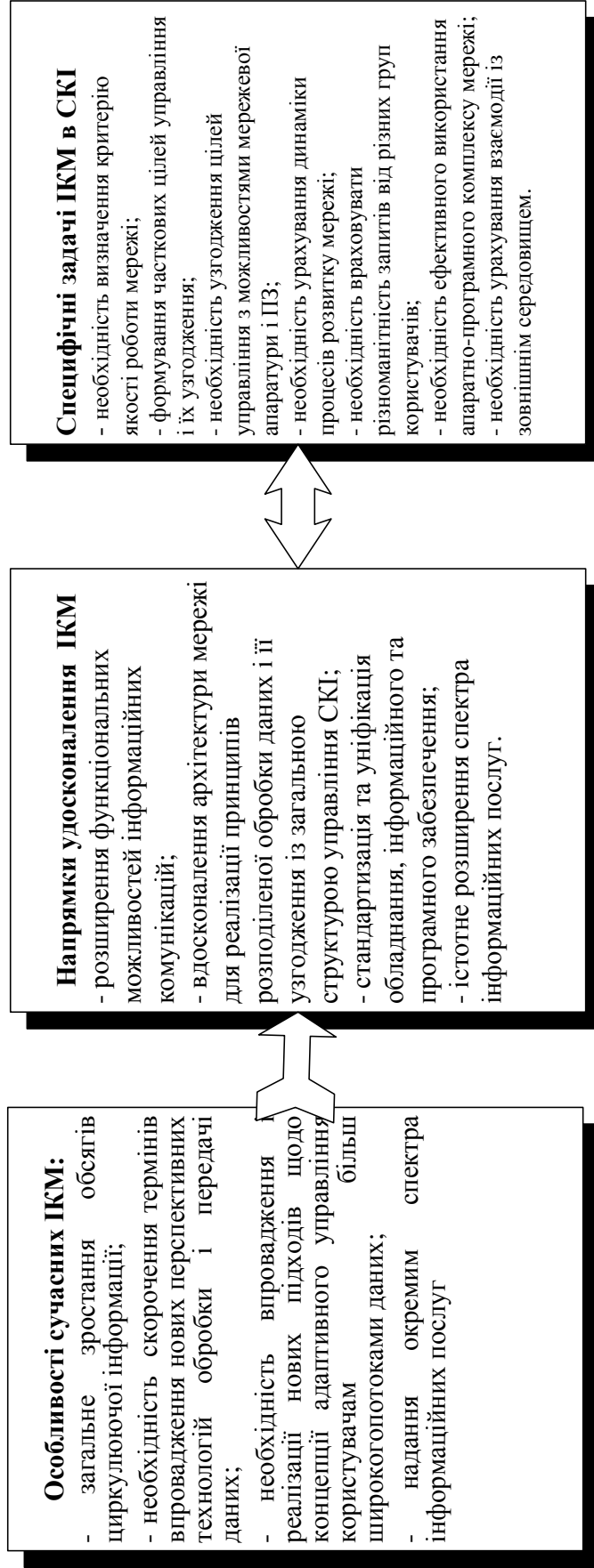


Рисунок 1.2 – Особливості та напрямки удосконалення ІКМ

2 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ РИЗИК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

2.1 Структурна схема функціонування системи критичної інфраструктури в режимі реального часу

Структура системи управління в області критичних інфраструктур, що розглядається з точки зору комп'ютеризації аспектів діяльності, являє собою складну ієрархічну структуру. Така система має функціонувати безперервно, причому постійно фіксувати відображення стану внутрішнього і зовнішнього середовища в кожен момент часу. Її функціонування підпорядковане виконанню наступних цілей:

- надання функціональним завданням адекватних даних для прийняття рішень;
- прискорення виконання окремих операцій збору і обробки даних;
- зменшення кількості рішень, які потрібно приймати, шляхом їх об'єднання;
- підвищення рівня контролю та виконавчої дисципліни;
- підвищення оперативності управління;
- зниження витрат часу на виконання додаткових процесів управління;
- підвищення рівня обгрунтованості прийнятих рішень.

Наведені вище завдання можуть бути вирішені шляхом реалізації основних функцій управлінського впливу на конкретний об'єкт управління:

- функції обробки інформації (в тому числі обчислювальні), які охоплюють накопичення, облік, контроль, зберігання, пошук, відображення, перетворення інформації;
- функції обміну (передачі) інформації, які пов'язані з доведенням управлінського рішення до об'єктів управління і обміном інформацією;

- група функцій прийняття рішення (перетворення змісту інформації) для створення нової інформації в процесі аналізу, прогнозування або оперативного управління об'єктом.

Управління в СКІ, що задається системою реального часу, має задовільняти наступними критеріям:

- інформація, що циркулює в системі, має забезпечити максимальне число функцій для управління об'єктами;

- введення інформації виключає будь-яке дублювання і введення даних, які є похідними від інших.

Ці критерії реалізовані в узагальненій структурній схемі функціонування СКІ в режимі реального часу (рис. 2.1) [34].

Основними компонентами схеми є:

- підсистема спостереження, функцією якої є відображення стану об'єктів управління в СКІ;

- інформаційна підсистема, функцією якої є відображення чисельних характеристик і параметрів стану об'єктів управління і зовнішнього середовища;

- підсистема прогнозування, функцією якої є оцінка можливого впливу зовнішніх факторів на об'єкти управління.

Підсистема спостереження використовує модель відображення стану об'єктів в СКІ, яка включає збережену частину і ініціалізовану. Збережена частина включає чотири елементи:

- повний опис (M_p);

- скорочений опис (M_c);

- опис вказівників (M_u);

- опис констант (M_k).

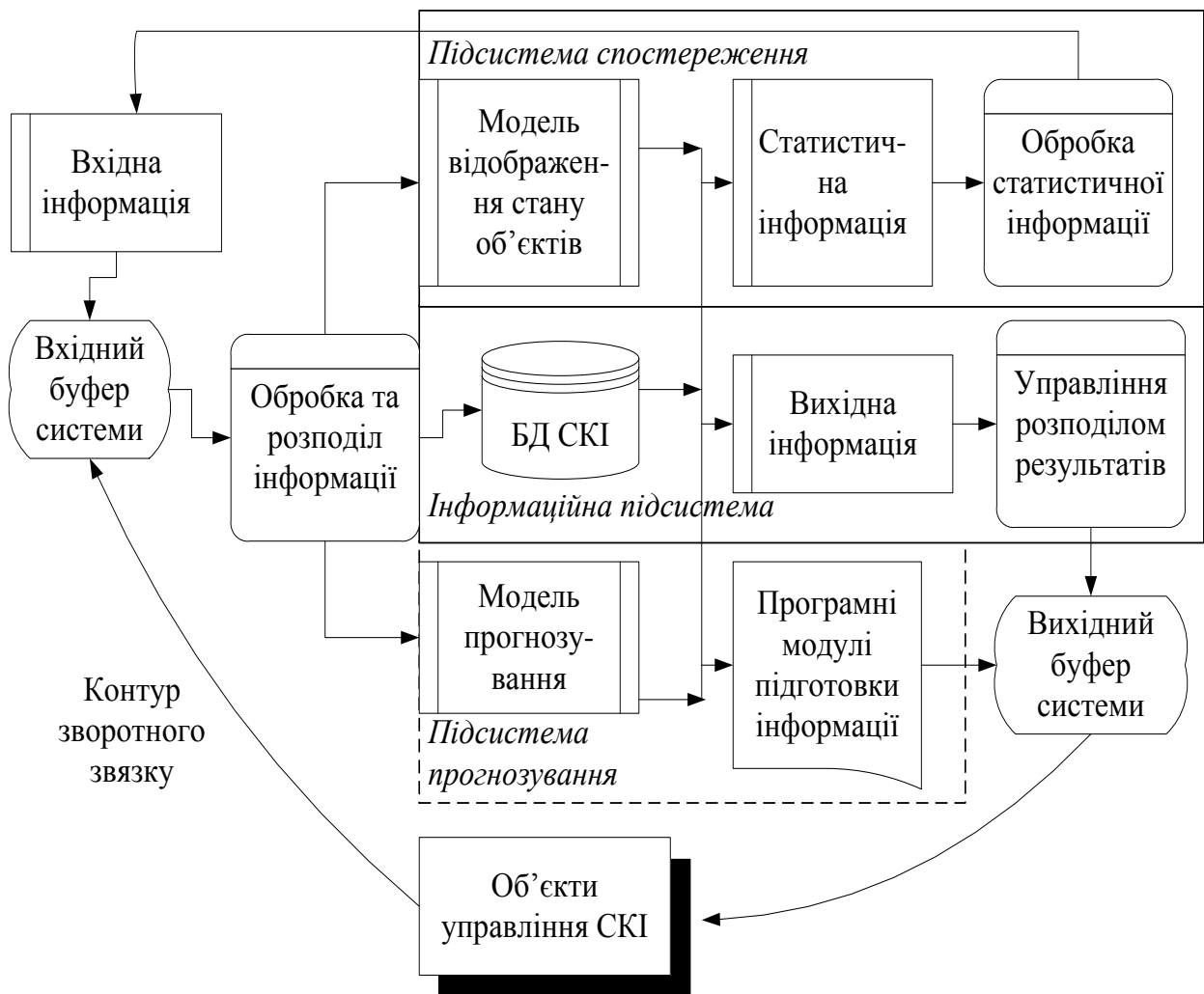


Рисунок 2.1 – Узагальнена структурна схема функціонування СКІ в режимі реального часу

Повний опис відображає стан керованих об'єктів СКІ на основі вихідних даних, що надійшли до поточного моменту часу.

Після ініціалізації програмного забезпечення функціональних завдань СКІ, опис об'єктів розбивається на дві частини:

- постійна функціональна резидентная частина (M_{SR});
- транзитна частина системи (M_{ST}).

Взаємозв'язок перерахованих вище моделей об'єктів СКІ з компонентами інфокомунікаційної мережі показаний на рисунку 2.2.

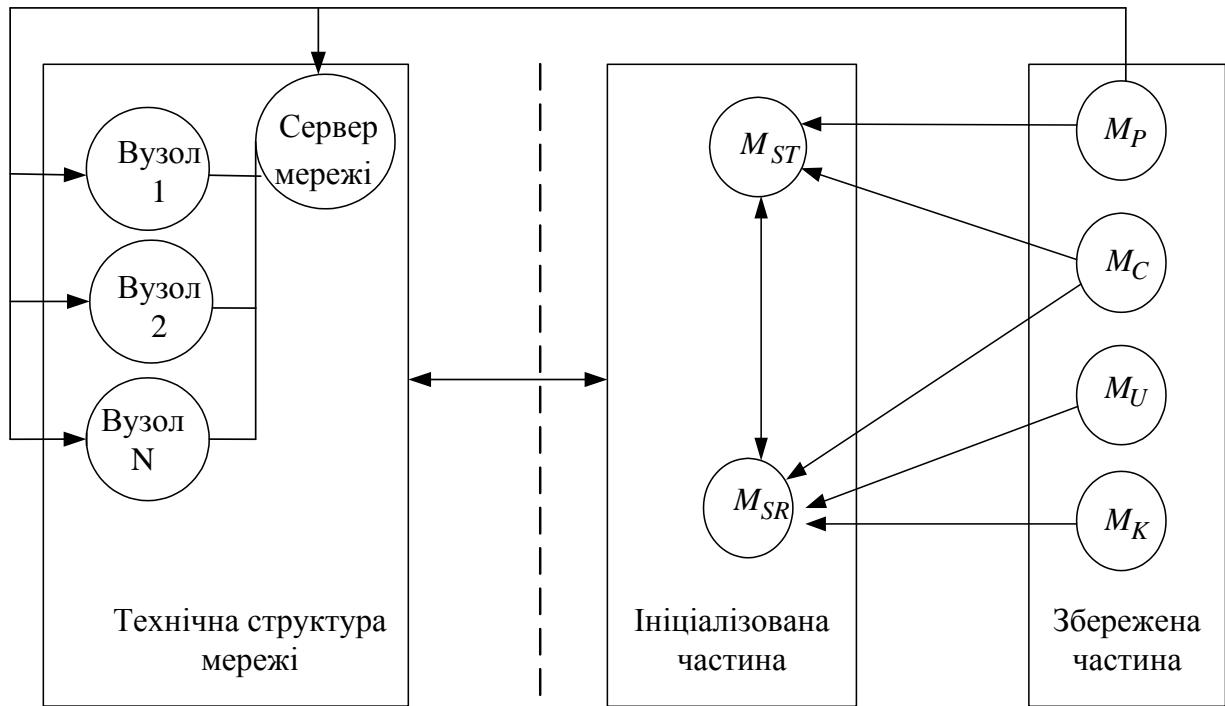


Рисунок 2.2 – Взаємозв’язок моделі відображення стану об’єктів з компонентами ІКМ

2.2 Структура методології ризик-адаптованого управління потоками даних інфокомунікаційної мережі СКІ

Інформаційно-технічне забезпечення СКІ містить низку технічних, програмних та інших засобів, поєднаних структурно й функціонально для забезпечення одного чи декількох видів інформаційних процесів. Сучасним СКІ притаманні ієрархічність, функціональна та ресурсна розподіленість (обслуговування, програмного та апаратного забезпечення, телекомунікацій), велика кількість взаємодіючих елементів, блоків, підсистем, складна система управління. Таким чином, СКІ – це складні технічні системи, які функціонують в умовах дії випадкових факторів, при активній взаємодії із зовнішнім середовищем, при наявності негативних впливів та при високій вартості наслідків можливих порушень чи помилок у роботі системи [59].

Побудуємо схему проведення аналізу ІКМ СКІ (рис. 2.3) [60].

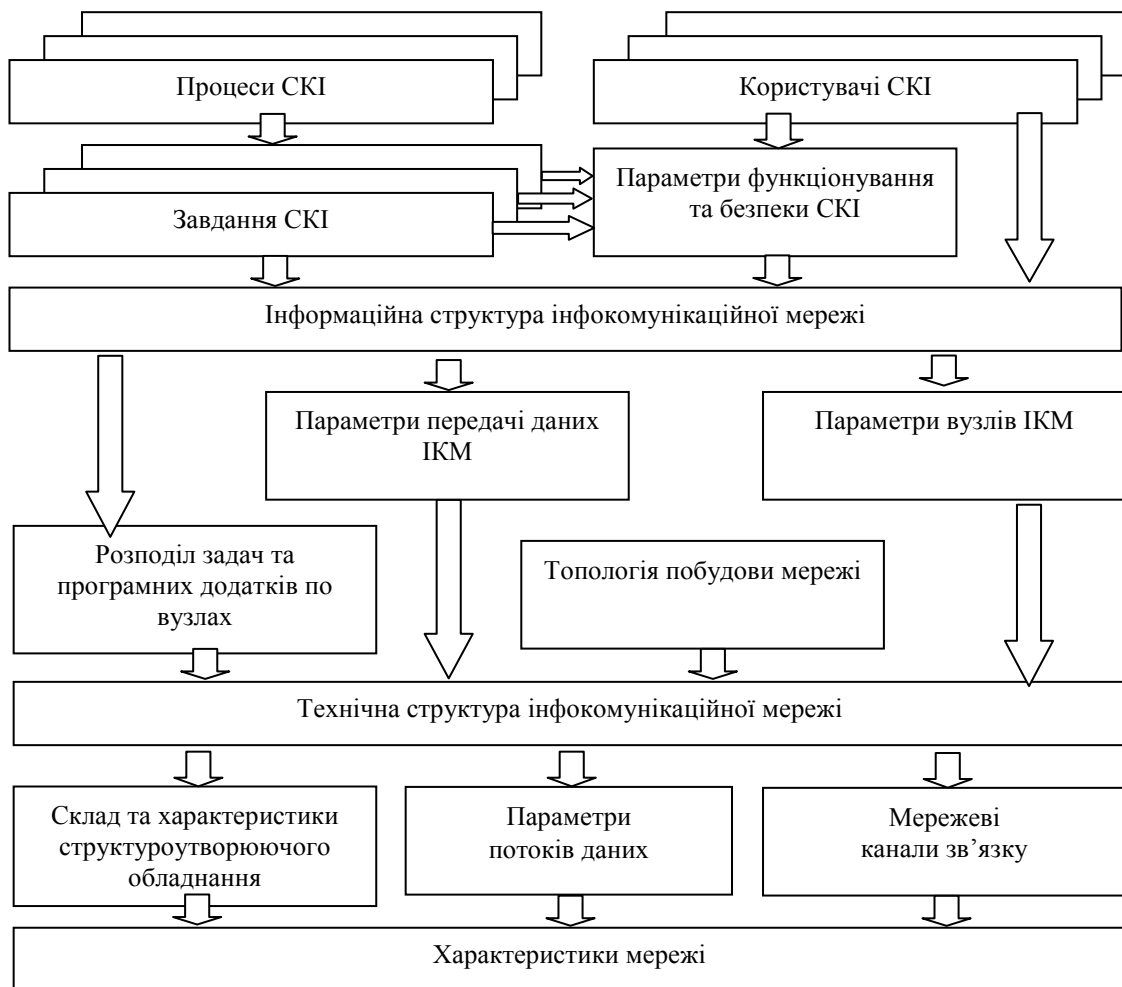


Рисунок 2.3 – Схема проведення аналізу інфокомунікаційної мережі СКІ

Першим етапом є аналіз об'єкту – СКІ, при якому слід визначити:

- склад і параметри прикладних завдань для забезпечення процесів функціонування системи;
- склад користувачів системи;
- склад додатків, що встановлюються на мережі та вимог до устаткування для реалізації додатків.

Наступний етап – формування структури ІКМ. Розглянемо основні структурні елементи мережі.

Елементами розподіленої архітектури ІКМ СКІ є:

- телекомунікаційна мережа, яка забезпечує підключення та обмін даними між різними вузлами (Інтернет або корпоративна мережа – власна чи на

базі національних операторів передачі даних);

- центр обробки даних, який відповідає за зберігання та обробку всіх даних інформаційної системи та реалізує частину прикладної логіки програмного забезпечення (ПЗ) на центральному рівні;

- резервний центр обробки даних, який забезпечує відмовостійкість шляхом збереження даних всієї системи;

- система захисту інформації – забезпечує захист всіх вузлів;

- користувальницьке (клієнтське) програмне забезпечення для реалізації частини прикладної логіки, візуалізацію даних та взаємодію користувачей з системою;

- сервер баз даних та сервера додатків у вузлах, які відповідають за зберігання, обробку всіх даних у конкретному вузлі та реалізують частину прикладної логіки ПЗ на рівні вузла, додатково забезпечують функції обміну даними з іншими рівнями.

Структура ІКМ є основним чинником, що впливає на якість обміну даними між прикладним програмним забезпеченням, і, відповідно, на якість вирішення прикладних завдань. Тому аналіз структури є необхідною умовою при виборі варіантів побудови інформаційно-телекомунікаційної мережі і управління нею.

Основною метою аналізу структури є визначення параметрів потоків даних, що проходять по каналах зв'язку і поступають на вузли мережі [23, 60 – 62]. Ці дані дають можливість оцінити завантаження каналів зв'язку і устаткування мережі [28].

Визначимо основні принципи аналізу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі:

- головною метою аналізу є дослідження потоків даних в мережі, що є основними чинниками, що впливають на всі характеристики мережі;

- основою аналізу і формування структури мережі є додатки, які виконуються та взаємодіють;

- при аналізі необхідно погоджувати вимоги до роботи додатків з можливостями мережевого устаткування.

Аналіз структури мережі заснований на дослідженні взаємодії прикладних завдань як незалежних джерел і приймачів даних в мережі. Слід визначити параметри потоків даних між додатками при виконанні всього комплексу завдань, тобто побудувати інформаційну модель мережі. Залежно від розміщення додатків по вузлах мережі, треба визначити параметри потоків даних між вузлами мережі, тобто побудувати технічну модель мережі. При цьому повністю враховуються всі взаємодії між додатками. Ще однією перевагою такого підходу є можливість проведення аналізу складних ієрархічних мережевих структур, шляхом декомпозиції на підмережі, що застосовується в технологіях VLAN і VPN [63].

Для аналізу структури і розрахунку характеристик інфокомунікаційної мережі необхідно визначити правила її опису, що дозволяють будувати моделі для розрахунку завантаження устаткування вузлів і каналів зв'язку мережі.

Оскільки мережа створюється для інформаційного забезпечення і реалізації завдань систем критичного призначення, то основними чинниками, які впливають на рішення, що приймаються при створенні мережі, є прикладні завдання, які вирішуються в мережевому середовищі. Тому для побудови мережі необхідно знати інформаційну структуру мережі, яка визначає інформаційні потоки між вузлами, на яких встановлено програмне забезпечення СКІ.

Під *інформаційною структурою* мережі розуміється сукупність інформаційних ресурсів СКІ (джерела і приймачі інформації), розміщених на вузлах мережі, і інформаційні потоки між вузлами, що виникають при вирішенні прикладних завдань [64]. Вузол інформаційної структури визначається як місце розміщення ресурсів (додатки, бази даних), де забезпечується його робота. Маючи в своєму розпорядженні дані про інформаційну структуру мережі можна приймати рішення про організацію

каналів зв'язку між вузлами мережі, визначати необхідні параметри каналів зв'язку і мережевого устаткування, формувати фізичну структуру мережі.

Окрім інформаційної структури мережі розглянемо її технічну структуру. Під технічною структурою розуміється сукупність структуроутворюючого устаткування, вузлів мережі та каналів зв'язку, які складають повнозв'язну мережу (де можлива передача даних між будь-якими вузлами) [21]. Вузол технічної структури визначається як сукупність технічних засобів, що реалізують вузол інформаційної структури і встановлених ресурсів, які забезпечують роботу. При цьому вузол технічної структури може бути достатньо складною системою, що включає декілька комп'ютерів, зв'язаних в локальну мережу.

Таким чином, для повноцінного аналізу структури мережі необхідно провести аналіз складових її інформаційної і технічної структур і зв'язати результати аналізу.

Це обумовлено тим, що інформаційна структура визначає структуру і параметри потоків даних між вузлами, а технічна структура, використовуючи результати аналізу інформаційної структури, визначає конкретні маршрути передачі даних і характеристики мережі, способи реалізації вузлів інформаційної структури і створення мережевих вузлів для формування технічної структури.

Для зв'язку результатів аналізу інформаційної і технічної структур необхідно побудувати відображення характеристик інформаційної структури в характеристики технічної структури і визначити параметри технічної структури на основі параметрів і характеристик інформаційної структури.

На етапі підготовки до рішення завдань управління необхідно визначити як інформаційні так і технічні характеристики структур ІКМ, тобто виконати такі кроки:

1. Визначення складу користувачів мережі.
2. Визначення складу і параметрів прикладних завдань, що вирішуються.

3. Визначення складу додатків, що встановлюються на мережі та вимог до устаткування для реалізації додатків. При необхідності, визначається число копій для деяких застосувань. Ці копії далі розглядатимуться як самостійні застосування, і мають свої номери.

4. Формування інформаційної структури мережі.

5. Аналіз інформаційної структури мережі.

6. Визначення показників і критеріїв якості вирішення прикладних завдань.

7. Визначення складу параметрів мережі, які будуть використані для оцінки стану мережі, управління мережею і визначення простору станів мережі; складу базових параметрів мережі; конкретного складу множини первинних і вторинних параметрів мережі.

8. Визначення складу параметрів управління мережею.

9. Визначення граничних значень параметрів мережі. Тут визначаються гранично допустимі значення параметрів мережі, величина яких пов'язана з можливостями мережевого устаткування і каналів зв'язку, серверів і робочих станцій, а також програмного забезпечення.

Результатами аналізу мають стати чисельні значення таких характеристик мережі:

- навантаження на канали зв'язку;
- структуроутворююче устаткування;
- інтенсивності потоків даних і запитів, що поступають на вузли мережі.

При цьому вказані характеристики повинні обчислюватися з урахуванням особливостей конкретної структури мережі [65].

Проте, тільки завдання структури мережі в класичному розумінні, як сукупності вузлів і зв'язків між ними, не дозволяє досліджувати потоки даних. Це пов'язано з тим, що потоки даних формуються завданнями, які вирішуються в мережі, точніше, додатками, які запускаються на вузлах мережі та обмінюються між собою даними. Отже, для аналізу мережі необхідно відомості

про структуру доповнити відомостями про додатки, їх взаємодію і розміщення на вузлах мережі [13].

Розподіл додатків можна розглядати в двох вимірюваннях. По-перше, функції, що виконуються додатками, можуть бути розподілені по-різному:

- 1) один додаток розбитий на компоненти, що виконуються на декількох комп'ютерах;
- 2) один додаток дублюється на декількох комп'ютерах;
- 3) декілька різних додатків розподілено на декількох комп'ютерах.

Розподілене виконання додатків може характеризуватися напрямом розподілу: по вертикалі або по горизонталі. Вертикальне розділення полягає в тому, що один додаток розбивається на компоненти, що виконуються на декількох комп'ютерах. Навпаки, розділення по горизонталі полягає в тому, що один додаток дублюється на декількох комп'ютерах або декілька різних додатків працюють на декількох комп'ютерах. При вертикальному розподілі обробка даних розподілена ієрархічно. Варіант розподілу або відображає структуру СКІ, або найкраще підходить для конкретного додатку.

Результатами аналізу параметрів ІКМ є кількісні значення таких характеристик: навантаження на канали зв'язку і структуроутворююче устаткування, інтенсивності потоків даних і запитів, що поступають на вузли мережі. При цьому вказані характеристики повинні обчислюватися з урахуванням особливостей конкретної структури мережі.

Після проведення перерахованих робіт можна переходити до вирішення завдань управління розподілом трафіка. На етапі вирішення завдання настройки мережі виконуються наступні кроки:

1. Визначення конкретних показників якості настройки мережі.
2. Формування і розрахунок параметрів потоків даних ієрархічної інформаційної структури мережі.
3. Визначення складу устаткування мережі.
4. Формування технічної структури мережі.

Після закінчення цього етапу маємо варіант структури мережі. Для отриманої структури з урахуванням обчислених параметрів треба оцінити рівень ризику функціонування ІКМ, який є необхідним для оцінки параметрів безпеки самої СКІ.

Інформаційні ризики пов'язані з інформаційною безпекою. Це ризики, які є результатом втрати конфіденційності, цілісності або доступності інформації або інформаційних систем і надають потенційно несприятливий вплив на функціонування СКІ.

Досягнення інформаційної безпеки для інформаційних систем – багатоаспектне завдання, яке вимагає:

- сформульованих вимог і специфікацій безпеки;
- якісно спроектованих і розроблених інформаційних технологій, які базуються на перевірених на практиці апаратних засобах, вбудованому мікропрограмному забезпеченні і процесах розробки програмного забезпечення;
- обґрунтованих інженерних принципах і методах для того, щоб ефективно інтегрувати продукти інформаційних технологій ІКМ.

З технічної точки зору інформаційна безпека – одна з експлуатаційних якостей інформаційних систем, які підтримують процеси функціонування СКІ і повинні бути консолідовані по життєвому циклу розробки системи.

Реалістичне оцінювання ризику вимагає розуміння загроз і вразливостей в межах ІКМ та оцінки ймовірності і потенціалу несприятливих впливів. Процес управління ризиками здійснюється на трьох рівнях з метою ефективної міжрівневої та внутрірівневої взаємодії всіх компонент системи (рис. 2.4):

- рівні «організації», в нашому випадку – рівень СКІ;
- рівні «призначення або діяльності», тобто функціональних задач СКІ;
- рівні «інформаційної системи» або інфокомунікаційної мережі.

Якщо рівень ризику, обумовлений внутрішніми чинниками, є занадто високим, застосовуємо методи реінжинірингу ІКМ. У протилежному випадку

переходимо до наступного етапу – вирішення завдань оперативного управління підмережами ІКМ СКІ.

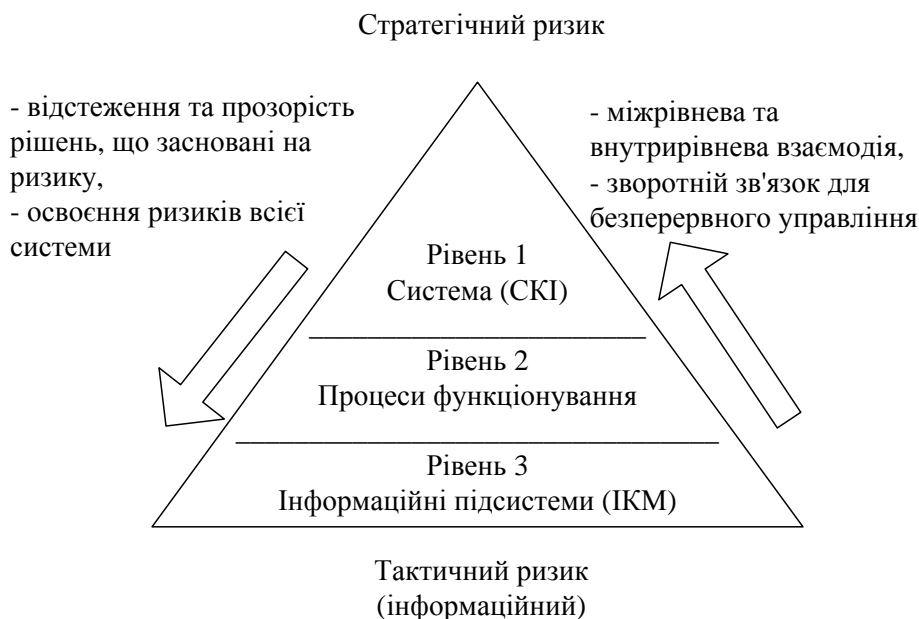


Рисунок 2.4 – Трирівневий підхід до управління ризиками ІКМ

Етап корекції завдань настройки і оперативного управління є частиною адаптивного управління, він виникає у разі зміни базових параметрів мережі та може заважати перенастроюванню мережі й виробленню нових підходів до вирішення завдань оперативного управління. Він включає кроки корекції:

- складу параметрів мережі;
- складу базових параметрів і параметрів управління;
- вимог до якості вирішення прикладних завдань.

Ці кроки необхідні як спосіб парирування зовнішніх ризиків, які впливають на функціональність мережі та відповідно на безпеку системи. Загальна структура методології включає такі елементи (рис. 2.5) [66]: принципи, моделі, методи, прикладні засоби.

Основою формулювання загальних принципів методології є особливості об'єкту (СКІ) і методів його аналізу та управління.

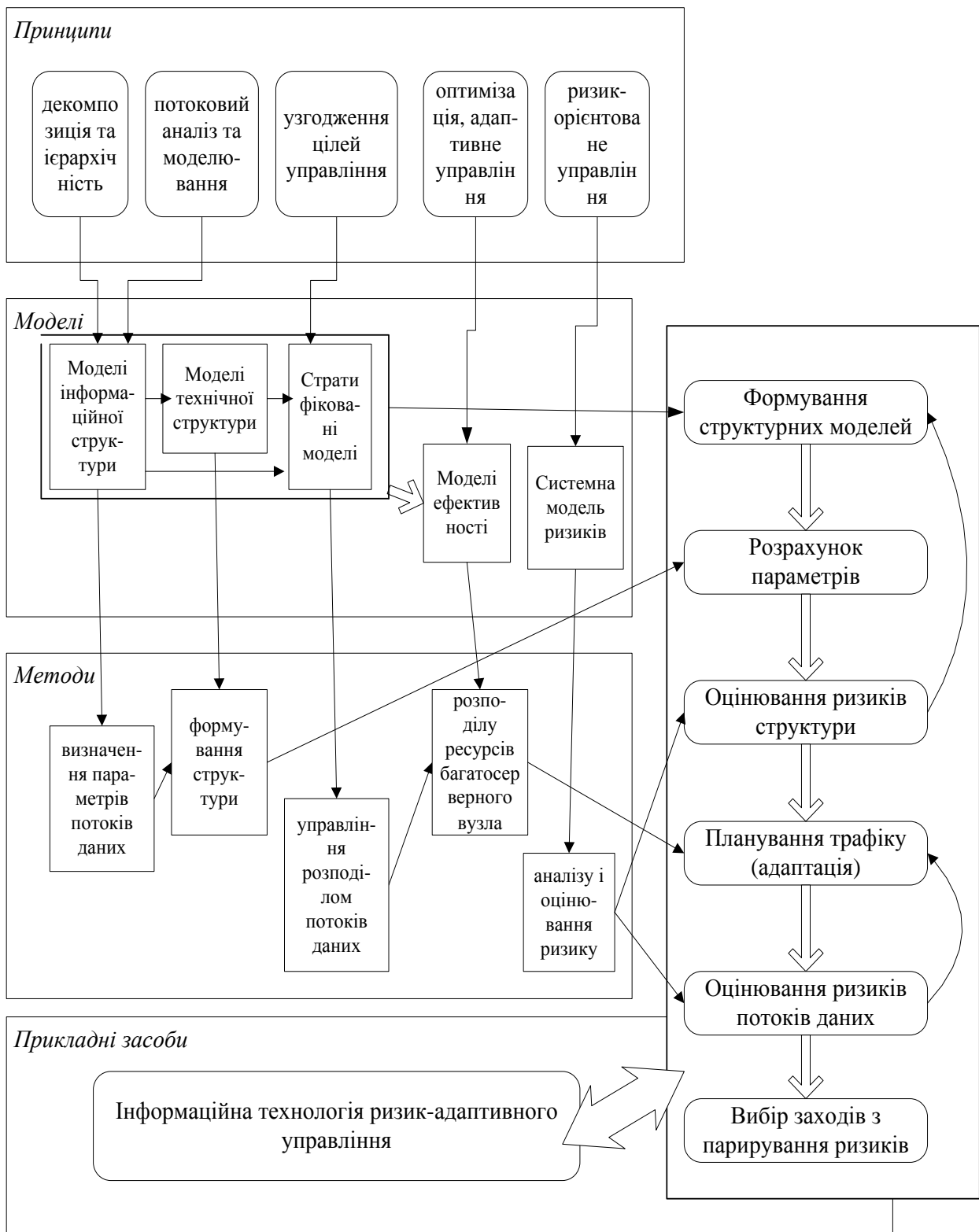


Рисунок 2.5 – Схема методології ризик-адаптивного управління потоками даних ІКМ

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ МЕТОДОЛОГІЇ РИЗИК-АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

3.1 Основні принципи методології ризик-адаптованого управління потоками даних інфокомунікаційної мережі СКІ

Методологія ризик-адаптованого управління потоками даних ІКМ СКІ базується на таких принципах:

- ієрархічності та декомпозиції об'єкту;
- узгодження цілей та координації управління;
- потокового аналізу і моделювання процесів;
- оптимального та адаптивного управління;
- ризик-орієнтованого управління.

