

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерних наук,
управління та адміністрування
Кафедра інформаційних
технологій

Кваліфікаційна робота бакалавра

на тему: Розробка територіально розподіленої
комп'ютерної мережі підвищеної живучості

Виконала студентка групи КН-20
спеціальності 122 Комп'ютерні науки
Воронкова Крістіна

Керівник д.т.н., професор
Мещеряков Володимир
Володимирович

Консультант _____

Рецензент д.т.н., професор
Казакова Надія Феліксівна

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
1 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	7
Аналіз апаратних засобів мереж	7
Аналіз мережевих технологій	11
2 МАТЕМАТИЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕРЕЖ	19
Математичне забезпечення проектування мереж	19
Програмні засоби проектування та моделювання мереж	22
3 АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ ТА ПОБУДОВА ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ	37
Методологія проектування комп'ютерної мережі	37
Резервування як спосіб підвищення надійності мережевих структур	44
4 ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ МЕРЕЖІ	51
Побудова топології та оцінка живучості територіально- розподіленої комп'ютерної мережі	51
Метод підвищення живучості територіально розподіленої комп'ютерної мережі	58
ВИСНОВКИ	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	66

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

CD – Collision Detection;

CDDI – Copper Distributed Data Interface;

CSMA – Carrier Sense, Multiple Access;

DFD – Data Flow Diagrams – діаграми потоків даних;

ERD – Entity-Relationship Diagrams – діаграми "сутність-зв'язок", що моделюють відносини між даними;

FDDI – Fiber Distributed Data Interface – розподілений інтерфейс передачі даних по оптоволокну;

QoS – Quality of Service

SADT – Structured Analysis Design Technique – діаграми, що ілюструють функції, які система повинна виконувати;

STD – State Transition Diagrams діаграми переходів станів, що моделюють залежне від часу поведінка системи (аспекти реального часу);

WWW – World Wide Web;

АСУ – автоматизована система управління;

ВНЗ – вищий навчальний заклад;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

ЛЗ – лінія зв'язку;

ЛКС – локальна комп'ютерна мережа;

САПР – система автоматизованого проектування

СУБД – система управління базами даних;

ТРВ – трафік реального часу;

ТРКС – територіально розподілена комп'ютерна мережа.

ВСТУП

Сучасні виробництва та організації оснащуються засобами обчислювальної техніки, які поєднуються в комп'ютерні мережі різної складності. Створення комп'ютерних мереж полегшує та прискорює доступ до даних, які в ряді випадків можуть знаходитись на видаленні сотень кілометрів у територіально розподілених комп'ютерних мережах. Нині такі мережі перебувають у стадії становлення, які створені та повноцінно функціонують для вирішення проблеми, пов'язаної з доступом даних, їх своєчасним оновленням, можливістю вирішення завдань оперативного прийняття рішень.

Побудова просторово розподілених мереж має враховувати специфіку розв'язуваних прикладних завдань, забезпечуючи таку живучість функціонування мережі, яка потрібна під час проектування, виборі оптимізованої топологічної структури та мережевої технології. При побудові такої мережі виникає потреба комплексного обліку функціональних та структурних можливостей.

Відомі методи та моделі зазвичай орієнтовані на клас мереж локального рівня, тому недостатньо відображають ряд особливостей інтермереж, а саме: необхідність вибору мережевої технології, особливості структури інтермережі, які використовують як основний комунікаційний елемент мережевого шлюзу, а також забезпечення необхідної живучості інтермережі.

Актуальність роботи визначається необхідністю створення методів підвищення живучості просторово розподіленої комп'ютерної мережі з урахуванням вартісних критеріїв.

1 ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

Аналіз апаратних засобів мереж

Поява потужних обчислювальних систем дозволила підприємствам та організаціям покласти на них документообіг, зберігання та управління даними, організацію передачі між підрозділами. Основним недоліком подібних систем на базі великих ПК була висока вартість, мала надійність, великі розміри та незначна віддаленість від об'єкта управління, що не дозволяло контролювати роботу підприємств та організацій, підрозділи яких розподілені на території деякого регіону. Вся обробка інформації виконувалася центральною ПК, а як робочі місця використовувалися найпростіші термінали [1].

Поява персональних комп'ютерів дозволила значно зменшити вартість систем і підвищити їх надійність, з'явилася можливість встановлення персональних комп'ютерів у великих підрозділах підприємств. Завдання підрозділи вирішувалися самим персональним комп'ютером, а дані на вирішення завдань масштабу підприємства передавалися велику ЕОМ, яка залишалася центральним обробним комплексом .

З поширенням персональних комп'ютерів, які мають власні обчислювальні ресурси, з'явилася можливість обробки інформації безпосередньо на комп'ютері користувача. У результаті суттєво спростилася процедура обслуговування робочого місця, ще більше зменшилася його вартість і збільшилася надійність.

У зв'язку з різким зростанням обчислювальних потужностей персональних комп'ютерів та зменшенням їх вартості з'явилася можливість їх об'єднання в локальні комп'ютерні мережі. Вся інформація щодо групи користувачів, що входять до складу локальної мережі, зберігається на файловому сервері, сервері додатків, сервері баз даних, головним завданням яких є забезпечення доступу користувачів до їх ресурсів, а також передача

інформації між користувачами мережі. Це дозволило прискорити обробку даних, т. к. швидкість передачі з локальної мережі у багато разів перевищує швидкість обміну з віддаленої великий ЕОМ [2].

В даний час спостерігається наступний етап розвитку мереж: об'єднання - окремих комп'ютерних мереж в єдину систему, для чого створюються територіально розподілені, регіональні, корпоративні, відомчі комп'ютерні мережі. У такі мережі об'єднуються декілька локальних мереж підрозділів, наприклад, регіональні мережі та реалізовані на їх базі системи управління перевезеннями на водному, залізничному та автомобільному транспорті, банківські відомчі мережі, територіально розподілені мережі газової та нафтової галузей. Структурну схему регіональної мережі представлено на рис. 1.

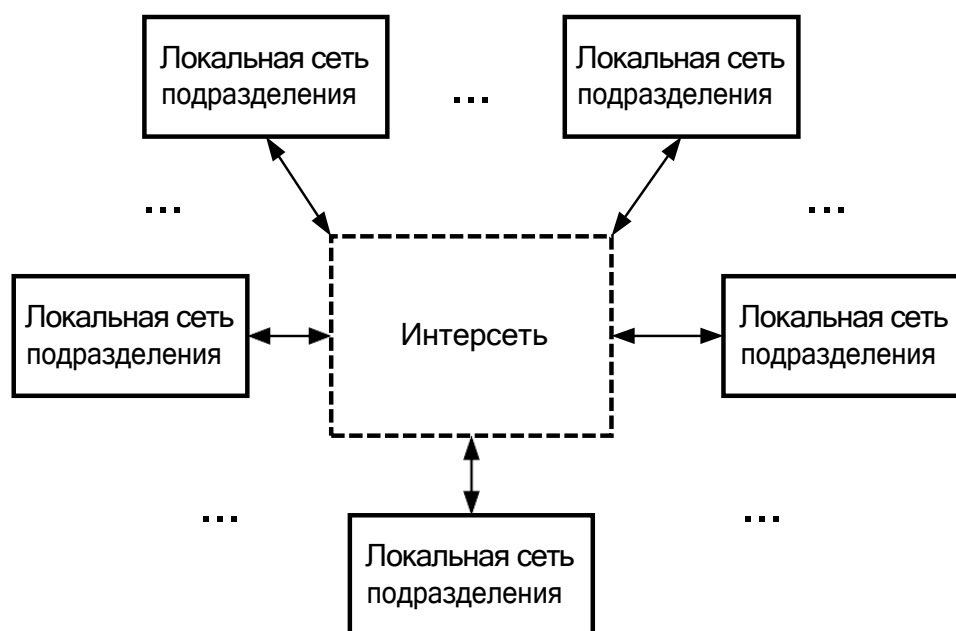


Рисунок 1 – Об'єднання локальних комп'ютерних мереж підрозділів за допомогою інтермережі у територіально розподілену мережу

При побудові мереж необхідно зробити вибір апаратних засобів, які

дозволять вирішити завдання користувача. Ці апаратні засоби можна поділити на такі групи: робочі станції; сервери різного призначення; засоби побудови мережі передачі даних та комунікаційне обладнання.

Робочими станціями у мережах є комп'ютери різних типів. Їх основними характеристиками є продуктивність центрального процесора та мережевого адаптера, обсяг та швидкість роботи оперативної пам'яті та жорсткого диска. При виборі конфігурації робочої станції необхідно врахувати, що з завдань, розв'язувані у ньому, доцільніше покласти більш продуктивний сервер відповідного призначення.

Сервер надає робочим станціям мережеві ресурси, виконує операції над файлами та базами даних, забезпечує цілісність та захищеність інформації, виконує програмні програми. Основними параметрами сервера є кількість і продуктивність центральних процесорів та мережевих адаптерів, обсяг та швидкість роботи оперативної пам'яті та жорсткого диска. Збільшення цих параметрів дозволяє збільшити кількість одночасно оброблюваних запитів і підвищити швидкість обробки даних. Правильний вибір кількості, типів та конфігурації серверів багато в чому визначає стабільність роботи мережі, супутниковий зв'язок та інфрачервоне випромінювання, що забезпечують швидкість передачі інформації від декількох до біт/с до десятків Гбіт/с [3].

При побудові мереж можуть використовуватися повторювачі та мости, що забезпечують передачу даних на великі відстані, комутатори та концентратори, маршрутизатори та мережеві шлюзи, що об'єднують комп'ютери мережі групи, вирішуючи проблему її сегментації. Сегментація зменшує обсяг інформації, що передається по всій мережі, і збільшує її швидкодію і надійність.

Класифікація шлюзів, застосовуваних при побудові інтермереж, може бути виконана за такими критеріями: за структурою – однорідні $\forall k, i, j (v_{k, j} = v_{k, i} = \text{const})$, тобто. всі порти шлюзу мають однакові швидкості, і

неоднорідні $\exists k, i, j (v_{ki} \neq v_{kj})$; по навантаженню – однорідні (всі пакети, що надходять, мають однаковий розмір) і неоднорідні; за способом прийому та передачі даних – дуплексні та напівдуплексні; за типом виконання – внутрішні та зовнішні [4].

Для класифікації мереж використовують ознаку, що характеризує величину території, яку покриває мережу. Зазвичай застосовують такі категорії: локальні, районні (кампусні), міські, регіональні, глобальні мережі.

Локальні мережі розташовані на території площею кілька сотень чи тисячі квадратних метрів. У випадку локальна мережа належить однієї організації. Завдяки невеликим відстаням у локальних мережах можна досягти високих швидкостей обміну даними (до кількох десятків Гбіт/с).

Районні (кампусні) мережі зазвичай складаються з кількох локальних мереж і знаходяться на території площею кілька км². Швидкості передачі в них також досягають кількох десятків Гбіт/с. Типовим прикладом може бути мережа ВНЗ, що складається з низки локальних мереж окремих будівель.

Міські мережі призначені обслуговування території великого міста. У той час як локальні мережі найкраще підходять для поділу ресурсів на малих відстанях, а регіональні та глобальні мережі забезпечують роботу на великих відстанях, але з обмеженою швидкістю та невеликим набором послуг, міські мережі займають проміжне положення. Вони використовують цифрові магістральні лінії зв'язку та призначені для зв'язку локальних та районних мереж у масштабах міста та з'єднання локальних мереж із глобальними.

Регіональні та глобальні мережі об'єднують комп'ютери, які можуть знаходитись у різних містах та країнах. Прокладка високоякісних ліній зв'язку на великі відстані вимагає значних фінансових витрат, в регіональних і глобальних мережах часто використовуються вже існуючі лінії зв'язку, спочатку призначені для інших цілей (наприклад, телефонні канали загального

призначення). Через низькі швидкості передачі даних по таких лініях зв'язку в глобальних мережах набір послуг зазвичай обмежений, проте ця проблема поступово вирішується у зв'язку з широким поширенням і швидким здешевленням оптичного волокна.

Таким чином, в результаті розгляду апаратних засобів, що застосовуються при створенні мереж, можна зробити висновок, що регіональні мережі можна подати у вигляді безлічі локальних мереж підрозділів, які обмінюються даними між собою за допомогою мережевих шлюзів та комунікаційного середовища передачі інформації. Характерною особливістю регіональних мереж є велика різноманітність програмно - апаратних засобів різних виробників, швидкодії та надійності, що використовуються для їх реалізації.

Аналіз мережевих технологій

При побудові локальних мереж найчастіше використовуються мережеві технології сімейства Ethernet [4, 5], які є найпростішими, найдешевшими і найпоширенішими і будуються на базі топологій "шина" або "зірка". Залежно від типу кабельної системи розрізняють такі підтипи Ethernet: 10 base-5 (товстий коаксіальний кабель), 10 base-2 (тонкий коаксіальний кабель), 10 base-T (неекранована кручена пара), 10 base-F (волоконно-оптичний кабель). Дані передаються зі швидкістю до 10 Мбіт/с. Для передачі даних у мережі використовується протокол CSMA / CD (Carrier Sense, Multiple Access with Collision Detection – множинний доступ із контролем несучої та виявленням колізій), всі комп'ютери мережі змагаються між собою за право передати дані.