Принцип декомпозиції зумовлений розподіленою структурою СКІ і задачами розподілу трафіка, що передбачає розділення мережі на ряд підмереж. Принцип ієрархічності зумовлений багаторівневою архітектурою ІКМ.

Принцип узгодження цілей та координації управління реалізується, коли розподіл трафіка для кожної підмережі виробляється з урахуванням стану інших підмереж. Крім того, необхідне узгодження цілей управління підмережами, при якому локальні цілі управління розподілом трафіка в окремих підмережах повинні забезпечувати досягнення глобальної цілі управління мережею.

Принципи потокового аналізу і моделювання здійснюються при вирішенні завдань вимірювання, моделювання, опису параметрів трафіка для отримання необхідних робочих характеристик мережі.

Принцип оптимізації та адаптивного управління забезпечує ефективність використання ресурсів мережі в умовах зміни умов функціонування мережі та зовнішнього середовища.

Для підвищення захищеності інформаційних ресурсів використовується підхід до створення адаптивних систем захисту, який орієнтовано на активне протистояння загрозам безпеки [67]. Реалізація такого підходу потребує проведення аналізу ризиків, розробки політики безпеки, використання традиційних засобів захисту, а також впровадження контрзасобів для протистояння загрозам, постійного аудиту безпеки та моніторингу стану системи, що має дозволити оперативно реагувати на ризики ІКМ. Тому застосовується принцип ризик-орієнтованого управління, який відображає завдання аналізу та оцінки ризиків для прийняття рішень з їх парирування (як на рівні структурного синтезу, так і на рівні оперативного управління), завдяки чому підвищується безпека системи. Основними засобами, які використовуються для парирування ризиків в адаптивних системах управління, є активні засоби — датчики виявлення вторгнень, алгоритми розпізнавання аномальної поведінки, адаптивні алгоритми відновлення.

Математичний апарат для аналізу структури ІКМ є комплексом моделей, який включає [68]:

- 1) математичну модель інформаційної структури мережі;
- 2) математичну модель технічної структури мережі для визначення параметрів апаратної і програмної складових ІКМ;
- 3) математичну модель інформаційних взаємозв'язків між елементами мережі, яка враховує інтенсивність звернень до системних додатків; модель описує взаємозв'язок між інформаційною та технічною структурою мережі;
- 4) модель основних факторів і критерій ефективності використання мережевих ресурсів для використання в методах адаптивного управління ІКМ;
- 5) системну модель ризиків ІКМ.

Методичний апарат пропонованої методології складають такі методи:

- 1) метод уніфікації програмно-апаратних засобів, що базується на застосуванні неповторних алгоритмічних структур і застосовується при аналізі технічної структури мережі;

2) метод оцінки відхилення потоку для альтернативної процедури вибору маршруту, з метою визначення оптимальних потоків і найбільш раціональних маршрутів у ІКМ;

3) метод розподілу ресурсів багатосерверного вузла обробки інформації, який базується на моделі структури мережі та інформації щодо розподілу смуги пропускання задіяних каналів зв'язку;

4) метод адаптивного управління розподілом трафіка, на основі якого вирішуються завдання настройки і оперативного управління, управління розподілом смуги пропускання каналу зв'язку, розподілу ресурсів багатосерверного вузла обробки інформації;

5) метод оцінки ризиків ІКМ і їхнього впливу на показники безпеки СКІ.

Прикладні засоби методології реалізує інформаційна технологія адаптивного управління розподілом трафіка [69]. На її основі вирішується питання взаємодії технічних і програмних засобів при застосуванні різних методів та алгоритмів управління розподілом трафіка та розробка схеми організації збору, обробки та передачі інформації в системі управління. Крім того, проводиться оцінка параметрів ІКМ, які отримані за допомогою методів, що враховують характерні особливості потоків даних. В інформаційній технології реалізовані алгоритмічні засоби контролю технічного стану ІКМ.

Для парирування ризиків та забезпечення безпеки СКІ передбачається наявність механізмів [70, 71]:

- моніторингу стану системи та впливів середовища;
- адаптації при незначній зміні умов для оптимізації функціонування системи відповідно до заданих критеріїв;
- відновлення функціонування після збоїв, відмов, помилок;
- перерозподілу ресурсів системи.

3.2 Принцип ієрархичності в мережевих протоколах ІКМ

Питання узгодженої взаємодії мережевих серверів, периферійних і комутаційних вузлів мережі, виділених терміналів і мережевих процесорів вирішуються за допомогою системи мережевих протоколів. Побудова мережевого протоколу для конкретної ІКМ залежить від архітектури зв'язків системи, в якій між різними структурними елементами встановлюються канали зв'язку та інтерфейси.

Узагальнена трирівнева модель архітектури ІКС представлена на рисунку 3.1, на якому внутрішні операції вузла розділені між прикладними процесами (ПП) і системними додатками (СП). Однак для розподіленої СКІ важливою проблемою є стикування різних обчислювальних засобів мережі. Для її вирішення прийнятною є організація семирівневої архітектури (рис. 3.2) відповідно до моделі взаємодії відкритих систем (стандарт OSI [71]).

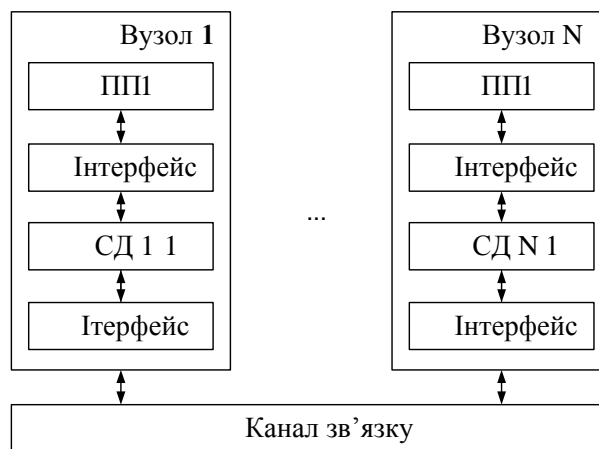


Рисунок 3.1 – Узагальнена трирівнева архітектура розподіленої ІКМ

Підсистеми різних рівнів взаємодіють через загальний апаратний або програмний інтерфейс. Підсистеми одного і того ж рангу утворюють N - рівень, призначення якого полягає в забезпеченні N - сервісу для $(N + 1)$ - рівня. Для здійснення обміну інформацією між двома або більш $(N + 1)$ - модулями організовується асоціація в N - рівні використанням N - протоколу (N - з'єднання).

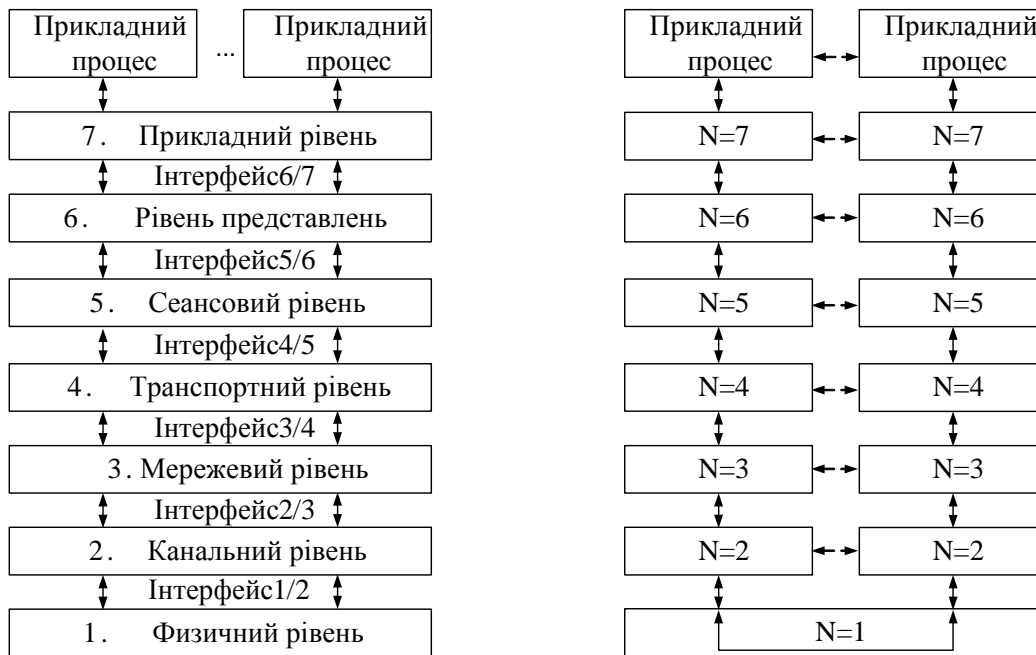


Рисунок 3.2 – Семирівнева архітектура мережі

Визначимо інформаційні змінні відповідно до вищеописаної архітектури:

- $U_p^{(N)}$ інформація управління N - протоколу для обміну двох N - модулів через $(N-1)$ - з'єднання з метою координації їх робіт;
- $D_p^{(N)}$ дані, що передаються на N - рівні за запитом від $(N + 1)$ - модуля;
- $E_p^{(N)}$ одиниця даних N - протоколу;
- $U_I^{(N)}$ інформація управління N - інтерфейсу (обмін з вищим за ієрархією рівнем);
- $D_I^{(N)}$ дані N - інтерфейсу, що передаються від $(N + 1)$ - модуля на нижній за ієрархією рівень;
- $E_I^{(N)}$ одиниця даних N - інтерфейсу при взаємодії $(N + 1)$ - модуля і N - модуля;
- $E_S^{(N-1)}$ одиниця даних $(N-1)$ - сервера, тобто обсяг даних $(N-1)$ - інтерфейсу, що зберігається при передачі між кінцевими модулями $(N-1)$ - з'єднання.

Визначимо комплекс прикладних процесів (КПП) як взаємозв'язану структуру СКІ, що забезпечує замкнутий цикл обробки інформації в середовищі ІКМ зі спеціалізованим програмним комплексом (СПК). Позначимо $R_F^{(N)}$ – інформаційно-обчислювальний ресурс (ІОР), що надається мережею на рівні N для КПП з ім'ям F . Інформаційно-обчислювальний ресурс вимірюється кількістю інформаційних одиниць рівня N , що надаються мережею за одиницю часу [72]. Відповідно

$$R_F^{(N)} = r^{(N)}(p^{(N)}) ,$$

де $r^{(N)}$ та $p^{(N)}$ – відповідно вузлові та комунікаційні параметри мережі на рівні N .

Функціонування КПП визначається можливістю виділення ІКМ ресурсу

$$R_F^{(7)} = \varphi(R_F^{(1)}, \dots, R_F^{(6)}) .$$

У відповідності з архітектурою ІКМ функція визначається як рекурсивна багатоступенева функція

$$\varphi = \text{Rec}(\psi^{(N)}) ,$$

$$R_F^{(N)} = \psi^{(N)}(r^{(N-1)}(p^{(N-1)})) .$$

Розглянемо процес обробки інформації на різних рівнях архітектури ІКМ.

Фізичний рівень становить реальний взаємозв'язок між вузлами мережі.

Нерівнозначність компонент ІКМ передбачає відсутність однорідності середовища передачі [73]. Нехай для i -го з'єднання компонент обрано такі характеристики:

V_i – швидкість передачі даних $D_I^{(1)}$ у фізичному середовищі (Кбіт/с);

l_i – стандартний розмір фізичного блоку даних (в байтах) для обраного середовища, що визначаються сформованою мережевою архітектурою;

P_{i_1} – ймовірність спотворення блоку даних.

Тоді з'єднання i_1 надає наступний обсяг ІОР (блок/с) [74]:

$$R_{i_1}^{(1)} = \frac{V_{i_1}(1 - p_{i_1})}{8l_{i_1}} \quad (3.1)$$

Канальний рівень забезпечує передачу інформації між суміжними вузлами мережі. Якщо інформація передається кадрами, то для передачі кадрів між вузлами встановлюються логічні канали. Визначимо характеристики логічного каналу i_2 :

l_{i_2} – число байт в інформаційному полі кадру з $D_I^{(2)}$, переданого по логічному каналу i_2 ;

$t_{i_2}^m$ – час перемикання модемів;

p_{i_2} – ймовірність спотворення кадру;

$t_{i_2}^d$ – час, необхідний для посилки підтвердження з $U_I^{(2)}$;

n_{i_2} – кількість фізичних з'єднань.

При розмірі кадру $E_I^{(2)}$ виділяється обчислювальний ресурс:

$$R_{i_2}^{(2)} = \frac{8l_{i_2}(1 - p_{i_2})E_I^{(2)} \sum_{i_1=1}^{n_{i_2}} R_{i_1}^{(1)} \sum_{i_1=1}^{n_{i_2}} V_{i_1}}{2t_{i_2}^m + t_{i_2}^d + 70(6 + l_{i_2})} \quad (3.2)$$

Аналіз виразу (3.2) показує, що зменшення часу перемикання модемів $t_{i_2}^m$ практично не впливає на обсяг ІОР, що виділяється. Більш важливі надійнісні характеристики каналу зв'язку, зокрема ймовірність спотворення кадру.

Мережевий рівень визначає маршрути проходження інформації від вузла однієї мережі до вузла іншої. Одиницею інформації протоколів мережевого

рівня є пакет [75]. При встановленні віртуального з'єднання передається основний пакет, при цьому віртуальний канал даного рівня надає мережі ІОР, що розраховується за формулою:

$$R_{i_3}^{(3)} = \frac{\sum_{i_2=1}^{n_{i_3}} R_{i_2}^{(2)} l_{i_2} - U_I^{(2)} n_{i_3}}{E_P^{(3)} - U_P^{(3)}}, \quad (3.3)$$

де n_{i_3} – число каналів другого рівня, що надають кадри віртуальному каналу i_3 ;

$U_I^{(2)}$ – характеристики канала;

$E_P^{(3)}, U_P^{(3)}$ – характеристики структури основного пакета протоколу.

Транспортний рівень забезпечує зв'язок між асоціаціями уніфікованих мережевих портів через спеціальні рівневі надбудови – транспортні ящики [75]. Окремо виділена транспортна станція має в своєму розпорядженні транспортний ресурс

$$R_{i_4}^{(4)} = Ent \left(\frac{\sum_{i_3=1}^{n_{i_4}} \left[R_{i_3}^{(3)} \left(E_I^{(3)} - U_I^{(3)} \right) \right] - l_4 n_{i_4}}{E_P^{(4)} + 7} - 2e_4^k \right), \quad (3.4)$$

де n_{i_4} – число пакетів транспортної станції i_4 , які буферизовані;

l_4 – стандартний розмір команди управління транспортним ящиком;

e_4^k – кількість одиничних пакетів, що виділяються для управління і складання вищих рівнів.

Від сеансного рівня ІОР $R_{i_4}^{(4)}$ передається на рівень уявлень. При цьому обсяг обчислювального ресурсу (станд.повід. / С) дорівнює

$$R_{i_5}^{(5)} = \frac{R_{i_4}^{(4)} \left(E_P^{(4)} + 7 \right) - U_P^{(5)}}{E_P^{(5)}} - n_{i_5} \quad (3.5)$$

де n_{i_5} – число транспортних станцій, необхідних для проведення сеансу.

Для ІКМ найбільш важливий рівень уявлень. Будемо розглядати логічні вузли 5-го і 6-го рівнів суміщеними, що ні суперечить стандарту протоколу для цих рівнів. Тоді ІОР рівня (інф. повідом./С)

$$R_{i_6}^{(6)} = Ent \left(\frac{R_{i_5}^{(5)} \cdot (E_P^{(5)} - U_P^{(5)})}{\Psi_6(E_P^{(6)})} \right), \quad (3.6)$$

де Ψ_6 – функція стандартизації повідомлень нерівнозначних програмних компонент.

Прикладний рівень об'єднує призначені для користувача процеси і процеси мережі. Він відповідає за безпосередній зв'язок з елементами розподіленої операційної системи. Обчислювальний ресурс надається семирівневою мережею для призначених користувачеві процесів, визначається рекурентно згідно з (3.1 – 3.6).

При моделюванні СКІ слід враховувати багаторівневу структуру системи. Призначимо i -тій групі пріоритетів числову характеристику, що визначає порядок ієрархічного рівня системи r_i , причому $r_i \geq r_{i+1}, \forall i \in \overline{1,5}$

Згідно з принципами побудови структур ієрархічних систем

$$M_{SF} = \bigcup_{i=1}^6 M_i,$$

де M_i – множина програмних модулів моделі M_{SF} , які обслуговують рівень i .

При реалізації моделі ІКМ в середовищі семирівневої мережі кожна множина M_i складається із сукупності підпрограм, що реалізують можливості кожного функціонального мережевого рівня j , які об'єднуються в множині

$$M_{ij} : M_i = \bigcup_{j=1}^7 M_{ij} \forall i \in \overline{1,6}.$$

З огляду на те, що ІКМ є розподіленою, множину M_{ij} необхідно розподілити по задіяним вузлам мережі:

$$M_{ij} = \{P_{ijk} | k \in n_{ij}\},$$

де n_{ij} – множина задіяних програм з M_{ij} вузлів мережі;

P_{ijk} – комплекс підпрограм k -го вузла мережі, необхідних для забезпечення функціонування M_{ij} .

Для обробки комплексу підпрограм P_{ijk} СКІ виділяє обчислювальний ресурс $R_{ijk}^{(7)}$. Визначимо відображення γ_{ij} так, що

$$\gamma_{ij}(P_{ijk}) = R_{ijk}^{(\min)},$$

де $R_{ijk}^{(\min)}$ – мінімально необхідний обчислювальний ресурс для комплексу P_{ijk} .

Тоді дійсні наступні обмеження

$$R_{ijk}^{(\min)} \leq R_{ijk}^{(7)};$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^7 \sum_{k \in n_{ij}} R_{ijk}^{(7)} \leq R_F^{(7)}.$$

Дані обмеження визначають принципи побудови структури ІКМ. При цьому на кожному рівні управління можна розглядати модель підсистеми, що має різний склад інформаційних величин, які відображають стан підлеглих керованих об'єктів відповідно до функцій і завдань, що виконуються на цих рівнях.

3.3 Принцип потокового аналізу на транспортному рівні мережі

На даний час існує велика кількість механізмів управління трафіком, призначених для оптимізації використання мережевих ресурсів і підвищення ефективності роботи мережевих інфраструктур.

Розглядаючи транспортний рівень моделі OSI, слід зауважити такі особливості: транспортний рівень забезпечує послуги з транспортування даних. Зокрема, головною метою транспортного рівня є вирішення таких питань, як забезпечення надійного транспорту даних через об'єднану мережу.

Деякі системи можуть працювати на другому, третьому і навіть четвертому рівнях. Однак опис стека TCP/IP (рис. 3.3) і структури пакетів IP і TCP (рис. 3.4, 3.5) показує, що комутація четвертого рівня є фікцією, тому що всі функції, які відносяться до комутації здійснюються на рівні не вище третього [76].

Термін: «комутація четвертого рівня» з точки зору опису стека TCP/IP, протиріч не містить, за винятком того, що при комутації мають вказуватися адреси комп'ютера (маршрутизатора) джерела і комп'ютера (маршрутизатора) одержувача.

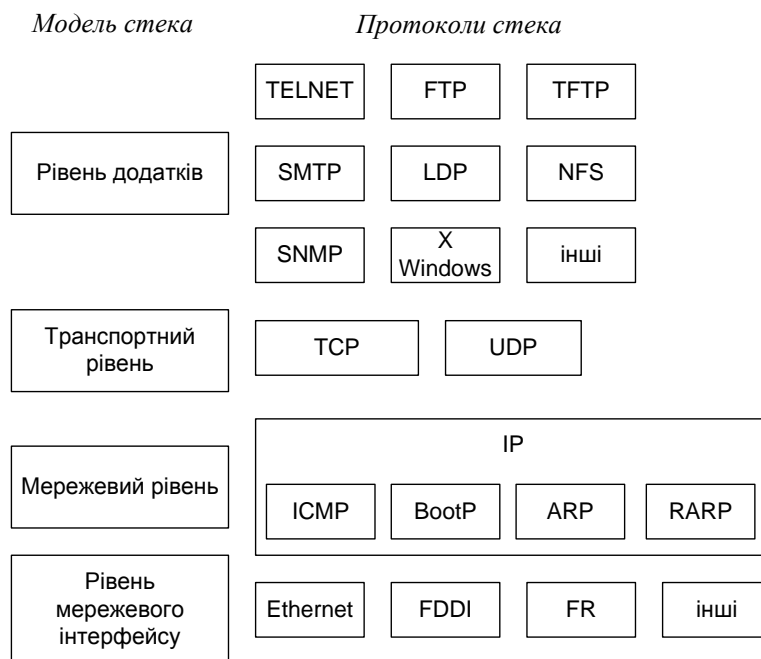


Рисунок 3.3 – Опис моделі стеку TCP/IP

Біти 0-3	4-7	8-15	16-18	19-23	24-31
Версія	HLEN	Тип обслуговування	Загальна довжина		
Ідентифікація			Прапорці	Зміщення фрагментації	
Час життя	Протокол		Контрольна сума заголовку		
IP-адреса відправника					
IP-адреса отримувача					
Опції				Додаток	
Дані (65535 мінус заголовок)					
...					

Рисунок 3.4 – Структура заголовку IP пакету

Локальний порт відправника		Локальний порт одержувача	
Позиція сегменту			
Перший очікуваний байт			
Зміщення даних		Флаг	Розмір вікна
Контрольна сума		Примітка терміновості даних	
Опції		Заповнювач	

Рисунок 3.5 – Структура заголовку TCP пакету

Пакети TCP мають такі поля: локальний порт відправника і локальний порт одержувача (див. рис. 3.4), що несуть зміст точок входу в програму, наприклад Telnet з одного боку, і точку входу (в даному контексті інкапсуляцію) в рівень IP. Крім того, в стеку TCP / IP саме рівень TCP відповідає за формування пакетів з потоку даних, які йдуть від програми.

Пакети IP (див. рис. 3.3) мають поля адреси комп'ютера (маршрутизатора) джерела і комп'ютера одержувача і можуть поряд з MAC адресами використовуватися для комутації. На практиці з'ясовано, що здатність системи аналізувати інформацію прикладного рівня може бути корисною – зокрема для управління трафіком.

Транспортний рівень призначений для доставки даних без помилок, втрат і дублювання в тій послідовності, в якій вони були передані. При цьому не має значення, які дані передаються, звідки і куди, тобто він визначає сам механізм

передачі. Блоки даних він розділяє на фрагменти, розмір яких залежить від протоколу, короткі об'єднує в один, довгі розбиває.

Управління потоком мережі пакетної комутації призначене для обмеження навантаження основних ресурсів мережі та узгодження швидкості передачі інформації джерелом зі швидкістю прийняття адресатом. Управління потоком реалізується на різних рівнях протоколів: воно може здійснюватися між сусідніми вузлами базової мережі; між джерелом і адресатом базової мережі; між парами, які обмінюються інформацією процесів. Виконання функцій узгодження швидкостей і надійної передачі інформації на всіх рівнях протоколів базується на механізмах квантування і концепції вікна.

Відсутність управління використанням обмежених ресурсів мережі при надмірному збільшенні потоку запитів від одного вузла або групи може призвести до різкого збільшення часу затримки і (або) падіння продуктивності мережі до утворення повністю блокованих ділянок, в яких передача даних виявляється неможливою. Причина появи блокованих ділянок і падіння продуктивності мережі при перевантаженнях можуть бути різними.

У загальному випадку при перевантаженні мережі значно зростає імовірність того, що пакети, які надходять в чергу, не застають в ній вільних буферів. Ці пакети в залежності від протоколу, який використовується в мережі, передаються повторно або сусіднім комутаторам або назад до джерела.

Захист від перевантаження досягається при управлінні вхідним потоком в вузлах базової мережі передачі даних. При цьому розрізняють методи глобального та локального управління навантаженням. Глобальне управління передбачає або обмеження загальної кількості пакетів, переданих в базовій мережі, або обмеження числа пакетів в кожному віртуальному з'єднанні джерело - адресат або в групах віртуальних з'єднань, або комбінацією цих методів.

На сьогоднішній день в мережах використовується велика кількість стеків комунікаційних протоколів. Найбільш популярними є стеки: TCP / IP, iPX / SPX, NetBIOS / SMB, DECnet, SNA и OSI. Усі ці стеки, крім SNA на нижніх рі-

внях – фізичному і канальному, використовують ті ж добре стандартизовані протоколи Ethernet, Token Ring, FDDI і деякі інші, які дозволяють використовувати у всіх мережах одну апаратуру. Однак на верхніх рівнях всі стеки працюють за своїми власними протоколами. Ці протоколи часто не відповідають поділу на рівні, як рекомендовано моделлю OSI.

Слід розрізнити поняття модель OSI та стек OSI. Модель OSI є концептуальною схемою взаємодії відкритих систем, тоді як стек OSI являє собою набір специфікацій протоколів. На відміну від інших стеків протоколів стек OSI повністю відповідає моделі OSI, він включає у себе специфікації протоколів для всіх семи рівнів взаємодії, визначених у цій моделі. На нижніх рівнях стек OSI підтримує Ethernet, Token Ring, Fdd1, протоколи глобальних мереж, X.25 і ISDN, тобто використовує розроблені поза межами стеку протоколи нижніх рівнів. Протоколи мережевого, транспортного і сеансового рівнів стека OSI специфіковані і реалізовані різними виробниками, але поширені мало.

Протоколи стека OSI відрізняються великою складністю і неоднозначністю специфікацій. Ці властивості стали результатом спільної політики розробників стека, які прагнули врахувати в своїх протоколах всі можливі ситуації і всі існуючі та майбутні технології. За своєю складністю протоколи OSI вимагають великих витрат обчислювальної потужності центрального процесора, що робить їх найбільш придатними для потужних машин, а не для мереж персональних комп'ютерів.

Стек OSI – міжнародний, незалежний від виробників стандарт. Його підтримує уряд США у своїй програмі GOSIP, згідно з якою всі комп'ютерні мережі, що встановлюються в урядових установах США, мають або безпосередньо підтримувати стек OSI, або забезпечувати засоби для переходу на цей стек у майбутньому. Стек OSI більш популярний в Європі, ніж в США, тому що в Європі залишилося менше старих мереж, що працюють по своїх власних протоколах. Більшість організацій планують перехід до стека OSI, але не всі приступили до створення пілотних проектів.

Стек TCP/IP був розроблений з ініціативи Міністерства оборони США більше 40 років тому для зв'язку експериментальної мережі ARPAnet з іншими мережами як набір загальних протоколів для різноманітного обчислювального середовища [76]. Сьогодні цей стек використовується для зв'язку комп'ютерів у мережі Internet, а також у багатьох корпоративних мережах.

Стек TCP/IP на нижньому рівні підтримує всі популярні стандарти фізичного і каналного рівнів: для локальних мереж – це Ethernet, Token Ring, FDDI, для глобальних – протоколи роботи на аналогових лініях комутованого зв'язку та лініях SLIP, PPP, протоколи територіальних мереж X. 25 і ISDN.

Основними протоколами стека є протоколи IP і TCP. Ці протоколи в термінології моделі OSI відносяться до мережевого і транспортного рівнів відповідно. Стек TCP/IP увібрав в себе велику кількість протоколів прикладного рівня. До них відносяться протокол пересилки файлів FTP, протокол емуляції терміналу Telnet, поштові протоколи SMTP, POP3 та Імарі, протокол передачі гіпертексту HTTP та ін.

Протоколи TCP/IP, на яких побудовано Internet, стали витіснити стек IPX/SPX компанії Novell. Сьогодні в світі загальна кількість комп'ютерів, на яких встановлено стек TCP/IP, набагато вище кількості комп'ютерів, на яких працює стек IPX/SPX. .

Хоча протоколи TCP/IP нерозривно пов'язані з Internet, існує велика кількість локальних, корпоративних і територіальних мереж, які безпосередньо не є частинами Internet, але в них також використовують протоколи TCP/IP. Ці мережі називають мережами TCP/IP або просто IP-мережами.

Оскільки стек TCP/IP спочатку створювався для глобальної мережі Internet, він має багато особливостей, що дають йому переваги перед іншими протоколами, коли мова заходить про побудову мереж, що включають в себе глобальні зв'язки. Зокрема, дуже корисною властивістю, що робить можливим застосування цього протоколу у великих мережах, є його здатність фрагментувати пакети. Дійсно, велика мережа часто складається з мереж,

побудованих на абсолютно різних технологіях. У кожній з цих мереж може бути встановлена власна величина максимальної довжини одиниці переданих даних MTU (Maximum Transfer Unit).

Іншою особливістю технології TCP/IP є гнучка система адресації, що дозволяє більш просто в порівнянні з іншими протоколами аналогічного призначення включати в ІКМ СКІ мережі інших технологій. Ця властивість також сприяє застосуванню стека TCP/IP для побудови великих гетерогенних мереж.

Стек IPX/SPX є оригінальним стеком протоколів фірми Novell, розробленим для мережевої операційної системи NetWare [76]. Протоколи мережевого і сеансового рівнів Internetwork Packet Exchange (IPX) і Sequenced Packet Exchange (SPX), які дали назву стеку, є адаптацією протоколів XNS фірми Херох, поширених в набагато меншому ступені, ніж стек IPX/SPX.

Багато особливостей стека IPX/SPX обумовлені орієнтацією ранніх версій ОС NetWare (до версії 4.0) на роботу в локальних мережах невеликих розмірів, що складаються з персональних комп'ютерів з невеликими ресурсами. Для таких комп'ютерів компанії Novell потрібні були протоколи, на реалізацію яких витрачалося б мінімальний обсяг оперативної пам'яті та які б швидко працювали на процесорах невеликої обчислювальної потужності. Протоколи стека IPX / SPX добре працювали в локальних мережах і не дуже – в великих корпоративних мережах, так як вони занадто перевантажували повільні глобальні зв'язки ширококомовними пакетами, які інтенсивно використовуються декількома протоколами цього стека. Ця обставина, а також той факт, що стек IPX/SPX є власністю фірми Novell і на його реалізацію потрібно отримувати ліцензію обмежує поширеність його тільки мережами NetWare.

Стек NetBIOS/SMB широко використовується в продуктах компаній IBM і Microsoft [76]. На фізичному і канальному рівнях цього стека використовуються найбільш поширені протоколи Ethernet, Token Ring, FDDI і інші.

Протокол NetBIOS (Network Basic Input / Output System) є мережевим розширенням стандартних функцій базової системи введення / виводу (BIOS) IBM PC для мережевої програми PC Network фірми IBM. Надалі цей протокол був замінений так званим протоколом розширеного призначеного для користувача інтерфейсу NetBEUI – NetBIOS Extended User Interface. Для забезпечення сумісності додатків в якості інтерфейсу до протоколу NetBEUI був збережений інтерфейс NetBIOS. Протокол NetBEUI розроблявся як ефективний протокол, що споживає небагато ресурсів і призначений для мереж, які містять не більше 200 робочих станцій. Цей протокол містить багато корисних мережевих функцій, які можна віднести до мережевого, транспортного і сеансового рівнів моделі OSI, однак з його допомогою неможлива маршрутизація пакетів.