Технологія Fast Ethernet є швидкісним різновидом Ethernet. Дані передаються зі швидкістю до 100 Мбіт/с, застосовується лише топологія "зірка". Залежно від кабельної системи розрізняють такі підтипи Fast Ethernet: 100 base-T 4 (4 кручені пари), 100 base-TX (2 кручені пари), 100 base-FX (волоконно-оптичний кабель).

Сучасними різновидами даного сімейства мереж є технології Gigabit Ethernet та 10 Gigabit Ethernet з пропускною здатністю відповідно 1 Гбіт/с та 10 Гбіт/с [6]. Наразі завершується розробка стандарту 40 Gigabit Ethernet, що забезпечує передачу даних зі швидкістю 40 Гбіт/с.

Недолік мереж сімейства Ethernet – наявність зіткнень даних у каналі зв'язку, що призводить до значного зниження пропускної спроможності мережі (фірми-виробники мережного обладнання рекомендують завантажувати мережу на 60 – 65 % максимальної можливої величини). У разі високого завантаження мережі затримки при передачі даних стають непередбачуваними, і для збереження стабільності завантаження мережі не повинно перевищувати 40 – 50% від максимального. Частково цей недолік усувається у зв'язку із застосуванням у центрі "зірки" комутаторів замість концентраторів, що дозволяє встановлювати одночасні мережеві з'єднання між різними парами комп'ютерів.

Технологія WideBand [7] використовує топологію "зірка" та має максимальну швидкість передачі даних 1 Гбіт/с. WideBand використовує формат кадрів мереж сімейства Ethernet, але замість протоколу CSMA/CD застосовується метод пріоритетів, що дозволяє уникнути колізій у мережі. Таким чином, WideBand дозволяє значно підвищити продуктивність та надійність локальної мережі за незначного підвищення вартості.

Локальні мережі Token Ring [8] будуються з допомогою топології "кільце", яким циркулює службовий пакет (маркер). Передавати дані може комп'ютер, який має маркер. Дані циркулюють по кільцю, поки не досягнуть адресата. Приймаюча станція після отримання інформації знову передає маркер у мережу. Після повернення маркера до станції-відправника він регенерується і знову передається по кільцю. Кожна робоча станція гарантовано отримує можливість передати дані протягом певного проміжку часу. В даний час існують різновиди Token Ring з пропускною здатністю 4 Мбіт/с та 16 Мбіт/с.

Технологія FDDI (Fiber Distributed Data Interface – розподілений інтерфейс передачі даних по оптоволокну) [9, 10] використовує як середовище передачі оптичне волокно і передає дані зі швидкістю 100 Мбіт/с. Часто застосовується як високошвидкісна мережна магістраль. Для обміну інформацією FDDI використовує два кільця (основне та резервне), що дозволяє підвищити швидкість передачі даних та живучість мережі. З метою зменшення кількості помилок дані передаються у протилежних напрямках. Інтерфейс CDDI (Copper Distributed Data Interface) створений як альтернатива FDDI є дорогим волоконно-оптичним кабелем, і як середовище передачі використовує кручені пари.

Технологія 100 VG – anyLAN (Voice Grade – голосовий канал) [10, 11] підтримує швидкість передачі даних 100 Мбіт/с, кільцеву та зіркоподібну топологію, а в якості середовища передачі застосовується кручена пара та оптичне волокно. У ній використовується протокол пріоритетних запитів DPAM (Demand Priority Access Method), який максимально підвищує ефективність мережі за рахунок відсутності зіткнень даних та затримок передачі маркера. Протокол пріоритетних запитів використовує по два рівні пріоритетів на кожен запит користувача (для підтримки програм мультимедіа, критичних на час виконання, наприклад, відео- та аудіоданих, які повинні передаватися з мінімальними затримками). Важливою перевагою 100 VG – anyLAN є підтримка форматів кадрів Ethernet і Token Ring .

Недолік технологій FDDI та 100 VG - anyLAN – висока складність їх встановлення та експлуатації, висока вартість та мала поширеність.

В даний час все ширше використовуються мережі, що використовують як середовище передачі інфрачервоне випромінювання та радіозв'язок.

Інфрачервоні мережі використовують пряме або розсіяне випромінювання і зазвичай поєднують вузли, розміщені в одному приміщенні, проте існують інфрачервоні мости, що дозволяють об'єднувати сегменти локальних мереж на

відстані до 450 м. Максимальна швидкість передачі становить 10 Мбіт/с. Перевагою подібних систем є їхня висока мобільність і відсутність кабельної системи, а основними недоліками – порівняно низька швидкість передачі даних, невеликий діаметр мережі та низька захищеність від несанкціонованого доступу [11].

За допомогою радіомереж можна досягти максимальної швидкості передачі до 54 Мбіт/с і об'єднувати комп'ютери в межах декількох будівель, а радіомости можуть зв'язувати окремі сегменти локальних мереж на відстані до 40 км [12].

Для передачі між окремими локальними мережами, що знаходяться на значній відстані один від одного, використовуються регіональні, територіально розподілені і глобальні мережі. Для їх реалізації застосовуються технології X.25, Frame Relay та АТМ.

Для передачі від одного абонента до іншого в мережі X.25 використовується метод комутації пакетів [13], який реалізується за допомогою встановлення між абонентами віртуальних (логічних), але не фізичних з'єднань. Перед початком передачі між абонентами встановлюється віртуальне з'єднання – відбувається обмін пакетами "запит дзвінка" – "дзвінок прийнятий". Віртуальні сполуки можуть бути постійними та комутованими. Комутоване з'єднання встановлюється окремо кожен сеанс обміну інформацією, а постійне встановлено незалежно від цього, відбувається обмін інформацією чи ні. Кількість віртуальних з'єднань, що одночасно підтримуються на базі одного фізичного каналу, залежить від конкретного комунікаційного обладнання, застосовуваних методів та алгоритмів. Декілька абонентів у режимі реального часу можуть одночасно використовувати один і той же канал (метод статичного мультиплексування). При тимчасовому поділі каналу кожному з абонентів протягом кожної секунди виділяється певний квант часу передачі інформації. При статичному поділі каналу ступінь його завантаження кожним абонентом у

кожний час не регламентована. Ефективність використання статичного мультиплексування залежить від імовірнісних характеристик потоку інформації. Використання мережі X.25 є ефективним для таких завдань, як обмін повідомленнями між користувачами, звернення користувачів до віддаленої бази даних або віддаленого вузла електронної пошти, зв'язок локальних мереж, підключення віддалених касових апаратів та банкоматів при швидкостях не більше 512 кбіт/с.

Ефективним засобом оптимізації процесу передачі через мережі X.25 є альтернативна маршрутизація. Можливість завдання крім основного маршруту альтернативних маршрутів передбачена у всьому спектрі обладнання X.25, яке відрізняється алгоритмами переходу до альтернативних маршрутів та їх числом. У деяких пристроях перехід до альтернативного маршруту відбувається лише у разі повної відмови однієї з ланок основного маршруту, в інших перехід до альтернативного маршруту здійснюється динамічно в залежності від ступеня завантаження мережі. За рахунок альтернативної маршрутизації можна значно збільшити надійність роботи мережі.

У міру покращення якості каналів стає можливим перехід до мереж, що базуються на інших протоколах. Подальшим розвитком протоколів X.25, спеціально розроблених для низькошвидкісних ліній із високим рівнем перешкод, став протокол ретрансляції кадрів Frame Relay [14, 15]. Цей протокол розрахований на канали значно вищої якості і дозволяє передавати дані на швидкостях 56 кбіт/с – 45 Мбіт/с, а захисту від помилок під час передачі приділяється менше уваги. У разі застосування неякісних каналів зв'язку та наявності великої кількості помилок Frame Relay використовує нижчі швидкості передачі, ніж X.25. Часто в тому самому пристрої частина каналів може працювати за стандартом X.25, інші – за стандартом Frame Relay. Існує обладнання, в якому незалежно від числа каналів та вартості реалізовані обидва протоколи.

Технологія АТМ (Asynchronous Transfer Mode – асинхронний режим передачі) – наступний крок у напрямі збільшення пропускної спроможності, яка використовує канали високої якості [15,16]. На відміну від X.25 та Frame Relay, які були технологіями для побудови лише регіональних та глобальних мереж, АТМ не робить відмінності між локальними та глобальними мережами, є універсальною та всеохоплюючою, оскільки підтримує будь-які мережеві технології та протоколи.

Технологія АТМ замислювалася за аналогією з технологією ретрансляції кадрів та значною мірою залежить від надійності з'єднань між точками служб мережі. Аналогічно Frame Relay технологія АТМ не здійснює перевірку цілісності даних і, приступаючи до контролю помилок і повторної передачі, покладається на інтелектуальність обладнання.

Технологія АТМ принципово в інший спосіб працює з віртуальними каналами. Незалежно від типу каналу з'єднання між користувачами встановлюється заздалегідь, що спрощує процедуру передачі даних і дозволяє значно скоротити підготовку до неї. В результаті знижується навантаження на центральний процесор системи та скорочується час обробки даних, що передаються між окремими користувачами та КС.

У табл. 1 наведено порівняльні характеристики розглянутих типів мережевих технологій.

Досвід відомих проектних рішень у галузі створення регіональних мереж [16] показує, що їх проектування зазвичай ведеться у два етапи. На першому етапі проводиться проектування локальних мереж підрозділів підприємства. На другому етапі проводиться проектування інтермережі, що поєднує локальні мережі підрозділів між собою. Незважаючи на відносну самостійність етапів, кожен з них істотно впливає один на одного. Так, під час проектування локальної мережі конкретного підрозділу необхідно враховувати вплив інших локальних мереж її роботу через регіональну мережу. р align="justify"> При

проектуванні регіональної мережі істотний вплив на її структуру надають програмно-апаратні рішення, застосовані в локальних мережах підрозділів.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики мережевих технологій

Технологія	Довжина з'єднання, м	Пропускна здатність, Мбіт/ с	Вартість робочого місця, у.	Поширеність, %	
				за кордоном	в Україні
1	2	3	4	5	6
Локальні мережі					
Ethernet	100 / 2000	10	10	35	82
Fast Ethernet	100 / 20000	100	20 – 50	24	10
Gigabit Ethernet	100 / 2 0000	1000	60 - 180	15	2
10Gigabit Ethernet	500	10000	120 – 500	5	1
Radio Ethernet	6000	1 1 – 108	120 – 300	5	1
100VG-anyLAN	70000	100	90 – 200	5	1
FDDI	70000	100	90 – 200	5	1
Token Ring	500	16	40 - 70	4	1
BlueTooth	100	0,73	80 – 150	2	1
Регіональні мережі					
ATM	не обмежена	25 - 1200	60 – 550	3	1
WideBand	70000	1000	100 – 200	1	-
X25	не обмежена	0,056 – 0,064	30 - 2 00	5	40
Frame Relay	не обмежена	0,056 – 45	30 – 600	30	5
Модемне з'єднання	не обмежена	0,056	14 - 165	5	45
Канал E1/T1	8000	1,544/2,048	60 - 190	14	2
ISDN	5000	0,064 - 1,920	60 - 190	16	2
SDH STM0/STM1 STM4/STM16	70000	51,8 / 155,5 622,1/2488,3	85 – 1800	9	1
xDSL	8000	0,512 – 50	80 – 600	17	4

Таким чином, за результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що для побудови переважної більшості локальних мереж в Україні та за кордоном використовується сімейство мережевих технологій Ethernet та їх вибір практично однозначний. При створенні регіональних мереж використовується ряд мережевих технологій, кожна з яких має переваги та недоліки, і очевидного рішення в цьому випадку немає.

Метою цієї роботи є підвищення живучості територіально розподілених комп'ютерних мереж.

2 МАТЕМАТИЧНЕ І ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕРЕЖ

Математичне забезпечення проектування мереж

У процесі проектування будь-якої мережі розробник або система автоматизованого проектування працює з математичною моделлю, створеною або модернізованою мережі, яка виконується на основі математичних рівнянь та співвідношень.

За характером властивостей об'єктів, що відображаються, математичні моделі діляться на функціональні, структурні та технологічні.

Функціональні (поведінкові, алгоритмічні) моделі призначені для опису (моделювання) фізичних чи інформаційних процесів, які у мережі під час її функціонування. Функціональні моделі часто являють собою системи рівнянь (алгебраїчних, диференціальних, логічних), які деталізовано пов'язують вхідні, вихідні та внутрішні параметри та характеризують поведінку мережі у певних умовах. Також вони можуть бути представлені у вигляді функціональних схем чи схем алгоритмів.

Структурні математичні моделі відбивають структуру чи структурні характеристики мережі і поділяються на топологічні та геометричні. У топологічних моделях відбивається безпосередньо структура мережі, тобто. склад та взаємозв'язки її компонентів. Топологічні моделі можуть мати форму схем, графів, матриць, таблиць, списків.

У геометричних моделях відображаються геометричні властивості мережі, зокрема, дані про їх розміри, протяжність та інші характеристики. Геометричні моделі можуть бути представлені рівняннями ліній та поверхонь, кресленнями, таблицями, технологічними картами тощо.