Протокол SMB (Server Message Block) виконує функції сеансового, представницького і прикладного рівнів. На основі SMB реалізується файлова служба, а також служби друку і передачі повідомлень між додатками.

Стеки протоколів SNA фірми IBM, DECnet корпорації Digital Equipment і AppleTalk / AFP фірми Apple застосовуються в основному в операційних системах і мережевому обладнанні цих фірм.

В таблиці 3.1 показано відповідність деяких, найбільш популярних протоколів рівням моделі OSI [76]. Але ця відповідність є умовною, так як модель OSI – це тільки загальне керівництво до дії, а конкретні протоколи розроблялися для вирішення специфічних завдань, причому багато з них з'явилися ще до розробки моделі OSI. У більшості випадків розробники стеків віддавали перевагу швидкості роботи мережі, а не модульності – жоден стек, крім стека OSI, не розбитий на сім рівнів.

Розглянемо протокол надійної доставки повідомлень TCP. У стеці протоколів TCP / IP протокол TCP (Transmission Control Protocol) забезпечує надійне транспортування даних між прикладними процесами шляхом встановлення логічного з'єднання.

Одиницею даних протоколу TCP є сегмент. Інформація, що надходить до протоколу TCP, розглядається протоколом TCP як неструктурований потік байтів. Дані, що надходять, буферизовані засобами TCP.

Таблиця 3.1 – Відповідність популярних стеків протоколів моделі OSI

<i>Рівні моделі OSI</i>	<i>NetBEUI</i>	<i>TCP/IP</i>	<i>Novell</i>	<i>Стек OSI</i>
Прикладний	SMB	Telnet, FTP, SNMP, SMTP, HTTP	NCP, SAP	X.400, X.500, FTAM
Представницький				Представницький протокол OSI
Сеансовий	NetBIOS	TCP, UDP	SPX	Сеансовий протокол OSI
Транспортний				Транспортний протокол OSI
Мережний	IP, RIP, OSPF		IPX, RIP, NLSP	ES-ES, IS-IS
Канальний	802.3(Ethernet), 802.5(Tolken Ring), FDDI, Fasy Ethernet, SLIP, 100VG-AnyLAN, X.2, ATM, LAP-B, LAP-D, PPP			
Фізичний	Коаксіальний кабель, екранована і неекранована кручена пара, оптоволокно, радіоефір			

У протоколі TCP передбачений випадок, коли користувач звертається із запитом про термінову передачу даних. У цьому випадку протокол TCP, без вичікування заповнення буфера до рівня розміру сегмента, негайно передає відмічені дані в мережу.

Не всі сегменти, послані через з'єднання, будуть того ж розміру, однак обидва учасники з'єднання повинні домовитися про максимальний розмір сегмента, який вони використовуватимуть. Цей розмір вибирається таким чином, щоб при упаковці сегмента в IP-пакет він вмістився туди цілком, тобто максимальний розмір сегмента не повинен перевищувати максимального розміру поля даних IP-пакета.

Аналогічні проблеми вирішуються і на мережевому рівні. Для того, щоб уникнути фрагментації, має бути обраний відповідний максимальний розмір IP-пакета. Однак при цьому повинні бути прийняті до уваги максимальні розміри

поля даних кадрів (MTU) всіх протоколів канального рівня, які використовуються в мережі.

Пакети, що надходять на транспортний рівень, організуються операційною системою у вигляді множини черг до точок входу різних прикладних процесів. У термінології TCP / IP такі системні черги називаються портами. Таким чином, адресою призначення, яка використовується на транспортному рівні, є ідентифікатор (номер) порту прикладного сервісу.

Призначення номерів портів прикладним процесам здійснюється централізовано, якщо ці процеси є популярними загальнодоступними сервісами, типу сервісу віддаленого доступу до файлів TFTP (Trivial FTP) або локально для тих сервісів, які ще не стали настільки поширеними, щоб за ними закріплювати стандартні (зарезервовані) номери.

Централізоване присвоєння сервісів номерів портів здійснюється організацією Internet Assigned Numbers Authority. Ці номери потім закріплюються і опубліковуються в стандартах Internet.

Локальне присвоєння номера порту полягає в тому, що розробник деякого застосування просто пов'язує з ним будь-який доступний, довільно обраний числовий ідентифікатор, звертаючи увагу на те, щоб він не входив в зарезервованих номерів портів. Надалі всі видалені запити до даного застосування від інших програм слід адресувати із зазначенням призначеного йому номера порту.

Однак в протоколі TCP порти використовуються трохи іншим способом. Для організації надійної передачі даних передбачається встановлення логічного з'єднання між двома прикладними процесами. В рамках з'єднання здійснюється обов'язкове підтвердження правильності прийому для всіх переданих повідомлень і при необхідності виконується повторна передача.

З'єднання в протоколі TCP ідентифікується парою повних адрес обох взаємодіючих процесів (кінцевих точок). Адреса кожної з кінцевих точок включає IP-адреси (номер мережі та номер комп'ютера) і номер порту.

Підключення виконується в наступній послідовності:

- при встановленні з'єднання одна зі сторін є ініціатором. Вона надсилає запит до протоколу TCP на відкриття порту для передачі (active open);
- після відкриття порту протокол TCP з боку процесу-ініціатора надсилає запит процесу, для якого необхідне з'єднання;
- протокол TCP з боку приймача відкриває порт для прийому даних (passive open) і повертає квитанцію, що підтверджує прийом запиту;
- для того, щоб передача могла вестися в обидві сторони, протокол з боку приймача також відкриває порт для передачі (active port) і передає запит до протилежної сторони;
- сторона-ініціатор відкриває порт для прийому і повертає квитанцію.

З'єднання вважається встановленим. Далі відбувається обмін даними в рамках цього з'єднання.

В рамках з'єднання правильність передачі кожного сегмента має підтверджуватися квитанцією одержувача. Квитування – це один з традиційних методів забезпечення надійного зв'язку. Ідея квитування полягає в наступному. Для того, щоб можна було організувати повторну передачу даних, відправник нумерує одиниці переданих даних, що відправляються. Для кожного кадру відправник очікує від одержувача так звану позитивну квитанцію – службове повідомлення з повідомленням про те, що вихідний кадр був отриманий і дані в ньому виявилися коректними. Час цього очікування обмежений – при відправці кожного кадру передавач запускає таймер.

У протоколі TCP реалізований різновид алгоритму квитування з використанням вікна. Особливість цього алгоритму полягає в тому, що вікно визначено на множині нумерованих байт неструктурованого потоку даних, що надходять з верхнього рівня і буферизовані протоколом TCP.

Квитанція посилається тільки в разі правильного прийому даних. Таким чином, відсутність квитанції означає або прийом спотвореного сегмента, або втрату сегмента, або втрату квитанції.

В квитанції одержувач сегмента відсилає відповідне повідомлення (сегмент), в яке поміщає число, що на одиницю перевищує максимальний номер байта в отриманому сегменті. Якщо розмір вікна дорівнює W , а остання квитанція містила значення N , то відправник може посилати нові сегменти доти, поки в черговий сегмент не потрапить байт з номером $N + W$.

Повідомлення протоколу TCP називаються сегментами і складаються з заголовка і блоку даних [77]. Тема сегмента має наступні поля (рис. 3.6):

- порт відправника (Source Port) – ідентифікує процес-відправник (табл. 3.2);
- порт призначення – ідентифікує процес-одержувач;
- послідовний номер – вказує номер байта, який визначає зміщення сегмента щодо потоку даних;
- підтверджений номер (Acknowledgement Number) – містить максимальний номер байта в отриманому сегменті, збільшений на одиницю; саме це значення використовується як квитанція;
- довжина заголовка (Непі) – вказує довжину заголовка сегмента TCP, що вимірюється в 32-бітових словах. Довжина заголовка не фіксована і може змінюватися в залежності від значень, встановлених в полі Опції;

16 бітів Порт відправника				16 бітів Порт адресата				
32 біти Послідовний номер								
32 біти Номер підтвердження								
4 біти Довжина заголовка	6 бітів Резерв	6 бітів Прапорці						16 бітів Вікно
		URG	ACK	PSH	RST	SIN	FIN	
16 бітів Контрольна сума				16 бітів Показчик терміновості				
Опції вирівнювання								

Рисунок 3.6 – Структура заголовка TCP-сегменту

Таблиця 3.2 – Номери деяких протоколів та служб прикладного рівня

<i>Номер порту</i>	<i>Назва</i>	<i>Призначення</i>
7	echo	Ехо
20	FTP-data	Передача даних за протоколом FTP
21	FTP	Керуючі команди протоколу FTP
23	Telnet	Віддалений доступ
25	SMTP	Електронна пошта
53	domain	Сервер DNS
69	TFTP	Проста передача файлів
80	HTTP	Інформація WWW
110	POP3	Електронна пошта (POP3)
119	NNTP	Телеконференції

- резерв (Reserved) – поле зарезервовано для подальшого використання;
- прапорці (Code Bits) містять службову інформацію про тип сегмента, визначається станом відповідних бітів цього поля:
 - URG – термінове повідомлення;
 - ACK – квитанція на прийнятий сегмент;
 - PSH – запит на відправку повідомлення на верхній рівень без очікування заповнення буфера;
 - RST – запит на розрив з'єднання;
 - SYN – повідомлення, яке використовується для синхронізації лічильників переданих даних при встановленні з'єднання;
 - FIN – ознака закінчення даних для передачі;
- вікно (Window) містить оголошене значення розміру вікна в байтах;
- контрольна сума (Checksum) містить 16-бітний зворотний код суми зворотних кодів всіх 16-бітних слів заголовка, а також псевдозаголовка IP;

- показчик терміновості (Urgent Pointer) використовується разом з кодовим бітом URG, вказує на кінець даних, які необхідно терміново прийняти, незважаючи на переповнення буфера;

- опції (Options) – це поле має змінну довжину і може бути відсутнім, використовується для вирішення допоміжних завдань, наприклад при виборі максимального розміру сегмента;

- заповнювач (Padding) являє собою фіктивне поле, яке використовується для доведення розміру заголовка до цілого числа 32-бітних слів.

Також слід розглянути протокол дейтаграм користувача UDP.

Завданням протоколу транспортного рівня UDP (User Datagram Protocol) є передача даних між прикладними процесами без гарантій доставки, тому його пакети можуть бути втрачені, продубльовані або прийти не в тому порядку, в якому вони були відправлені.

У той час, як завданням мережевого рівня є передача даних між довільними вузлами мережі, завдання транспортного рівня полягає в передачі даних між будь-якими прикладними процесами, які виконуються на будь-яких вузлах мережі. Після того, як пакет засобами протоколу IP доставлений в комп'ютер-одержувача, дані необхідно направити конкретному процесу-одержувачу.

Протокол UDP веде для кожного порту дві черги: черга пакетів, які надходять в цей порт з мережі, і черга пакетів, які відправляються портом в мережу.

Процедура обслуговування протоколом UDP запитів, які надходять від декількох різних прикладних сервісів, називається мультиплексуванням [78]. Розподіл протоколом UDP пакетів, які надходять від мережевого рівня, між набором високорівневих сервісів, ідентифікованих номерами портів, називається демультимплексуванням (рис. 3.7).

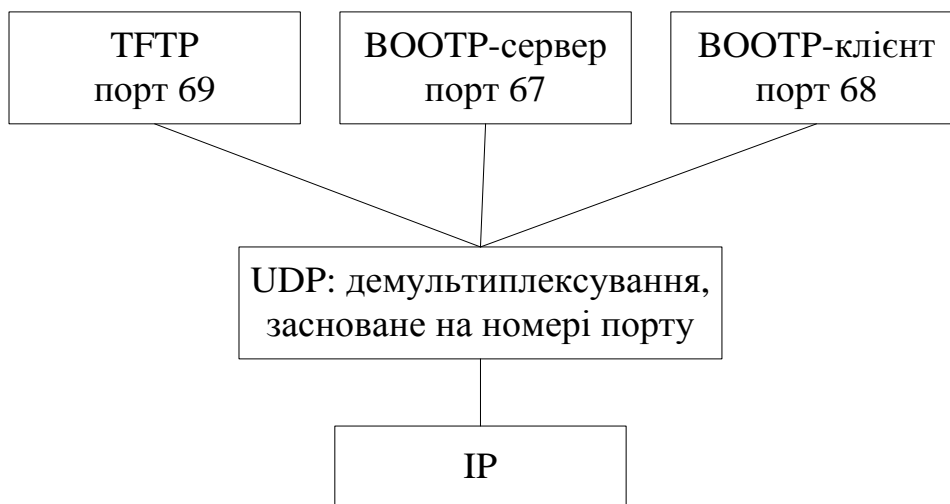


Рисунок 3.7 – Демультимплексування пакетів протоколом UDP

Хоча до послуг протоколу UDP може звернутися будь-який додаток, більшість з них віддають перевагу більш складним протоколам транспортного рівня TCP. Протокол UDP є посередником між мережним рівнем і прикладними сервісами і, на відміну від TCP, не несе функції щодо забезпечення надійності передачі.

З іншого боку, функціональна простота протоколу UDP обумовлює простоту його алгоритму, компактність і високу швидкодію. Тому ті додатки, в яких є власний механізм обміну повідомленнями, який заснований на встановленні з'єднання, використовують для безпосередньої передачі даних по мережі менш надійний, але більш швидкий засіб транспортування – протокол UDP.

Одиниця даних протоколу UDP називається UDP-пакетом або дейтаграмою користувача (user datagram). Дейтаграма складається з назви та поля даних, в якому розміщується пакет прикладного рівня.

Назва складається з чотирьох двобайтових полів:

- UDP source port – номер порту процесу-відправника;
- UDP destination port – номер порту процесу-одержувача;
- UDP message length – довжина дейтаграми в байтах;
- UDP checksum – контрольна сума дейтаграми.

Не всі поля дейтаграми обов'язково мають бути заповнені. Якщо дейтаграма, що посилається, не допускає відповідь, то на місці адреси відправника можуть розміщуватися пули.

3.4 Принцип потокового управління в моделях та методах розподілу трафіка

3.4.1 Оптимізаційні моделі управління потоками даних

При застосуванні мережевих методів основна увага приділяється особливостям структури ІКМ, де кожен структурний елемент описується мінімальним і максимальним значеннями пропускної здатності та зважується коефіцієнтом, що характеризують умовну вартість передачі одиниці потоку даними елементом [79 – 81].

Для розв'язання однопродуктової задачі можна використовувати теорему Форда-Фалкерсона про максимальний потік для мережі з одним джерелом і одним стоком [82], на базі якої будуються ефективні потокові алгоритми. Для ІКМ необхідно розв'язувати багатодуктову задачу про потік максимального ваги. Вказану задачу зазвичай зводять до композиції однопродуктових завдань. Проте це не завжди приводить до створення адекватної моделі, тому що найчастіше один вузол може бути і джерелом, і стоком для різних складових.

Для розв'язання багатодуктової задачі [83] вводиться параметр резервування пропускної здатності (φ_i) i -го елемента мережі (r_i), а для вибору оптимального шляху вирішується наступна рівність

$$\varphi_z = \min_{i \in M_z} (\varphi_j \mid \varphi_j = \max((\varphi_i - r_i), 0))$$

де M_z – множина всіх допустимих шляхів z -ї складової.

Для забезпечення збалансованого завантаження мережі використовується узагальнений алгоритм Дейкстри [84], для якого при виборі k шляхів метрикою

служать обрані показники пропускної спроможності відповідного тракту мережі, а рішення зводиться до оптимізаційної задачі

$$\varphi(P_k) = \min_{i,j \in P_k} (\varphi_{ij} \mid \varphi(P_k) \geq \varphi_p^k; k = \overline{1, K}),$$

де φ_{ij} – пропускна здатність тракту (i, j) ;

φ_p^k – необхідна пропускна здатність шляху P_k .

Задача балансування мережі зводиться до наступної оптимізаційної задачі [85]:

$$\varphi(M, F) = \max_{\varphi \in \Phi}(\varphi),$$

при обмеженнях

$$\sum_{p \in P} F_{ij}^p = \varphi;$$

$$\sum_{p \in P} F_{ij}^p \leq M_{ij};$$

$$F_{ij}^p \geq 0; \forall i, j, p,$$

де F_{ij}^p – потік із i -го вузла до вузла j шляхом $p \in P$;

P – множинна кількість допустимих шляхів;

$M_{ij} \in M$ – матриця пропускних здатностей.

Умови балансування зводяться до задачі динамічного або цілочисельного програмування [86, 87], з мінімізацією величини максимального завантаження мережевих трактів з урахуванням необхідної для кожного процесу частки смуги пропускання. Накладаються обмеження, що гарантують збереження потоку і запобігання перевантаження трактів.

3.4.2 Опис динаміки потоків даних із застосуванням інтегральних рівнянь

При динамічному управлінні потоками даних в ІКМ значне поширення отримали методи, що використовують апарат диференціальних та інтегральних рівнянь, який дозволяє одночасно враховувати просторові й часові характеристики процесів, які досліджуються. Для опису динаміки зміни інтенсивності інтегральних потоків $\lambda_i(t)$ використовується система нелінійних інтегральних рівнянь Вольтера другого роду [88]:

$$\lambda_i(t) = \sum_{j \neq i} \int_0^t p_{ji} \left(\lambda_j^0 + \lambda_j(\tau) \right) \phi_{ji} \left((t-\tau) \lambda_j^0 + \lambda_j(t-\tau) \right) \lambda_i(\tau) dt + \Delta_i(t), \quad (3.7)$$

де j – номер черги на вузлі i ;

$p_{j,i}(\lambda_j^0)$ – імовірність обслуговування пакетів, якщо λ_j^0 – інтенсивність їх

отримання у j -у чергу вузла i при $t = 0$;

$\phi_{j,i} = \frac{d}{dt} \Phi(\tau, \lambda_j^0)$ – щільність розподілу часу обслуговування пакетів в j -й

черзі на вузлі i ;

$\Delta_i(t)$ – детермінована складова потоку.

Рішення (2.7) можливо отримати, наприклад, методом послідовних наближень [93]:

$$\lambda_i^{(k+1)}(t) = \sum_{j \neq i} \int_0^t p_{ji} \left(\lambda_j^0 + \lambda_j^{(k)}(\tau) \right) \phi_{ji} \left((t-\tau) \lambda_j^0 + \lambda_j^{(k)}(t-\tau) \right) \lambda_i^{(k)}(\tau) dt + \Delta_i(t).$$

Один з підходів заснований на використанні різниць рівнянь станів, що характеризують досліджувані процеси [89]. У цьому випадку динаміка процесу може бути промодельована, наприклад, системою рівнянь завантаження буферів черг на вузлах ІКМ, що описує обсяг даних, які передаються з i -го вузла на j -й у момент часу t_k :

$$x_{ij}(k+1) = x_{ij}(k) - \sum_{l \neq i} b_{ij}^{(\mu)}(k) u_{ilj}^{(\mu)}(k) + \sum_{m \neq i, j} b_{mi}^{(\mu)}(k) u_{mij}^{(\mu)}(k) + y_{ij}(k),$$

$$b_{mi}^{(\mu)}(k) = c_{mi}(k) \Delta t; \quad y_{ij}(k) = \xi_{mi}(k) \Delta t;$$

де $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ – ступінь дискретизації для розрахунку маршрутних змінних;

$c_{m,i}(k)$ – доступна пропускна здатність маршруту (m, j) у момент часу t_k ;

$\xi_{m,i}(k)$ – інтенсивність надходження даних по маршруту (m, j) у момент часу t_k ;

$u_{i,l,j}^{(\mu)}(k)$ – маршрутна змінна.

Однак при більших розмірностях оптимізаційної задачі її аналітичний розв'язок неможливий. В таких випадках більш ефективними є методи імітаційного моделювання.

3.5 Принцип оптимізації при управлінні параметрами ІКМ

3.5.1 Узагальнений критерій якості структури ІКМ

При виборі показників ефективності СКІ з урахуванням ІКМ необхідний комплексний взаємозалежний розгляд всіх чинників, що впливають на якість функціонування мережі. Для порівняльної оцінки якості функціонування ІКМ використовуються різні часткові кількісні показники.

Кількість часткових показників $Q \subseteq D$ для ІКМ варіюється від 10 до 50 [33, 90]. Аналіз множини часткових показників Q дозволяє розбити її на підмножини основних показників Q_j з різними ваговими коефіцієнтами λ_j , тобто

$$Q = \bigcup_{j=1}^6 \lambda_j Q_j.$$

Підмножини Q_j визначаються наступним чином:

Q_1 – група показників витрат на адаптацію програмно-технічних засобів, що забезпечують інтерфейсний зв'язок між різнорідними компонентами ІКМ;

Q_2 – група показників оцінки функціонування технічних засобів ІКМ;

Q_3 – група показників оцінки функціонування системного програмного забезпечення ІКМ;

Q_4 – група показників оцінки витрат інформаційно-обчислювального ресурсу (ІОР) на виконання прикладних завдань у вузлах мережі;

Q_5 – група показників оцінки витрат на обмін інформацією між вузлами мережі;

Q_6 – група показників оцінки витрат при модернізації та розширенні вузлів ІКМ.

Для зменшення обчислювальних труднощів при оцінці основних показників пропонується вибір в кожній підмножині Q_j одного основного показника $Q_{Oj} \in Q_j$. Тоді кількісна оцінка N_j підмножини Q_j визначається виразом

$$N_j = \frac{Z_j^{(S)}}{Z_j^{(K)}},$$

де $Z_j^{(K)}$ – значення основного показника, що визначається ІКМ;

$Z_j^{(S)}$ – мінімальне значення основного показника, що визначається потребами СКІ.

Задача багатокритеріального вибору оптимальної структури ІКМ відповідає вибору точки $z \in \Pi$ (Π – простір варійованих параметрів системи) всередині області допустимих рішень, обмеженою гіперплощинами:

$$\Pi = \left\{ \Pi_j(N_j) \mid N_j \leq 1, \forall j \in \overline{1,6} \right\}.$$

Завдання обмежень і критеріїв визначає множину P_d допустимих точок простору кількісних оцінок $P: P_d \subset P$.

Існують різні підходи до вибору точки $z \in P_d$:

- заміна багатьох критеріїв єдиним;
- ранжування часткових підмножин критеріїв з наступною оптимізацією головного з множини критеріїв;
- послідовна оптимізація всіх критеріїв.

Однак для отримання оптимальної точки в просторі допустимих рішень потрібні додаткові дані:

- визначення вагових коефіцієнтів для оцінюваних параметрів;
- вибір методу ранжування і параметрів поступок по ним;
- визначення послідовності оптимізації часткових критеріїв.

Для множин часткових показників якості структури ІКМ найбільш значущим критерієм є узагальнений показник R – сумарний розмір інформаційно-обчислювального ресурсу (ІОР) для функціонування СКІ. Його числове значення визначається за допомогою функціоналу

$$F(R) = \varphi(t_s, t_c, V_l, V_i, p_c, t_t),$$

де: t_s – параметр, що відображає астрономічний час розв’язання прикладної задачі в мережі;

t_c – параметр, що визначає сумарний процесорний час в вузлах мережі на виконання окремої прикладної задачі;

V_l – параметр, що визначає сумарний обсяг необхідної зовнішньої пам’яті;

V_i – параметр, що визначає сумарні обсяги оперативної пам’яті по всіх вузлах мережі;

p_c – параметр, що визначає пропускну здатність задіяних каналів мережі;

t_t – параметр, що визначає сумарний час обробки транзакцій активної підсистеми СКІ.

Для функціональних процесів СКІ параметри V_i і V_l не накладають істотних обмежень на задачу, а тому можна припустити, що для R існує кількісна оцінка для конкретних елементів технічної структури мережі. У цьому випадку функція φ є лінійною комбінацією змінних R_{ij} , які визначають розмір ІОР, що виділений для інформаційних повідомлень відповідних прикладних завдань функціонального підмножини L_i , що характеризується показниками з множини часткових показників Q_j .

Отже, функціонал $F(R)$ конкретизується наступним чином

$$F(R) = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^k \alpha_j \beta_j^i R_{ij}, \quad (2.8)$$

де α_j – вагові коефіцієнти множини Q_j ;

β_j^i – коефіцієнт, який враховує інтенсивність потоку інформаційних повідомлень прикладних задач підмножини L_i , що використовують ІОР, який характеризується показниками з множини Q_j .

Критерій (2.8) можна застосувати для різних структур ІКМ. Він враховує способи організації обміну інформацією при функціонуванні різних підсистем СКІ, зв'язку між окремими елементами системи, параметри вузлів мережі, функціональне призначення СКІ. Мінімізація приводить до підвищення продуктивності СКІ вибором відповідних характеристик і вузлів ІКМ, визначенням найбільш доцільних структур мережі для СКІ.

3.5.2 Критерій ефективності передачі даних в ІКМ

Для оцінки ефективності функціонування мережевого протоколу, прийнято використовувати такі показники [91, 92]:

- середній час затримки при передачі інформаційних повідомлень;
- середній час знаходження інформаційних повідомлень (ІП) в мережі;

- середня завантаженість мережі;
- середня продуктивність мережі;
- показники надійності;
- показники вартості та ін.

При цьому більшість показників взаємопов'язані, але зустрічаються серед них такі, що протирічать та доповнюють один одного [93]. Відповідно, функція оцінки ефективності, яка встановлює взаємозв'язок між критерієм ефективності та значеннями часткових показників ефективності функціонування мережевого протоколу, є багатопараметричною, тому для спрощення її розрахунку обирається мінімально необхідна кількість непротирічних найбільш важливих показників [76].

Нехай множина таких показників

$$M = \{M^{(1)}, \dots, M^{(i)}, \dots, M^{(I)}\}, \dim M = I.$$

Кожний з цих показників, в свою чергу, визначається сукупністю часткових показників:

$$M^{(i)} = \{M_1^{(i)}, \dots, M_j^{(i)}, \dots, M_{J_i}^{(i)}\}, \dim M^{(i)} = J_i; i = \overline{1, I}; j = \overline{1, J_i}.$$

Визначимо функцію оцінки ефективності функціонування мережевого протоколу на підмножині показників:

$$L = L(M_0), M_0 \subset M, \quad (3.9)$$

де M_0 – підмножина показників, критичних при функціонуванні ІКМ.

Некритичні показники з підмножини $M_{HK} = M \setminus M_0$, оцінимо за допомогою таких функцій:

$$L_k = L_k(M_0; M_{HK}), k = \overline{1, K}. \quad (3.10)$$

Тоді критерієм вибору найкращого мережевого протоколу ІКМ буде вимога до оптимізації підмножини показників M_0 , критичних при функціонуванні мережі [13]:

$$L(M_0) \rightarrow \sup. \quad (3.11)$$

При цьому оцінки некритичних показників з M_{HK} визначають обмеження відповідної оптимізаційної задачі (2.9 – 2.11):

$$L_k(M_0; M_{HK}) \mathfrak{R} F_k,$$

де \mathfrak{R} – відношення, яке може бути як суворого, так і несуворого порядку та приймати значення з множини $\{ " \geq ", " \leq ", " > ", " < " \}$; $k = \overline{1, K}$,

F_k – гранична оцінка для k -го некритичного показника.

Враховуючи, що для СКІ критичними є часові показники, та крім цього необхідно враховувати ряд вимог [4, 94]:

- висока надійність;
- низька вартість;
- висока захищеність;
- високі вимоги до пропускної спроможності мережі;
- висока продуктивність;
- достовірність переданих даних;
- стійкість до завад і т. ін.,

визначимо множину M наступним чином:

$$M = \{M_1, M_2, M_3, M_4\},$$

де M_1 – час затримки інформаційного повідомлення (ІП);

M_2 – час комутації ;

M_3 – розмір ІП;

M_4 – пропускна спроможність ліній зв'язку, виділених для передачі ІП.

Розглянемо процес обробки інформаційних повідомлень у ІКМ. Для n -го інформаційного повідомлення ($n = \overline{1, h}$), що обробляється t -м каналом мережі ($t = \overline{1, g}$) введемо булеву функцію

$$B_{nt} = \begin{cases} 1, & \text{якщо канал } t \text{ обслуговує ІП } n; \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Нехай

$$M_1 = \{t_{nm}^{(3)}\};$$

$$M_2 = \{t_{nm}^{(k)}\};$$

$$M_3 = \{V_n\};$$

$$M_4 = \{C_{nm}\}.$$

Крім цього, визначимо обмеження на час доставки ПП – T_n та доступну пропускну спроможність мережі – F_m .

Тоді узагальнений показник ефективності – сумарний час обробки інформаційних повідомлень на фіксованому часовому інтервалі, можна визначити наступним чином:

$$L(M, S) = \sum_{m=1}^g \sum_{n=1}^h B_{nm} \left(t_{nm}^{(3)} + t_{nm}^{(k)} + \frac{V_n}{C_{nm}} \right) \xrightarrow{S} \min.$$

Часткові показники з множин M_1 , M_2 та M_4 залежать від вибору мережевого протоколу S , їх можна розглядати як функції на множині мережевих протоколів, що аналізуються. Тоді оптимізаційна задача вибору найбільш ефективного мережевого протоколу може бути сформульована наступним чином.

Мінімізація узагальненого показника ефективності – сумарного часу обробки інформаційних повідомлень на фіксованому часовому інтервалі:

$$L(M_0, S) \xrightarrow{S} \min,$$

при об'єктивних обмеженнях, що накладаються характеристиками ІКМ:

$$\sum_{n=1}^h B_{nm} C_{nm}(S) \leq F_m, m = \overline{1, g}.$$

та обмеженнях, накладених характеристиками СКІ:

$$\sum_{m=1}^g B_{nm} \left(t_{nm}^{(3)}(S) + t_{nm}^{(k)}(S) + \frac{V_n}{C_{nm}(S)} \right) \leq T_n, n = \overline{1, h}.$$

4 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ СТРУКТУРИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

4.1 Формалізація завдання визначення інформаційної та технічної структури мережі

Аналіз структури мережі є необхідною умовою при виборі варіантів побудови ІКМ і управління мережею через те, що структура є основним чинником, що впливає на якість обміну даними між прикладним програмним забезпеченням, і, відповідно, на якість вирішення прикладних завдань системи управління [95, 96].

Необхідно враховувати, що потоки даних формуються завданнями, які запускаються на вузлах мережі [97 – 99]. У зв'язку з цим слід застосувати підхід до аналізу структури мережі, заснований на дослідженні взаємодії додатків при виконанні завдань. При цьому необхідно:

- визначити параметри потоків даних між додатками при виконанні всього комплексу завдань в рамках побудови інформаційної моделі мережі;
- враховуючи розміщення додатків по вузлах мережі, визначити параметри потоків даних між вузлами мережі в рамках побудови технічної моделі мережі.

Аналіз і формування структури ІКМ має враховувати додатки (відповідні завданням), які виконуються в мережі та формують потоки даних. Аналіз проводиться шляхом виділення інформаційної і технічної складових структури, що визначають джерела і приймачі потоків даних і устаткування для управління цими потоками. Для проведення аналізу потрібно розробити засоби математичного опису інформаційної і технічної структури мережі, що дозволяють обчислювати характеристики мережі.

Розглянемо узагальнену структуру вузла інфокомунікаційної мережі (ІКМ), що зображена на рис. 4.1 [100].

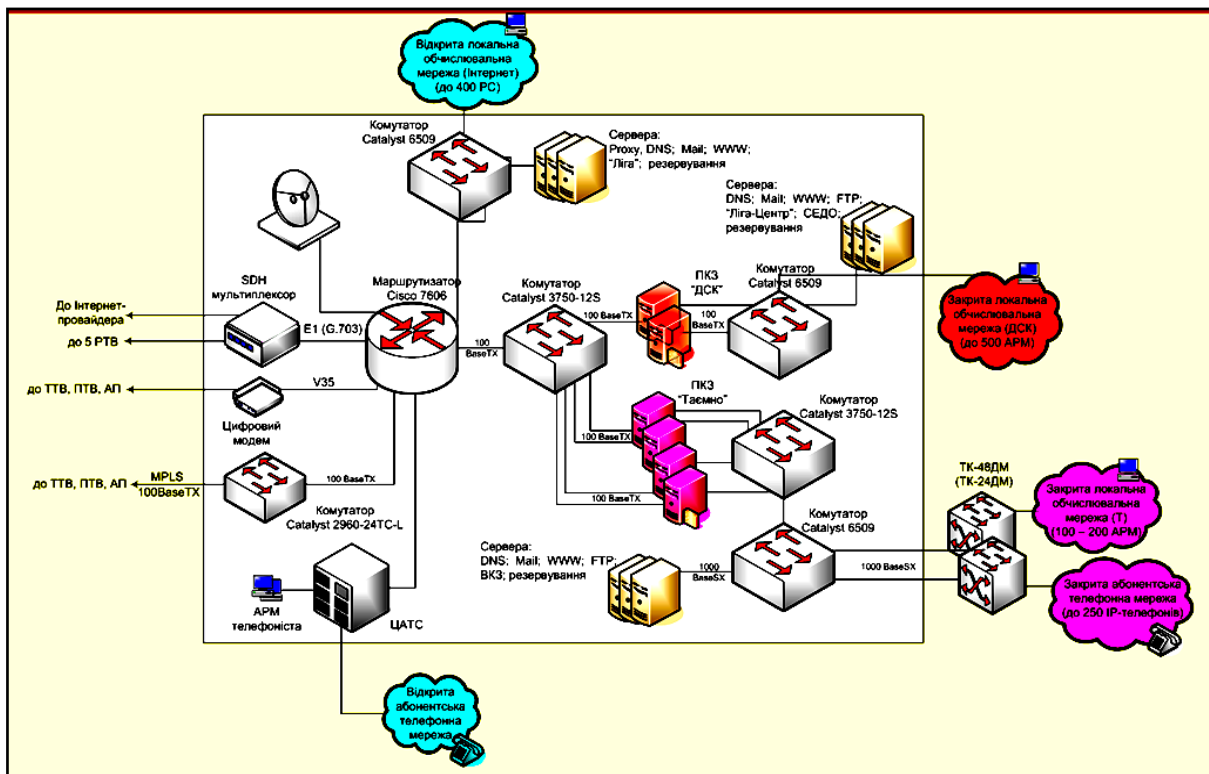


Рисунок 4.1 – Узагальнена структура вузла ІКМ

Концептуальний дворівневий підхід до аналізу структури ІКМ заснований на наступних принципах:

- метою аналізу є дослідження потоків даних, що передаються по мережі, оскільки їх параметри роблять визначальний вплив на якість роботи мережі;
- основою для аналізу і формування структури мережі є додатки (завдання), які виконуються в мережі та формують потоки даних, що передаються;
- аналіз проводиться шляхом виділення інформаційної і технічної складових структури, що визначають джерела і приймачі потоків даних і устаткування для управління цими потоками;
- для проведення аналізу потрібно розробити засоби математичного опису інформаційної і технічної структури мережі, що дозволяють обчислювати характеристики мережі;
- результати аналізу інформаційної структури є початковими даними для формування і аналізу технічної структури ІКМ.

Математичні моделі інформаційної та технічної структур ІКМ базуються на моделі, яка відображає такі елементи:

- склад і параметри прикладних завдань для забезпечення процесів функціонування системи;
- склад користувачів ІКМ;
- склад додатків, що встановлюються на мережі та вимог до устаткування для їх реалізації.

При моделюванні ІКМ слід враховувати її багаторівневу структуру. Призначимо i -тій групі пріоритетів числову характеристику, що визначає порядок ієрархічного рівня мережі r_i , причому $r_i \geq r_{i+1} \forall i \in \overline{1,5}$.

Згідно з принципами побудови структур ієрархічних систем

$$M_{SF} = \bigcup_{i=1}^6 M_i,$$

де M_i – множина прикладних завдань системи M_{SF} , обслуговуючих рівень i .

При реалізації моделі СКІ в середовищі семирівневої мережі кожна множина M_i складається із сукупності підпрограм, що реалізують можливості кожного функціонального мережевого рівня j , що об'єднуються в множині

$$M_i = \bigcup_{j=1}^7 M_{ij} \forall i \in \overline{1,6}.$$

З огляду на те, що СКІ є розподіленою, множину M_{ij} необхідно розподілити по задіяним вузлам мережі:

$$M_{ij} = \{P_{ijk} \mid k \in n_{ij}\},$$

де n_{ij} – множина задіяних програм з M_{ij} вузлів мережі;

P_{ijk} – комплекс підпрограм k -го вузла мережі, необхідних для забезпечення функціонування M_{ij} .

Для обробки комплексу підпрограм P_{ijk} обчислювальний комплекс системи виділяє ресурс $R_{ijk}^{(7)}$. Визначимо відображення γ_{ij} так, що

$$\gamma_{ij}(P_{ijk}) = R_{ijk}^{(\min)},$$

де $R_{ijk}^{(\min)}$ – мінімально необхідний обчислювальний ресурс для комплексу P_{ijk} .

Тоді дійсні наступні обмеження:

$$R_{ijk}^{(\min)} \leq R_{ijk}^{(7)};$$

$$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^7 \sum_{k \in n_{ij}} R_{ijk}^{(7)} \leq R_F^{(7)}.$$

Дані обмеження визначають принципи побудови структури ІКМ. При цьому на кожному рівні управління можна розглядати підмодель системи, що має різний склад інформаційних величин, які відображають стан підлеглих керованих об'єктів відповідно до функцій і завдань, що виконуються на цих рівнях.

Формалізуємо загальну задачу побудови ІКМ з урахуванням існуючої апаратно-програмної бази.

Введемо наступні позначення: V_O и W_O – множини, що описують наявні на даний момент засоби обчислювальної техніки (ЗОТ) і апаратні інтерфейсні засоби (АІЗ);

V_N и W_N – множини, що описують можливості розширення ЗОТ і АІЗ;

S_O и C_O – множини, що описують системне програмне забезпечення (ПЗ) і інтерфейсне програмне забезпечення (ІПЗ);

S_N и C_N – множини, що описують ПЗ і ПЗ, необхідне для підтримки елементів V_N и W_N ;

Z_A – множини, що описують завдання СКІ.

Визначимо для кожного елемента $z \in Z_A$ кортеж z_k , що включає такі характеристики як: рівень ієрархії, ступінь пріоритету, відносини передування, граф розподіленої структури максимальної потужності. Побудуємо багатоваріантну математичну модель $M(Z_A)$, вхідними даними якої є множини Z_A і $\{z_k\}$, а вихідними – F_V – множина можливих варіантів побудови ієрархічної мультисервісної гетерогенної мережі.

Для множин існує сюр'єктивне відображення (відображення двох множин, при якому кожен елемент однієї множини є образом хоча б одного елемента іншої множини), що визначає можливі способи побудови апаратно-програмної частини базової мультисервісної гетерогенної мережі відповідно до розглянутими принципами побудови:

$$\eta : (f_V \in F_V) \rightarrow \langle V'_O \cup V'_N, W'_O \cup W'_N, S'_O \cup S'_N, C'_O \cup C'_N \rangle,$$

де

$$V'_O \in V_O, W'_O \in W_O, S'_O \in S_O, C'_O \in C_O;$$

$$V'_N \in V_N, W'_N \in W_N, S'_N \in S_N, C'_N \in C_N.$$

Для вибору пари $(f_V, \eta(f_V))$, яка описує необхідний варіант побудови, потрібно визначити на множині даних пар критеріальне відображення ξ , таке, що:

$$\xi : \{(f_V, \eta(f_V))\} \rightarrow D,$$

де D – множина часткових показників ефективності СКІ в середовищі мультисервісної гетерогенної мережі.

4.2 Модель інформаційної структури ІКМ

Джерелами потоків даних в мережі є користувачі, приладні додатки (ПД) і системні додатки (СД). Користувачі ініціюють роботу системних додатків, які в свою чергу звертаються до баз даних, до інших системних додатків, передаючи і отримуючи різну інформацію.

Робота системних додатків визначається завданнями, які вирішуються системою [101]. Кількість завдань в системі позначимо як L . Будемо вважати, для спрощення, що кожен додаток, незалежно від того, в якому завданні він використовується, працює завжди однаково. Якщо залежно від завдання змінюється робота системних прикладень, то будемо вважати, що це вже інший додаток. Під системним додатком будемо розуміти програму, яка виконується користувачем при вирішенні завдання, програма може бути як спеціальна, написана для вирішення завдання, так і загальносистемна, призначена для виконання стандартних процедур, які також потрібні при вирішенні завдання.

У кожній системі є сховища даних, їх кількість в системі позначимо як q . Вважаємо, що сховища даних сформовані, склад даних визначений і визначені системні додатки, які працюють із сховищами даних [102]. Позначимо кількість вузлів мережі – t , кількість користувачів системи – l . Нехай в системі функціонує d різних системних додатків, що призначені для вирішення прикладних завдань СКІ.

Кожне k -те завдання характеризується таким набором параметрів:

$$S_k = \{p_k, d_k, u_k, W_k\}; k = \overline{1, l}. \quad (4.1)$$

Вектор-рядок

$$p_k = (p_{k1}, \dots, p_{ki}, \dots, p_{kd})$$

визначає системні додатки, які виконуються при виконанні k -го завдання, при цьому

$$p_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й СД виконується при вирішенні } k\text{-го завдання} \\ 0, & \text{якщо } i\text{-й СД не виконується при вирішенні } k\text{-го завдання} \end{cases},$$

$$i = \overline{1, d}, k = \overline{1, l}.$$

Для всіх елементів вектора p_k повинна виконуватися умова, що при вирішенні k -го завдання використовується хоча б один СД

$$\sum_{i=1}^d p_{ki} \geq 1.$$

З векторів $p_k = (p_{k1}, \dots, p_{ki}, \dots, p_{kd})$ можна скласти матрицю

$$P = \|(p_{k1}, p_{k2}, \dots, p_{kd})\| = \|p_{ki}\|, \quad (4.2)$$

що задає зв'язки між усіма завданнями системи та усіма системними додатками.

Вектор-рядок визначає сховища даних, які використовуються при виконанні k -го завдання

$$d_k = (d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{kq}),$$

при цьому

$$d_{kr} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } r\text{-е сховище даних використовується для } k\text{-го завдання} \\ 0, & \text{якщо } r\text{-е сховище даних не використовується для } k\text{-го завдання} \end{cases},$$

$$r = \overline{1, q}, k = \overline{1, l}.$$

Для всіх елементів векторів d_k повинна виконуватися умова, що при вирішенні k -го завдання може не використовуватися жодного сховища даних:

$$\sum_{r=1}^q d_{kr} \geq 0,$$

З вектора d_k , $k = \overline{1, l}$ можна скласти матрицю, котра задає зв'язки між усіма завданнями системи і всіма сховищами даних

$$D = \|(d_{k1}, d_{k2}, \dots, d_{kn})\| = \|d_{kr}\|. \quad (4.3)$$

Вектор-рядок

$$u_k = (u_{k1}, \dots, u_{kj}, \dots, u_{kn})$$

визначає множину користувачів системи, яким потрібно виконувати k -те завдання, при цьому

$$u_{kj} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j\text{-й користувач виконує } k\text{-е завдання} \\ 0, & \text{якщо } j\text{-й користувач не виконує } k\text{-е завдання} \end{cases},$$

$$j = \overline{1, n}, k = \overline{1, l}.$$

Для всіх елементів вектора u_k повинні виконуватися умови:

1) кожне завдання виконується хоча б одним користувачем

$$\forall k = \overline{1, l} \quad \sum_{j=1}^n u_{kj} \geq 1;$$

2) кожен користувач виконує хоча б один прикладний додаток

$$\forall j = \overline{1, n} \quad \sum_{k=1}^l u_{kj} \geq 1;$$

З векторів u_k можна скласти матрицю, що визначає потреби всіх користувачів системи в виконання всіх завдань:

$$U = \|(u_{k1}, u_{k2}, \dots, u_{kn})\| = \|u_{kj}\|, \quad j = \overline{1, n}, k = \overline{1, l}, \quad (4.4)$$

Матриця

$$W_k = \|w_{kii'}\|, \quad i = \overline{1, d}, i' = \overline{1, d} \quad (4.5)$$

визначає послідовність виконання системних додатків (СД) при вирішенні k -го завдання,

$$w_{kii'} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й СД для } k\text{-го завдання виконується після } i\text{-го СД} \\ 0, & \text{якщо } i\text{-й СД для } k\text{-го завдання не виконується після } i\text{-го СД} \end{cases},$$

$$i = \overline{1, d}, i' = \overline{1, d}, k = \overline{1, l}.$$

Крім того, $w_{kii'} = 1$, якщо СД номер i виконується першим при вирішенні завдання k . Якщо СД j при вирішенні завдання k , виконується останнім, то

$$\sum_{i=1}^d w_{kji} = 0, \quad \sum_{i=1}^d w_{kij} \geq 1.$$

Номер такого системного додатку для завдання k , будемо позначати j_k , крім того, вважаємо, що результат вирішення завдання k висилається користувачу системним додатком j_k .

Кожен j -й користувач характеризується інтенсивністю потоку запитів на виконання завдань в системі. Позначимо λ_{jk} – інтенсивність потоку запитів від користувача номер j на виконання завдання номер k . Множина інтенсивностей потоку запитів від користувачів на виконання завдань задається матрицею

$$\Lambda = \|\lambda_{jk}\|, \quad \lambda_{jk} \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, k = \overline{1, l}.$$

Очевидно, що $\lambda_{jk} = 0$, якщо $u_{jk} = 0$, тобто інтенсивність потоку запитів на виконання завдання номер j від користувача номер i дорівнює нулю, якщо цей користувач не виконує дане завдання.

Кожен СД номер m , що використовується при вирішенні завдання номер k , будемо характеризувати множиною:

$$A_{ki} = \{v_{ki}, b_{ki}\}, \quad i = \overline{1, d}; \quad k = \overline{1, l}. \quad (4.6)$$

Тут вектор-рядок v_{ki} визначає обсяги даних, якими обмінюється СД i із сховища даних за один сеанс вирішення завдання k :

$$v_{ki} = (v_{ki1}, \dots, v_{kir}, \dots, v_{kiq}).$$

Так $v_{kir} \geq 0$ – обсяг даних, якими обмінюється СД i із сховищем даних r .

З векторів v_{ki} можна скласти матриці, що задають обсяги переданих даних між системними додатками і сховищами даних при вирішенні завдань

$$V_k = \|(v_{ki1}, v_{ki2}, \dots, v_{kiq})\| = \|v_{kir}\|, \quad i = \overline{1, d}, \quad r = \overline{1, q}. \quad (4.7)$$

Вектор-рядок b_{ki} визначає об'єми даних, якими обмінюється СД номер i з іншими системними додатками під час своєї роботи при вирішенні завдання номер k

$$b_{ki} = (b_{ki1}, b_{kii'}, \dots, b_{kid}).$$

Обсяг даних, якими обмінюється СД i із СД i' визначається як $b_{kii'} \geq 0$.

З векторів b_{ki} можна скласти матриці, що задають обсяги переданих даних між системними додатками при вирішенні завдань.

$$B_k = \|(b_{ki1}, b_{ki2}, \dots, b_{kid})\| = \|b_{kii'}\|, \quad i = \overline{1, d}, \quad i' = \overline{1, d}. \quad (4.8)$$

Таким чином, інтенсивності та обсяги потоків даних в мережі СКІ визначаються інтенсивностями виконання завдань користувачами і обумовлені відповідними системними додатками [103].

Встановимо умови, що обсяг переданих по мережі даних задається у однакових одиницях, наприклад, кілобайтах. Задамо розміщення системних додатків по вузлах мережі за допомогою матриці

$$G = \|g_{im}\|, \quad i = \overline{1, d}, \quad m = \overline{1, t}, \quad (4.9)$$

де

$$g_{im} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й СД встановлено на } m\text{-му вузлі} \\ 0, & \text{якщо } i\text{-й СД не встановлено на } m\text{-му вузлі} \end{cases}.$$

Для елементів матриці G повинні виконуватися такі умови:

1. Для будь-якого $m = \overline{1, t}$ є вірною нерівність:

$$\sum_{i=1}^d g_{im} \geq 1 \quad (4.10)$$

тобто на кожному вузлі повинно бути встановлено хоча б один додаток, але на вузлі може бути встановлено й кілька системних додатків (якщо на вузлі встановлено тільки один додаток, то нерівність (4.10) перетворюється в рівність);

2. Для будь-якого $i = \overline{1, d}$ є вірною нерівність:

$$\sum_{m=1}^t g_{im} = 1 \quad (4.11)$$

тобто кожен додаток має бути встановлено тільки на одному вузлі.

З наведених умов випливає, що загальна кількість встановлених на вузлах мережі системних додатків дорівнює загальній кількості різноманітних системних додатків, що функціонують в системі:

$$\sum_{i=1}^d \sum_{m=1}^t g_{im} = d \quad (4.12)$$

При формуванні структури мережі проводиться також і розподіл користувачів між вузлами. Тобто за кожним користувачем системи закріплюється вузол мережі, що відповідає закріпленню за користувачем конкретної робочої станції (місця).

Підключення користувачів до вузлів задається матрицею

$$H = \|h_{jm}\|, \quad j = \overline{1, n}, m = \overline{1, t}, \quad (4.13)$$

де

$$h_{jm} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j\text{-й користувач підключений до } m\text{-го вузла} \\ 0, & \text{якщо } j\text{-й користувач не підключений до } m\text{-го вузла} \end{cases}.$$

Для елементів матриці H виконуються такі умови:

1. Всі користувачі системи повинні бути підключені до вузлів мережі системи:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{m=1}^t h_{jm} = t. \quad (4.14)$$

2. Для будь-якого $j = \overline{1, n}$ справедлива рівність:

$$\sum_{m=1}^t h_{jm} = 1, \quad (4.15)$$

тобто кожен користувач повинен бути підключений тільки до одного вузла (цей вузол є робочим місцем користувача).

3. Для будь-якого $m = \overline{1, t}$ справедлива нерівність:

$$0 \leq \sum_{j=1}^n h_{jm} \leq n, \quad (4.16)$$

тобто до будь-якого вузла може бути або підключено кілька користувачів, або жодного.

Розподіл сховищ даних по вузлах мережі задається матрицею

$$\Delta = \|\delta_{rm}\|, \quad r = \overline{1, q}, m = \overline{1, t}, \quad (4.17)$$

де

$$\delta_{rm} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } r\text{-е сховище даних розміщено на } m\text{-му вузлі} \\ 0, & \text{якщо } r\text{-е сховище даних не розміщено на } m\text{-му вузлі} \end{cases}$$

Для елементів матриці повинні виконуватися такі умови:

1. Всі сховища даних системи повинні бути розміщені на вузлах мережі системи:

$$\sum_{r=1}^q \sum_{m=1}^t \delta_{rm} = q \quad (4.17)$$

2. Для будь-якого $r = \overline{1, q}$ справедлива нерівність:

$$\sum_{m=1}^t \delta_{rm} \geq 1 \quad (4.18)$$

тобто кожне сховище даних може бути розміщене більш ніж на одному вузлі мережі, що на практиці відповідає, наприклад, реплікації даних.

3. Для будь-якого $m = \overline{1, t}$ справедлива нерівність:

$$\sum_{r=1}^q \delta_{rm} \geq 0 \quad (4.19)$$

тобто на будь-якому вузлі може бути розміщено або декілька сховищ даних, або ні одного.

Вважаючи на вищенаведене, інформаційна структура інформаційно-телекомунікаційної мережі СКІ може бути задана набором таких параметрів:

- кількість працюючих користувачів – n ;
- кількість задіяних вузлів – t ;
- кількість системних додатків, що виконується – d ;
- кількість вирішуваних завдань – l ;
- кількість використовуваних сховищ даних – q .

Крім того, потрібно визначити:

- кортеж S (4.1), котрий описує завдання, у якому задаються рядки таких матриць зв'язку завдань:

P – із системними додатками (4.2);

D – із сховищами даних (4.3);

U – із користувачами (4.4);

W_k – встановлення послідовності виконання системних додатків конкретним завданням (4.5);

- множину описів об'ємів даних – A_{ki} (4.6), які потребують системні додатки при використанні їх конкретними завданнями, та складаються з рядків матриць обсягу об'ємів даних V_k (4.7) та B_k (4.8);

- матрицю розміщення системних додатків по вузлах – G (4.9);

- матрицю підключення користувачів до вузлів – H (4.13);

- матрицю розміщення баз даних по вузлам – S (4.17).

Цей набір однозначно визначає інформаційну структуру інфокомунікаційної мережі. В подальшому будемо позначати множину параметрів, що задає інформаційну структуру мережі, як SI .

Таким чином, маємо:

$$SI = \{n, t, d, l, q, S_k, A_{ki}, G, H, \Delta\}, \quad (4.20)$$

$$S_k = \{p_k, d_k, u_k, W_k\},$$

$$A_{km} = \{v_{km}, b_{km}\}.$$

Схематично основні елементи інформаційної структури та їх параметри зображено на рис. 4.2.

Зазначимо, що якщо порівнювати системні додатки і сховища даних, за умовами їх розміщення по вузлах мережі (правила формування матриць G і S), то, при проведенні теоретичних досліджень мережі, часто можна сховища даних розглядати як системні додатки. Такий підхід дозволяє значно спростити і зробити більш наглядним отримані результати.

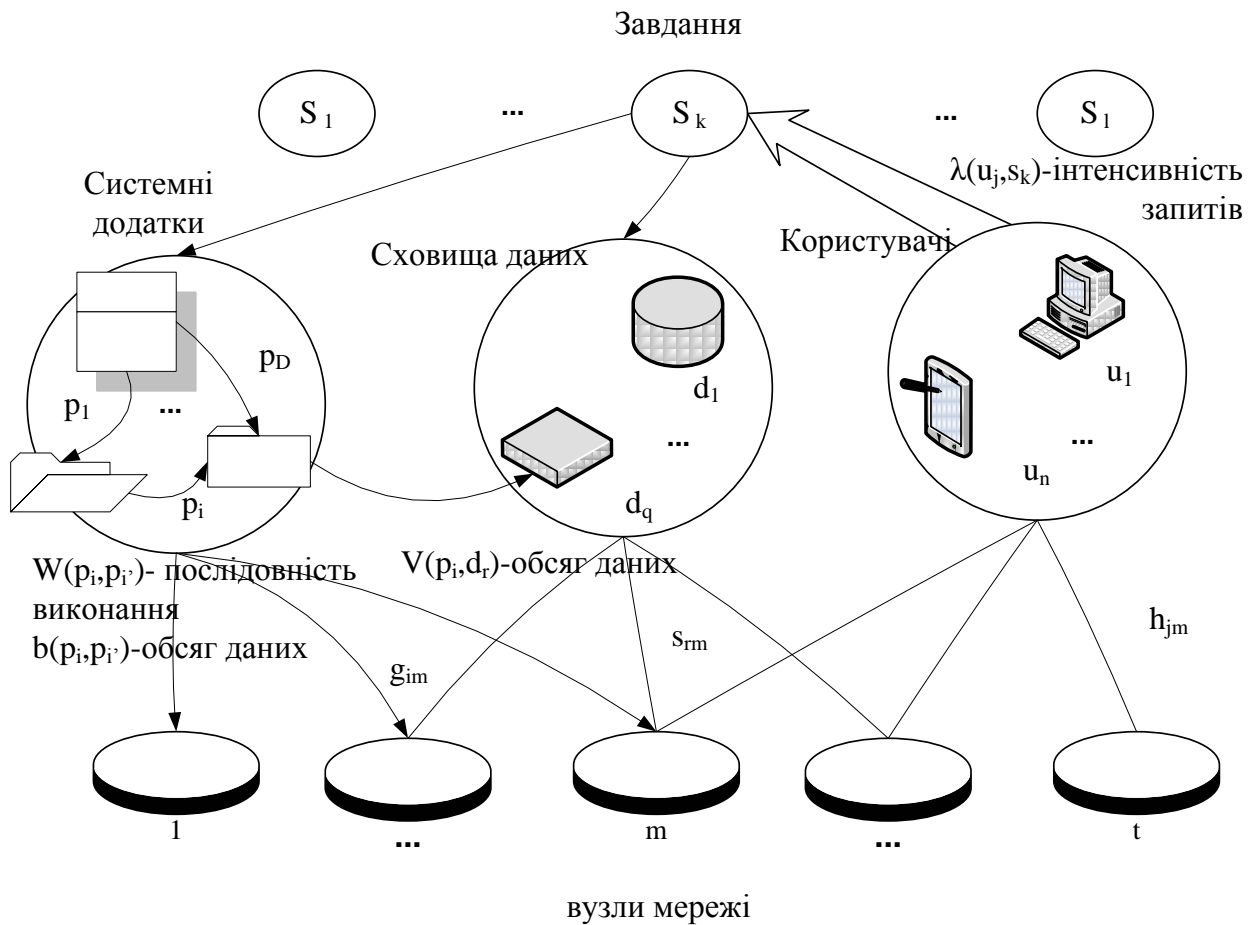


Рисунок 4.2 – Схематичне уявлення основних елементів та параметрів моделі інформаційної структури ІКМ

4.3 Метод визначення параметрів потоків даних інформаційної структури мережі

Використовуючи математичну модель інформаційної структури ІКМ (4.20), визначимо параметри потоків даних між її вузлами [104].

Визначимо матрицю інтенсивностей потоків запитів користувачів на виконання завдань

$$\Lambda = \|\lambda_{jk}\|, \quad k = \overline{1, l}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4.21)$$

де $\lambda_{jk} > 0$ – інтенсивність потоку запитів від користувача номер j на виконання завдання номер i .

Значимо, що повинні виконуватися умови:

$$\lambda_{jk} = 0 \text{ якщо } u_{jk} = 0, \lambda_{jk} > 0 \text{ якщо } u_{jk} = 1, k = \overline{1, l}, j = \overline{1, n}.$$

Значення елементів матриці Λ визначаються специфікою роботи користувачів СКІ, тому будемо вважати їх відомими.

Очевидно, що потоки запитів користувачів спочатку надходять на вузли мережі, до яких прикріплені користувачі. Закріплення користувачів за вузлами задається матрицею H (4.13).

Інтенсивність потоків запитів на виконання завдань визначає і інтенсивність виконання системних додатків, які використовуються для рішення задач. Сумарна інтенсивність потоків запитів на виконання задачі номер $(k - \lambda_k)$ обчислюється за формулою:

$$\lambda_k = \sum_{j=1}^n \lambda_{jk}, k = \overline{1, l}. \quad (4.22)$$

Введемо вектор-рядок інтенсивності виконання завдань в системі:
 $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_l).$

Використовуючи (4.22), можна визначити загальну інтенсивність потоків запитів:

$$\lambda = e_N \Lambda, \quad (4.23)$$

де e_N – одиничний вектор-рядок розмірності N .

Вектор-рядок γ визначимо як

$$\gamma = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_D).$$

Кожний його елемент визначає сумарну інтенсивність виконання системного додатку номер j всіма задачами, які вирішуються системою:

$$\gamma_i = \sum_{k=1}^l \lambda_k p_{ki}.$$

де p_{ki} – виконання системного додатку номер i при виконанні k -го завдання.

Тоді вектор-рядок γ визначає інтенсивність виконання системних додатків при функціонуванні СКІ:

$$\gamma = \lambda P. \quad (4.24)$$

Оскільки кожен СД, який використовується для вирішення завдання k , обмінюється даними з іншими системними додатками, а також кожен СД знаходиться на будь-якому вузлі мережі, то можна визначити сумарний обсяг даних, які передаються між вузлами мережі для вирішення завдання k .

Сумарний обсяг даних, що передається між вузлами мережі m і m' для вирішення завдання k позначимо $z_{kmm'}$. Ці елементи складають матрицю

$$Z_k = \|z_{kmm'}\|.$$

Тоді можна записати, що:

$$z_{kmm'} = \sum_{i=1}^d g_{im} p_{ki} \left(\sum_{i'=1}^d g_{im'} p_{ki'} b_{ki'} + \sum_{r=1}^q \delta_{rm'} d_{kr} v_{ki} \right), \quad (4.25)$$

$$(k = \overline{1, l}; m = \overline{1, t}; m' = \overline{1, t}),$$

де g_{im} – розміщення СД по вузлах мережі;

$b_{ki'}$ – обсяги даних, якими обмінюється СД i з СД номер i' ;

$\delta_{rm'}$ – розподіл даних сховища r по вузлах мережі;

d_{kr} – сховища даних, при виконанні k -го завдання;

v_{ki} – обсяг даних, якими обмінюється СД i із сховищами даних;

g_{mj} – розміщення системних додатків по вузлах мережі.

Тут перший доданок – обсяг даних, що передається між всіма системними додатками, котрі використовуються завданням k і встановлені на вузлах m та m' . Другий доданок – обсяг даних, що передається між всіма системними дода-

тками та сховищами даних, котрі використовуються завданням k і встановлені на вузлах m та m' .

Зазначимо, що у формулі (4.25) не враховуються потоки даних, які утворені запитами користувачів на виконання завдань і відповідями на запити (результати вирішення завдань). Однак, величину обсягу даних, переданих між користувачем j ($j = \overline{1, n}$) і всіма вузлами мережі можна обчислити як:

$$\mu_j = \sum_{i=1}^d \sum_{k=1}^l \sum_{m=1}^t u_{kj} p_{ki} g_{im} (w_k \varphi_{0jk} + \varphi_{1jk}), \quad (4.26)$$

де u_{kj} – виконання користувачем j k -го завдання;

w_k – послідовність виконання СД для k -го завдання;

φ_{0kj} – обсяг запиту на виконання завдання k від користувача j ;

φ_{1kj} – обсяг відповіді користувачеві j за результатами завдання k .

Перший доданок – це сумарний обсяг запитів на виконання завдань, що надходять від користувача номер j , а другий доданок – сумарний обсяг відповідей від вирішених завдань, що виконуються користувачем j .

Якщо використовувати матрицю розподілу користувачів по вузлах (H), то можна обчислити сумарний обсяг потоку даних, що надходять на вузли та переданих вузлами, за якими закріплені користувачі (v^*). Так для вузла з номером j маємо:

$$v_m^* = v_m^0 + v_m^1 = \sum_{j=1}^n \mu_j h_{mj}, \quad m = \overline{1, t}, \quad (4.27)$$

де h_{mj} – підключення користувача m до вузла j .

Перший доданок – сумарний обсяг даних, переданих користувачами, закріпленими за вузлом j :

$$v_m^0 = \sum_{j=1}^n h_{mj} \sum_{i=1}^d \sum_{k=1}^l u_{kj} p_{ki} g_{im} w_k \varphi_{0jk}. \quad (4.28)$$

Другий доданок – сумарний обсяг даних, одержуваних користувачами, закріпленими за вузлом j :

$$v_m^1 = \sum_{j=1}^n h_{mj} \sum_{i=1}^d \sum_{k=1}^l u_{kj} p_{ki} g_{im} w_k \varphi_{1jk} . \quad (4.29)$$

Далі можна обчислити сумарну величину обсягу даних, які поступають на вузли від користувачів (запити користувачів). Якщо π_m^0 – сумарний обсяг даних, які поступили на вузол j у вигляді запитів користувачів на виконання завдань, то маємо:

$$\pi_m^0 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^d h_{ij} \sum_{k=1}^l u_{kj} p_{ki} g_{im} w_k \varphi_{0jk} , \quad m = \overline{1, t} . \quad (4.30)$$

Таким чином, для обчислення інтенсивностей потоків даних по вузлах системи треба використовувати данні по обсяги даних, які формалізовано представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри обсягів даних, що передаються між елементами інформаційної структури ІКМ

Параметр	Вид зв'язку	Позначення
обсяг даних переданих користувачем	користувач - вузли	$\mu_j (j = \overline{1, n})$
обсяг запиту на виконання завдання	користувач - завдання	$\varphi_{0kj} , (k = \overline{1, l} , j = \overline{1, n})$
обсяг відповіді користувачеві	завдання - користувач	$\varphi_{1kj} , (k = \overline{1, l} , j = \overline{1, n})$
сумарний обсяг даних, переданих користувачами	користувач - вузол	$v_m^0 , (m = \overline{1, t})$
сумарний обсяг даних, одержуваних користувачами	вузол - користувач	$v_m^1 , (m = \overline{1, t})$
сумарний обсяг даних, які поступили на вузол при виконанні завдання	завдання - вузол	$\pi_m^0 , (m = \overline{1, t})$

Використовуючи (4.25), можна визначити інтенсивності потоків даних між вузлами мережі при вирішенні завдання k . Природно, що ці інтенсивності

визначаються інтенсивністю виконання задачі k до усіх користувачів мережі (системи). Також вважаємо, що кожен додаток, котрий використовується при вирішенні завдання, виконується один раз.

Матриця інтенсивності потоків даних між інформаційними вузлами мережі для вирішення завдання k розраховується як:

$$A_k = \|\alpha_{kmm'}\| = \|\lambda_k z_{kmm'}\| = \lambda_k Z_k, \quad k = \overline{1, l}; m = \overline{1, t}; m' = \overline{1, t}, \quad (4.31)$$

де $\alpha_{kmm'}$ – сумарна інтенсивність потоків даних між вузлами m та m' при вирішенні завдання k .