За способом отримання математичні моделі поділяються на аналітичні та імітаційні. Аналітична модель може бути отримана шляхом аналізу структурних якостей мережі-оригіналу, і може бути представлена у формі математичних

співвідношень, найчастіше рівнянь різного виду чи систем рівнянь, що пов'язують досліджувані параметри мережі. При цьому, використовуючи відомі математичні методи, можна отримати рішення рівнянь у явному (аналітичному) вигляді, встановивши причинно-наслідкові зв'язки необхідних параметрів та їх закономірності. Для складних об'єктів, якими є комп'ютерні мережі, безпосереднє використання аналітичних моделей у часто проблематично. Як аналітична модель при проектуванні мереж часто використовується модель Л. Клейнрока [17], заснована на представленні мережі у вигляді розімкнутої стохастичної мережі масового обслуговування з експоненційним законом розподілу часу обслуговування в кожному вузлі.

У ряді випадків рішення рівнянь чи інших математичних залежностей під час використання САПР може бути зроблено чисельними методами. Використовувані аналітичні математичні моделі у своїй називаються чисельними. Чисельна модель дозволяє отримувати лише окремі кількісні рішення для конкретних початкових умов та кількісних параметрів мережі.

Імітаційна модель – формалізоване опис поведінки проектованої мережі як правил зміни її стану під впливом зовнішніх і внутрішніх впливів, служить розкриття структурних властивостей аналізованої мережі, відбиваючи лише кількісні взаємозв'язку. Імітаційні алгоритми часто не дають можливості прямого використання відомих математичних методів, але дозволяють імітувати процес функціонування об'єкта на ЕОМ та отримувати за аналогією необхідні залежності та характеристики. Імітаційні моделі можуть використовуватися для дослідження та проектування значно ширшого класу об'єктів та процесів, ніж аналітичні моделі. Такі моделі найбільше підходять для дослідження складних цифрових пристроїв та засобів обчислювальної техніки.

Математичні моделі можна класифікувати залежно від характеру математичного апарату, що використовується для представлення моделі. Так, залежно від лінійності чи нелінійності математичних співвідношень моделі

поділяються на лінійні та нелінійні. Залежно від характеру змінних, що фігурують у моделі, розрізняють безперервні та дискретні математичні моделі. Якщо в моделі відображається випадковий характер параметрів або зовнішніх впливів, то така модель називається стохастичною чи ймовірнісною, інакше – детермінованою.

Залежно від способу реалізації або подання моделі можуть бути представлені у вигляді схем, графів, мовних описів, математичних співвідношень.

Важливим компонентом при проектуванні мережі є модель її життєвого циклу, що визначає набір та послідовність технологічних етапів її створення (рис. 2).

У відомих технологіях використовуються дві моделі життєвого циклу мережі: каскадна та каскадно-ітераційна. Каскадна модель передбачає однофазну схему створення мережі, що включає етапи аналізу, синтезу та впровадження (рис. 2, а). Вихідними для проектування є вимоги технічного завдання (ТЗ) на розробку регіональної мережі АСУ. Найважливішим недоліком цієї моделі є практична неможливість впровадження складної регіональної мережі АСУ у межах однієї фази впровадження. Процес впровадження регіональної мережі займає кілька років і розбивається на ряд етапів, що послідовно виконуються. Багатоетапний

характер фази впровадження фрагментів мережі ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$) відображається каскадно-ітераційною моделлю життєвого циклу створення регіональної мережі (рис. 2, б).

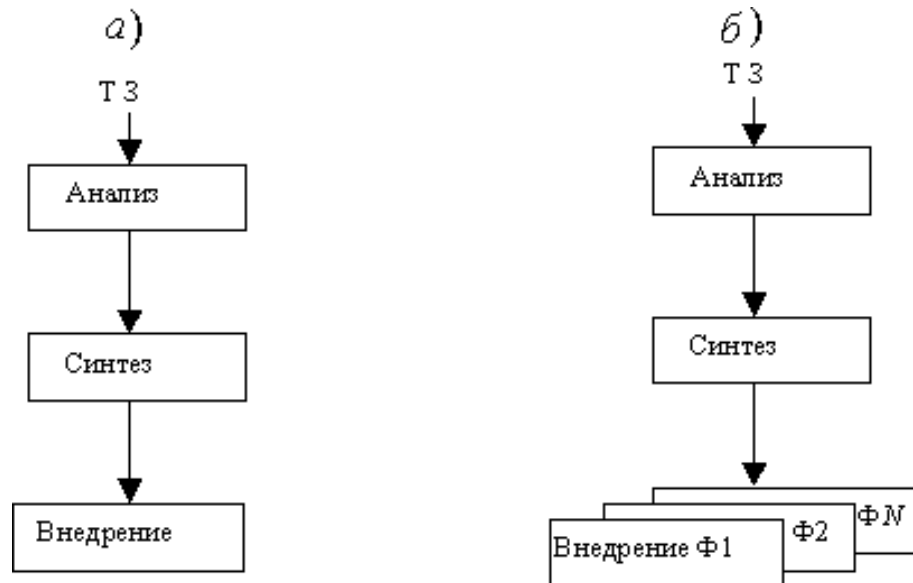


Рисунок 2 – Структури життєвого циклу регіональної мережі:

a – каскадна модель; *б* – каскадно-ітераційна модель

Ключовим моментом будь-якої інформаційної технології побудови регіональної мережі АСУ є модель життєвого циклу регіональної мережі, що використовується в її рамках. Аналіз моделей життєвого циклу, що застосовуються, показує, що в них не враховується динаміка розвитку мережі на всіх етапах життєвого циклу і не розглядається фаза модернізації мережі в процесі експлуатації.

Програмні засоби проектування та моделювання мереж

В даний час підприємства та організації використовують широкий спектр обладнання, на базі якого будуються мережі. Все частіше створюються корпоративні та регіональні мережі, які пов'язують окремі підрозділи та філії в єдину інформаційну структуру. Проектування таких мереж та керування ними перестало бути тривіальним завданням. Для організації процесу управління можуть бути використані спеціалізовані системи адміністрування мережі, які

дозволяють частково автоматизувати діяльність системних адміністраторів і підрозділів мережевої підтримки. Такі системи зазвичай орієнтовані на мережі значних масштабів (сотні чи тисячі вузлів) та якісно виконують моніторинг та управління обладнанням. Однак для вирішення завдань, пов'язаних із проектуванням або модернізацією мережевого комплексу, традиційні системи мережевого управління не призначені. Вимоги до мережі, що пред'являються програмними системами, що використовуються на підприємстві, реалізація додатків архітектури "клієнт-сервер", збільшення інформаційних потоків, розвиток технології WWW вимагають підвищення продуктивності та надійності мереж. І тому здійснюється модернізація устаткування, перепроєктується структура мережі, виконується перехід нові технології передачі. На всіх етапах процесу проектування або модернізації всієї мережі або її окремих ділянок виникають важливі питання, від відповіді на які залежить вибір конкретних технічних засобів. На практиці при побудові або модернізації мереж може виникнути необхідність визначити, наприклад, наскільки зросте швидкість обміну інформацією двох віддалених підрозділів при використанні каналу E1 зі швидкістю передачі даних 2 Мбіт/с замість каналу ISDN зі швидкістю передачі даних 128 кбіт/с, як перебудувати топологію мережі та яке додаткове обладнання знадобиться, щоб підвищити продуктивність клієнт-серверних додатків на 20 %, як підвищиться ефективність доступу до Інтернету за умови встановлення більш швидкісних модемів тощо. Аналіз подібних ситуацій неможливий без побудови моделей існуючої чи створюваної мережі. Тим не менш, на ринку програмного забезпечення практично не представлені ефективні програмні засоби, за допомогою яких можна створити адекватну модель великої мережі. Програмні продукти для моделювання мережевих комплексів існують і розвиваються [18], проте переважна більшість з них орієнтована на моделювання окремих сегментів локальних мереж та на конкретні мережеві технології (Ethernet, Token Ring та ін). В результаті, коли потрібно перейти від

локальних мереж та їх сегментів до територіально-розподілених мереж, можливості цих продуктів є недостатніми.

Система проектування та моделювання мереж Net Cracker випускається фірмою Net Cracker Technology дозволяє створювати модель мережі будь-якого масштабу, легко налаштовується і проста у використанні [19]. Система має велику базу даних, що зберігає інформацію про 5 тис. різних пристроїв: повторювачі, концентратори, комутатори, мережеві адаптери, сервери різних виробників, є відомості про навантаження, що створюється різним програмним забезпеченням. Базу даних можна легко доповнити.

Кожен пристрій описується набором властивостей, які докладно описують затримку, швидкість передачі, фільтрації та перенаправлення пакетів, протоколи, тип портів, їх доступність, опис інтерфейсної карти і т.д. Апаратне та програмне забезпечення в сукупності дозволяє описувати різноманітні мережеві архітектури: клієнт-сервер, VLAN (віртуальна локальна мережа), інтранет, бездротові мережі та ін.

Мережеве навантаження може бути описане звичайним потоком даних або потоком голосової та відеоінформації. Для завдання цього навантаження потрібно вказати станцію-відправник, станцію-одержувач і вид трафіку: розмір пакетів, час очікування між їх передачею, закон зміни цих величин, протокол високого рівня (S MTP, POP3, P P P, HTTP) і типи програмних додатків: САПР, файловий сервер або сервер баз даних, використання IP-телефонії, однорангова мережа та ін. Під час моделювання мережі кожен клас заявок наочно представлений у вигляді прямокутників, що рухаються, певного кольору.

Net Cracker має розвинені засоби генерації звітів, а також можливість організації розриву та відновлення зв'язків між мережевими пристроями. Це дозволяє промоделювати різні сценарії розриву з'єднань, перевантаження сервера, перевантаження каналу та ін. Ця можливість надзвичайно важлива для

розробника чи адміністратора мережі, оскільки уможлиблює моделювання мережі у нормальному режимі, а й у режимі виходу з ладу її окремих елементів.

Після створення моделі локальної мережі Ethernet у системі проектування та моделювання мереж NetCracker, що складається з робочої станції, комутатора та сервера (рис. 3), та проведення моделювання були отримані наступні результати: завантаження каналів сервер – комутатор та робоча станція – комутатор склало 100 % з швидкістю передачі 1,5 Мбайт/с. Цей приклад показує недосконалість застосованої розробниками NetCracker моделі мережі Ethernet, т.к. використання каналу передачі даних у мережах цього типу ніколи не досягає 100%, тому що метод доступу до середовища CSMA / CD стає неефективним при завантаженні понад 65%.

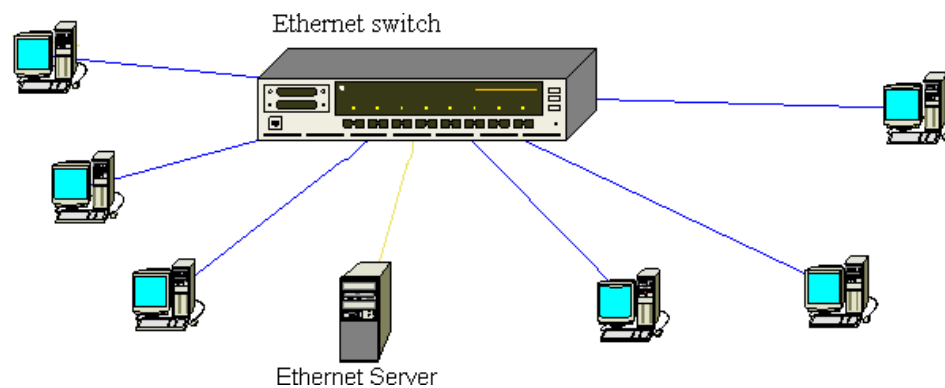


Рисунок 3 – Модель локальної мережі в системі проектування та моделювання мереж NetCracker Professional

Крім того, обов'язкові часові інтервали між пакетами також знижують пропускну здатність. У зв'язку з тим, що NetCracker враховує лише максимальну пропускну спроможність моноканалу, можна дійти невтішного висновку, що моделювання роботи мереж сімейства Ethernet реалізовано без урахування найважливіших чинників. Примітивність використаної

розробниками математичної моделі є недоліком цієї системи, що має багаті можливості з моделювання різноманітних мережевих архітектур.

Система проектування та моделювання мереж ORLAN [20] дозволяє моделювати локальну мережу, що включає кілька типів мережевих пристроїв – робочі станції, сервери, концентратори та комутатори. Наявна база даних пристроїв невелика, але дозволяє користувачеві вносити нові та редагувати наявні пристрої.

ORLAN відрізняється простотою використання, налаштування пристроїв мережі зведені до мінімуму. В основі ORLAN лежить алгоритм SCAT, призначений для наближеного аналізу мережевої моделі обчислювальних систем з організованими чергами. Вся мережа, що досліджується, представляється як замкнута система масового обслуговування, що складається з декількох систем масового обслуговування [5, 6], що включають чергу, що накопичує заявки для обробки, і сервер (обслуговуючий прилад), що обробляє ці заявки. Отримавши обслуговування в черговій системі масового обслуговування, заявка слідує наступною. Замкнута система масового обслуговування має постійну кількість заявок, що циркулюють у ній. Заявки можуть бути згруповані у класи, де кожен клас задає певне завантаження. Як обслуговуючий прилад можуть виступати процесор, мережевий адаптер, дисковий контролер, жорсткий диск та ін. Система масового обслуговування, яка може надати не більше одного обслуговуючого приладу для обробки заявки, що надійшла, називається системою з фіксованим потоком обробки. Така система, наприклад, може використовуватися для моделювання пристроїв вводу/виводу. Система масового обслуговування, яка може надати кожній заявці, що надійшла окремий сервер, називається системою із затримкою. Якщо кількість обслуговуючих приладів є складною функцією від числа заявок, що надійшли, система масового обслуговування називається завантаження - залежною. Це найбільш загальний варіант, і він дозволяє моделювати

багатопроесорні системи, безліч логічних каналів з обмеженим числом фізичних каналів і т.д.

Порівняно з іншими алгоритмами, S CAT вимагає меншого обсягу пам'яті для роботи за наявності в мережі великої кількості систем масового обслуговування та класів заявок. Він пред'являє прийнятні вимоги до пам'яті та продуктивності, забезпечуючи помилку трохи більше 10 % . S CAT дозволяє обчислити середні характеристики: середню довжину черги, середній час очікування, завантаження та коефіцієнт використання для всіх використаних вузлів та класів заявок.

В результаті проведеного моделювання локальної мережі, що складається з клієнта, комутатора та сервера з набором класів заявок, як і в прикладі для системи NetCracker (рис. 1), отримані результати, представлені в табл. 2. Порівняємо ці результати зі значеннями, отриманими за допомогою NetCracker Professional.

Таблиця 2 – Параметри мережі, розраховані у системі проектування ORLAN

Параметр	Значення
Середня довжина черги у клієнті / сервері, пакети	0,93/4
Середня довжина черги у моноканалі, пакети	0,38
Середній час очікування у клієнта / у сервері, мс	2 / 8,67
Середній час очікування в моноканалі, мс	1,04
Коефіцієнт використання клієнта / сервера , %	92,6 / 92,6
Коефіцієнт використання моноканалу, %	31,1

Середню довжину черги та середній час очікування NetCracker Professional не дозволяє визначити, хоча велика довжина черги на сервері говорить про його перевантаженості. Перевантаженість сервера призвела до того, що він не встигає відразу відповідати на заявки, що прийшли. Відповідно,

канал передачі даних виявився не таким завантаженим і коефіцієнт його використання далекий від максимально можливого, як у NetCracker Professional.

Застосована в системі проектування та моделювання мереж ORLAN математична модель дозволила набагато точніше розрахувати необхідні параметри. Недоліком ORLAN є те, що ця система не дозволяє моделювати мережу довільного розміру, оскільки це значно ускладнює побудову та розрахунок відповідної моделі. Крім того, хоча алгоритм S CAT придатний для роботи з будь-якими мережами, він не враховує особливості роботи протоколів канального рівня (наприклад, метод доступу до середовища CSMA/ CD для Ethernet). Це означає, що з великих завантажень моноканалу S CAT матиме занадто велику похибку, хоча вивчення поведінки мережі у стресових умовах становить найбільший інтерес. Важливою перевагою ORLAN є те, що це один із небагатьох програмних продуктів для моделювання комп'ютерних мереж, розроблених в Україні. Він має невисоку вартість та постійно модернізується.

Система проектування та моделювання мереж NetMaker XA фірми Make System має нагороду "Продукт світового класу". Обчислювальне ядро моделювання, яке використовується в Netmaker XA, – одне з найпотужніших серед систем проектування та моделювання мереж. Основу продукту становлять модулі Visualizer, Planner і Designer, кожен із яких виконує певну функцію при моделюванні.

Visualizer служить для отримання інформації про мережу та її перегляд. До його складу входять SNMP-модулі автоматичного розпізнавання, які опитують мережеві пристрої та створюють відповідні їм об'єкти. Інформацію про ці об'єкти можна редагувати за допомогою Visualizer. Planner – це бібліотека пристроїв, яка допомагає проаналізувати, що вийде при встановленні в мережі нового пристрою. Фірма-розробник поставляє вбудовані модулі, що містять дані про продукти різних виробників. Вони містять повний опис різних моделей пристроїв (від числа мережевих інтерфейсів до типу процесора). За

допомогою Planner користувач може самостійно створювати власні описи мережевих пристроїв та каналів зв'язку, які не включені до бібліотеки. Designer використовується для побудови мереж мереж. Якщо користуватися ним спільно з Planner, можна отримувати інформацію про те, як працюватиме мережа заданої конфігурації.

У системі NetMaker можливе представлення мережі в прив'язці до географічного розташування і до розташування в межах кількох будівель, що стоять поруч. NetMaker підтримує базу даних тарифів і містить модуль ведення обліку ресурсів, що дуже корисний при оцінці вартості конкретних удосконалень, генерує детальні звіти про роботу проектованої системи. NetMaker надає можливість імпорту трафіку від мережевого аналізатора.

Основними недоліками пакета є його висока ціна та можливість встановлення лише на комп'ютерах Sun SPARCstation з ОС Solaris.

Сімейство продуктів COMNET американської фірми CACI Products Company призначено для моделювання мережі будь-якого масштабу – від локальної мережі до корпоративного мережного комплексу, який поєднує безліч філій, пов'язаних один з одним та з мережею Internet [17]. У ядрі моделювання цієї системи застосовано унікальну технологію декомпозиції потоків та використано об'єктно-орієнтовану мову програмування MODSIM II. Центральний продукт цієї системи – COMNET III – дозволяє моделювати роботу мережі до рівня окремих пакетів з урахуванням використання різноманітних мережевих технологій, алгоритмів маршрутизації та транспортних протоколів. Побудована за допомогою COMNET III модель мережі дає можливість аналізу реалізованої топології, збирання будь-якої статистичної інформації, пов'язаної з окремими вузлами та сегментами мережі чи каналами зв'язку. Другим важливим елементом цієї системи є продукт COMNET Predictor. Він забезпечує стратегічне моделювання, націлене на прогнозування завантаженості мережних каналів та вузлів з урахуванням

можливого зростання трафіку окремими каналами, додатками та протоколами всередині мережі. Результатом моделювання в середовищі COMNET Predictor є рекомендації та пропозиції щодо заміни найбільш завантажених пристроїв на більш продуктивні, по модернізації каналів зв'язку або відмови від експлуатації каналів, що слабо використовуються. Модель дає можливість виявити вузькі місця в КС, випробувати різні підходи до модернізації та аналізувати результати впровадження нових мережевих рішень у існуючу мережу. Застосування такої моделі дозволяє оцінити вартість та ефективність тих чи інших рішень та має передувати придбанню дорогого обладнання та оренди високошвидкісних каналів зв'язку. Модель, створена COMNET Predictor, може бути експортована в COMNET III для проведення докладного моделювання найбільш критичних ділянок. Важливим доповненням до описаних продуктів є COMNET Baseline – засіб, що здійснює імпорт топології мережі із традиційних систем мережевого управління, таких як Cabletron Spectrum, HP OpenView, IBM NetView, DEC Polycenter та інших. У COMNET Baseline реалізовано та імпорт даних про трафік із систем мережевого моніторингу та аналізу пакетів даних Network General Експерт Sniffer, HP NetMetrix та ін.

На першому етапі роботи в системі COMNET III формується уявлення моделі, що моделюється. Для опису проектованої мережі призначений вбудований графічний редактор, що дозволяє вибирати об'єкти з бібліотеки та пов'язувати їх. На наступному етапі отримана схема розміщення та взаємозв'язків обладнання мережевого комплексу використовується для введення або модифікації безлічі параметрів окремих вузлів, мережевих сегментів або каналів зв'язку. Продукт має поповнювані бібліотеки об'єктів, що містять готові описи мережевих пристроїв багатьох виробників. Користувачеві потрібно лише вказати деякі специфічні значення (наприклад, пропускну здатність фізичних каналів зв'язку) та задати характеристики нестандартних пристроїв. Усі бібліотечні параметри можуть коригуватися, а отримані в

результаті корекції нові пристрої можуть додаватися до бібліотеки. Найбільш часто використовуваними характеристиками вузлів мережі є час обробки та затримки пакетів для різних протоколів, обсяг та структура розміщення файлів на жорстких дисках комп'ютерів, пропускна спроможність шин та комунікаційних модулів. Для сегментів мереж вказується тип доступу (CSMA/CD, Token Ring та ін.), ширина смуги пропускання, розмір кадру, кількість службової інформації у кадрі. До параметрів каналів зв'язку відносяться кількість логічних каналів та їх пропускна здатність, ймовірність - помилок тощо.

Після визначення топології мережі та всіх необхідних для моделювання - параметрів задається існуюче або передбачуване навантаження на мережу. Такі відомості можуть бути задані трьома різними способами або їх комбінуванням:

- імпортування даних із системи мережевого моніторингу;
- опис матриці трафіку, яка визначає потоки інформації, що передаються між парами вузлів, при цьому не враховуються конкретні програми, що створюють трафік;

Завдання параметрів для вузлів мережі – джерел трафіку.

На останньому етапі, який передуює безпосередньому моделюванню - роботи мережі, формується специфікація цікавої для розробника вихідної інформації та здійснюється вибір тимчасового періоду, кількості проходів та інших параметрів моделювання. Крім того, можна демонструвати проходження пакетів по мережі та відзначати кольором об'єкти, параметри яких перевищили задані граничні значення. Таким чином, вузькі місця мережі одразу стають очевидними. Моделювання роботи мережі завершується відображенням зібраних статистичних даних у вигляді таблиць чи графіків. Проаналізувавши цю інформацію, розробник може прийняти рішення про зміну структури мережі, встановлення потужнішого мережевого обладнання, використання більш продуктивних каналів передачі даних. Повторне моделювання дозволяє

переконалися в доцільності зроблених змін, оцінити ефективність обладнання. Після кількох прогонів моделі стає можливим вибір конфігурації та параметрів мережі, що найкраще задовольняють поставленим вимогам.

Основним недоліком даного продукту є висока вартість. Доступні версії для Windows 95/98/NT/2000/ XP та Unix.

Система проектування та моделювання мереж SES /STRATEGIZER розроблена фірмою Scientific and Engineering Software, має велику бібліотеку пристроїв, зручні засоби побудови мережі, що моделюється, і високу швидкість роботи. Дана система дозволяє збирати статистичні дані про конкретні елементи моделі, наприклад, стежити за ступенем завантаження центрального процесора з розбивкою процесів і користувачів. Один із серйозних недоліків SES/STRATEGIZER – необхідність перезапуску моделі при кожному внесенні змін до проекту, хоча інші системи проектування та моделювання мереж дозволяють вставляти у модель змінні, що враховують зростання та модернізацію мережі. В результаті можна випробувати кілька варіантів під час одного прогону програми.

Система проектування та моделювання мереж Optima 1 – високоточний інструмент моделювання, здатний виконувати всі найбільш загальні завдання моделювання та імітації. Optima 1 є єдиною системою, яка надає рекомендації щодо роботи з імітаційною моделлю, допомагаючи адміністратору мережі швидко знаходити проблеми та вживати заходів щодо покращення її продуктивності. Optima 1 має потужний інструментарій для імпорту даних про трафік від мережевих аналізаторів та об'ємну бібліотеку мережних пристроїв. Якість моделювання висока, але звіти, що генеруються, не містять детальної інформації про характеристики проектованої мережі. Система дозволяє проаналізувати географічне розміщення мережі та оцінити вартість її створення чи модернізації. При моделюванні можна динамічно змінювати пропускну здатність з'єднань, щоб визначити найкраще співвідношення вартість-

продуктивність.

Система проектування та моделювання мереж NetArchitect компанії Zitel не має механізму виявлення мережних пристроїв, тому необхідно вводити їх вручну. Крім того, у пакеті відсутні кошти для імпорту даних про трафік від мережних аналізаторів. Проте NetArchitect – єдина система, яка враховує у моделі як мережеві компоненти, а й компоненти клієнтів і серверів і дозволяє оцінити затримку під час роботи центрального процесора, системи вводу/виводу тощо, спрощуючи процес пошуку вузьких місць. Недоліком системи є слабкі засоби візуалізації результатів моделювання.

Система проектування та моделювання мереж Opnet IT Guru складається з модуля редактора проекту, у якому створюються мережеві моделі, модулі статистики, моделювання, перегляду та аналізу результатів проектування. Для моделювання можуть використовуватися протоколи TCP, IP, BGP, IGRP, EIGRP, IS-IS, OSPF, RIP, RSVP, STP, технології ATM, Ethernet, Frame Relay, Token Ring, VLAN та ін. Є велика бібліотека мережних пристроїв різних виробників, до якої можна додавати самостійно створені пристрої або імпортувати дані із системи мережевого моніторингу. Система складна в освоєнні, але дозволяє включити у процес моделювання безліч параметрів та отримати докладні та наочні результати.