Сумарні інтенсивності потоків даних, що передаються між інформаційними вузлами мережі при вирішенні всіх завдань визначаються матрицею

$$A = \sum_{k=1}^l A_k, \quad A = \|\alpha_{mm'}\| \quad (4.32)$$

де $\alpha_{mm'}$ – сумарна інтенсивність потоків даних від вузла m до вузла m' :

$$\alpha_{mm'} = \sum_{k=1}^l \alpha_{kmm'} = \sum_{k=1}^l \lambda_k z_{kmm'}.$$

Формули (4.31) та (4.32) визначають загрузку каналів зв'язку та комунікаційного обладнання мережі.

Визначимо тепер навантаження на вузли мережі. Будемо виходити з того, що навантаження на вузол, на якому встановлений СД або структурний елемент сховища даних, визначається інтенсивністю потоку запитів до цих системних додатків. З формули (4.23) відомі інтенсивності виконання системних додатків, встановлених на вузлах мережі γ_i ($i = \overline{1, d}$). Використовуючи ці дані, а також дані про розподілення системних додатків по вузлах мережі (матриця G), обчислимо інтенсивність потоків запитів на виконання СД номер i , який встановлений на вузлі m :

$$\beta_{im} = \gamma_i g_{im}, \quad (i = \overline{1, d}; m = \overline{1, t}). \quad (4.33)$$

Матрична форма (4.33) виглядає як

$$B^* = \|\beta_{im}\| = \Gamma_{dg} G, \quad (i = \overline{1,d}; m = \overline{1,t}), \quad (4.34)$$

де $\Gamma_{dg} = \|\gamma_{im}^*\|$ – діагональна матриця, у якій $\gamma_{ii}^* = \gamma_i$, і $\gamma_{im}^* = 0$, при $i \neq m$.

Якщо $\beta_{im} = 0$, то це означає, що СД номер i не встановлений на вузлі номер m . Відзначимо також, що формула (4.33) дозволяє обчислити значення інтенсивності потоку запитів на виконання програми від всіх завдань.

Якщо потрібно обчислити інтенсивність потоку запитів на виконання системного додатку номер j на вузлі номер m тільки від завдання номер k , то можна скористатися формулою:

$$\beta_{kim} = \lambda_k g_{im} p_{ki}, \quad k = \overline{1,l}; i = \overline{1,d}; m = \overline{1,t}; \quad (4.35)$$

звідки випливає, що

$$\beta_{im} = \sum_{k=1}^l \beta_{kim}. \quad (4.36)$$

Якщо на вузлі i встановлено сховище даних, тоді можна визначити інтенсивність потоків запитів від системних додатків до сховища номер r при вирішенні завдання номер k :

$$\phi_{krm} = \lambda_k \delta_{rm} d_{kr}, \quad k = \overline{1,l}, r = \overline{1,q}; m = \overline{1,t}, \quad (4.37)$$

де δ_{rm} – визначає, що на вузлі r встановлено сховище даних з номером m .

Можна отримати вираз для обчислення сумарної інтенсивності потоків запитів к сховищу даних номер r , котре встановлено на вузлі m при вирішенні всіх завдань:

$$\phi_{rm} = \sum_{k=1}^l \lambda_k \delta_{rm} d_{kr} = \sum_{k=1}^l \phi_{krm}, \quad r = \overline{1,q}, m = \overline{1,t}. \quad (4.38)$$

Якщо на вузлі m не встановлено сховище даних з номером r , то $\phi_{rm} = 0$.

В матричній формі:

$$\Phi = \|\phi_{rm}\|, r = \overline{1, q}, m = \overline{1, t}.$$

Якщо на одному вузлі встановлено декілька системних додатків або декілька сховищ даних, то сумарна інтенсивність потоків запитів на виконання СД, котрі встановлені на вузлі m , обчислюється за формулою:

$$\beta_m = \sum_{i=1}^d \beta_{im}, \quad (4.39)$$

а сумарна інтенсивність потоків запитів до сховищ даних, встановлених на вузлі m , обчислюється за формулою:

$$\phi_m = \sum_{r=1}^q \phi_{rm}. \quad (4.40)$$

В таблиці 4.2 приведені інтенсивності потоків даних, що обчислюються за приведеними вище формулами.

Таблиця 4.2 – Інтенсивності потоків даних, що обчислюються

Параметр	Вид зв'язку	Позначення
Інтенсивності потоків запитів на виконання завдань	користувач - завдання	$\Lambda = \ \lambda_{jk}\ , (k = \overline{1, l}; j = \overline{1, n}),$
Інтенсивності потоків даних для вирішення завдання	вузол мережі - вузол мережі	$A_k = \ \alpha_{kmm'}\ , (k = \overline{1, l}, m = \overline{1, t}, m' = \overline{1, t}),$
Інтенсивність потоку запитів на виконання додатків	вузол мережі - системний додаток	$B = \ \beta_{im}\ , (i = \overline{1, d}; m = \overline{1, t}),$
Інтенсивність потоків запитів на отримання даних	системний додаток - сховище даних	$\Phi = \ \phi_{rm}\ , (r = \overline{1, q}, m = \overline{1, t}).$

Таким чином, визначено $PSI(SI)$ – множину параметрів потоків даних для фіксованої інформаційної структури мережі:

$$PSI(SI) = \{\Lambda, Z_k, A_k, A, B^*, \Phi\}. \quad (4.41)$$

Метод визначення параметрів потоків даних при фіксованій інформаційній структурі мережі представлений на рис. 4.3.

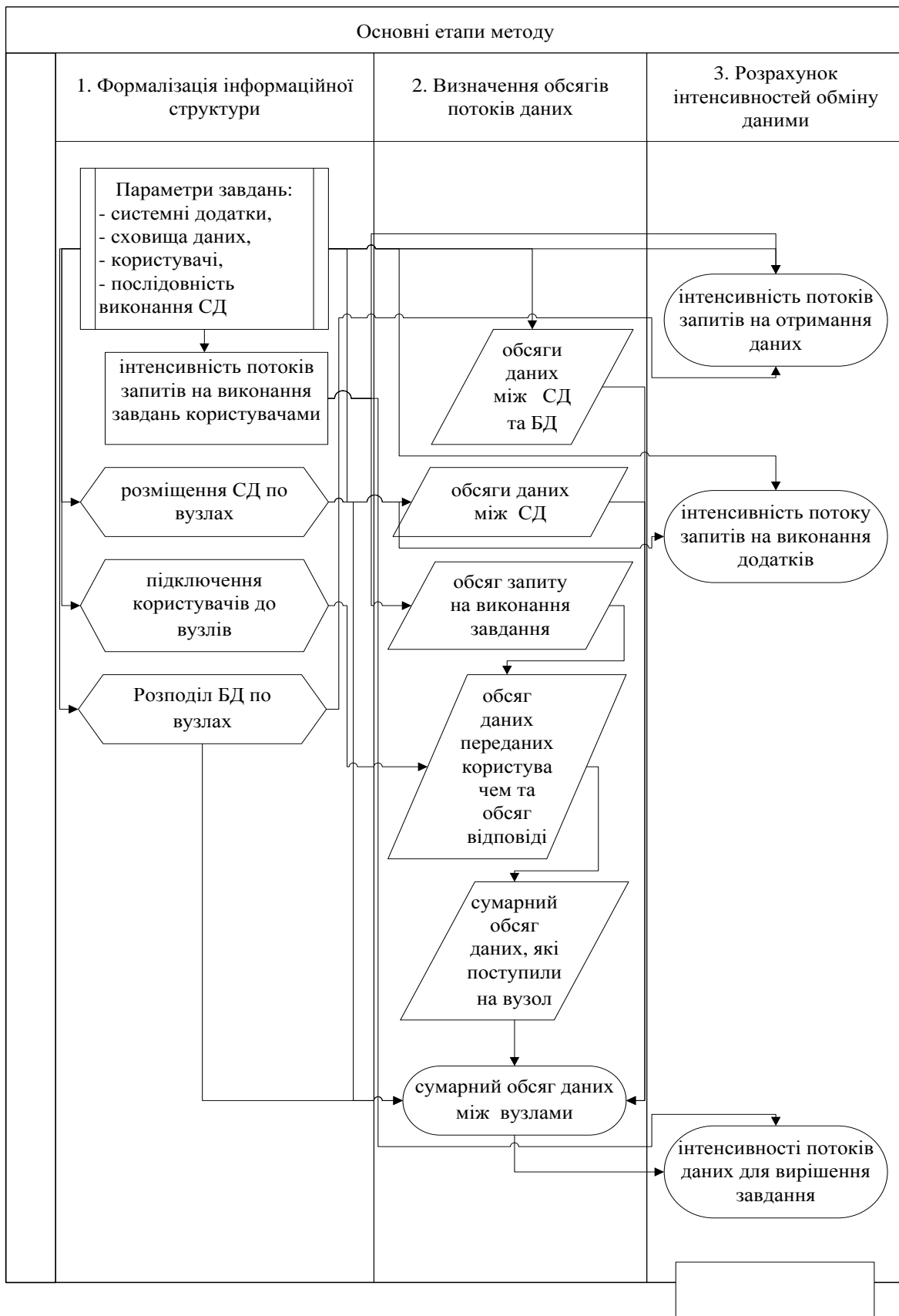


Рисунок 4.3 – Схема методу визначення параметрів потоків даних інформаційної структури мережі

4.4 Математична модель стратифікованої інформаційної структури мережі

Для синтезу стратифікованої інформаційної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі СКІ розглянемо моделі, що дозволяють визначити параметри потоків даних між вузлами різних рівнів (страт) багаторівневої інформаційної структури, відповідної найбільш поширеним технологіям побудови мереж (наприклад, VLAN і VPN) [20, 105]. Це надалі дасть можливість визначити завантаження каналів зв'язку і мережевого устаткування.

Така структура відповідає структурі мережі складної ієрархічної системи, де підмережі створюються для обслуговування окремих підрозділів, а корпоративні сервери – для доступу до системних ресурсів.

Розглянемо мережу із стратифікованою інформаційною структурою (стратифікація для простоти – до 3-х рівнів, що не суперечить існуючим технологіям), яка складається з ряду підмереж.

У кожен підмережу входить своя група інформаційних вузлів мережі (група вузлів першого рівня), тобто формується підмережа першого рівня. У свою чергу групи першого рівня можуть об'єднуватися в групи другого рівня, а останні – в групи третього рівня.

Отже, хай всі вузли мережі розбиті на k_1 груп (номер групи $n = \overline{1, k_1}$).

Кожна група номер n задається вектор-стовпцем

$$(c_{1n})^T = (c_{1n1}, \dots, c_{1ni}, \dots, c_{1nt}), \quad (4.42)$$

де

$$c_{1ni} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й вузол входить до складу } n\text{-ї групи} \\ 0, & \text{якщо } i\text{-й вузол не входить до складу } n\text{-ї групи} \end{cases}.$$

Для елементів векторів c_{1n} виконуються умови:

1. В кожну групу входить як мінімум один вузол, тобто для будь-якого $n = \overline{1, k_1}$ справедлива нерівність

$$\sum_{i=1}^t c_{1ni} \geq 1.$$

2. Один вузол може входити до складу тільки однієї групи, тобто для будь-якого $i \in \overline{1, t}$ справедливе рівняння

$$\sum_{n=1}^{k_1} c_{1ni} = 1.$$

Вузли, які обмінюються даними з вузлами інших груп (або всіх груп) будемо називати відкритими вузлами, а ресурси, розміщені на таких вузлах, – відкритими ресурсами.

З вектор-стовбців c_{1n} можна скласти матрицю, яка задає розбиття вузлів мережі на групи

$$C_1 = \|c_{1n}\|.$$

Користуючись матрицею C_1 і матрицею A , визначеною раніше (4.32), можна обчислити інтенсивності потоків даних між групами. Для цього обчислимо:

$$A_1(C_1) = \|a_{1ij}\| = C_1 A (C_1)^T, \quad (4.43)$$

де a_{1ij} – сумарна інтенсивність потоків даних між групою вузлів номер i і групою вузлів номер j інформаційної структури мережі:

$$a_{1ij} = \sum_{k=1}^t c_{1jk} \sum_{r=1}^t c_{1ir} a_{rk}.$$

При цьому a_{1ii} – сумарна інтенсивність потоків даних між вузлами в групі номер i .

Для матриці, побудованої по формулі (4.43), справедлива лема, по якій перетворення матриці A , що задається даною формулою, зберігає сумарну інтенсивність потоків даних, тобто сума інтенсивностей потоків даних залишається незмінною при об'єднанні вузлів в групи: сума інтенсивностей потоків даних між вузлами усередині груп і між групами дорівнює сумі інтенсивностей потоків даних між всіма вузлами, сформульована нижче.

Лема.1. Якщо для елементів матриці C_1 виконуються умови:

$$\sum_{n=1}^{k_1} c_{1ni} = 1 \quad \forall i = \overline{1, t}, \quad (4.44)$$

то для елементів матриць A і $A_1(C_1)$, зв'язаних співвідношенням (4.43), справедлива рівність

$$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t a_{ij} = \sum_{m=1}^{k_1} \sum_{n=1}^{k_1} a_{1mn}. \quad (4.45)$$

Це лема про збереження потоків даних при формуванні стратифікованої інформаційної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі.

Формулу (4.43) можна використовувати для обчислення інтенсивностей потоків даних одного завдання між групами. Так для завдання номер k отримаємо

$$A_{1k}(C_1) = \|a_{1kij}\| = C_1 A_k(C_1)^T, \quad (4.46)$$

де a_{1ij} – сумарна інтенсивність потоків даних завдання номер k між групою вузлів номер r і групою вузлів номер j інформаційної структури мережі

$$a_{1kij} = \sum_{m=1}^t c_{1jm} \sum_{r=1}^t c_{1ir} a_{krm}.$$

При цьому a_{1kij} – сумарна інтенсивність потоків даних завдання номер k між вузлами в групі номер i .

З леми 3.1. витікає, що і для кожного завдання справедливо правило збереження потоків даних.

Слідство 1. Для будь-якої матриці C_1 при заданих матрицях A і $A_1(C_1)$, виконується рівність:

$$A_1(C_1) = \sum_{k=1}^l A_{1k}(C_1). \quad (4.47)$$

Отримані результати дають можливість оцінити потоки даних і, відповідно, завантаження структуроутворюючого устаткування інформаційно-телекомунікаційної мережі на першому рівні (рівні доступу) в цілому і потоками кожного завдання.

Оскільки ІКМ розглядається як стратифікована структура, то групи, утворені з вузлів мережі (групи першого рівня – рівня доступу) також об'єднуються в групи з раніше означених груп першого рівня (групи другого рівня). Число груп другого рівня позначимо k_2 . Кожна група номер n другого рівня задається вектор-стовбцем

$$(c_{2n})^T = (c_{2n1}, \dots, c_{1ni}, \dots, c_{2nk_1}), \quad (4.48)$$

де

$$c_{2ni} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i\text{-й вузол входить до складу } n\text{-ї групи} \\ 0, & \text{якщо } i\text{-й вузол не входить до складу } n\text{-ї групи} \end{cases}.$$

Для елементів векторів c_{2n} виконуються умови:

1. В кожену групу другого рівня входить як мінімум одна група першого рівня, тобто для будь-якого $n \in \overline{1, k_2}$ справедлива нерівність

$$\sum_{i=1}^{k_1} c_{2ni} \geq 1.$$

2. Одна група першого рівня може входити до складу тільки однієї групи другого рівня, тобто для будь-якого $i \in \overline{1, k_1}$ справедливе рівняння

$$\sum_{n=1}^{k_2} c_{1ni} = 1.$$

З вектор-стовбців \mathbf{c}_{2n} можна скласти матрицю, яка задає розбиття груп першого рівня на групи другого рівня для ІКМ:

$$\mathbf{C}_2 = \|\mathbf{c}_{2n}\|, n = \overline{1, k_2}.$$

Тепер, користуючись матрицями \mathbf{C}_2 і \mathbf{A}_1 , можна обчислити інтенсивності потоків даних між групами другого рівня:

$$\mathbf{A}_2(\mathbf{C}_2) = \|a_{2ij}\| = \mathbf{C}_2(\mathbf{A}_1(\mathbf{C}_1) - \text{diag}(\mathbf{A}_1(\mathbf{C}_1)))(\mathbf{C}_2)^T, \quad (4.49)$$

де a_{2ij} – сумарна інтенсивність потоків даних між i -ю та j -ю групами другого рівня мережі:

$$a_{2ij} = \sum_{k=1}^{k_1} c_{2jk} \sum_{r=1}^{k_1} c_{2ir} a_{1rk}.$$

При цьому a_{2ii} – сумарна інтенсивність потоків даних між групами вузлів першого рівня що входять до i -ї групи другого рівня.

З леми 3.1 слідує формула збереження потоків для другого рівня:

$$\sum_{i=1}^{k_2} \sum_{j=1}^{k_2} a_{2ij} = \sum_{m=1}^{k_1} \sum_{n=1}^{k_1} a_{1mn}. \quad (4.50)$$

Формулу (4.49) можна використовувати для обчислення інтенсивностей потоків даних одного завдання між групами другого рівня. Так для завдання номер k отримаємо:

$$\mathbf{A}_{2k}(\mathbf{C}_2) = \|a_{2kij}\| = \mathbf{C}_2(\mathbf{A}_{1k}(\mathbf{C}_1) - \text{diag}(\mathbf{A}_{1k}(\mathbf{C}_1)))(\mathbf{C}_2)^T, \quad (4.51)$$

де a_{2kij} – це сумарна інтенсивність потоків даних k -го завдання між i -ю та j -ю групами другого рівня інформаційної структури ІКМ:

$$a_{2kij} = \sum_{m=1}^{k_1} c_{2jm} \sum_{r=1}^{k_1} c_{2ir} a_{1krm}.$$

На рисунку 4.4 представлено узагальнену трирівневу схему інтеграції вузлів в ІКМ. Вказано інтенсивності обміну даними між групами вузлів та підмережами.

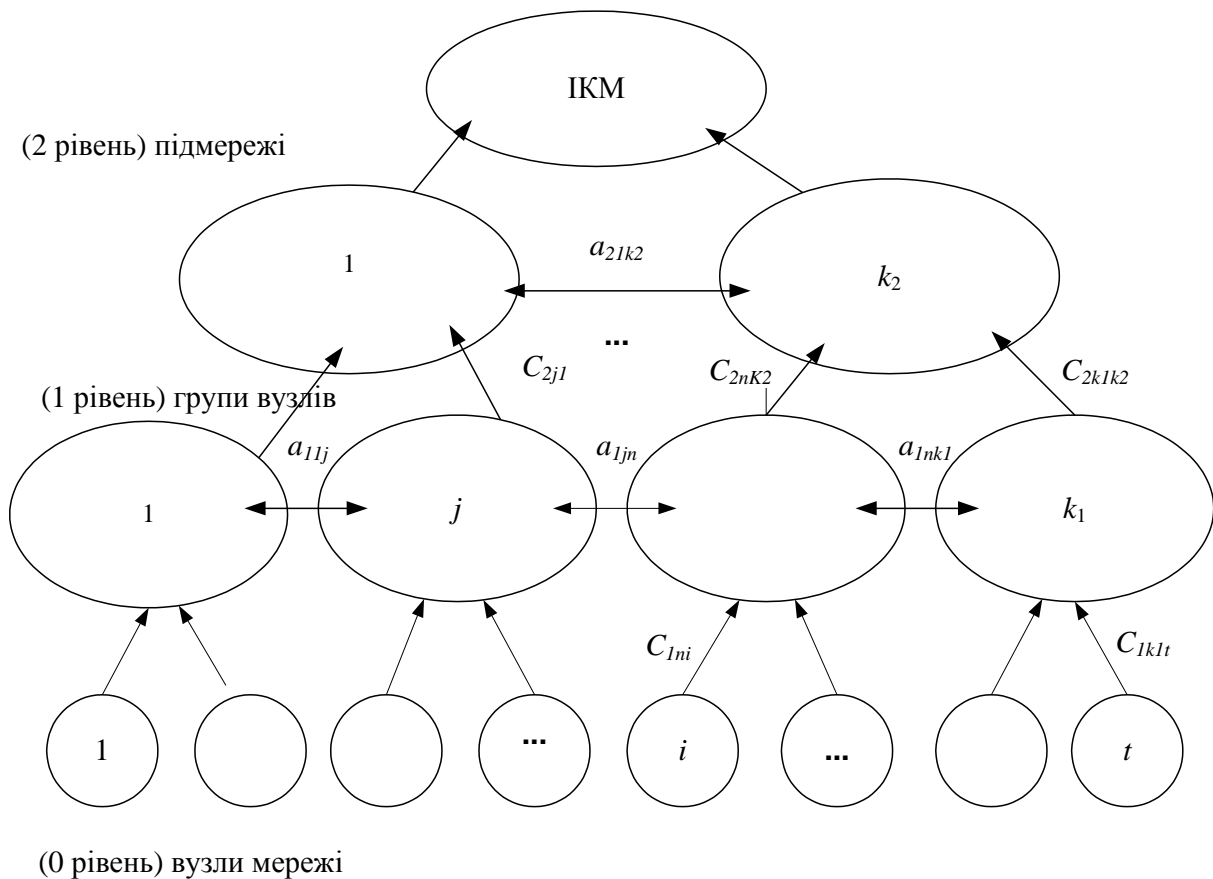


Рисунок 4.4 – Узагальнена схема стратифікованої інформаційної структури ІКМ

Оскільки інтенсивність потоків даних між вузлами складається з інтенсивностей потоків даних, що утворюються завданнями, які використовують додатки, встановлені на вузлах, то за відсутності поглинання потоків на вузлах

мережі зберігається сумарна інтенсивність потоків даних від різних завдань в мережі, незалежно від розбиття на підмережі.

Отриманий результат дає можливість оцінити завантаження структуроутворюючого устаткування ІКМ на другому рівні (рівні розподілу) [106, 107]. Представляють практичний інтерес такі характеристики, як сумарні інтенсивності потоків даних на кожному рівні ієрархічної структури.

Сумарна інтенсивність потоків даних в мережі вузлів першого рівня (A_{10}^*) підсумовує інтенсивності потоків даних між всіма вузлами мережі:

$$A_{10}^* = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^t a_{ij}. \quad (4.52)$$

Сумарна інтенсивність потоків даних усередині груп першого рівня обчислюється за формулою:

$$A_1^*(\mathbf{A}_1(\mathbf{C}_1)) = \sum_{i=1}^{k_1} a_{1ii}. \quad (4.53)$$

Тут $\mathbf{A}_1(\mathbf{C}_1)$ – сумарна інтенсивність потоків даних, які передаються тільки усередині груп першого рівня.

Потоки даних між групами першого рівня передаються на другому рівні, при цьому частина потоків передається усередині груп другого рівня.

Сумарна інтенсивність потоків даних на другому рівні (сумарна інтенсивність потоків даних між групами першого рівня) обчислюється за формулою:

$$A_{20}^*(\mathbf{A}_1(\mathbf{C}_1)) = \sum_{i=1}^{k_1} \sum_{j=1}^{k_1} a_{1ij} - \sum_{i=1}^{k_1} a_{1ii}. \quad (4.53)$$

Відзначимо, що в матриці \mathbf{A} всі діагональні елементи нульові, оскільки немає обміну даними усередині вузлів мережі (комп'ютерів, серверів), тому і при розрахунку потоків на другому рівні не враховуються потоки усередині

груп першого рівня. Вони аналогічні вузлам корпоративної мережі на першому рівні.

Сумарна інтенсивність потоків даних усередині груп другого рівня:

$$A_2^*(\mathbf{A}_2(\mathbf{C}_2)) = \sum_{i=1}^{k_1} a_{2ii} \cdot \quad (4.54)$$

Ефективність структури мережі визначається сумарною інтенсивністю потоків між групами. При цьому, чим менше ця інтенсивність, тим більше потоків зосереджено усередині груп і, отже, менше витрат на організацію міжгрупового обміну, яка може бути значно складніше за організацію обміну даними усередині групи.

Як міру ефективності структури введемо коефіцієнти поглинання інтенсивностей потоків даних на кожному рівні. Коефіцієнт поглинання на кожному рівні відображає частину сумарної інтенсивності потоків, яка локалізується усередині рівня (або усередині груп рівня). При збільшенні значення коефіцієнта поглинання, зменшується сумарна інтенсивність потоків між групами, тобто групи стають менш залежними одна від одної.

Коефіцієнт поглинання для першого рівня:

$$\sigma_1(\mathbf{C}_1) = \frac{A_1^*(\mathbf{A}_1(\mathbf{C}_1))}{A_{10}^*(\mathbf{A}_1(\mathbf{C}_1))}, \quad 0 < \sigma_1 < 1. \quad (4.55)$$

Коефіцієнт поглинання для другого рівня:

$$\sigma_2(\mathbf{C}_2) = \frac{A_2^*(\mathbf{A}_2(\mathbf{C}_2))}{A_{20}^*(\mathbf{A}_2(\mathbf{C}_2))}, \quad 0 < \sigma_2 < 1 \quad (4.56)$$

Запропоновані коефіцієнти визначають якість формування структури мережі, оскільки, чим більше значення коефіцієнта поглинання рівня, тим менше витрат на передачу даних на більш високому рівні. Дані коефіцієнти можуть бути використані при вирішенні завдань синтезу інформаційної структури.

Таким чином, отримано математичні вирази для визначення параметрів потоків даних, які представлено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Параметри потоків даних трирівневої стратифікованої структури ІКМ

<i>Параметри</i>	<i>Рівень структури</i>	<i>Позначення</i>
Сумарна інтенсивність потоків даних	перший (групи вузлів)	A_{10}^*
	другий (підмережі)	$A_{20}^*(A_1(C_1))$
Сумарна інтенсивність потоків даних усередині підмережі	перший	$A_1^*(A_1(C_1))$
	другий	$A_2^*(A_2(C_2))$
Коефіцієнт поглинання	перший	$\sigma_1(C_1)$
	другий	$\sigma_2(C_2)$

4.5 Математична модель технічної структури мережі

Технічна структура мережі відображає конкретну реалізацію інформаційної структури. Структура мережі формується із застосуванням структуроутворюючого устаткування (комутатори, маршрутизатори), до якого підключаються вузли мережі. Структуроутворююче устаткування з'єднується каналами зв'язку між собою, утворюючи повнозв'язну мережу [108]. При синтезі реальної мережі розглядатимемо дворівневу структуру.

Технічна структура мережі формується на основі інформаційної структури і при цьому число вузлів в обох структурах співпадає [109]. Групи в технічній структурі по складу і числу співпадають з групами в інформаційній структурі. Проте з'єднання груп і вузлів в інформаційній структурі не розглядається, а технічна структура передбачає саме створення таких з'єднань у вигляді каналів зв'язку.

Позначимо:

k_1^* – кількість комутаторів, використовуваних для з'єднання вузлів технічної структури ІТ мережі при створенні груп першого рівня (комутатори першого рівня), визначається особливостями реальної мережі, технічними можливостями комутаторів

$$k_1^* \geq k_1 ;$$

k_2^* – кількість комутаторів, що використовуються для з'єднання комутаторів першого рівня і створення груп другого рівня

$$k_2^* \geq k_2 ;$$

k_3^* – кількість комутаторів третього рівня (зазвичай – інтелектуальних) для з'єднання комутаторів другого рівня, $k_3 > 0$, якщо всі комутатори другого рівня зв'язані між собою тільки каналами зв'язку $k_3^* = 0$.

Введемо булеві матриці з'єднань, елементи яких набувають ненульового значення тоді і тільки тоді, коли між елементами існує фізичне з'єднання.

Матриця з'єднань технічних вузлів мережі (робочі станції, сервери) з комутаторами першого рівня, тобто ця матриця задає розподіл вузлів мережі:

$$\mathbf{Y}_1^* = \left\| y_{1ij}^* \right\|, i = \overline{1, t}, j = \overline{1, k_1^*} .$$

Матриця з'єднань комутаторів першого рівня з комутаторами другого рівня:

$$\mathbf{Y}_2^* = \left\| y_{2ij}^* \right\|, i = \overline{1, k_1^*}, j = \overline{1, k_2^*} .$$

Матриця з'єднань комутаторів другого рівня з комутаторами третього рівня:

$$\mathbf{Y}_3^* = \left\| y_{3ij}^* \right\|, i = \overline{1, k_2^*}, j = \overline{1, k_3^*} .$$

Для елементів цих матриць повинні виконуватися такі умови:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^{k_1^*} y_{1ij} &= 1; i \in \overline{1, t}; \\ \sum_{j=1}^{k_2^*} y_{2ij} &= 1, i \in \overline{1, k_1^*}; \\ \sum_{j=1}^{k_3^*} y_{3ij} &= 1; i \in \overline{1, k_2^*}. \end{aligned} \quad (4.57)$$

Оскільки можливе з'єднання комутаторів між собою усередині одного рівня без використання комутаторів більш високого рівня, наприклад, транковими каналами, то ці з'єднання необхідно задавати. Для цього введемо додатково такі булеві матриці:

$$\mathbf{X}_u^* = \left\| x_{uij}^* \right\|, i = \overline{1, k_u^*}, j = \overline{1, k_u^*}, u = \overline{1, 3}. \quad (4.58)$$

Елементи цих матриць набувають ненульового значення тоді, коли між комутаторами одного рівня існує фізичне з'єднання, дані матриці – квадратні і симетричні.

Таким чином, формалізована узагальнена технічна структура ІКМ представлена на рис. 4.5.

Необхідно відзначити, що всі вузли (комутатори) нижнього рівня приєднуються тільки до комутаторів наступного рівня. Проте можливий випадок, коли з'єднання проводиться з комутаторами вищих рівнів. При цьому можна застосовувати розроблені методи аналізу, вводячи додаткові матриці з'єднань або додаткові вузли на кожному рівні. Цей випадок тут не розглядається.

Для з'єднань комутаторів з робочими станціями мережі та між собою використовуються канали зв'язку. При розрахунках параметрів потоків даних, що передаються по каналах зв'язку, необхідно знати пропускну спроможність каналів. Ці дані є параметрами технічної структури ІКМ [110].

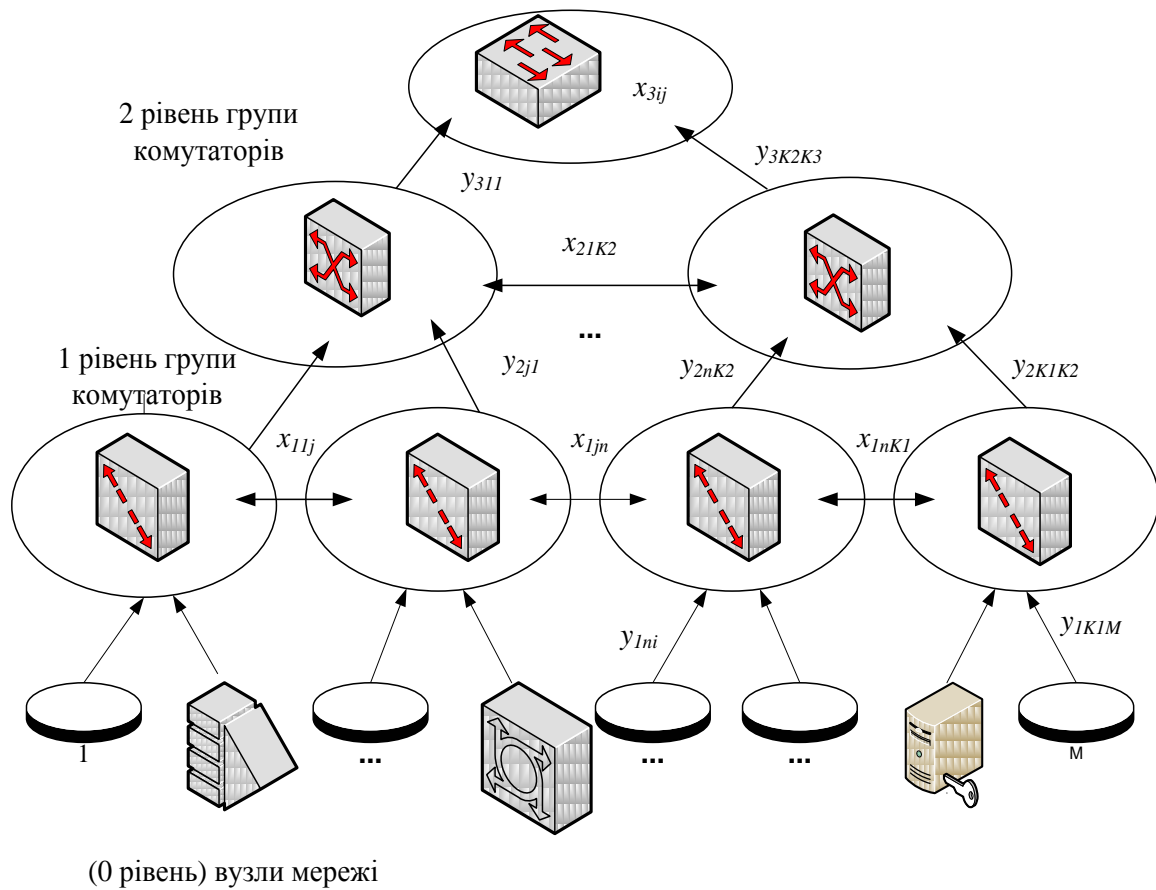


Рисунок 4.5 – Узагальнена схема стратифікованої технічної структури ІКМ

Оскільки для кожного рівня задані матриці з'єднань, то їх будемо використовувати для завдання пропускних спроможностей каналів зв'язку, що здійснюють з'єднання. Отже, введемо в розгляд матриці пропускних спроможностей фізичних з'єднань:

$$C_u^*(Y_u^*) = \|c_{uij}^*(y_{uij}^*)\|, i = \overline{1, k_u^* - 1}, j = \overline{1, k_u^*}, u = \overline{1, 3}, k_0^* = t; \quad (4.59)$$

$$C_u^*(X_u^*) = \|c_{uij}^*(x_{uij}^*)\|, i = \overline{1, k_u^*}, j = \overline{1, k_u^*}, u = \overline{1, 3}. \quad (4.60)$$

Таким чином, технічна структура мережі задається множиною:

$$ST = \left\{ \left\{ K_u^* \right\}, \left\{ Y_u^* \right\}, \left\{ X_u^* \right\}, \left\{ C_u^*(Y_u^*) \right\}, \left\{ C_u^*(X_u^*) \right\}, u = \overline{1, 3} \right\}. \quad (4.61)$$

Синтез технічної структури мережі припускає визначення інтенсивності потоків даних, що поступають на комутатори (навантаження комутаторів).

Матриці інтенсивностей інформаційних потоків між комутаторами першого рівня і усередині груп технічних вузлів, підключених до комутаторів u -го рівня, обчислюються таким чином:

$$\mathbf{A}_u^* (\mathbf{Y}_u^*) = \|a_{uij}^*\| = (\mathbf{Y}_u^*)^T \left(\mathbf{A}_{u-1}^* \mathbf{Y}_{u-1}^* - \text{diag} \left(\mathbf{A}_{u-1}^* \mathbf{Y}_{u-1}^* \right) \right) \mathbf{Y}_u^*; \quad (4.62)$$

$$i, j = \overline{1, k_u^*}, \quad u = \overline{1, 3}, \quad \mathbf{A}_0^* = \mathbf{A}, \quad \mathbf{Y}_0^* = \mathbf{E}.$$

Оскільки вузли технічної структури відповідають вузлам інформаційної структури ІКМ по потоках, то для завдання інтенсивностей інформаційних потоків між технічними вузлами можна використовувати матрицю \mathbf{A} , обчислену для вузлів.

Для завдання номер k визначимо матрицю інтенсивностей потоків даних між комутаторами на рівні u :

$$\mathbf{A}_{uk}^* (\mathbf{Y}_u^*) = \|a_{ukij}^*\| = (\mathbf{Y}_u^*)^T \left(\mathbf{A}_{(u-1),k}^* \mathbf{Y}_{u-1}^* - \text{diag} \left(\mathbf{A}_{(u-1),k}^* \mathbf{Y}_{u-1}^* \right) \right) \mathbf{Y}_u^*; \quad (4.63)$$

$$i, j = \overline{1, k_u^*}, \quad u = \overline{1, 3}, \quad k = \overline{1, l}, \quad \mathbf{A}_{0,k}^* = \mathbf{A}, \quad \mathbf{Y}_0^* = \mathbf{E}.$$

При цьому виконується рівняння

$$\sum_{k=1}^l \mathbf{A}_{uk}^* (\mathbf{Y}_u^*) = \mathbf{A}_u^* (\mathbf{Y}_u^*), \quad u = \overline{1, 3}, \quad . \quad (4.64)$$

Сумарні інтенсивності інформаційних потоків, що поступають на комутатори u -го рівня позначимо як елементи вектора

$$\lambda_u^* = \left(\lambda_{u1}^*, \dots, \lambda_{uk_u^*}^* \right), \quad u = \overline{1, 3} \quad . \quad (4.65)$$

Їх значення розраховуються як

$$\lambda_{ui}^* = \sum_{j=1}^{k_1^*} \left(a_{uij}^* + a_{uji}^* \right) - a_{1ii}^*, \quad i = \overline{1, k_1^*}, \quad u = \overline{1, 3}. \quad (4.66)$$

Тут враховуються і потоки даних між вузлами, підключеними до комутатора.

Відповідно для конкретного завдання k маємо вектор сумарних інтенсивностей потоків даних цього завдання, що поступають на комутатори u -го рівня

$$\lambda_{uk}^* = \left(\lambda_{uk1}^*, \dots, \lambda_{ukk_u}^* \right),$$

$$\lambda_{uki}^* = \sum_{j=1}^{k_1^*} \left(a_{ukij}^* + a_{ukji}^* \right) - a_{ukii}^*, \quad (4.67)$$

$$i = \overline{1, k_1^*}, \quad k = \overline{1, l}, \quad u = \overline{1, 3}.$$

Отримані формули (4.62) – (4.67) дозволяють обчислити величину навантаження на комутатори, при заданій технічній структурі мережі. Проте якість роботи мережі визначається і навантаженням на канали зв'язку. Для визначення навантаження на канали зв'язку (інтенсивності потоків даних, що передаються по каналах зв'язку) матимемо на увазі, що в мережі можна виділити декілька типів каналів [111]:

- 1 – канали, що зв'язують технічні вузли мережі з комутаторами;
- 2 – канали, що зв'язують комутатори нижнього рівня з комутаторами верхнього рівня;
- 3 – канали, що зв'язують комутатори одного рівня.

Для обчислення навантаження на канали зв'язку першого типу відзначимо, що по цих каналах передаються потоки даних, що йдуть або від конкретного (даного) вузла до комутатора, або від комутатора до цього вузла. Інтенсивність першого з цих потоків дорівнює сумі всіх потоків від даного вузла до всіх інших вузлів мережі, а другого – сумі інтенсивностей потоків від вузлів мережі, що поступають на даний вузол. Оскільки в даному випадку кожен канал підключений до конкретного технічного вузла, то вважатимемо, що номер каналу першого типу співпадає з номером підключеного до нього технічного вузла. Позначимо сумарну інтенсивність всіх потоків даних, що передаються по каналу першого типу номер i як γ_{1i}^* . Число каналів першого типу дорівнює числу технічних вузлів мережі, тобто $i = \overline{1, t}$.

З урахуванням того, що технічний вузол відповідає вузлу в інформаційній структурі, можна використовувати значення інтенсивностей потоків даних між вузлами інформаційної структури, тобто елементи матриці \mathbf{A} , для розрахунку сумарної інтенсивності потоків даних по каналу першого типу:

$$\gamma_{1i}^* = \sum_{j=1, j \neq i}^t (a_{ij} + a_{ji}), \quad i = \overline{1, t}. \quad (4.68)$$

Інтенсивність потоків даних завдання номер k , що передаються по каналу зв'язку першого типу номер i , обчислюється за формулою:

$$\gamma_{1ki}^* = \sum_{j=1, j \neq i}^t (a_{kij} + a_{kji}), \quad i = \overline{1, t}. \quad (4.69)$$

Отже, можна скласти вектор сумарного навантаження на канали зв'язку, першого типу від завдання номер k :

$$\mathbf{\gamma}_{1k}^* = (\gamma_{1k1}^*, \gamma_{1k2}^*, \dots, \gamma_{1kt}^*), \quad k = \overline{1, l}. \quad (4.70)$$

Формули (4.68) – (4.70) справедливі за умови, що інформаційні вузли і технічні вузли пронумеровані однаково.

Для каналів другого типу вважатимемо, що номер каналу визначається номером комутатора нижнього рівня, приєднаного до каналу.

Нарешті, канали третього типу ідентифікуються парою номерів комутаторів, які підключені до цих каналів.

Відзначимо, що навантаження на канали другого і третього типів визначається структурою мережі зв'язку, оскільки по таких каналах можуть передаватися і транзитні сполучення. Тому для обчислення навантаження можна використовувати відомі алгоритми розрахунку потоків даних на графах [112], які представляють зв'язки між комутаторами. Графи задаються матрицями $\mathbf{Y}_u^*, \mathbf{X}_u^*$, визначеними вище (вершини графа – комутатори, ребра – канали зв'язку між комутаторами). При цьому матриці повинні бути складені так, щоб

мережа була зв'язною, тобто була можлива передача даних між будь-якими двома робочими станціями мережі. Крім того, матриці повинні бути складені так, щоб не було петель в графі з'єднань комутаторів. Перевірка відсутності петель і зв'язності здійснюється відомими алгоритмами, широко представленими в літературі по теорії графів [113]. Необхідно відзначити також, що завантаження каналів зв'язку і мережевого устаткування повинне враховувати властивості алгоритмів маршрутизації [114].

Позначимо булеву матрицю графа зв'язків між комутаторами як

$$\Omega = \|\omega_{ij}\|; i, j \in \overline{1, k(\xi)}; k(\xi) = \sum_{u=1}^{\xi} K_u^*,$$

де U – кількість рівнів.

Елементи ω_{ij} набувають ненульових значень, якщо між відповідними комутаторами є канал зв'язку. Відмітимо, що матриця Ω симетрична і може бути отримана з матриць $\mathbf{Y}_u^*, \mathbf{X}_u^*$ (при $\xi = 3$):

$$\Omega = \begin{pmatrix} \mathbf{X}_1^* & \mathbf{Y}_2^* & \mathbf{0} \\ (\mathbf{Y}_2^*)^T & \mathbf{X}_2^* & \mathbf{Y}_3^* \\ \mathbf{0} & (\mathbf{Y}_3^*)^T & \mathbf{X}_3^* \end{pmatrix} \quad (4.71)$$

Таким чином, параметри потоків даних в мережі для заданої технічної структури визначаються множиною:

$$PST(ST) = \left\{ \left\{ A_u^*(Y_u^*) \right\}, \left\{ \lambda_u^* \right\}, \left\{ \lambda_{uk}^* \right\}, \left\{ PKST_u \right\}, u = \overline{1, \xi}, \left\{ \gamma_1^* \right\}, \left\{ \gamma_{1k}^* \right\}, k = \overline{1, l} \right\}. \quad (4.72)$$

Множина $PST(ST)$ визначає параметри як агрегованих, так і окремих потоків даних, що передаються по каналах зв'язку мережі при вирішенні завдань. Проте якість передачі даних, що впливає на якість вирішення завдань, залежить і від пропускної спроможності каналів зв'язку і від того, яка смуга пропускання

виділена для кожного завдання. Тут відзначимо, що сучасні комутатори дають можливість забезпечити для заданої групи повідомлень необхідну смугу пропускання каналу. Це досягається шляхом застосування режиму гарантованої якості обслуговування *QOS* [115].

Таким чином, для передачі потоку даних кожного завдання може бути виділений свій віртуальний канал. У загальному випадку, на кожному комутаторі можна задати коефіцієнти розділення каналів для кожного завдання. Множина таких коефіцієнтів – *PKST*, задається як сукупність підмножин коефіцієнтів для кожного комутатора:

$$PKST = \{PKST_u\}, u \in \overline{1, U}, \quad (4.73)$$

$$PKST_u = \left\{ (\rho_{u11}, \dots, \rho_{u1L}), (\rho_{u21}, \dots, \rho_{u2L}), \dots, (\rho_{uK_u1}, \dots, \rho_{uK_uL}) \right\},$$

де ρ_{uik} – коефіцієнт розділення каналів для комутатора рівня u номер i завдання номер k .

Для коефіцієнтів комутатора будь-якого рівня u і будь-якого номера i справедливе рівняння

$$\sum_{k=1}^l \rho_{uik} = 1, \quad u \in \overline{1, \xi}, \quad i \in \overline{1, k_u}. \quad (4.74)$$

При вирішенні завдань розрахунку потоків із застосуванням систем з гарантованою якістю обслуговування необхідно розширити множину *PST(ST)* шляхом додавання множини коефіцієнтів *PKST*. В результаті отримаємо:

$$PST(ST) = \left\{ \left\{ A_u^* (Y_u^*) \right\}, \left\{ \lambda_u^* \right\}, \left\{ \lambda_{uk}^* \right\}, \left\{ PKST_u \right\}, u = \overline{1, \xi}, \left\{ \gamma_1^* \right\}, \left\{ \gamma_{1k}^* \right\}, k = \overline{1, l} \right\}. \quad (4.75)$$

Таким чином, при розрахунку інтенсивностей потоків даних кожного завдання в каналах мережі можна визначити і смугу пропускання в каналі (комутаторі), що відводиться для даного завдання, а, отже, час передачі даних завдання і навантаження на канал.

5 МОДЕЛІ ТА МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

5.1 Метод синтезу структурних моделей ІКМ

Велика кількість елементів підсистем СКІ і виконуваних ними функцій, висока ступінь взаємозв'язку елементів, складність алгоритмів вибору тих чи інших дій, які управляють процесами в реальному часі, великі обсяги інформації, що переробляється, визначають ІКМ для забезпечення функціонування СКІ як складну систему [116]. Синтез структури складної системи вимагає побудови таких формалізованих моделей:

а) модель структури керованої системи для визначення оптимального складу і взаємозв'язків елементів системи, оптимального розбиття множини керованих об'єктів на окремі підмножини, що володіють заданими характеристиками зв'язків;

б) модель структури керуючої системи для вирішення завдань варіантного вибору: числа рівнів і підсистем (ієрархії системи), організаційної ієрархії; визначення принципів організації управління, (встановлення взаємовідносин між рівнями ієрархії системи) і оптимального розподілу виконуваних функцій між різними системними компонентами;

в) модель структури систем передачі та обробки інформації з урахуванням складу апаратно-програмних засобів ІКМ.

При розробці моделі структури апаратно-програмних засобів необхідно вирішити такі питання [22]:

- визначення множини вузлів ІКМ і зв'язків між ними;
- розподіл завдань, покладених на технічні засоби ІКМ, за рівнями і вузлами системи;

- вибір технічних засобів ІКМ, які забезпечать ефективне вирішення виконуваних завдань СКІ.

Наведені питання синтезу моделей структури ІКМ тісно пов'язані з завданнями оптимізації її функціонування: для заданого набору функцій СКІ визначити оптимальний щодо комплексного функціоналу ефективності складу вузлів ІКМ і структуру взаємозв'язків між ними.

Відповідно до системного підходу для побудови моделі процесу обробки інформації в ІКМ необхідно визначити цілі управління і функціональні завдання в СКІ, інфокомунікаційні процеси для реалізації завдань, інформаційне та програмне забезпечення, розподілити завдання, процеси і елементи забезпечення по вузлах системи і, відповідно до цього, визначити комплекс технічних засобів.

Якщо для деяких елементів структури системи виникають проблеми великого навантаження, то необхідно враховувати правила їх функціонування. Ці правила визначаються при моделюванні системи, оскільки від них залежить розподіл функцій і взаємозв'язків в системі.

При побудові моделі процесу обробки інформації виникає необхідність вирішення наступних завдань вибору [117]:

- вибір типових підсистем, завдань і модулів для визначення функціональних та інформаційних завдань, вузлів системи і їх взаємозв'язків;
- вибір варіантів побудови вузлів ІКМ і їх розміщення;
- вибір варіантів виконання різних типів функціональних завдань СКІ;
- вибір варіантів побудови ІКМ з урахуванням відображення множини функціональних завдань СКІ та інформаційних процесів для їх реалізації на множині взаємопов'язаних вузлів ІКМ;
- вибір оптимальних, з точки зору критерію ефективності, варіантів побудови структури ІКМ.

Для формалізації даних завдань вибору використовують графові і теоретико-множинні моделі. Таким чином, альтернативно-графова модель процесу

обробки інформації є основою для опису процесу синтезу структури та програмного забезпечення ІКМ СКІ [118].

Нехай множина взаємопов'язаних функціональних завдань розподіленої СКІ визначається графом

$$G_S = (S, \Gamma_S),$$

де S – множина вершин графа, що відповідають окремим завданням;

Γ_S – множина дуг, що відображають взаємозв'язки між ними.

Для $s_i \in S, i = \overline{1, n}$ будується граф реалізації завдань інформаційно-комунікаційного забезпечення

$$G_I = (I, \Gamma_I).$$

Таким чином, отримаємо відображення множини вершин графа $s_i \in S, i = \overline{1, n}$ в множину вершин $i_j \in I, j = \overline{1, m}$, $G_S \rightarrow G_I$. Дане відображення реалізує функціональну структуру (FS) комплексу СКІ і ІКМ.

Завдання інформаційно-комунікаційного забезпечення вирішуються за допомогою набору системного і прикладного програмного забезпечення. Відповідно, на найнижчому рівні для кожного елемента $i \in I$ маємо граф множини елементів використовуваного програмного забезпечення (ПЗ)

$$G_P = (P, \Gamma_P),$$

де Γ_P – множина дуг, що відображають взаємозв'язки між ними.

Отримаємо відображення множини вершин графа $i_j \in I, j = \overline{1, m}$ в множину вершин $p_k \in P, k = \overline{1, l}$, $G_I \rightarrow G_P$.

Граф множини елементів інформаційного забезпечення (спеціалізованих і локальних баз даних) позначимо

$$G_B = (B, \Gamma_B),$$

де B – множина вершин графа, що відповідають елементам інформаційного забезпечення;

Γ_B – множина дуг, що відображають взаємозв’язок даних.

Отримуємо відображення множини вершин графа функціональної структури $p_k \in P, k = \overline{1, l}$ в множину вершин інформаційної структури ІКМ $b_m \in B, m = \overline{1, f}$, $G_P \rightarrow G_B$. Зазначене відображення реалізує інформаційну структуру (IS) ІКМ.

У вигляді ланцюжка графів формалізовано представлено відображення

$$(G_S \rightarrow G_I)_{FS} \rightarrow (G_P \rightarrow G_B)_{IS}.$$

Для реалізації інформаційно-комунікаційних завдань необхідно сформулювати технічну структуру ІКМ. Визначимо варіанти реалізації структури локальних мереж у вигляді вузлів ІКМ як граф

$$G_U = (U, \Gamma_U),$$

де U – множина вершин графа, відповідних вузлів мережі;

Γ_U – множина дуг, що відображають систему комутації вузлів.

Отримаємо відображення множини вершин графа $i_j \in I, j = \overline{1, m}$ в множину вершин $u_c \in U, c = \overline{1, d}$, $G_I \rightarrow G_U$. Для множини варіантів технічної структури ІКМ слід визначити множину варіантів передачі даних, тобто організації трафіка. Визначимо варіанти реалізації потоків передачі даних у вигляді інформаційних зв’язків як граф

$$G_T = (T, \Gamma_T),$$

де T – множина вершин графа, відповідних вузлів мережі, причому $T \subset U$;

Γ_U – множина дуг, що відображають систему комутації вузлів, $\Gamma_T \subset \Gamma_U$.

Отримуємо відображення множини вершин графа $u_c \in U, c = \overline{1, d}$ в множину вершин $t_h \in T, h = \overline{1, z}$, $G_U \rightarrow G_T$.

Зазначене відображення реалізує технічну структуру (TS) ІКМ.

Відображення функціональної структури ІКМ в технічну представлено у вигляді дворівневого ланцюжка графів

$$(G_S \rightarrow G_I)_{FS} \rightarrow \left\langle \begin{array}{l} (G_P \rightarrow G_B)_{IS} \\ (G_U \rightarrow G_T)_{TS} \end{array} \right\rangle .$$

Після синтезу варіантів технічної структури ІКМ необхідно провести закріплення програмного та інформаційного забезпечення за вузлами мережі з урахуванням каналів інформаційної взаємодії. Результат можна представити у вигляді взаємного відображення наступних множин:

$G_P \leftrightarrow G_U$ – варіанти закріплення прикладних програм за вузлами мережі для вирішення конкретних функціональних завдань;

$G_B \leftrightarrow G_T$ – визначення потоків даних на множині варіантів інформаційних взаємозв'язків.

З урахуванням зазначених відображень, які в загальному вигляді можуть бути представлені функціями $\varphi_1 \dots \varphi_6$, графова модель синтезу структур ІКМ виглядає наступним чином:

$$(G_S \xrightarrow{\varphi_1} G_I)_{FS} \xrightarrow{\varphi_2} \left\langle \begin{array}{l} (G_P \xrightarrow{\varphi_3} G_B)_{IS} \\ \varphi_5 \updownarrow \quad \updownarrow \varphi_6 \\ (G_U \xrightarrow{\varphi_4} G_T)_{TS} \end{array} \right\rangle .$$

Зокрема, для комплексу завдань передачі даних узагальнене уявлення ієрархії графових структур наведено на рисунку 5.1.

Тут множина S представляє структуру можливих реалізацій основних функціональних завдань СКІ.

Відповідно до системного підходу схема методу варіантного синтезу структурних моделей ІКМ згідно графового відображення (рис. 5.1) представлена на рисунку 5.2.

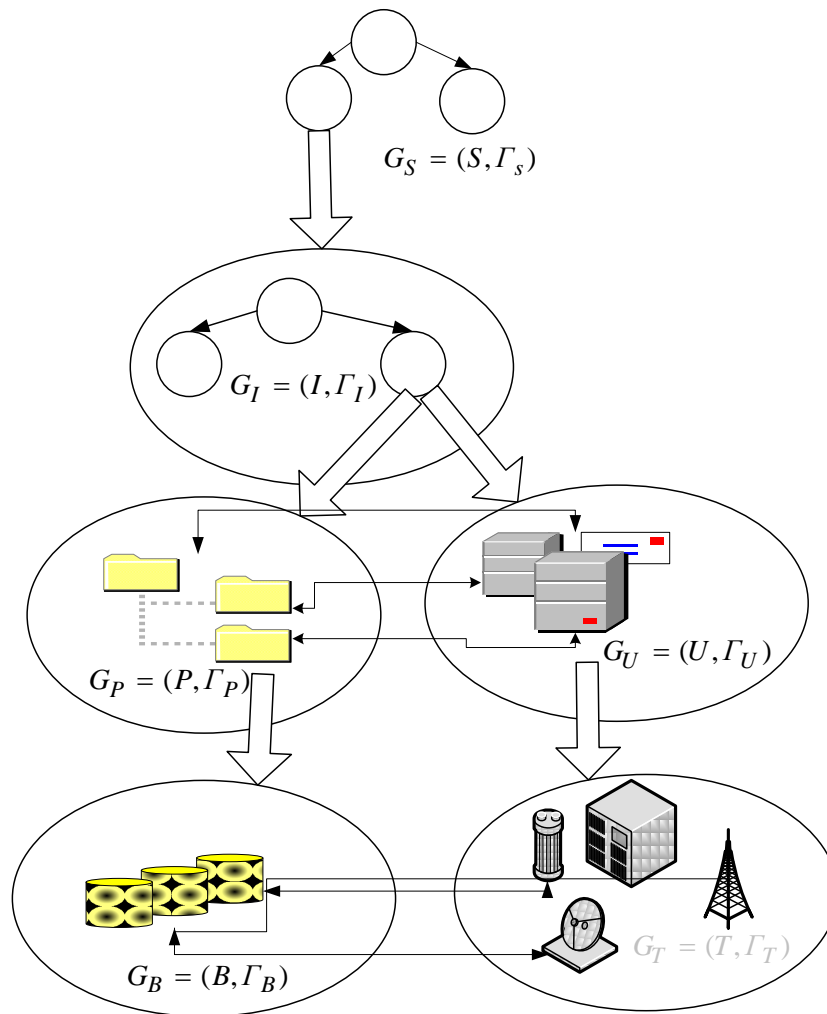


Рисунок 5.1 – Узагальнене уявлення ієрархії графових структур ІКМ

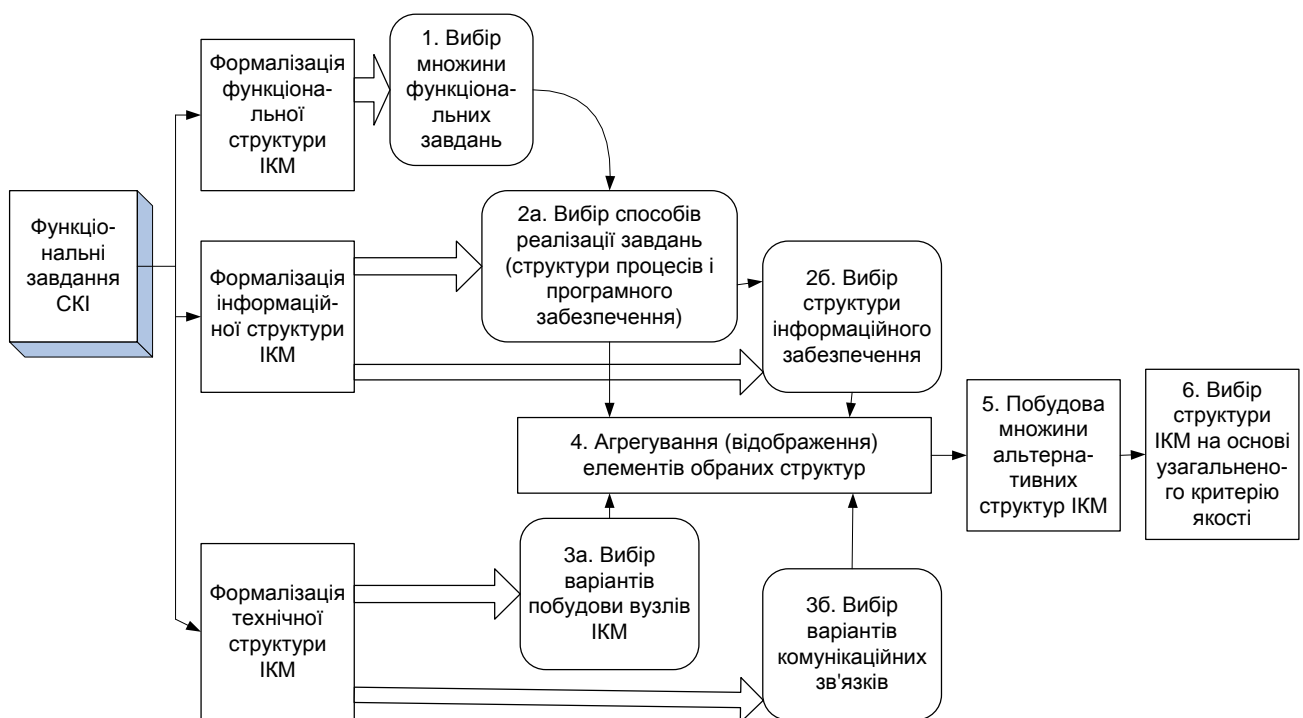


Рисунок 5.2 – Схема методу варіантного синтезу структурних моделей ІКМ

При формалізації взаємозв'язків між завданнями або етапами враховуються ті зв'язки, які відображають порядок проходження, обсяги або потоки інформації, що передаються.

Системний підхід передбачає при переході від формалізації процесу обробки інформації в складній системі до моделі її функціонування виконання наступних етапів:

- моделювання всіх допустимих варіантів розміщення вихідних даних;
- моделювання варіантів розміщення завдань по вузлах системи;
- виділення і аналіз частково ізольованих компонент системи і побудова відповідних моделей.

Згідно з наведеною вище схемою методу, в зазначених моделях вихідні множини представлені елементами графових структур S, I, P, B, U, T , а відображення, що визначають взаємозв'язок структур

$$\varphi_1 : G_S \rightarrow G_I$$

$$\varphi_2 : G_I \rightarrow (G_P, G_U)$$

$$\varphi_3 : G_P \rightarrow G_B$$

$$\varphi_4 : G_U \rightarrow G_T$$

$$\varphi_5 : G_P \leftrightarrow G_U$$

$$\varphi_6 : G_B \leftrightarrow G_T$$

Наведені вище графи і їх відображення є базою при формалізації завдання вибору оптимальної структури фрагмента ІКМ, яка обслуговує СКІ.

5.2 Математична модель задачі вибору структур ІКМ з урахуванням ресурсів мережі

Представимо формалізовано задачу вибору оптимальних структур ІКМ [119]. Розглянуті множини елементи графових структур I, J, L, M, P мають велику розмірність і включають завдання, програмні засоби, дані, технічні об'єкти, засоби зв'язку та ін. [120]. Однак запропонований вище граф альтерна-

тивних структур передбачає таку ієрархічну впорядкованість елементів структур, де на одному рівні ієрархії виділяються підмножини однорідних об'єктів.

При цьому між ними має бути встановлено відповідність, що є важливим для синтезу структур в одній з двох форм:

- знаючи набір необхідних властивостей структури, виділити серед множини допустимих такий варіант, який забезпечить досягнення цих властивостей з точки зору заданих критеріїв оптимальності;

- знаючи характеристики структури, проаналізувати можливість досягнення необхідних властивостей ІКМ.

Формалізуємо завдання вибору оптимальної структури розподіленої СКІ, в середовищі якої функціонує ІКМ. Позначимо множину варіантів представлення ІКМ

$$S = (S^0, S^1), S^1 = \{s_{ik}\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, m},$$

де S^0 – початковий стан моделі, який визначається функціональними завданнями всієї системи (КСІ),

s_{ik} – стан моделі структури ІКМ на k -му рівні ієрархії після рішення i -го завдання вибору. Відзначимо, що рівні ієрархії структури відповідають ієрархії графів на рисунку 5.1.

Позначимо множину кроків моделювання

$$H = (H^0, H^1), H^1 = \{h_{ik}\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, m},$$

де H^0 – дія, необхідна для переходу від вирішення завдань всієї СКІ до завдань функціонування ІКМ;

h_{ik} – множина кроків моделювання рішення i -го завдання на k -му рівні, що представляють таку сукупність дій, в результаті якої відбудеться перехід на

$(k + 1)$ -ий рівень ієрархії структури об'єкта. Тоді справедливі наступні співвідношення:

$$\left[s_{i(k-1)}, s(h_{ik}) \right] \Rightarrow s_{ik};$$

$$\left[h_{i(k-1)}, h(s_{ik}) \right] \Rightarrow h_{ik},$$

де $s(h_{ik})$ – додаткові дані для моделі, отримані за рахунок виконання кроку h_{ik} ;

$h(s_{ik})$ – крок, обраний виходячи зі стану s_{ik} .

Для вибору кроку h_{ik} необхідно визначити моделі комплексу станів $\{s_{ik}\}, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, m}$.

Позначимо процедуру вибору кроку на k -му рівні через V_k . Тоді

$$s_k \xrightarrow{V_k} h_k,$$

де $s_k \in S$ – множина допустимих станів моделі на рівні k .

Якщо виконання кроку h_k недоцільно, то необхідна процедура перевизначення вибору, позначимо її V_k^* . Тоді

$$s_k \xrightarrow{V_k^*} h_j,$$

де $j = \overline{1, k}, k \leq m$.

Поєднуючи отримані вирази, можемо представити процес вибору кроку виразом

$$h_j = \begin{cases} V_j(s_j), & \text{якщо } V_k^*(s_k) = j, j < k \\ V_k(s_k), & \text{якщо } V_k^*(s_k) = k \end{cases}.$$

Виділимо в множині S підмножину S'' завершальних станів моделі системи. Розіб'ємо підмножину S'' ще на два підмножини другого рівня:

$$S'' = (S''_+, S''_-),$$

де S''_+ – підмножина завершальних станів, які відповідають умовам безпеки функціонування СКІ;

S''_- – підмножина завершальних станів, які характеризуються значним рівнем ризику.

Визначимо i -у задачу вибору при синтезі структур ІКМ з урахуванням стану моделі у вигляді кортежу

$$Z_i = \langle S_i, H_i, V, W, i \rangle, S_i \subset S''_+, H_i \subset H, i = \overline{1, m}.$$

При цьому початкову задачу вибору визначимо як

$$Z_0 = \langle S^0, H^0, V, W, 0 \rangle.$$

Тоді варіантний синтез структур полягає в послідовному переході від виконання завдання Z_0 до вирішення деякої задачі Z_m , при якому модель переходить в стан $S^m \in S''$. При цьому, якщо $S^m \in S''_+$, то виконання послідовності станів S^0, S^1, \dots, S^m є глобальним завданням синтезу структур даної мережі. Нехай Z'_n – її рішення, тоді множина всіх таких рішень

$$Z' = \{Z'_n\}, n = \overline{1, m}.$$

Зазначена множина має оцінюватися за комплексним критерієм ефективності ІКМ [131]. Тоді формальну модель задачі оптимізації варіантного синтезу структур представимо кортежем виду

$$\Psi = \langle Z_0, Z, Z', F \rangle,$$

де F – комплексний критерій ефективності.

Перейдемо до розгляду структури ІКМ на рівні процесів і завдань прикладного програмного забезпечення (множина P). В рамках моделі M позначимо множину завдань, які необхідно виконати i -им елементам

$$P^i = p_k^i, k = \overline{1, l}; i = \overline{1, m}, P^i \in P.$$

Виконання кожного процесу з $p_k^i \in P^i$ вимагає витрати M_k^i обчислювального ресурсу, що підлягає оптимізації, наданого підлеглим по ієрархії прикладним процесам. Для урахування неодноразово виконуваних процесів введемо коефіцієнт a_k^i . Тоді процес p_k^i буде виконаний при витраті обчислювального ресурсу в розмірі $a_k^i M_k^i$, що підлягає оптимізації.