Для створення або модернізації регіональних мереж застосування систем проектування та моделювання мереж необхідно, оскільки без їх використання неможливо точно проаналізувати роботу мережі з урахуванням обсягів і типів даних, що передаються користувачами, конкретної топології мережі з урахуванням живучості і вартості і величини часу передачі даних через регіональну мережу. Внаслідок цього можуть виникнути суттєві додаткові витрати на прокладання кабельних систем або дострокову модернізацію мережного обладнання, продуктивність якого достатня для поточного

завантаження мережі, але стане недостатньою у зв'язку зі збільшенням кількості користувачів та їх зростаючими потребами.

Основні характеристики розглянутих систем проектування та моделювання мереж представлені у табл. 3.

Таблиця 3 – Порівняльні характеристики систем проектування та моделювання мереж

Продукт	Платформа	Імпорт трафіку	Модель	Ціна, тис. дол.
Comnet III	HP-UX, AIX, IRIX, Solaris	з аналізатора	імітаційна	40
NetArchitect	Windows	з аналізатора		10 – 20
Bones Design	Windows	ні		15
OPNET Modeller	Windows, HP-UX, Solaris	з Sniffer, HP OpenView		17
SES Strategizer	Windows	з HP NManager , IBM Tivoli		10
VSE	Windows, Unix	ні		18
SimuNet	HP-UX, IRIX	ні		15
NetMaker	Solaris	з аналізатора	аналітична, імітаційна	10 – 40
Virtual Agent	Windows	ні		1 2 – 40
Optimal Performance	Windows	зі Sniffer		25 - 100

В результаті аналізу систем проектування та моделювання мереж можна зробити такі висновки.

Розглянуті програмні продукти для моделювання роботи мереж різних типів значно відрізняються один від одного за ціною, складністю та функціональними можливостями. Однак жоден з них не можна розглядати як повністю готовий до вживання засіб, здатний всебічно моделювати роботу існуючої або проєктованої мережі. Деякі програмні системи розраховані на управління локальними мережами, дозволяють будувати схеми мереж і мають обмежені можливості моделювання. Більш складні системи призначені для адміністраторів складних корпоративних мереж та здатні проводити глибокий

та якісний аналіз регіональних та глобальних мереж.

Існуючі системи проектування та моделювання мереж не дозволяють будувати топологію мережі, що проектується, що призводить до побудови топології без наукового обґрунтування на базі накопиченого досвіду попередніх проектних рішень, через що регіональні мережі мають неоптимальне співвідношення ціна-живучість.

В результаті проведеного аналізу технологій та стандартів локальних та регіональних мереж, а також програмних систем проектування та моделювання мереж можна укласти:

1. В даний час застосовується широкий спектр мережевих технологій створення регіональних мереж, апаратного та програмного забезпечення, що значно розрізняються в галузі застосування, складності, пропускну здатності, надійності та вартості, тому їх вибір утруднений навіть для професійного розробника, у той час як для створення локальних мереж у переважній більшості випадків застосовуються технології сімейства Ethernet, а головним критерієм вибору є мінімальна вартість рішення.

2. Наявні системи проектування та моделювання мереж вимагають значних обчислювальних ресурсів, дуже дорогі чи недоступні, неможливо виконати побудова мережевих топологій і підрахунок обсягів трафіку і враховувати його типи.

3. Відомі методи та моделі, що застосовуються при проектуванні, орієнтовані головним чином на клас мереж локального рівня, тому вони не враховують ряд особливостей інтермереж: необхідність вибору мережної технології, що враховує необхідність передачі даних на великі відстані з використанням відносно низькошвидкісних каналів передачі даних; особливості структури інтермережі, яка використовує як основний комунікаційний елемент мережеві шлюзи; забезпечення необхідної живучості.

4. Для розробки апарату, що описує поведінку мережевих шлюзів, що

мають різну структуру та працюють з різним навантаженням у територіально розподілених мережах з різною топологічною структурою та довільною кількістю проміжних вузлів, необхідно використовувати математичні моделі, які дозволяють отримати в короткий термін рішення високого ступеня точності.

5. У зв'язку з сферою застосування мереж, що розширюється, лавиноподібним зростанням користувачів і спектру розв'язуваних завдань необхідна розробка шляхів підвищення живучості територіально розподілених мереж.

3 АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ ТА ПОБУДОВА ТОПОЛОГІЇ МЕРЕЖІ

Методологія проектування комп'ютерної мережі

Велике значення під час створення територіально розподілених мереж високої складності має початковий етап проектування мережі. Нечіткість вимог, невирішені питання та допущені на етапі аналізу помилки породжують на наступних етапах складні, часто нерозв'язні проблеми.

Для аналізу інформаційних потоків на початкових етапах розробки мережі доцільно використовувати структурний аналіз – метод дослідження, що починається із загального огляду проектованої системи та надалі поступово деталізується, набуваючи ієрархічної структури. Для таких методів характерне розбиття на рівні з обмеженням числа елементів кожному з них. На кожному рівні включаються лише основні деталі і застосовуються суворі формальні правила запису. Так відбувається послідовне наближення до кінцевого результату [11].

В даний час відомо близько 90 різновидів структурного системного аналізу, які можуть бути класифіковані стосовно об'єктів дослідження, по порядку побудови моделі, за типом цільових систем. У всіх цих методах використовують три групи коштів.

1. DFD (Data Flow Diagrams) – діаграми потоків даних або SADT (Structured Analysis Design Technique) – діаграми, що ілюструють функції, які система повинна виконувати.

2. ERD (Entity-Relationship Diagrams) – діаграми "сутність-зв'язок", що моделюють відносини між даними.

3. STD (State Transition Diagrams) – діаграми переходів станів, що моделюють залежне від часу поведінка системи (аспекти реального часу).

В даний час для моделювання відносин між даними в комп'ютерних

системах та мережах застосовуються і ERD-, і STD-діаграми, тому виконаємо порівняльний аналіз засобів функціонального моделювання – DFD-і SADT-діаграм за такими параметрами:

- адекватність засобів моделювання аналізованої проблеми;
- узгодженість з іншими засобами аналізу;
- інтеграція з наступними етапами розробки та проектування.

Вибір структурної методології залежить від завдань, на вирішення яких створюється модель. Виділимо два різновиди таких завдань: задачі, пов'язані з реорганізацією існуючої мережі та завдання, пов'язані з аналізом вимог та проектуванням "з нуля" територіально розподілених або складних локальних мереж.

Під час аналізу систем обробки інформації зазвичай використовується методологія DFD [11]. Практично будь-який клас систем може бути успішно промодельований за допомогою DFD-орієнтованих методів. У цьому випадку замість реальних об'єктів розглядаються відносини, що описують властивості цих об'єктів та правила їхньої поведінки. Прикладами таких систем є системи документообігу, управління та інші системи, багаті різноманітними відносинами.

SADT-діаграми значно менш виразні та зручні для моделювання систем обробки інформації. Дуги SADT жорстко типізовані (вхід, вихід, управління, виконавець). У той самий час стосовно системам обробки інформації стирається смислове різницю між входами-виходами і управліннями і механізмами: входи, виходи і управління є потоками даних чи управління і правилами їх трансформації. Аналіз системи за допомогою потоків даних і процесів, що їх перетворюють, є прозорішим і недвозначним.

SADT відсутні засоби для моделювання особливостей систем обробки інформації, тоді як DFD спочатку створювалися як засіб проектування інформаційних систем і мають більш багатий набір елементів, адекватно

відображають специфіку таких систем (наприклад, сховища даних є прообразами файлів або баз даних, зовнішні сутності відображають взаємодію моделюється системи із зовнішнім світом) [11, 19].

Обмеження SADT, що забороняють використовувати більше 5-7 блоків на діаграмі, часом змушують штучно деталізувати систему, що ускладнює розуміння моделі, різко збільшує її обсяг і веде до неадекватності моделі реальної ситуації.

Важливою перевагою будь-яких моделей є можливість їх інтеграції з моделями інших типів на різних етапах проектування, зокрема, важлива узгодженість функціональних моделей із засобами інформаційного (ERD) та подієвого чи тимчасового (STD) моделювання. Узгодження SADT-моделі з ERD або STD практично неможливе або має тривіальний характер. У свою чергу, DFD, ERD та STD взаємно доповнюють один одного, будучи узгодженими уявленнями різних аспектів однієї і тієї ж моделі. У табл. 4 показані можливості такої інтеграції для DFD та SADT-моделей.

Таблиця 4 – Сумісність методологій проектування

Назва	ERD	STD	Структурні карти
DFD	+	+	+
SADT	+	-	-

Інтеграція DFD – STD здійснюється за рахунок розширення класичної DFD спеціальними засобами проектування систем реального часу (керівними процесами, потоками, сховищами даних). Інтеграція DFD – ERD здійснюється з використанням відсутнього SADT об'єкта – сховища даних, структура якого описується з допомогою ERD.

Важлива характеристика методології – її сумісність з наступними етапами застосування результатів аналізу (передусім – з етапом проектування, що

безпосередньо наступає за аналізом та спирається на його результати). Так, DFD можуть бути легко перетворені на моделі проектування (структурні карти). Відомий ряд алгоритмів автоматичного перетворення ієрархії DFD у структурні карти різних видів, що забезпечує логічний та безболісний перехід від етапу аналізу вимог до проектування системи. З іншого боку, нині відсутні формальні методи перетворення SADT-діаграм на проектні рішення системи обробки інформації.


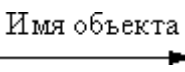
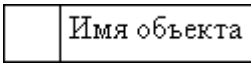
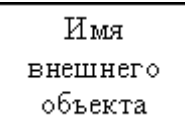
Як показує проведений аналіз, методологія SADT (її підмножина IDEF0) є нині однією з найпопулярніших у Росії та Україні. Проте, за матеріалами найавторитетнішої у цій галузі у країнах аналітичної групи CASE Consulting Group, методологію SADT підтримує лише 10% існуючих CASE-пакетів, решта 90% підтримують методології, що базуються на різних різновидах DFD. Таке саме співвідношення справедливе й у поширеності перелічених методологій практично. Це підтверджується розробкою стандарту IDEF3 (функціональне моделювання з використанням діаграм потоків даних) та включенням засобів роботи з DFD до програмних CASE-систем, орієнтованих на SADT (наприклад, один з лідерів світового ринку CASE-засобів фірма Logic Works, що здійснила відповідні розширення пакету BPWin).

Враховуючи результати проведеного аналізу, для побудови інформаційної моделі мережі оберемо методологію DFD як більшою мірою відповідну поставленому завданню та більш універсальну.

Інструментальні засоби проектування (CASE-системи) випускаються багатьма провідними компаніями (Sybase, Oracle, Informix, Logic Works та ін) і підтримують кілька способів представлення DFD-діаграм, включаючи такі модулі: модуль побудови діаграм потоків даних; модуль побудови діаграм "сутність-зв'язок" та їх перетворення на реляційну модель; модуль створення додатків.

Діаграми потоків даних DFD будуються із елементів, представлених у табл. 5.

Таблиця 5 – Об'єкти, що застосовуються у методології DFD

Елемент	Опис елемента	Позначення
Функція	дія, що виконується моделюється системою	
Потік даних	об'єкт, над яким виконується дія (може бути інформаційним (логічним) або керуючим)	
Сховище даних	Структура зберігання інформаційних об'єктів	
Зовнішня сутність	Зовнішній щодо системи об'єкт, що обмінюється з нею потоками даних	

Функції, сховища та зовнішні сутності на DFD-діаграмі зв'язуються дугами, що становлять потоки даних. Дуги можуть розгалужуватись або зливатися, що означає поділ потоку даних на частини або злиття об'єктів. При інтерпретації DFD-діаграми використовуються такі правила: функції перетворюють вхідні потоки даних на вихідні; сховища даних не змінюють потоки даних, а служать тільки для зберігання об'єктів, що надходять; Перетворення потоків даних у зовнішніх сутностях ігнорується.

Для кожного інформаційного потоку та сховища визначаються пов'язані з ними елементи даних. Кожному елементу даних присвоюється ім'я, тип даних та формат. Саме ця інформація є вихідною на наступному етапі проектування - побудові моделі "сутність-зв'язок". При цьому інформаційні сховища перетворюються по суті, проектувальнику залишається вирішити питання з використанням елементів даних, не пов'язаних зі сховищами.

На рис. 4 представлена структурна схема, що описує інформаційні потоки у територіально розподіленій мережі водного транспорту .

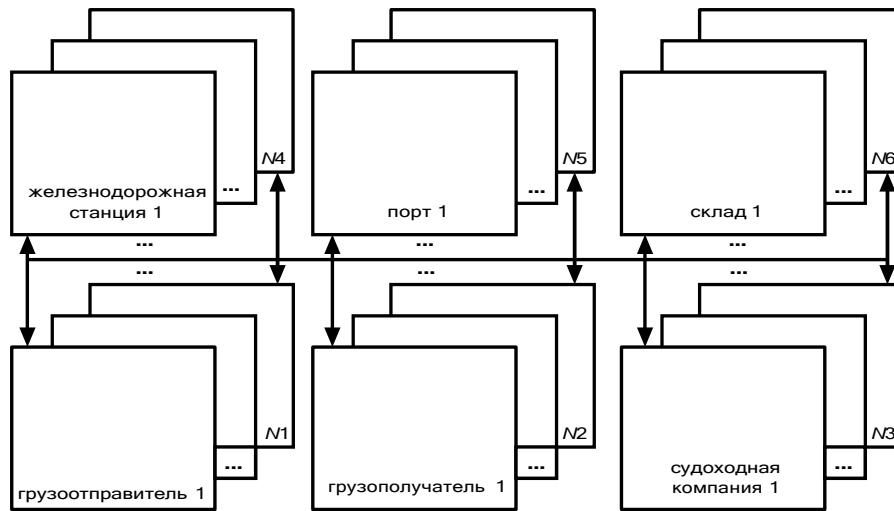


Рисунок 4 – Структурна схема, що описує інформаційні потоки у територіально розподіленій мережі водного транспорту

На рис. 5 представлена інформаційна модель (DFD-діаграма), що описує інформаційні потоки у порту.