Станом j рівня i назвемо пару (P_j^*, j) , де $P_j^* \subset P^i \subset P$ – підмножина завдань рівня i , які можуть виконуватися спільно, не перевищуючи рівня величини M^i . Нехай $M^i(P_j^*)$ – витрата обчислювального ресурсу в стані з номером j . Тоді

$$\Delta_j^i = M^i - M^i(P_j^*) \geq 0.$$

Процес синтезу структури рівня i складається в зміні послідовності станів $(P_1^*, 1), (P_2^*, 2), \dots, (P_j^*, j_i)$, здійснюваної так, що при цьому забезпечується розв'язання задачі оптимізації за критерієм F_i .

Однак при цьому необхідно врахувати ряд зовнішніх обмежень, що виникають при виконанні процесу $p_j^i \in P_j^*$, які позначимо $D^i(P_j^*)$. Зокрема, вектор $D^i(P_j^*)$ може включати одну зі складових ресурсної компоненти M^i . Тоді задача оптимального синтезу структури рівня i з урахуванням зовнішніх обмежень визначається наступним чином: в середовищі моделі Ψ знайти спосіб формування множин $P_1^*, P_2^*, \dots, P_j^*$, за яким

$$\sum_{j=1}^{l_i} \Delta_j^i \rightarrow \min, \quad D^i(P_j^*) \leq D^i, j=\overline{1, l}.$$

5.3 Математична модель розподілу завдань по вузлах ІКМ

Для побудови моделі функціонування підсистем СКІ необхідно визначити всі складові кортежу

$$\Psi = \langle Z_0, Z, Z', F \rangle.$$

Вказані елементи кортежу Ψ визначаються при детальному описі структури ІКМ і функцій системи [121].

Визначимо завдання, які виконуються в СКІ, у вигляді множини з l елементів

$$P = \{p_k\}, k = \overline{1, l}. \quad (5.1)$$

Завдання з множини P виконуються на вузлах ІКМ, визначених множиною

$$U = \{u_c\}, c = \overline{1, d}. \quad (5.2)$$

Через нерівнозначності компонент на одному вузлі мережі може функціонувати кілька різних елементів другого рівня. Так як введення або виведення даних на кожному з елементів другого рівня проводиться незалежно, то можна вважати, що кожен елемент є окремим вузлом мережі. При необхідності частина елементів другого рівня мережі, що мають самостійне управління, може бути з'єднана в кільце.

Для задач, що складаються з декількох етапів, які виконуються на різних вузлах ІКМ, можна вважати кожен етап окремим елементом множини P .

Введемо матрицю

$$X = \|x_{kc}\|$$

розміром $l \times d$, у якої

$$x_{kc} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } k\text{-те завдання виконується в } c\text{-тому вузлі мережі;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Виходячи з вищесказаного, вважаємо, що кожна окрема задача вирішується тільки в одному вузлі мережі. Тому

$$\sum_{c=1}^d x_{kc} = 1, k = \overline{1, l}. \quad (5.3).$$

для підмножини $P' \subset P$ завдань, що вирішуються тільки в певних вузлах системи, введемо матрицю

$$X' = \|x'_{kc}\|$$

розміром $l \times d$, що

$$x'_{kc} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } c\text{-тий вузел допускає рішення } k\text{-того завдання;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \quad (5.4)$$

З умови (5.4) слід зазначити рівність

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d x'_{kc} x_{kc} = l.$$

Крім структурних характеристик врахуємо вимоги до параметрів виконання прикладних завдань. Зокрема – обмеження на допустиму тривалість виконання завдань на конкретних вузлах мережі. Введемо матрицю розміром $l \times d$

$$T = \|t_{kc}\|,$$

де t_{kc} – тривалість, не більше якої k -те завдання буде виконуватися на c -му вузлі.

Визначимо вектор

$$T^{dop} = \{t_k^{dop}\}$$

де t_k^{dop} – гранична тривалість виконання k -го завдання.

Тоді

$$\sum_{c=1}^d t_{kc} x_{kc} \leq t_k^{dop}, k = \overline{1, l}. \quad (5.5).$$

Введемо матрицю витрат процесорного часу мережі розмірності $l \times d$

$$Z = \|z_{kc}\|,$$

де z_{kc} – процесорний час, витрачений на виконання k -го завдання в c -му вузлі.

При цьому сумарний витрачений процесорний час мережі

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d z_{kc} x_{kc} = z^{sum}. \quad (5.6).$$

Виділимо підмножину $P_v \subset P$ задач, вхідні дані для яких повинні вводитися тільки з певного вузла мережі, причому завдання може виконуватися на іншому вузлі. При передаванні даних відбуваються витрати обчислювального ресурсу мережі [122]. Для опису цих витрат введемо матрицю розмірності $l \times d$

$$V = \|v_{cj}\|,$$

де v_{cj} – витрати обчислювального ресурсу на передачу інформаційної одиниці прикладного рівня з вузла c на вузол j .

Якщо $c = j$, то $v_{jj} = 0$.

Обсяги інформації, що вводиться з вузлів c для завдань $p_k \in P_v$, визначимо як матрицю розміром $l \times d$

$$B = \|b_{kc}\|.$$

У разі якщо $p_{k^*} \notin P_v$ або $p_{k^*} \in P_v$, але інформація з вузла j^* ($j^* \in U$) не вводиться, то $b_{k^*j^*} = 0$. Тоді загальні витрати обчислювального ресурсу на передавання вхідної інформації (позначимо z'_{kc}) від завдання p_k до вузла u_c дорівнюють

$$\sum_{j^*=1}^d b_{kj^*} v_{cj^*} = z'_{kc}, k = \overline{1, l}, c = \overline{1, d}, \quad (5.7)$$

Якщо

а) $p_k \notin P_v$, то $z_{kc} = 0, c = \overline{1, d}$,

б) $p_k \in P_v$, то $z_{kc} = 0$ при $b_{kc} = 0, c \neq j^*$.

При завершенні k -го завдання передані дані розподіляються по вузлах мережі, що становить підмножина $U_{vih} \subset U$. Введемо матрицю $B' = \|b'_{kc}\|$ розмірності $l \times d$, у якій елемент b'_{kc} позначає обсяги переданої k -ним завданням на c -ий вузол мережі інформації прикладного рівня, отриманої після її рішення.

Згідно побудови, множина U складається з елементарних одиниць. Тому на вузлах мережі стоять обчислювальні засоби, що дозволяють тільки однопрограмильний режим. У даній інтерпретації реальний вузол мережі буде являти собою підмножину $U_1 \in U$, потужність якого не менше 1. Тоді сумарні витрати на розподіл інформації i -го завдання по вузлах складуть

$$\sum_{c=1}^d v_{kc} b'_{kc} = z_k, k = \overline{1, l}.$$

Введемо матрицю розміром $l \times l$,

$$B'' = \|b''_{km}\|,$$

де b''_{km} – число інформаційних одиниць прикладного рівня, що передаються від завдання p_k до завдання p_m .

Якщо $b''_{km} = 0$, то в процесі виконання завдання p_k інформація для завдання p_m не передається. В даному випадку обсяг переданої інформації для k -го завдання на c -му вузлі складе

$$\sum_{k^*=1}^l \sum_{c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*} x_{k^*c^*} = z''_{kc}, k = \overline{1, l}, c = \overline{1, d}. \quad (5.8)$$

Врахуємо вартісні ресурси на створення і експлуатацію ІКМ [69]. При мінімізації витрат обчислювального ресурсу враховуються обмеження, пов'язані з можливостями фінансування для розвитку і експлуатації даної мережі. Якщо сума витрат на придбання технічних засобів в вузлах не повинна перевищувати суми F^P , то обмеження матиме такий вигляд:

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d f_c^P x_{kc} \leq F^P, \quad (5.9)$$

де f_c^P – витрати на переобладнання або встановлення c -го вузла.

На експлуатацію обчислювальної техніки за певний період часу може бути виділена сума, що не перевищує F^u . Отже,

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d f_c^u x_{kc} \leq F^u, \quad (5.10)$$

де f_c^u – розмір витрат на технічну експлуатацію вузла c .

Таким чином, з урахуванням:

$$f_c = f_c^P + f_c^u$$

загальні обсяги фінансування складають:

$$F = F^P + F^u.$$

Підсумовуючи (5.9) і (5.10), отримаємо

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d f_c x_{kc} \leq F. \quad (5.11)$$

При складанні математичної моделі слід врахувати витрати на організацію додаткових зв'язків між різними вузлами мережі. При значній відстані вузлів потрібно врахувати і витрати на технічну експлуатацію лінії зв'язку. Нехай Z^t – максимально можливо допустимі разові витрати на організацію зв'язку між вузлами, $Z^t(\tau)$ – верхня межа витрат на підтримання зв'язку за певний період часу τ , тоді загальні витрати

$$Z = Z^t + Z^t(\tau).$$

Якщо z_{cj}^t – витрати на організацію і експлуатацію зв'язку між вузлами c та j , то витрати для вузла c складуть

$$\sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^l z_{cj}^t x_{kc} = z_c^t.$$

Сумарні витрати повинні задовольняти обмеження

$$\sum_{c=1}^d \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^l z_{cj}^t x_{kc} \leq Z. \quad (5.12)$$

Витрати на c -му вузлі мережі для вирішення k -го завдання \tilde{Z}_{kc} складаються з безпосередніх витрат обчислювальних ресурсів для її вирішення, підсумованими з витратами на приймання і передавання даних під час виконання завдання, при підготовці до вирішення і після завершення виконання. Вони визначаються виразом

$$\begin{aligned}\tilde{Z}_{kc} &= z_{kc} + z_k + z'_{kc} + z''_{kc} = \\ &= z_{kc} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq c}}^d v_{kj} b'_{kj} + \sum_{\substack{j^*=1 \\ j^* \neq c}}^d b_{kj^*} v_{cj^*} + \sum_{k^*=1}^l \sum_{c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*} x_{k^*c^*}.\end{aligned}$$

Використовуючи (5.3) – (5.12), побудуємо математичну модель, згідно з якою мінімізуються сумарні витрати рішення k -го завдання на вузлі c \tilde{Z}_{kc} по всіх елементах множин P та U :

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d \left(z_{kc} + \sum_{j=1}^d (v_{kj} b'_{kj} + v_{cj} b_{kj}) + \sum_{k^*=1}^l \sum_{c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*} x_{k^*c^*} \right) x_{kc} \rightarrow \min. \quad (5.13)$$

з урахуванням системи обмежень (5.3) – (5.5) і (5.11) – (5.12)

$$\begin{aligned}\sum_{c=1}^d x_{kc} &= 1, k = \overline{1, l}, \\ \sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d x'_{kc} x_{kc} &= l, \\ \sum_{c=1}^d t_{kc} x_{kc} &\leq t_k^{dop}, k = \overline{1, l}\end{aligned} \quad (5.14)$$

$$\sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d f_c x_{kc} \leq F,$$

$$\sum_{c=1}^d \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^l z_{cj}^t x_{kc} \leq Z,$$

$$x_{kc} \in \{0, 1\}, k = \overline{1, l}, c = \overline{1, d},$$

$$P = \{p_k\}, k = \overline{1, l}, U = \{u_c\}, c = \overline{1, d}.$$

В результаті отримаємо математичну модель виконання прикладних задач в середовищі ІКМ, при реалізації якої має вирішуватися завдання мінімізації сумарних витрат обчислювального ресурсу, передачі даних, налаштування і обслуговування мережі. Дана математична модель являє собою нелінійну задачу булевого програмування. Вирішення зазначеного завдання є основою для розробки методу синтезу структури ІКМ з урахуванням програмного і апаратного забезпечення.

5.4 Метод розв'язання задачі розподілу завдань по вузлам ІКМ

5.4.1 Приведення задачі мінімізації витрат ресурсів ІКМ до лінійного виду

Приведена в розділі 5.3 математична модель являє собою завдання цілочисельного програмування з булевими змінними розмірності

$$R = ld + 2d + 1.$$

Обмеження в моделі лінійні, а цільова функція завдяки четвертому доданку нелінійна. Такі завдання вирішуються в основному методом перебору [123]. Однак, трудомісткість методу зростає експоненціально зі збільшенням розмірності задачі. Для зменшення обчислювальної складності методу вирішення даного завдання необхідно знайти алгоритм вирішення задачі, що має поліноміальну трудомісткість, тобто представити її у вигляді P -завдання, для якої час вирішення t залежить від розмірності наступним чином:

$$t(n) = f(n^r),$$

де r – показник ступеня полінома;

n – розмірність завдання.

При переході до такого алгоритму з урахуванням специфіки цільової функції і обмежень математичної моделі (5.13, 4.14) необхідно використовувати псевдобулеві функції.

Визначення: Псевдобулевою функцією називається відображення

$$f : B^n \rightarrow R^i,$$

де $B = \{0,1\}$.

При звуженні області відображення до псевдобулевої множинна функція є булевою.

Для функцій, визначених таким чином, в [124] доведена теорема.

Теорема 1: Будь-яка псевдобулева функція має поліноміальне уявлення і лінійна щодо кожної, окремо взятої змінної:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f|_{x_i=0} + x_i(f|_{x_i=1} - f|_{x_i=0}).$$

В [124] доведена теорема про те, що поліноміальна псевдобулева функція може бути приведена до лінійної. Скористаємося даною теоремою для зняття нелінійності в поставленій задачі.

Лема 2: Псевдобулева функція, що має в поліноміальному поданні p нелінійних елементів другого порядку, еквівалентна лінійній псевдобулевій функції, що містить p додаткових булевих змінних, розглянутих в сукупності з $2p$ лінійними обмеженнями.

Згідно лемі перетворимо задачу (5.13, 4.14) в лінійну форму. Однак це тягне істотне збільшення числа змінних і обмежень: розмірність збільшиться на $(ld)^2 + 2ld$ і стане рівною

$$R = (ld + 1)^2 + l(d + 2) + 2.$$

Для прикладних завдань, що вирішуються в вузлах ІКМ, кількість ненульових елементів симплекс-таблиці перетвореної математичної моделі

невелика. Тому для даної задачі розмірність істотно не збільшиться, а значить, рівняння (5.13) приводиться до виду лінійної P - задачі за умови зменшення обчислювальної складності алгоритму її рішення. Відповідно до цього перетворимо (5.13) до лінійного виду. Тобто зробимо заміну

$$x_{k^*c^*}x_{kc} = y_{kk^*cc^*}.$$

Тоді цільова функція запишеться у вигляді:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d \left(z_{kc} + \sum_{j=1}^d (v_{kj}b'_{kj} + v_{cj}b_{kj}) \right) x_{kc} + \\ & + \sum_{k,k^*=1}^l \sum_{c,c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*} y_{kk^*cc^*} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (5.15)$$

До вихідної системи обмежень додається ще два види нерівностей:

$$\begin{aligned} & \sum_{c=1}^d x_{kc} = 1, k = \overline{1, l}, \\ & \sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d x'_{kc} x_{kc} = l, \\ & \sum_{c=1}^d t_{kc} x_{kc} \leq t_k^{dop}, k = \overline{1, l} \\ & \sum_{k=1}^l \sum_{c=1}^d f_c x_{kc} \leq F, \\ & \sum_{c=1}^d \sum_{j=1}^d \sum_{k=1}^l z_{cj}^t x_{kc} \leq Z, \end{aligned}$$

$$x_{kc} + x_{k^*c^*} - 2y_{kk^*cc^*} \geq 0, k = \overline{1, l}, c = \overline{1, d},$$

$$x_{kc} + x_{k^*c^*} - y_{kk^*cc^*} \leq 1, k = \overline{1, l}, c = \overline{1, d},$$

$$x_{kc} \in \{0,1\}, y_{kk^*cc^*} \in \{0,1\}, k = \overline{1,l}, c = \overline{1,d}.$$

Наведемо отриману задачу до канонічного виду. Для цього визначимо такі змінні:

$$\xi_e = \begin{cases} x_{kc}, \text{ при } e = l(k-1) + c \\ y_{kk^*cc^*}, \text{ при } e = ld + kk^*cc^*; \end{cases}, e = \overline{1,e'};$$

$$\gamma_e = \begin{cases} z_{kc} + \sum_{j=1}^d (v_{kj}b'_{kj} + v_{cj}b_{kj}), \text{ при } e = l(k-1) + c; \\ \sum_{k,k^*=1}^l \sum_{c,c^*=1}^d b''_{cc^*} b''_{kk^*}, \text{ при } e = ld + kk^*cc^* \end{cases}, e = \overline{1,e'}$$

$$\alpha_{c'e} = \begin{cases} 0, \text{ при } [c' \leq d, c'k < e \leq (c'-1)] \text{ або } [c' = d+1, e > kd]; \\ 1, \text{ при } [c' \leq d, (c'-1)l + 1 \leq l \leq c'l]; \\ a_{kc}, \text{ при } [c' = d+1, e = d(k-1) + c] \end{cases}, \begin{matrix} e = \overline{1,e'} \\ c' = \overline{1,d+1} \end{matrix}$$

$$\alpha'_{c'e} = \begin{cases} 0, \text{ при } [c' \leq d+2, c'd < e \leq d(c'-1)]; \\ t_{kc}, \text{ при } [c' \leq d, d(c'-1) + 1 < e \leq c'd]; \\ f_{kc}, \text{ при } [c' = d+1, e \leq ld]; \\ \sum_{j=1}^n z_{cj}^t, \text{ при } [c' = d+2, e \leq ld]; \\ \alpha''_{kk^*cc^*}, \text{ при } e > d; \end{cases}, \begin{matrix} e = \overline{1,e'} \\ c' = \overline{1,d+1} \end{matrix}$$

де $\alpha''_{kk^*cc^*}$ – коефіцієнти додаткових обмежень.

Визначимо також змінні

$$e_{c'} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } c' \leq d; \\ d, \text{ якщо } c' = d+1; \end{cases}$$

$$e_j = \begin{cases} \tau_j, \text{ якщо } j \leq d; \\ \beta_j, \text{ якщо } j > d, \end{cases}$$

де τ_j та β_j – вільні члени додаткових обмежень.

Тоді лінійна модель закріплення прикладних задач за вузлами ІКМ з метою мінімізації загальних витрат зводиться до пошуку значень вектора $(\xi_1, \dots, \xi_e, \dots, \xi_{e'})$, які забезпечують мінімум цільової функції

$$C_{\min} = \sum_{e=1}^{e'} \gamma_e \xi_e, \quad (5.16)$$

і задовольняють системі обмежень:

$$\begin{aligned} \sum_{e=1}^{e'} \alpha'_{c'e} \xi_e &= e_{c'}, c' = \overline{1, d+1}; \\ \sum_{e=1}^{e'} \alpha_{je} \xi_e &\leq e_j, j = \overline{1, d}, \\ \xi_e &\in \{0, 1\}, e = \overline{1, e'}. \end{aligned} \quad (5.17)$$

Формули (5.16) і (5.17) представляють канонічний вид лінійної оптимізаційної задачі булевого програмування, для вирішення якої існують методи отримання точного рішення.

5.4.2 Методи розв'язання задачі булевого програмування великої розмірності

Існує значна кількість методів і алгоритмів вирішення булевих завдань лінійної оптимізації великої розмірності. Їх поділяють на кілька груп [125]:

- методи відсікання площин;
- метод гілок і меж;
- методи послідовного аналізу варіантів;
- адитивні методи;

- наближені методи локальної оптимізації;
- лексикографічні методи.

Умовно методи і відповідні їм алгоритми можна поділити на п'ять груп.

Перші дві групи методів поділяються на:

- методи лінійного та нелінійного програмування;
- методи динамічного програмування.

Останні три групи відносяться до методів вирішення задач дискретного програмування:

- методи послідовного звуження множини альтернатив;
- методи послідовного поліпшення рішень;
- непрямі методи оптимізації.

Характерна особливість непрямих методів полягає в тому, що при їх застосуванні здійснюється редукція початкового завдання з використанням умов досягнень екстремуму і інших умов.

Для оцінки ефективності алгоритмів використовується два різних підходи:

- проведення обчислювального експерименту;
- використання теорії складності алгоритмів.

Результати досліджень на основі теорії складності алгоритмів визначають поведінку завдання в найгіршому випадку. Проведення обчислювального експерименту визначає поведінку моделі «в середньому», цей метод потребує менше часу.

Сформульована вище задача відноситься до задач оптимізації великої розмірності. Для її вирішення був обраний метод локальної оптимізації – метод вектора спаду. Проводився обчислювальний експеримент за рішенням 1500 завдань для моделей різної розмірності (з урахуванням числа постійно функціонуючих завдань в мережі та кількості вузлів мережі): від 20x10 до 243x84. Було визначено кількість точно вирішених завдань (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Результати обчислювального експерименту дослідження алгоритмів булевого програмування

Розмірність задач ($l \times d$)	Кількість точно розв'язаних задач алгоритмом №3
20x10	1158
50x10	1160
80x20	1228
100x20	1389
143x36	1455
185x54	1462
243x84	1478

За отриманими результатами зроблені наступні висновки:

- при збільшенні розмірності задачі відсоток локальних рішень, знайдених методом вектора спаду, має тенденцію в бік зменшення;
- при використанні методу вектора спаду можливо перервати процес обчислень, маючи близьке до оптимального рішення, а при можливості його поліпшити.

5.4.3 Оптимізація розподілу завдань по вузлах ІКМ

Метод вектора спаду відноситься до наближених методів локальної оптимізації завдань дискретного програмування. Метод дозволяє шляхом звуження локальних відкритих околиць початкового наближення у напрямку зменшення значень спеціально формованого вектора, знайти оптимальне рішення [126].

Нехай M – метричний простір з деякою метрикою $\rho(x, y)$, певної для будь-яких двох точок x і y з цього простору.

Якщо r – якесь позитивне число, а x – фіксована точка метричного простору M , то множина всіх точок $y \in M$, для яких $\rho(x, y) < r$, утворює відкритий окіл з центром x і радіусом r .

Множина всіх точок $y \in M$, для яких $\rho(x, y) \leq r$, утворює замкнуту кулю радіусом $r > 0$ з центром в точці $x \in M$.

Якщо множина M є дискретною, то для будь-якого відкритої кулі в метричному просторі M знайдеться замкнута куля з тим же центром, яка повністю співпадає з першою. У зв'язку з цим для дискретних множин, які будемо розглядати в подальшому, перейдемо від відкритих околиць до околиць, пов'язаним з поняттям замкнутої кулі. Тоді околом точки x буде замкнута куля радіусом $r > 0$ з центром $x \in M$, яка позначається символом $O_M(x, r)$.

Нехай $f(x)$ – довільна дійсна функція, визначена на дискретній множині M . Тоді точка $x \in M$ визначає локальний мінімум функції f щодо околу радіусу r , якщо для всіх точок $y \in O_M(x, r)$ виконані умови

$$f(x) \leq f(y);$$

$$O_M(x, r) \setminus \{x\} \neq \emptyset.$$

Якщо деяка точка $x \in M$ не є локальною точкою мінімуму функції f щодо околу радіусу $r_1 > 0$, то вона не буде такою і щодо околу будь-якого радіусу r_2 , при виконанні нерівності $r_1 \leq r_2$.

Сформульована вище задача булевого програмування полягає у визначенні локального рішення, що обирається з точок локальних мінімумів функції f , заданої на M , щодо околу $r > 0$.

Векторна функція $\Delta_M^r(x)$, яка визначена на M є вектором спаду функції f щодо околу радіусу r , якщо виконуються умови:

1) значення функції Δ_M^r в кожній точці $x \in M$ є l -мірним вектором з компонентами $\Delta_1, \dots, \Delta_l$, які є дійсними числами;

2) точка $x \in M$ є точкою локального мінімуму функції f тоді і тільки тоді, коли $\Delta_i \geq 0$ при всіх допустимих значеннях індексу i ;

3) якщо $x \in M$ не є точкою локального мінімуму функції f щодо $O_M(x, r)$, то за допомогою вектора спаду можна визначити точку x' , яка належить околу $O_M(x, r)$, таку, що $f(x') < f(x)$.

Відповідно до цього вектор $\Delta_M^r(x)$ дозволяє для кожної точки $x \in M$ визначити напрям зменшення значень функції f в околі $O_M(x, r)$. Ідея використання вектора спаду $\Delta_M^r(x)$ для відшукування такого напрямку лежить в основі методу, що застосовується.

Для завдання (5.16), (5.17) пошук точки x' такий, що $f(x') < f(x)$, або виявлення того факту, що x є точкою локального мінімуму функції f щодо $O_M(x, r)$, припускають розгляд лише частини компонент вектора $\Delta_M^r(x, r)$.

Рішення оптимізаційної задачі здійснюється за таким алгоритмом [126]:

1. Вибір деякого початкового наближення $x^0 \in M$ і визначення величини радіуса $r > 0$.

2. Визначення послідовності радіусів $\{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, яка задовольняє співвідношенням $0 < r_1 < r_2 < \dots < r_m = r$, $m \geq 1$.

3. Приймається $n = 0$.

4. Виконання ітераційного алгоритму:

1) приймається $k = 1$;

2) розглядається окіл $O_M(x^*, r_k)$,

3) за значеннями компонент вектора спаду $\Delta_M^{r_k}(x_n)$ визначається, чи є $f(x_n)$ локальним мінімумом функції $f(x)$ щодо $O_M^{r_k}(x_n, r_k)$; якщо «так», то

при $k < m$, замінивши k на $k + 1$, здійснюється перехід до п. 2), а при $k = m$ до кроку 5; в іншому випадку – перехід до п.4);

4) в околі $O_M(x_n, r_k)$ серед точок x з меншим значенням цільової функції, ніж $f(x_n)$, вибирається та, яка забезпечує мінімум функції $f(x)$; ця точка позначається x_{n+1} та n змінюється на $n + 1$, робиться повернення до п.1) четвертого кроку алгоритму.

5. Отримана точка x_n є точкою локального мінімуму $f(x)$ щодо околу радіусу r .

Розглянемо окремий випадок: нехай локальне рішення даної задачі не задовольняє деякому додатковому критерію (наприклад, критерію, який встановлює допустиме відхилення локального мінімуму від глобального). У цьому випадку існує кілька варіантів пошуку наближених рішень.

1. Вибравши точку \tilde{x} як нове наближення і збільшивши задану величину радіуса r , слід продовжити виконання алгоритму до отримання інших наближених рішень, які будуть ближчими до глобального мінімуму, ніж \tilde{x} .

2. Виходячи з точки \tilde{x} і збільшивши величину радіуса r , можна здійснити лише перший крок алгоритму для отримання точки x' , яка задовольняє нерівності $f(x') < f(\tilde{x})$; потім повернутися до початкової величини радіуса і продовжити виконання алгоритму.

3. Не змінюючи величини r , можна продовжити обчислення виходячи з деякого іншого початкового наближення $x'_0 \in M$ і отримати в результаті локальне рішення x' , в загальному випадку, відмінне від \tilde{x} .

Застосуємо алгоритм вектора спаду для знаходження оптимального рішення задачі (5.16), (5.17) (рис. 5.3).

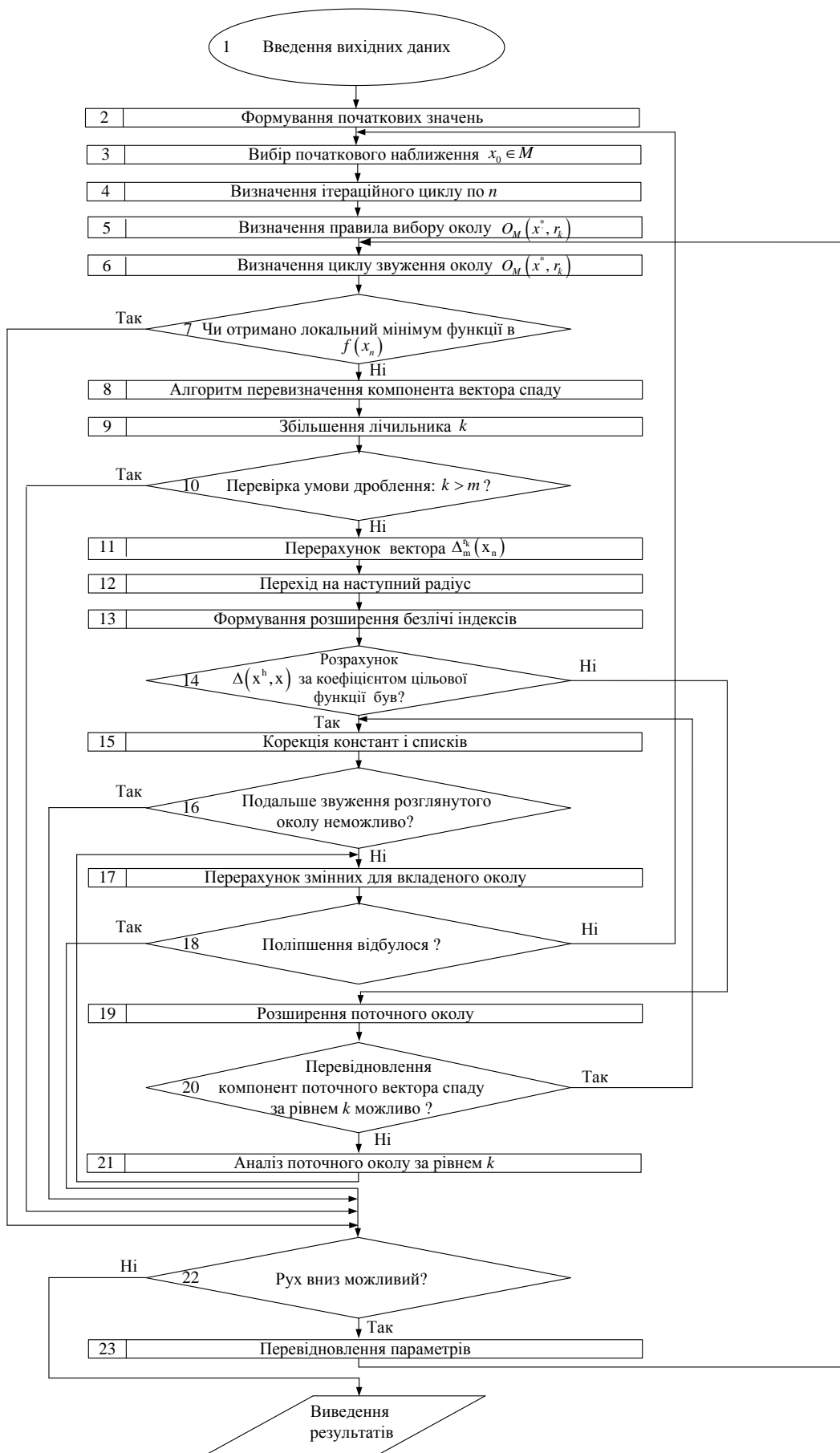


Рисунок 5.3 – Алгоритм методу вектора спаду

В дискретній множині M розглянемо підмножину B^n всіх точок метричного простору цілих чисел, що задовольняють умові $x_j \in \{0,1\}$, $j = \overline{1,n}$.

Ця підмножина є метричним простором з метрикою "відстань":

$$\rho(x, y) = \sum_{j=1}^n |x_j - y_j|.$$

При реалізації алгоритму вектора спаду для вирішення даної задачі в п. 2) четвертого кроку розглянемо окіл $O_{B^n}(x^h, r_k)$. При цьому координати довільної точки $X = (x_1, \dots, x_n)$, $X \in B^n$ можна виразити через координати точки x^h наступним чином:

$$x_j = \begin{cases} 1 - x_j^h, & \text{при } j \in W, \\ x_j^h, & \text{при } j \notin W, \end{cases} \quad j = \overline{1,n},$$

де W тобто є підмножиною множини індексів.

При виконанні пп. 3) і 4) четвертого кроку компоненти вектора спаду будемо обчислювати за такою формулою:

$$\Delta(x^h, X) = \sum_{j \in W^0} \gamma_j - \sum_{j \in (W \setminus W^0)} \gamma_j$$

де γ_j – коефіцієнт цільової функції завдання;

W^0 – множина тих значень індексу $j \in W$, для яких

$$x^h = O(W^0 \subseteq W).$$

В [127] доведена теорема про збіжність алгоритму вектора спаду в застосуванні до канонічної задачі булевого програмування.

При будь-якому виборі початкового наближення з усіх точок даного булевого простору з метрикою M , яке задовольняє обмеженням розв'язуваної задачі і радіусу $r > 0$, послідовність наближень $\{x_n\}$ визначається за запропонованою вище модифікованою схемою. Послідовність сходиться до локального вирішення завдання за скінчену кількість кроків, яка не перевищує величини

$$\alpha = \beta \left(f(x^0) - \Gamma \right),$$

$$\Gamma = \begin{cases} 0, & \text{при } \gamma_j \geq 0 \\ \sum_{j \in J^-} \gamma_j, & \text{при } \gamma_j < 0 \end{cases},$$

де J^- – множина тих значень індексу $j \in \overline{1, n}$, для яких $\gamma_j < 0$,

β – найменше спільне кратне чисел β_j , коли:

$$\gamma_j = \frac{\alpha_j}{\beta_j}, \quad \alpha_j, \beta_j - \text{цілі числа, } \beta_j \neq 0, j = \overline{1, n}.$$

Умова збіжності алгоритму вектора спаду для вирішення завдань булевого програмування ґрунтується на кінцівки простору B^n внаслідок чого функція, що визначена на підмножині $G \subset B^n$, задовольняє умовам теореми, доведеної в [124].

ВИСНОВКИ

Розглянуто проблеми інформаційного забезпечення систем критичної інфраструктури, серед яких виділено особливості забезпечення захисту вказаної інфраструктури. При дослідженні вимог і параметрів якості ІКМ СКІ визначено, що існуючі інформаційні технології та методи управління розподілом трафіка, в умовах зростаючих обсягів циркулюючої інформації, а також при динамічній зміні структури системи передачі даних в СКІ не здатні забезпечити вимоги до оперативності обміну інформацією.

Виходячи з особливостей ІКМ на сучасному етапі, зроблено висновок, що основою інформаційного забезпечення СКІ є глобальна розподілена інфокомунікаційна мережа, створювана на базі наявних і перспективних мереж зв'язку і передачі даних із застосуванням сучасних телекомунікаційних технологій, які мають забезпечити високі технічні характеристики.

Визначено коло проблем, викликаних специфікою роботи ІКМ і прикладного програмного забезпечення СКІ. Вони обумовили для удосконалення СКІ перспективний напрямок розробки і впровадження інформаційних технологій для ефективної роботи систем передачі даних, які б забезпечили передачу інформації між підсистемами і функціональними модулями системи з необхідною якістю. В цьому напрямку потрібна розробка нового підходу до синтезу структури ІКМ і оцінки їх ефективності для СКІ в умовах впливу загроз інформаційної безпеки.

Аналіз сучасного стану телекомунікаційних технологій і основних протокольних рішень показали стрімку динаміку розвитку ІКМ в напрямку створення високошвидкісних мультисервісних мереж. Для вказаного класу мереж виникає необхідність пошуку нових підходів до визначення їх фізичної та функціональної архітектури. Відзначено, що незважаючи на випереджальний розвиток технологій фізичного і каналного рівня, в повному обсязі реалізувати потенціал ІКМ СКІ можливо лише за рахунок ефективного управління наявними

мережевими ресурсами в умовах зростаючих вимог до оперативності обміну інформацією.

Сформульовано основні принципи побудови розподілених систем критичної інфраструктури. Система управління в області критичних інфраструктур, що розглядається з точки зору комп'ютеризації інформаційних аспектів функціонування, являє собою складну ієрархічну структуру. Аналіз особливостей СКІ, показав, що система цього типу має функціонувати безперервно, з урахуванням можливої зміни стану внутрішнього і зовнішнього середовища в кожен момент часу.

Визначено, що завдання аналізу структури і параметрів ІКМ СКІ має такі особливості:

- метою аналізу є дослідження потоків даних, що передаються по мережі, оскільки їх параметри роблять значний вплив на якість роботи СКІ;
- основою для аналізу і формування структури мережі є виконувани на мережі додатки, які формують потоки даних, що передаються по мережі;
- аналіз проводиться шляхом виділення інформаційної і технічної складових структури, що визначають джерела і приймачі потоків даних і устаткування для управління цими потоками;
- для проведення аналізу потрібно розробити засоби математичного опису інформаційної і технічної структури мережі, що дозволяють обчислювати характеристики мережі;
- результати аналізу інформаційної структури є початковими даними для формування і аналізу технічної структури ІКМ

Розроблено схему основних етапів проведення аналізу ІКМ. При цьому визначено елементи розподіленої архітектури ІКМ СКІ. Перелічено вимоги для розрахунку характеристик інформаційної і технічної структур мережі. Розглянуто способи закріплення додатків за функціональними вузлами мережі.

Визначено кроки, які виконуються на етапі вирішення завдання налаштування мережі. Вказані кроки аналізу, синтезу та управління ІКМ є

основою структури методології ризик-адаптованого управління параметрами ІКМ СКІ, яка включає такі елементи: принципи, моделі, методи, прикладні засоби. Сформульовано основні принципи методології.

Принцип ієрархічності реалізований в основних вимогах до мережевих протоколів. Аналіз цих вимог дозволив з'ясувати шляхи вирішення завдання вибору можливих варіантів побудови структури ІКМ, яка забезпечить функціонування СКІ в реальному масштабі часу. В результаті проведеного аналізу вибір зроблений на користь семирівневої мережі.

В якості реалізації принципу потокового управління розглянуті основні методи управління розподілом трафіка в мережі та застосовані в них математичні моделі. Показано, що ефективність використання мережевих ресурсів може бути підвищена за рахунок розробки та застосування методів адаптивного управління.

В частині реалізації принципу оптимальності рішень здійснено вибір показників ефективності передачі даних в ІКМ СКІ, в якості яких обрано показники ефективності функціонування мережевого протоколу. Визначено критерій вибору найкращого мережевого протоколу ІКМ, в якості якого виступає вимога щодо мінімізації узагальненого показника ефективності – сумарного часу обробки інформаційних повідомлень на фіксованому часовому інтервалі при обмеженнях на час доставки та на доступну пропускну спроможність мережі, накладених згідно з характеристиками мережі та технічними характеристиками СКІ. Перевагою запропонованих моделей і сформульованої оптимізаційної задачі є використання не тільки усереднених показників продуктивності та надійності мережі, а і врахування флуктуаційного характеру інформаційного потоку і наявності пікових викидів, що істотно відрізняються від середніх значень.

Визначені основні принципи концептуального підходу до аналізу структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Обґрунтовано доцільність застосування до аналізу структури мережі підходу, заснованого на дослідженні

взаємодії завдань СКІ і системних додатків як незалежних джерел і приймачів даних в мережі.

Запропонований формалізований опис інформаційної структури ІКМ, при якому враховують параметри додатків і їх взаємодію. Основою є комплексна математична модель, компоненти якої описують інформаційну структуру, потоки даних та технічну структуру мережі. Описано параметри моделі інформаційної структури мережі, яка є основою для розробки моделей потоків даних. За допомогою формалізованої моделі інформаційної структури ІКМ визначено способи обчислення множини параметрів та характеристик, які описують зокрема: інтенсивності потоків запитів користувачів, інтенсивності потоків даних між інформаційними вузлами, навантаження на вузли мережі, інтенсивності потоків запитів до сховища даних.

Досліджена багаторівнева інформаційна структура. Дослідження дозволили встановити правило збереження потоків при передачі даних усередині кожного рівня структури. Це правило дає можливість проводити розбиття вузлів на групи при синтезі структури мережі з урахуванням можливостей мережевого устаткування.

Досліджені способи побудови технічної структури мережі для заданої інформаційної структури, які враховують найбільш поширені технології побудови ІКМ.

Запропоновано математичні моделі, які орієнтовані на задану множину системних додатків, що виконуються у мережі та дають можливість проводити аналіз параметрів мережі з урахуванням особливостей роботи завдань, що важливе для ІКМ, спеціалізованої для вирішення конкретних завдань СКІ.

Проведено обґрунтування застосування системного підходу до формалізації процесу вибору варіантів структур ІКМ. Даний підхід дозволив виділити структурні компоненти альтернативної формалізації в середовищі ІКМ і побудувати узагальнений граф ієрархії структур, який враховує основні взаємозв'язки між елементами структур, що відображають порядок проходжен-

ня, обсяги і потоки оброблюваної інформації між різними ієрархічними рівнями. Побудова даного графа є базою при розробці моделі задачі вибору оптимальної структури ІКМ.

Завдання вибору оптимальної структури ІКМ вирішується на основі критерію максимальної інтенсивності використання обчислювального ресурсу, що дозволило визначити структурні зв'язки між основними елементами з урахуванням декомпозиції моделі до базових елементів «вузол» і «завдання».

Нелінійна оптимізаційна задача закріплення прикладних задач за вузлами ІКМ з мінімізацією сумарних витрат зведена до лінійного виду (з приведенням її до канонічної форми), що дозволяє отримати рішення задачі в умовах великої розмірності.

Запропоновано і обґрунтовано підхід до вирішення завдання булевого програмування великої розмірності. Обраний метод вектора спаду має найбільш ефективний алгоритм реалізації поставленої оптимізаційної задачі з урахуванням наступних факторів:

- допустимих меж отримання квазіоптимального рішення;
- інтервалів зміни коефіцієнтів цільової функції і обмежень.

Розроблені математичні моделі формування та методи аналізу структури ІКМ СКІ дозволяють поліпшити адекватність модельованих параметрів мережі реальним, здійснювати розрахунок основних параметрів мережі при зміні її структури та налаштування мережевого обладнання, як в оперативному режимі, так і після процесу реінжинірингу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Юдин А. Ю., Пирогов Г. В. Анализ и оценка нормативных документов, применяемых для обеспечения информационной безопасности Smart Grid систем. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. 2013. № 1. С. 88.
2. Lewis T. G. Critical infrastructure protection in homeland security: defending a networked nation. New Jersey: John Wiley & Sons. 2006. 474 p.
3. Про затвердження Порядку формування переліку інформаційно-телекомунікаційних систем об'єктів критичної інфраструктури держави Документ 563-2016-п, чинний, поточна редакція. Прийняття від 23.08.2016 <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/563-2016-%D0%BF>
4. Бірюков Д. С., Кондратов С. І. Захист критичної інфраструктури: проблеми та перспективи впровадження в Україні. Київ : НІСД. 2012. 96 с. http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/Sots_zahust-86178.pdf
5. Гончар С. Ф. Шляхи удосконалення державної політики забезпечення інформаційної безпеки критичної інфраструктури України: матеріали круглого столу “Державне реагування на загрози національним інтересам України: актуальні проблеми та шляхи їх розв’язання”, 19 лютого 2014 р. Київ: НАДУ при Президентові України (кафедра національної безпеки). 2014. С. 92–95.
6. Council Directive 2008/114/EC “On the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection” [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://eurlex.europa.eu>.
7. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 8 червня 2012 року «Про нову редакцію Стратегії національної безпеки України»: указ Президента України від 08.06.2012 р. № 389/2012 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/389/20124.5>.
8. Домарев В. В. Безопасность информационных технологий. Методология создания систем защиты. Киев: ООО “ТИД “ДС”. 2002. 688 с.

9. "Про Національну систему конфіденційного зв'язку" Верховна Рада України; Закон від 10.01.2002 № 2919-III
<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2919-14>.

10. Шевченко М. М. Методика системно-комплексного дослідження державного управління забезпеченням національної безпеки. Вісник Національної академії оборони України. 2010. № 4. С. 235–240.

11. Гончар С. Ф. Аналіз ймовірності реалізації загроз захисту інформації в автоматизованих системах управління технологічним процесом. Захист інформації. 2014. Том 16. № 1. С. 40–46.

12. Конах В. К. Національний інформаційний простір України: проблеми формування та державного регулювання : аналіт. доп. Київ : НІСД. 2014. 76 с.

13. Косенко В. В. Критерии эффективности использования ресурсов информационно-телекоммуникационной сети. Труды Международной научно-практической конференции "Математическое моделирование процессов в экономике и управлении проектами и программами (ММП-2015)". Харьков-Николаев. 2015. С. 105–106.

14. Методи та засоби підвищення надійності та інформаційної стійкості багатопроцесорних систем для об'єктів критичного призначення: звіт про НДР; кер. роб. О. Романкевич. Київ. 2014. 119 с.

15. Лаврут О. О. Дослідження якості управління потоками інформації у телекомунікаційній системі критичного призначення. Системи озброєння і військова техніка. 2014. № 4 (40). С. 89–93.

16. Hashemian H. M. Predictive maintenance in nuclear power plants through online monitoring. Nuclear and Radiation Safety Journal. 2013. № 4. P. 42–50.

17. Каргин В. А., Николаев Д. А., Скороходов Я. А. Оценивание вероятностных характеристик телеметрируемых процессов ракет-носителей в реальном масштабе времени. Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2014. Вып. № 644. С. 161–168.

18. Лемешко А. В., Вавенко Т. В. Разработка и исследование потоковой модели адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях с балансировкой нагрузки. Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2013. № 3 (29). С. 100–108.
19. Smith W. E., Tomek L., Ackaret J. Availability analysis of blade server systems. IBM Systems Journal. 2008. Vol. 47. No. 4. P. 621–640.
20. Шелухин О. И. Моделирование информационных систем. Москва: Горячая линия-Телеком. 2012. 516 с.
21. Таненбаум Э. С., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. СПб.: Питер. 2012. 960 с.
22. Кучук Г. А., Гахов Р. П., Пашнев А. А. Управление ресурсами инфо-телекоммуникаций. Москва: Физматлит, 2006. 220 с.
23. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы. 3-е изд. СПб.: Питер. 2008. 958 с.
24. Бородакий Ю. В. Эволюция информационных систем (современное состояние и перспективы). Москва: Горячая Линия – Телеком. 2011. 368с.
25. Поповский В. В., Олейник В. Ф. Математические основы управления и адаптации в телекоммуникационных системах. Харьков: ООО "Компания СМИТ". 2011. 362 с.
26. Конахович Г. Ф., Чуприн В. М. Сети передачи пакетных данных. Киев: МК-Пресс. 2006. 272 с.
27. Косенко В. В. Розробка математичної моделі технічної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Математичні моделі та новітні технології управління економічними та-технічними системами: Монографія / за заг. ред. В. О. Тимофєєва, І. В. Чумаченко. Харків. 2016. С. 380-391.
28. Косенко В. В., Кучук Н. Г. Взаємодія технічних і програмних засобів при управлінні розподілом трафіка. Наукове видання «Системи озброєння і військова техніка». Вип. 3 (47). 2016. С. 72–75.

29. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. Эко-Трендз. 2010. 391 с.
30. Кучук Г. А. Метод синтезу інформаційної структури зв'язного фрагменту корпоративної мультисервісної мережі. Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. Харків: ХУПС. 2013. Вип. 2. С. 97–102.
31. Шнепс-Шнеппе М. А. Архитектура PARLAY и сети связи нового поколения NGN: девять лекций. Москва: МАКС Пресс. 2004. 137 с.
32. Чижиков Д. Мультисервисные сети следующего поколения: потребности рынка, принципы, мониторинг. ИКС (13 марта 2008).
33. Поштаренко В. М., Андреев А.Ю., Амаль М. Обеспечение качества обслуживания на критических участках мультисервисной сети. Вісник Національного технічного університету. 2013. № 60. С. 94–100.
34. Косенко В. В., Чумаченко І. В., Ковтунов Ю. О. Алгоритмічні методи контролю технічного стану складних комплексів. Системи обробки інформації. Х.: ХВУ. 2004. Вип. 7. С. 225-229.
35. Талалаєв В. О., Грицький Р. В., Кучер С. В. Мобільні телекомунікаційні мережі критичного застосування: інформаційно-понятійна модель предметної області. Радіoeлектронні і комп'ютерні системи. 2006. № 5 (17). С. 185–192.
36. Косенко В. В., Можаяєв О. О., Ільїна І. В. Питання комутації у широко-смугових цифрових мережах. Системи управління, навігації та зв'язку. Київ: ЦНДІ НіУ. 2007. Вип. 1. С. 74–76.
37. Коваленко А. А. Подходы к синтезу технической структуры компьютерной системы, образующей систему управления объектом критического применения. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. 2014. № 1. С. 116–119.
38. Барановская Т. П., Лойко В. И., Семенов М. И. и др. Архитектура систем и сетей. Москва: Финансы и статистика. 2003. 364 с.

39. Основные стандарты сетей передачи данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gpntb.ru/win/book/5/Doc11.HTML>
40. Проектирование телекоммуникационных и информационных средств и систем: Сб. науч. тр. Под ред. Л. Н. Кечиева. Москва: МИЭМ. 2006. 302 с.
41. Поповський В. В., Сабурова С. О., Олійник В. Ф., Лосєв Ю. І., Лемешко О. В. та ін. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем: за заг. ред. В. В. Поповського. Харків: ТОВ “Компанія СМІТ”. 2006. 564 с.
42. Агеев Д. В., Игнатенко А. А., Копылев А. Н. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия [Электронный ресурс]. Проблемы телекоммуникаций. 2011. № 3 (5). С. 18–37. Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_ageyev_method.pdf.
43. Лаврут О. О., Блажко Л. М. Математичне моделювання процесів функціонування фрагменту мобільного компоненту системи зв'язку ЗС України. Системи обробки інформації. Харків: ХУПС. 2011. Вип. 8 (98). С. 170–174.
44. Лемешко А. В. Тензорная модель многопутевой маршрутизации агрегированных потоков с резервированием сетевых ресурсов, представленная в пространстве с кривизной. Праці УНДІРТ. 2004. № 4 (40). С. 12–18.
45. Лемешко А. В., Евсеева О. Ю., Дробот О. А. Методика выбора независимых путей с определением их количества при решении задач многопутевой маршрутизации. Праці УНДІРТ. 2006. № 4 (48). С. 69–74.
46. Крылов В. В., Самохвалова С. С. Теория телетрафика и ее приложения. СПб.: БХВ-Петербург. 2005. 288 с.
47. Garrett M., Willinger W. Analysis, Modeling, and Generation of Self-Similar VBR Video Traffic. Proceedings. SIGCOMM94. August 1994.
48. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е издание. С.Пб.: Питер. 2003. 783 с.
49. Бестугин А. Р., Богданова А. Ф., Стогов Г. В. Контроль и диагностирование телекоммуникационных сетей. С.-Пб.: Политехника. 2003. 174 с.

50. Давыдов А. Е., Смирнов П. И., Парамонов А. И. Проектирование телекоммуникационных систем и сетей. Раздел Коммутируемые сети связи. Расчет параметров сетей связи и анализ трафика. СПб: Университет ИТМО. 2016. 47 с.
51. Киричек Р. В., Парамонов А. И., Прокопьев А. В., Кучерявый А. Е. Эволюция исследований в области беспроводных сенсорных сетей. СПбГУТ Информационные технологии и телекоммуникации. 2014. № 4 (8). С. 29–41.
52. Ершов В. А., Кузнецов Н. А. Мультисервисные телекоммуникационные сети. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2003. 432 с.
53. Тарасов Д. В., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Особенности видеотрафика для сетей связи следующего поколения. Электросвязь. 2010. № 2. С. 37–43.
54. Куроуз Дж. Росс К. Компьютерные сети. 2-е изд. СПб.: Питер. 2004. 765 с.
55. Кучук Г. А., Кіріллов І. Г., Пашнев А. А. Моделювання трафіка мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі. Системи обробки інформації. Харків: ХУПС. 2006. Вип. 9 (58). С. 50–59.
56. Иванов И. А., Леохин Ю. Л. Интеллектуальное управление компьютерными сетями. Автоматизация и современные технологии. 2006. № 12. С. 26–31.
57. Рид Р. Основы теории передачи информации. Москва: «Вильямс». 2004. С. 304.
58. Николаев Д. А. Оценивание и аппроксимация вероятностных характеристик флуктуационных процессов в системах телеметрии реального времени. СПб.: Изд-во ГУАП. 2010. С. 160–163.
59. Додонов А. Г., Горбачик Е. С., Кузнецова М. Г. Живучесть информационно-аналитических систем в аспекте информационной безопасности. Сб. науч. тр. «Информационные технологии и безопасность». Вып. 4. Киев: ИПРИ НАНУ. 2003. С. 27–30.

60. Косенко В. В., Бусигін Ю. Г., Березуцька О. М. Організація семантичного пошуку в розподіленій мережі. Восьма конференція ХУПС ім. І. Кожедуба "Новітні технології – для захисту повітряного простору", 18 – 19 квітня 2012р.: тези доповідей. Харків. 2012. С. 196-197.

61. Іванущак Н. М., Пасічник В. В. Моделювання розвитку структур комп'ютерних мереж. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2013. Т. 3. № 2 (63). С. 13–19.

62. Гринберг Я. Р., Курочкин И. И. Математическое моделирование последовательного заполнения телекоммуникационных сетей с топологией «колесо» потоками связи. Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2008. Т. 32. С. 82–108.

63. Кенин А. Практическое руководство системного администратора. 2-е издание Издательство: БХВ-Петербург. 2013. 544 с.

64. Леохин Ю. Л. Анализ информационной структуры корпоративной сети. Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. 2008. № 4.

65. Косенко В. В., Кучук Г. А. Метод розподіленого пошуку в інфокомунікаційних мережах організаційно - економічних систем. Актуальные проблемы управления бизнесом, предприятиями и проектами. Материалы VI Международной НПК: тез. докл. Харків: НАУ "ХАІ". 2009. С. 117–118.

66. Kosenko V. Principles and structure of the methodology of risk-adaptive management of parameters of information and telecommunication networks of critical application systems. Innovative technologies and scientific solutions for industries. Kharkiv. 2017. No. 1 (1). P. 45–51.

67. Кузнєцова М. Г. Використання механізмів підвищення живучості у розподілених інформаційних системах. Сб. науч. тр. Информационные технологии и безопасность. Вип. 8. Киев: ИПРИ НАНУ. 2005. С. 63–65.

68. Косенко В. В., Артюх Р. В., Белоцький О. О., Персіянова О. Ю. Реалізація принципів методології ризик-адаптивного управління параметрами інфокомунікаційних мереж систем критичної інфраструктури. Системи управ-

ління, навігації та зв'язку. Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. 2017. № 5 (45). С. 72–79.

69. Косенко В. В., Кучук Г. А., Давікоза О. П., Калкаманов С. А. Методика синтезу інформаційної технології управління мережевим трафіком. Наукове видання «Системи управління навігації та в'язку». Збірник наукових праць. Вип. 2 (26). Полтава. 2013. С. 105–110.

70. Левитт К. Н., Роу Д., Балепин И. В., Мальцев С. В. Системы быстрого реагирования. Защита информации. Конфидент. 2003. № 5. С. 47–50.

71. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі: [навчальний посібник]. Львів: «Магнолія 2006». 2013. 256 с.

72. Козлов С. В. , Остриков Ю. П. , Суханов А. Л. Оптимальное распределение информационно-вычислительных ресурсов на основе двухуровневого критерия. Управление большими системами: сборник трудов. 2014. С. 71–84.

73. Пятибратов А. П., Гудыно Л. П., Кириченко А. А. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Учебное пособие. "Издательство ""Проспект"". 2016. 332 с.

74. Буров Є. В. Комп'ютерні мережі: підручник. Львів: «Магнолія 2006». 2010. 262 с.

75. Информационно-вычислительные сети [Електроний ресурс]. Режим доступу: http://www.pravo.vuzlib.su/book_z1436_page_6.html.

76. Семенов Ю. А. Протоколы Internet. 2-е изд. М.: Горячая линия – Телеком. 2005. 1100 с.

77. MPLS Traffic Engineering (TE) [Електроний ресурс]. Режим доступу: <http://www.mplsinfo.org/traffic-engineering.html>.

78. Awduche D., Chiu A., Elwalid A., Widjaja I., Xiao X. Overview and Principles of Internet Traffic Engineering. 2002. [Електроний ресурс]. Режим доступу: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3272.txt>.

79. Гасников А. В., Кленов С. Л., Нурминский Е. А., Холодов Я. А. и др. Введение в математическое моделирование транспортных потоков. Под ред. А. В. Гасникова. Москва: МФТИ. 2010. 362 с.

80. Новиков Ф. А. Дискретная математика для программистов. 3-е. СПб.: Питер. 2009. С. 277–279.

81. Грешилов А. А. Математические методы принятия решений : учеб. пособие (с расчетными программами на оптическом диске). 2-е изд., испр. и доп. Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. 647с.

82. Левитин А. В. Глава 9. Жадные методы: Алгоритм Дейкстры. Алгоритмы. Введение в разработку и анализ. Москва: Вильямс. 2006. С. 189–195.

83. Орлов А. И. Теория принятия решений. Учебное пособие. Москва: Издательство "Март". 2004. 656 с.

84. Береснев В. Л. Дискретные задачи размещения и полиномы от булевых переменных. Новосибирск: Изд-во Ин-та математики. 2005. 408 с.

85. Девятерикова М. В., Колоколов А. А., Колосов А. П. Унимодулярные преобразования для задач целочисленного программирования и анализ эффективности их применения. Тр. Ин-та математики и механики. 2010. Т. 16. С. 48–62.

86. Владимиров В. С., Жаринов В. В. Уравнения математической физики. Москва: Физматлит. 2004.

87. Александров А. И. Метод последовательных приближений. Днепропетровск: ДГУ. 1995. 36 с.

88. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем. За загал. ред. В. В. Поповського. Харків: ТОВ «Компанія СМІТ». 2006. 564 с.

89. Косенко В. В., Кривчач С. Ф. Обеспечение необходимого уровня качества обслуживания при заданном пределе воздействий на конфигурацию телекоммуникационной сети. Проблемы информатики и моделирования. Материалы 5 международной НТК. Харьков: НТУ "ХПИ". 2005. С. 34–35.

90. Денисова Т. Б., Лихтциндер Б. Я., Назаров А. Н. и др. Мультисервисные АТМ сети. Москва: Эко-Трендз. 2005. 320 с.
91. Вишнеvский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. Москва: Техносфера. 2003. 512 с.
92. Ластовченко, М. М., Русецкий В. Е., Ярошенко, В. Н. Системный анализ эффективности функционирования широкополосной транспортной платформы интеллектуальных сетей. Математичні машини і системи. 2006. № 1. С. 28–39.
93. Косенко В. В., Бугас Д. Н. Анализ эффективности использования ресурсов мультисервисной информационно-телекоммуникационной сети. Научное издание "Технологический аудит и резервы производства". № 5/2 (25). Харьков. 2015. С. 19–23.
94. Леоненко Г. П., Юдин А. Ю. Проблемы обеспечения информационной безопасности систем критически важной информационной инфраструктуры Украины. Information Technology and Security. 2013. Вип. 1 (3). С. 44.
95. Соколов Н. А. Телекоммуникационные сети. М.: Альварес Пабблишинг, 2003. 128 с.
96. Горошанко Я. І., Булаковська А.О., Височіненко М. С., Шматко В. С. Задачі моніторингу та аналізу параметрів телекомунікаційних мереж. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2014. № 3. С. 62–69.
97. Стерин В. Л., Вавенко Т. В., Еферов Д. М. Маршрутизация с балансировкой нагрузки по длине очереди на узлах телекоммуникационной сети. Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2013. № 1 (977). С. 45–49.
98. Парфьонов Ю. Е. Вибір математичного апарату при розробленні імітаційних моделей інформаційних систем. Системи обробки інформації. 2011. Вип. 3 (93). С. 69–72.
99. Калекина Т. Г., Коваленко Т. Н. Обоснование критерия структурно-информационной связности при анализе надежности телекоммуникационных

систем и сетей. Радиоелектроніка, інформатика, управління. 2010. № 1. С. 66–70.

100. Щербак Г. В., Мельнікова Л. І., Рубін І. В., Садовий К. В., Сумцов А. В. Сучасні телекомунікаційні мережі в цивільному захисті. Харків, 2007. – 255с.

101. Косенко В. В., Гіневський М. І., Любченко Н. Ю. Моделирование структуры СОИС для формализации процедуры принятия управленческих решений. Проблемы информатики и моделирования. Материалы 7 международной НТК. Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. С. 52.

102. Косенко В. В., Гіневський М. І., Новіков С. Д. Метод побудови структури базової мережі вимірювальних пунктів. Четверта наукова конференція ХУПС. Харків: ХУПС, 2008. С. 124–125.

103. Косенко В.В., Лисенко Е.В. Аналіз та математичне моделювання структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Наукове видання "Моделювання процесів в економіці та управлінні проектами з використанням нових інформаційних технологій". Харків-2015, С. 215-227.

104. Косенко В.В., Бугас Д.Н. Розробка математичних моделей параметрів потоків даних інформаційно-телекомунікаційної мережі. Наукове видання "Східно-Європейський журнал передових технологій", № 5/4 (77), Харків-2015, С. 37-44.

105. Коновалов Г. В. Многомерные сети - будущее инфокоммуникационных сетей. Электросвязь. 2008. № 4. С. 28–32.

106. Klimash M. M., Lavriv O. A., Bugil B. A., Bak R. I. Model zabezpechennya parametriv yakosti obslugovuvannya sistemi rozpodilu multiservisnogo trafiku. Visnik Nats. un-tu "Lvivska politehnika" "Radioelektronika ta telekomunikatsiyi, 2011. No 705. P. 138–144.

107. Timchenko, O. V., Askar, S., Muhamad, A., Nashat, A. (2008). Doslidzhennya mehanizmiv zabezpechennya yakosti obslugovuvannya v

multiservisnih mrezhah. Modelyuvannya ta InformatsIynI tehnologiyi. Zb. nauk. pr. IPME NAN Ukrayini, 2008. No 47. P. 133–142.

108. Томас Т. Структура и реализация сетей на основе протокола OSPF. Изд-во Вильямс, 2004. 816с.

109. Косенко В.В. Розробка математичної моделі технічної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Монографія "Інформаційні технології та інновації в економіці, управлінні проектами і програмами. Харків-2016. С. 380-391.

110. Косенко В.В., Кучук Г.А., Давікоза О.П. Математична модель технічної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі. Наукове видання «Системи обробки інформації». Збірник наукових праць. Випуск 6. Харків-2013. С. 234-237.

111. Косенко В.В., Кучук Н.Г. Моделювання технічної структури інформаційно-телекомунікаційної мережі на основі конкретної реалізації інформаційної структури. Системи обробки інформації: збірник наукових праць. Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. Вип. 9(146). С. 167-171.

112. Воеводин В. В., Воеводин Вл. В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 608с.

113. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы. Модели вычислений. Структуры данных: Учебник. Нижний Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. 307 с.

114. Таненбаум Э. Компьютерные сети. СПб.: Питер, 2002. 848 с.

115. Дробот О.А. Метод забезпечення гарантованої якості обслуговування інформаційного трафіка для інфокомунікаційної мережі військового призначення. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, 2012. № 2(8). С.115-119.

116. RFC 1122 — Требования к хостам Internet — Коммуникационные уровни [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурса: <http://rfc2.ru/1122.rfc>.

117. Косенко В. В., Артюх Р. В., Роговой А. И. Вариантный синтез иерархии структур инфокоммуникационной сети. Системы управління навігації та зв'язку. Полтава. 2017. Випуск 4 (44). С. 60-63.

118. Mukhin V., Romanenkov Yu., Bilokin Ju., Rohovyi A., Kharazii A., Kosenko V., Kosenko N., Jun Su. The Method of Variant Synthesis of Information and Communication Network Structures on the Basis of the Graph and Set-Theoretical Models. International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA). 2017. Vol. 9. No. 11. P. 42-51.

119. Косенко В. В., Грушенко М. В., Литвинов Ю. С., Майборода І. М. Оптимізація структури базової мережі вимірювальних пунктів багатопозиційної далекомірної системи. Системи обробки інформації. Х.: ХВУ. 2004. Вип. 10. С. 26-31.

120. Кучук Г. А., Петров А. В., Королев Р. В. Математическая модель функционирования специализированного программного комплекса в среде гетерогенной мультисервисной сети. Системи обробки інформації. Харків: Харківський університет Повітряних Сил. 2012. № 3 (101). С. 191–199.

121. Kosenko V. Mathematical model of optimal distribution of applied problems of critical purpose systems on the nodes of the infocommunication network. Control, Navigation and Communication Systems. Poltava. 2017. No. 6 (46). P. 185-189.

122. Косенко В. В., Губа В. М., Некрасов А. Б. Информационный анализ объектов оценивания. Системи обробки інформації. Харків. 2011. Випуск 8. С. 279-281.

123. Соболев И. М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. Москва: Дрофа. 2006. 175 с.

124. Аввакумов В. Г. Методы нескальной оптимизации и их приложения. Київ: Вища школа. 1991. 360 с.

125. Овезгельдыев А. О., Петров Э. Г., Петров К. Э. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. Под ред. Э.Г. Петрова. Київ: Наукова думка, 2002. 163 с.

126. Петров А. В. Применение вектора спада при инсталляции специализированного программного комплекса в среде гетерогенной мультисервисной сети. Радіоелектронні і комп'ютерні системи: науково-технічний журнал. 2012. № 3 (55). С. 128–135.

127. Афонин В. В., Федосин С. А. Моделирование систем. Москва: БИНОМ. 2010. 230 с.