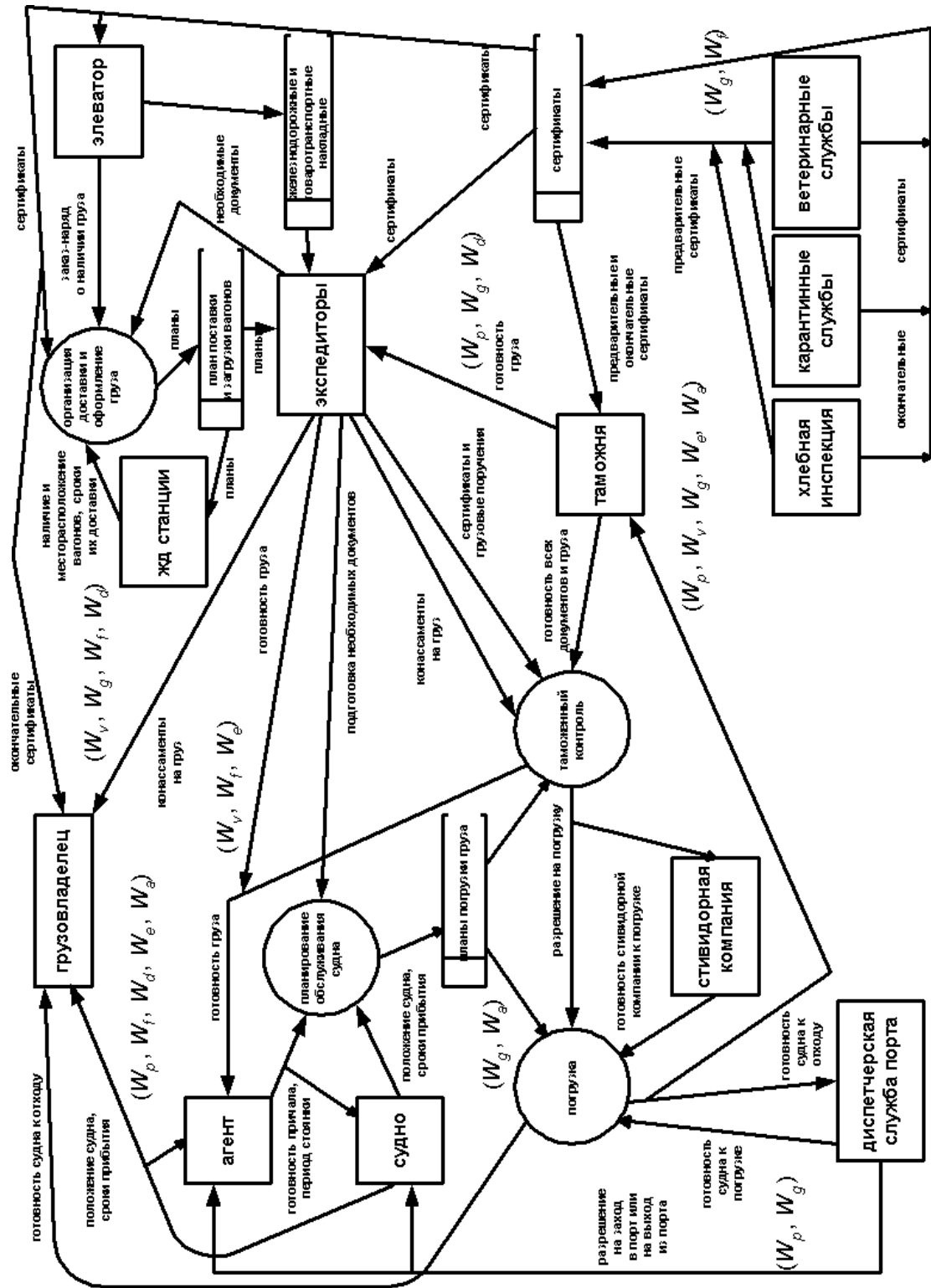


Рисунок 5 – Інформаційна модель (DFD -діаграма), що описує інформаційні потоки в порту

Подані діаграми можуть бути використані при створенні інформаційних систем підприємств на етапах проектування обчислювальних мереж (аналіз потоків даних) і мережевого програмного забезпечення (наприклад, мережевих СУБД) та його подальшої реалізації. Остаточним результатом процесу проектування може бути автоматично створювана структура мережевих баз даних та програмний код мовами C++ та Visual Basic, що реалізує процеси обміну даними у складних розрахованих на багато користувачів програмних системах, виконаних на базі комп'ютерних мереж.

Резервування як спосіб підвищення надійності мережевих структур

Розглянемо потік подій, що проходять через шлюз. Позначимо через $P_k(t)$ можливість надходження k подій за час t . Якщо потік вимог найпростіший, то ймовірність випадкової події, що полягає в тому, що за час $t + \Delta t$ надійде точно n вимог, можна уявити як

$$P_n(t + \Delta t) = \sum_{k=0}^n P_{n-k}(t) P_k(\Delta t). \quad (1)$$

Дійсно, нехай подія A_{n-k} означає надходження $n - k$ вимог за час t , а подія B_k – надходження k вимог за час Δt . Тоді подію, що розглядається, можна представити як перетин несумісних подій $A_{n-k} \cap B_k$ для всіх $k = 0, 1, 2, \dots, n$. Оскільки інтервали t і Δt на осі часу не перетинаються, і вимоги надходять незалежно, то події A_{n-k} і B_k за будь-якого k незалежні, отже, $P(A_{n-k} \cap B_k) = P(A_{n-k})P(B_k) = P_{n-k}(t)P_k(\Delta t)$. З урахуванням несумісності подій $A_{n-k} \cap B_k$ та отримуємо наведене вище співвідношення.

Нехай Δt - настільки малий інтервал часу, що в силу ординарності найпростішого потоку ймовірність попадання в цей інтервал більше однієї вимоги дуже мала. Це означає, що з $k > 1$ ймовірності $P(\Delta t) = 0$, і, отже, маємо:

$$P_n(t + \Delta t) = P_n(t)P_0(\Delta t) + P_{n-1}(t)P_1(\Delta t). \quad (2)$$

За умовою стаціонарності можливість надходження одиночної вимоги в інтервалі Δt не залежить від розташування цього інтервалу на осі часу і пропорційна його довжині. Тому можна вважати, що $P_1(\Delta t) = \lambda \Delta t$, де λ - Коефіцієнт пропорційності, що визначає інтенсивність або щільність потоку, який являє собою середнє число вимог в одиницю часу. Очевидно, ймовірність відсутності вимог в інтервалі Δt висловиться як $P_0(\Delta t) = 1 - P_1(\Delta t) = 1 - \lambda \Delta t$.

Таким чином, отримуємо

$$P_n(t + \Delta t) = P_n(t)(1 - \lambda \Delta t) + P_{n-1}(t)\lambda \Delta t, \quad (3)$$

або

$$\frac{P_n(t + \Delta t) - P_n(t)}{\Delta t} = \lambda [P_{n-1}(t) - P_n(t)]. \quad (4)$$

Поклавши $\Delta t \rightarrow 0$, приходимо до диференціального рівняння

$$\frac{dP_n}{dt} = \lambda [P_{n-1}(t) - P_n(t)], \quad (5)$$

де $n \geq 1$. При $n = 0$ першому члені рівняння відсутня, оскільки можливий єдиний випадок, що відповідає відсутності вимог як за час t , так і в короткому інтервалі Δt . Тому

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t). \quad (6)$$

Рішення цього рівняння за граничної умови $P_0(0)=1$ є $P_0(t) = \exp(-\lambda t)$.

При $n = 1$ маємо

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda [P_0(t) - P_1(t)] = \lambda [\exp(-\lambda t) - P_1(t)], \quad (7)$$

рішення якого при граничній умові $P_1(0)=0$ має вигляд $P_1(t) = \lambda t \exp(-\lambda t)$.

Продовжуючи цей процес, знаходимо для щільності розподілу числа вимог за час t наступне вираження

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t), \quad (8)$$

яке є дискретним розподілом Пуассона.

Знайдемо математичне очікування розподілу Пуассона :

$$M(n) = \sum_{n=0}^{\infty} n \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t) = \lambda t \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} \exp(-\lambda t) = \lambda t \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^m}{m!} \exp(-\lambda t) = \lambda t. \quad (9)$$

Отримана величина λt визначає середнє значення числа вимог, що надійшли за час t .

Розподіл Пуассона дає значення ймовірностей надходження за час t і n вимог. Зокрема, ймовірність того, що в інтервалі часу t не надійде жодної вимоги, дорівнює $P_0(t) = \exp(-\lambda t)$, а ймовірність надходження однієї вимоги $P_1(t) = \lambda t \exp(-\lambda t)$. Імовірність надходження за час t не більше однієї вимоги буде $P_0(t) + P_1(t) = (1 + \lambda t) \exp(-\lambda t)$. У випадку ймовірність те, що за час t надійде трохи більше n вимог, визначається функцією розподілу $F(n, t)$, яка дорівнює сумі ймовірностей $P_k(t)$ для $k \leq n$, тобто.

$$F(n,t) = \sum_{k=0}^n P_k(t) = \exp(-\lambda t) \sum_{k=0}^n \frac{(\lambda t)^k}{k!}. \quad (10)$$

Ймовірність надходження більше n вимог протягом часу t дорівнює доповненню $F(n,t)$ до одиниці, тобто. $1 - F(n,t)$.

Визначення ймовірностей $P_n(t)$ та їх підсумовування полегшується, якщо використати наближену формулу

$$R(n,t) = \sum_{k=0}^n P_k(t) = \sum_{k=0}^n \frac{a^k}{k!} \exp(-a) \approx \Phi\left(\frac{n+0,5-a}{\sqrt{a}}\right) + 0,5, \quad (11)$$

де $a = \lambda t$ і $\Phi(y)$ – інтеграл Лапласа.

Функцію $R(n,a) = R(n,\lambda t)$ є інтегральну функцію розподілу Пуассона, визначальну для найпростішого потоку ймовірність надходження щонайменше n заявок під час t інтенсивності потоку λ , тобто. ймовірність надходження i вимог, можна висловити як

$$P_n(t) = P_n\left(\frac{a}{\lambda}\right) = \frac{a^n}{n!} \exp(-a) = R(n,a) - R(n-1,a). \quad (12)$$

Дисперсія, що характеризує розсіювання числа вимога в інтервалі t , визначається формулою $D(n) = M(n^2) - [M(n)]^2$. Так як

$$\begin{aligned} M(n^2) &= \sum_{n=0}^{\infty} n^2 \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t) = \lambda t \sum_{n=1}^{\infty} n \frac{(\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} \exp(-\lambda t) = \\ &= \lambda t \left[\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n-1) (\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} \exp(-\lambda t) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} \exp(-\lambda t) \right] = \lambda t (\lambda t + 1), \end{aligned} \quad (13)$$

а також $[M(n)]^2 = (\lambda t)^2$, то для дисперсії пуассонівського потоку отримуємо

$$D(n) = \lambda t(\lambda t + 1) - (\lambda t)^2 = \lambda t, \quad (14)$$

тобто. такий же вираз, як і для математичного очікування. Цю властивість можна використовувати для вирішення питання про відповідність найпростішому потоку певного потоку вимог, якщо математичне очікування та дисперсія відомі чи визначені досвідченим шляхом. Істотна відмінність математичного очікування та дисперсії може бути причиною відмови від використання розподілу Пуассона.

Ефективним способом підвищення надійності комп'ютерної мережі є резервування. При паралельному з'єднанні величина надійності p може бути виражена через ймовірність відмов q

$$p = (1 - q_{a1}q_{a2} \dots)(1 - q_{b1}q_{b2} \dots) \dots \quad (15)$$

У разі резервування ланцюгів отримаємо, що надійність кожного ланцюга

$$p_A = p_{a1}p_{b1} \dots \quad \text{и} \quad p_B = p_{a2}p_{b2} \dots, \quad (16)$$

а ненадійності їх

$$q_A = 1 - p_A \quad \text{и} \quad q_B = 1 - p_B. \quad (17)$$

Надійність мережі

$$p = 1 - q_A q_B = 1 - (1 - p_A)(1 - p_B) = 1 - (1 - p_A - p_B + p_A p_B) = p_A + p_B - p_{AB} \quad (18)$$

Якщо вважати, що $p = \exp(-\lambda t)$, то отримаємо

$$p = \exp(-\lambda_A t) + \exp(-\lambda_B t) - \exp[-(\lambda_A + \lambda_B)t]. \quad (19)$$

Середній час (до виникнення пошкодження)

$$T_m = \int_0^{\infty} p dt = \frac{1}{\lambda_A} + \frac{1}{\lambda_B} - \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B} \quad (20)$$

При $\lambda_A = \lambda_B = \lambda$, тобто. коли обидва канали однакові,

$$p = 2\exp(-\lambda t) - \exp(-2\lambda t) \quad (21)$$

і

$$T_m = \frac{3}{2} \frac{1}{\lambda} = \frac{3}{2} T_{m0}, \quad (22)$$

де

$$T_{m0} = \frac{1}{\lambda}.$$

Аналогічно, якщо є n однакові канали, з'єднані паралельно, то

$$p = 1 - [1 - \exp(-\lambda t)]^n$$

$$T_m = \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{2\lambda} + \dots + \frac{1}{n\lambda}. \quad (23)$$

Очевидно, що ці вирази справедливі, якщо надійність зарезервованих каналів однакова і не залежить від навантаження.

Якщо надійність (тобто значення λ і $T_m = \frac{1}{\lambda}$, що визначають надійність елемента) змінюються при зміні навантаження, необхідно надійність мережі при дублюванні для випадку однакових елементів $T_{mA} = T_{mB}$ і $T'_{mA} = T'_{mB} = T'_m$ визначити за формулою

$$p = \frac{2T'_m}{2T'_m - T_m} \exp\left(-\frac{t}{T'_m}\right) - \frac{T_m}{2T'_m - T_m} \exp\left(-\frac{2t}{T'_m}\right), \quad (24)$$

де T'_m - середній час між відмовими при навантаженні W ;

T_m - Середній час між відмовами при половинному навантаженні, $T'_m > T_m$.

Середній час між відмовами для мережі

$$T_{mx} = \frac{T_m}{2} + T'_m. \quad (25)$$

Якщо елемент А та В неоднакові, тобто. $T_{mA} \neq T_{mB}$ і $T'_{mA} \neq T'_{mB}$, то

$$p = T'_{mA} k_1 \exp\left(-\frac{t}{T'_{mA}}\right) + T'_{mB} k_2 \exp\left(-\frac{t}{T'_{mB}}\right) - \frac{T_{mA} T_{mB}}{T_{mA} + T_{mB}} (k_1 + k_2) \exp\left(-\frac{T_{mA} + T_{mB}}{T_{mA} T_{mB}}\right) \quad (26)$$

де

$$k_1 = \frac{T_{mA}}{T_{mA} T'_{mA} + T'_{mA} T_{mB} - T_{mA} T_{mB}}$$

$$k_2 = \frac{T_{mB}}{T_{mB} T'_{mB} + T'_{mB} T_{mA} - T_{mA} T_{mB}}.$$

Середній час між відмовами для ділянки мережі

$$T_{mx} = \frac{T_{mA} T_{mB} + T'_{mA} T'_{mB} + T_{mA} T'_{mB}}{T_{mA} + T_{mB}}. \quad (27)$$

4 ПІДВИЩЕННЯ ЖИВУЧОСТІ МЕРЕЖІ

Побудова топології та оцінка живучості територіально-розподіленої комп'ютерної мережі

При побудові територіально розподілених мереж надзвичайно важливе значення має побудова топології мережі з урахуванням вимог до її живучості та пропускної спроможності ліній зв'язку, оскільки неоптимальне проектування може призвести до зайвих матеріальних та тимчасових витрат.

Синтез топологічної структури територіально розподіленої мережі виконується на основі топологічної моделі, яка будується на базі структурної моделі мережі з урахуванням розміщення її вузлів, особливості прокладання ліній зв'язку та обмежень, що накладаються обладнанням, вимог до живучості територіально розподіленої мережі, надійності обладнання та пропускної спроможності ліній зв'язку. При цьому потрібно забезпечити необхідну живучість і пропускну здатність за мінімальної вартості інтермережі.

Зазвичай фізичне розміщення вузлів наперед відомо. Це обчислювальні центри, вузли супутникового зв'язку, локальні мережі відділів чи підрозділів. Інформація про розміщення вузлів може задаватися за допомогою будь-якої системи координат або шляхом встановлення відстаней між усіма вузлами мережі. Другий спосіб дозволяє врахувати особливості прокладання ліній зв'язку на конкретних об'єктах (мостах, водоймищах, в межах міста). Також необхідно врахувати обмеження, що накладаються апаратним забезпеченням мережі, вимоги до її живучості та пропускної спроможності.

Одним із мінімізованих критеріїв при побудові територіально розподіленої мережі є її вартість. Зазвичай потрібно з'єднати між собою всі вузли мережі, витративши на це якнайменше коштів, забезпечивши при цьому необхідну живучість і пропускну здатність. Регіональну мережу у разі можна як графа, її вузли – як вершин, а лінії зв'язку – як ребер. Це завдання є окремим

випадком завдання побудови екстремального дерева [20]. Екстремальне дерево – граф без циклів, що має одну компоненту зв'язності та мінімальну суму ваг ребер. Як вага ребра графа зазвичай використовується географічна відстань між суміжними вершинами або вартість прокладки лінії зв'язку, що з'єднує інцидентні вершини. Другий критерій краще, т. як дозволяє врахувати особливості прокладання лінії зв'язку певною місцевістю.

Завдання побудови екстремального дерева можна вирішувати повним перебором всіх комбінацій ліній зв'язку, але такий спосіб займе надто багато часу навіть за використання сучасних обчислювальних засобів. При n вершинах кількість всіх можливих зв'язків становитиме $n(n-1)/2$ зв'язків. Повна розмірність завдання становитиме $2^{n(n-1)/2}$ комбінацій. Вже при тридцяти вузлах кількість комбінацій складе 2435, причому для кожної з них необхідно розрахувати вартість, живучість і пропускну здатність.

Для побудови екстремального дерева використовується спосіб, що ґрунтується на послідовному введенні в граф ребер з найменшим пріоритетом [12]. Якщо ребро не утворює цикл із раніше введеними ребрами, воно включається в граф. Якщо є ребра з однаковими вагами, рішення може бути не єдиним.

Практична реалізація цього алгоритму має деякі особливості. При вирішенні реальних завдань часто виникає необхідність модернізувати вже збудовану мережу, коли деякі вузли вже з'єднані між собою раніше прокладеними зв'язками. Такі зв'язки насамперед і без перевірок включаються до графа. Якщо за модернізації мережі у ній вже присутні цикли, відповідно до базового алгоритму, не можна додати у такий граф жодного нового ребра. Отже, при додаванні зв'язку необхідно порівнювати кількість циклів до та після додавання зв'язку до графа. Якщо кількість циклів не змінилася, зв'язок додається.

При додаванні ребра необхідно враховувати максимальну зв'язність вузла, що визначається на практиці апаратними (кількість портів комутатора, маршрутизатора або шлюзу) та фінансовими обмеженнями. Якщо порушується обмеження зв'язності будь-якої з інцидентних ребру вершин, такий зв'язок у граф не включається. При необмежених фінансових можливостях і сприятливому географічному положенні вузла є сенс не визначати заздалегідь тип використовуваного устаткування, у разі обмеження зв'язність вузла відсутня. Після завершення формування екстремального дерева мережі апаратні засоби можна підібрати на підставі даних про зв'язковість вузла.

Додаткове обмеження пов'язане з максимальною довжиною лінії зв'язку при прокладанні певним типом кабелю. При порушенні цього обмеження зв'язок також не входить у граф.

У зв'язку з несприятливим географічним розташуванням вузла деякі лінії зв'язку принципово неможливо знайти прокладені і виключаються з розгляду до етапу запровадження зв'язків у граф. Така ситуація вимагає перегляду обмежень або розгляду кожної отриманої підмережі окремо та зв'язування їх радіоканалом або за допомогою супутникового зв'язку.

Територіально розподілена мережа має певну живучість – властивість системи зберігати свою працездатність. Під працездатністю мережі ми матимемо на увазі можливість передачі даних між будь-якими її вузлами. На кожному етапі проектування топології мережі необхідно мати інформацію про живучість отриманої мережі та вживати заходів щодо її підвищення. Очевидними засобами підвищення живучості є збільшення надійності елементів та їх надмірність. Наприклад, можна встановити більш надійне і, як наслідок, дорожче вузлове обладнання, здійснити механічний захист кабелю лінії зв'язку укладанням його в короб, ввести в мережу надлишкові лінії зв'язку, що утворюють цикли.

В якості характеристики живучості мережі можна використовувати ймовірність її розпаду після певного проміжку часу на кілька незв'язаних підмереж, зазвичай дві.

При аналізі надійності ліній зв'язку мережі та мережевого обладнання зробимо низку припущень.

1. Інтенсивність відмов постійна. Хоча для деяких елементів це не так, але при заміні елементів, що відмовили, новими позначається ефект перемішування віку окремих пристроїв і відмови системи в цілому підпорядковуватимуться експоненційному закону. Це припущення дуже важливо з практичної погляду, оскільки устаткування вказують інтенсивність відмов, тобто. час напрацювання на відмову (найчастіше у тисячах годин), а не закон надійності.

2. Імовірність виходу з ладу вузла переноситься з його зв'язку. Таке припущення можливе для мережних з'єднань типу точка-точка. Це найчастіший вид міжвузлових з'єднань у територіально розподілених мережах. Вихід з ладу вузла еквівалентний виходу з ладу всіх його зв'язків.

Імовірність розпаду мережі складається з ймовірностей всіх можливих комбінацій виходу з експлуатації устаткування, що призводять до її розпаду. Як обладнання, що виходить з ладу, будемо розглядати тільки лінії зв'язку згідно з вищенаведеним припущенням. Оскільки одночасний вихід із ладу устаткування кількох вузлах вкрай мало ймовірний, то результуюча ймовірність розпаду мережі дорівнює сумі ймовірностей всіх можливих комбінацій виходу з експлуатації устаткування, які призводять до деградації мережі.

Імовірність появи певної комбінації несправностей при виході з експлуатації кількох елементів перебуває як добуток ймовірностей виходу з ладу устаткування, що у комбінацію. Використовувані при цьому методи повного перебору роблять поставлене завдання практично нерозв'язне за розумний час на доступній обчислювальній техніці. Однак, якщо знехтувати

точністю обчислення ймовірності розпаду, деякі комбінації несправностей можна не розглядати внаслідок низької ймовірності їх появи (наприклад, вихід з ладу більше 20 % від загальної кількості зв'язків). Подібні обмеження звужують простір перебору комбінацій до розумних меж.

Графи реальних мереж мають кількість зв'язків, що не набагато перевищує кількість вузлів. Для опису таких розріджених графів використовуються списки зв'язків.

Під час розрахунку живучості мережі використовується перебір зв'язків з обмеженнями. Він ґрунтується на алгоритмі повного перебору, при якому деякі отримані варіанти до розгляду не приймаються. Для всіх варіантів можна підрахувати можливість виходу з ладу кожного зв'язку в залежності від часу.

Усі локальні мережі, які входять у регіональну мережу, може бути представлені як вершин графа, а лінії зв'язку – як неорієнтованих дуг, т.к. створювати лінії зв'язку, що передають дані лише в одному напрямку, недоцільно. Для забезпечення високої живучості мережі необхідно забезпечити задані k -зв'язність та реберну зв'язність її графа.

Одним із способів перевірки k -зв'язності графа є перевірка k -зв'язності кожної пари вузлів, проте існують і більш ефективні методи, наприклад, методи Клейтмана та Івена [20].

Сумарна кількість перевірок пар вузлів на зв'язність у методі Клейтмана

$$Q = \sum_{i=1}^k (N - i) = kN - k(k + 1) / 2, \quad (27)$$

де N - Число вузлів.

В алгоритмі Івен потрібно виконати N перевірок.

Така постановка завдання про надійність орієнтована на найгірший випадок, коли виходить з ладу небажана комбінація з k вузлів. Розглянемо

інший підхід, у якому всім елементам мережі (вузлам і лініям) приписуються ймовірності виходу з експлуатації і оцінюється ймовірність те, що ця пара вузлів виявиться нескладною. Наприклад, в мережі є n елементів з недостатньою надійністю, тоді число можливих різних комбінацій з елементів, що не вийшли, дорівнює 2^n . Нехай S_k означає k -ю комбінацію, а P_k – ймовірність її виникнення. Тоді ймовірність того, що мережа залишиться зв'язковою

$$P_c = \sum_{S_k \in C} P_k \quad (28)$$

де C – безліч комбінацій з не вийшли з ладу елементів, для яких мережа залишається зв'язковою.

У деяких випадках для не дуже складних мереж можна точно визначити ймовірність відмови. При розгляді лише відмов ліній зв'язку мережа з m лініями зв'язку може перебувати в одному з 2^m станів залежно від того, справна чи ні кожна з її ліній. Ймовірності відмови p окремих ліній зв'язку вважатимемо однаковими, і ймовірність кожного зі станів мережі залежить від того, скільки ліній вийшло з ладу. Наприклад, у мережі, представлений на рис. 6 є 5 ліній, тоді ймовірність безвідмовної роботи всіх ліній мережі складе $(1-p)^5$. Є 5 варіантів відмови однієї лінії (вираз $5p(1-p)^4$), 10 різних комбінацій відмови двох ліній (вираз $10p^2(1-p)^3$), 10 різних комбінацій відмови трьох ліній (вираз $10p^3(1-p)^2$), 5 різних комбінацій відмови чотирьох ліній (вираз $5p^4(1-p)$), 1 комбінація відмови п'яти ліній (вираз p^5). Вираз визначення ймовірності різних станів матиме вид:

$$(1-p)^5 + 5p(1-p)^4 + 10p^2(1-p)^3 + 10p^3(1-p)^2 + 5p^4(1-p) + p^5 = 1 \quad (29)$$

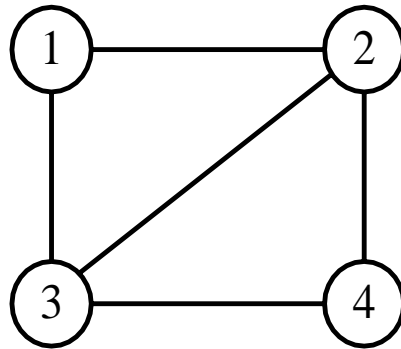


Рисунок 6 – Топологія мережі, що дозволяє обчислити можливість відмови

Для визначення можливості відмови мережі необхідно знати, які з цих станів відмови призводять до роз'єднання мережі. Для відокремлення хоча б одного вузла на рис. 6 повинні порушитися як мінімум два зв'язки, тому перший ненульовий доданок у виразі міститиме p^2 . Коефіцієнт при ньому визначається тим, скільки пар відмов із 10 можливих відмов двох ліній призведуть до роз'єднання мережі. На рис. 6 це 2 пари ліній, що примикають до вузлів 1 і 4, що дає коефіцієнт 2. Так як у разі відмови трьох, чотирьох і п'яти ліній зв'язку відбудеться розпад мережі, коефіцієнти при цих складових ті ж, що й у наведеному вище рівнянні. У результаті отримуємо наступне вираз:

$$F = 2 p^2 (1-p)^3 + 10p^3(1-p)^2 + 5p^4(1-p) + p^5. \quad (30)$$

Цей підхід можна використовувати при побудові територіально розподілених чи складних локальних мереж. При побудові територіально розподілених мереж як вузли графа виступають комутатори, маршрутизатори або шлюзи, що поєднують потоки даних від локальних мереж підрозділів, а як дуги – лінії зв'язку, що з'єднують віддалені підрозділи та міста.

Розробнику доводиться вирішувати завдання знаходження оптимальної топології з точки зору співвідношення ціна – живучість, ціна - продуктивність в

умовах жорстких обмежень на ціну (вона має бути мінімальною) та продуктивність (вона має бути максимальною).

У зв'язку з тим, що відомі алгоритми побудови екстремального дерева дозволяють побудувати топологію мережі з мінімальною вартістю, але й мінімальною живучістю, у цій роботі запропоновано алгоритми, що дозволяють підвищити живучість мережі при ймовірному розриві одного або двох зв'язків (можливі розриви задаються користувачем), при заданому випадковим чином розрив однієї, двох або трьох ліній зв'язку, або вирішувати завдання підвищення живучості динамічно до скільки завгодно високого рівня. Загальна довжина з'єднань залишається мінімальною, що дозволяє отримати мінімальну вартість при заданій живучості. На базі запропонованих алгоритмів, представлених у додатку, розроблено програмний комплекс, що реалізує їх.

Метод підвищення живучості територіально розподіленої комп'ютерної мережі

У мережі, топологія якої побудована за алгоритмом екстремального дерева з мінімально можливою довжиною з'єднань i , отже, мінімальною вартістю, а й мінімальною живучістю, при виході з ладу будь-якої лінії зв'язку мережа розривається на підмережі. Для збереження працездатності мережі при виході з ладу ліній зв'язку можливе її доповнення до одного або кількох додаткових зв'язків, що підвищить живучість, але збільшить і вартість. При цьому бажано, щоб загальна довжина з'єднань (i вартість) залишалася мінімальною. Існуючі системи проектування та моделювання мереж не дозволяють будувати екстремальне дерево та створювати додаткові зв'язки з урахуванням співвідношення ціна-живучість, що є їх суттєвим недоліком.

Існують алгоритми Краскала, Прима та ін [16], що дозволяють на базі математичного апарату теорії графів отримати екстремальне дерево з n

вершинами графа та $n-1$ ребрами. Вершинам графа відповідають комп'ютери мережі або окремі локальні мережі, а ребрам – зв'язки між ними.

Далі пропонуються методи та алгоритми побудови додаткових ліній зв'язку, що дозволить підвищити живучість та пропускну спроможність мережі за мінімальної вартості. Це завдання є особливо актуальним, тому що жодна з відомих систем проектування та моделювання мереж не дозволяє будувати деревоподібну топологію територіально розподіленої мережі з необхідною живучістю.

Нехай лінії зв'язку інтермережі мають граничну ймовірність безвідмовної роботи $P_{\text{пбр}}$, $0 < P_{\text{пбр}} < 1$; кожна лінія зв'язку має можливість безвідмовної роботи $P_{i \text{ бр}} = f(A, I)$, де A – вік лінії зв'язку, років; I – вплив промислових систем та життєдіяльності людини на працездатність лінії зв'язку. $P_{\text{пбр}}$ задається відповідно до вимог до живучості мережі (при підвищенні вимог до живучості територіально розподіленої мережі $P_{\text{пбр}} \rightarrow 1$). Нехай живучість інтермережі є достатньою, якщо $\forall P_{i \text{ бр}} \mid P_{i \text{ бр}} \geq P_{\text{пбр}}$ і живучість інтермережі недостатня, якщо $\exists P_{i \text{ бр}} \mid P_{i \text{ бр}} < P_{\text{пбр}}$. Завдання забезпечення живучості територіально розподіленої мережі поділяється на дві підзавдання: статичного (одноразового) та динамічного (покрокового) збільшення живучості. Для її вирішення ймовірності безвідмовної роботи $P_{i \text{ бр}}$ ліній зв'язку сортуються за зростанням $P_{z \text{ бр}} < \dots < P_{i \text{ бр}} < \dots < P_{k \text{ бр}} \dots < P_{\text{пбр}} \dots \leq P_{n \text{ бр}} \dots \leq P_{q \text{ бр}} \dots \leq P_{z \text{ бр}}$, де $P_{z \text{ бр}}, P_{k \text{ бр}}, P_{n \text{ бр}}, P_{q \text{ бр}}, P_{z \text{ бр}}$. Ймовірності безвідмовної роботи лінії зв'язку територіально розподіленої мережі. Для вирішення задачі статичного збільшення живучості добудовуються додаткові лінії зв'язку (ЛЗ), щоб збільшити на одиницю реберну зв'язність (ступінь вершини) графа $\forall \text{ЛЗ } i \mid P_{i \text{ бр}} < P_{\text{пбр}}$. Для вирішення задачі динамічного збільшення живучості ця процедура послідовно виконується для $\text{ЛЗ } i \mid P_{i \text{ бр}} = \min$, і процес повторюється для ново знайденої $\text{ЛЗ } i \mid P_{i \text{ бр}} = \min$.

У разі розриву довільного зв'язку в екстремальному дереві слід доповнити граф новим з'єднанням. Відповідно до базового алгоритму Краскала, яким будується екстремальне дерево, не можна додати у такий граф жодного нового ребра. Для побудови додаткових ліній зв'язку можна використовувати метод перебору. В цьому випадку при додаванні зв'язку необхідно порівнювати кількість циклів та компонентів зв'язності графа на кожній ітерації. Використовуємо ефективніший підхід та побудуємо нове екстремальне дерево за алгоритмом Краскала без урахування розірваних зв'язків, вважаючи, що такі сполуки не можуть існувати. Потім виконаємо накладення вихідного та отриманого дерев, що призведе до створення графа, що містить первісне дерево і до додаткових зв'язків, що належать новому дереву. На рис. 7, а зображено вихідне дерево, пунктиром показана лінія розриву ($k = 1, n = 4$). На рис. 7 б - нове екстремальне дерево, жирною лінією показано нове з'єднання. На рис. 7, представлений результуючий граф.

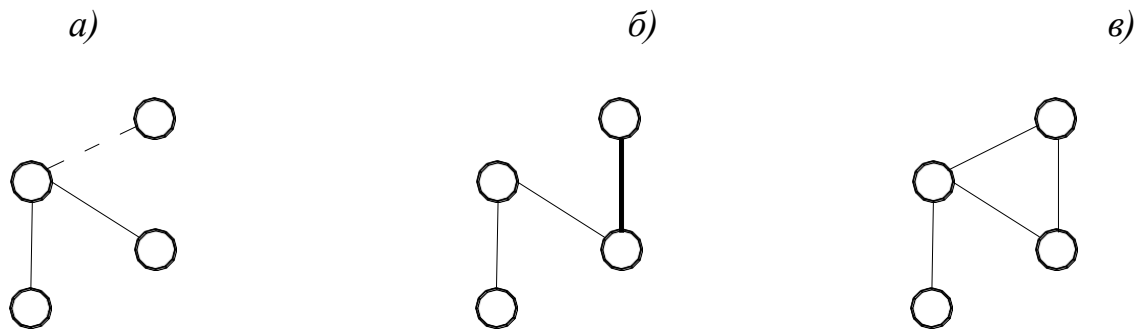


Рисунок 7 – Приклад роботи алгоритму підвищення живучості мережі із відомою лінією розриву

Алгоритм підвищення живучості мережі при зазначених лініях зв'язку, що вийшли з ладу, складається з наступних кроків.

1. Задати лінії зв'язку, які вийшли з ладу або можуть вийти з ладу.
2. Відсортувати лінії зв'язку зростання ваг.

3. Поки граф стане зв'язковим, переглядаючи кожну лінію зв'язку, додавати з'єднання, якщо виконуються такі умови:

- з'єднання не належить списку ліній зв'язку, що вийшли з експлуатації;
- кількість компонентів графа зменшиться при додаванні даного з'єднання (вершини ребра, що додається, знаходяться в різних компонентах зв'язності).

У графічному вигляді алгоритм представлено у додатку А.

Для кількості k можливих розривів з'єднань слід побудувати основні дерева в кількості

$$m = C_{n-1}^k = \frac{(n-1)!}{k!(n-1-k)!} \quad (32)$$

Метод підвищення живучості при кількості (одна, дві або три) можливих розривів ліній зв'язку містить наступні кроки.

1. Обчислити кількість екстремальних дерев m за формулою (32).
2. Сформувати список обмежень із k зв'язків.
3. Побудувати екстремальне дерево без сформованого списку зв'язків, вважаючи, що такі сполуки що неспроможні існувати.
4. Повторити m разів пункти 2 і 3. Зі всіх отриманих екстремальних дерев накладенням отримати результуючий граф.

На рис. 8 а представлено вихідне екстремальне дерево. Вважатимемо, що розрив може статися у будь-якому з $n-1$ з'єднань ($k=1$), тоді необхідно побудувати $n-1$ дерев.

На рис. 8 б зображено екстремальне дерево, побудований з урахуванням розриву зв'язку 1. На рис. 4.3, представлено екстремальне дерево, побудоване з урахуванням розриву зв'язку 2. На рис. 8 г показано екстремальне дерево, побудоване з урахуванням розриву зв'язку 3.

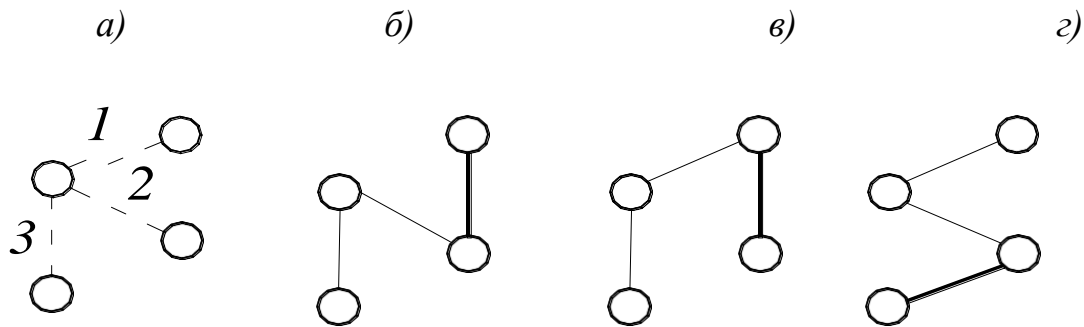


Рисунок 8 – Приклад роботи алгоритму підвищення живучості мережі з кількістю ліній розриву, що задається, $k = 1$

Для двох ліній зв'язку, що розриваються ($k = 2$) необхідно виконати побудову трьох екстремальних дерев ($m = 3$). На рис. 8 *а* показано вихідне екстремальне дерево. На рис. 9, *а* представлено екстремальне дерево, побудоване з урахуванням розриву 1-го та 2-го зв'язку. На рис. 9 *б* представлено екстремальне дерево, побудоване з урахуванням розриву 1-й і 3-й зв'язку. На рис. 4.4 *показано* екстремальне дерево, побудоване з урахуванням розриву 2-го і 3-го зв'язку. На рис. 9 *г* показаний результуючий граф.

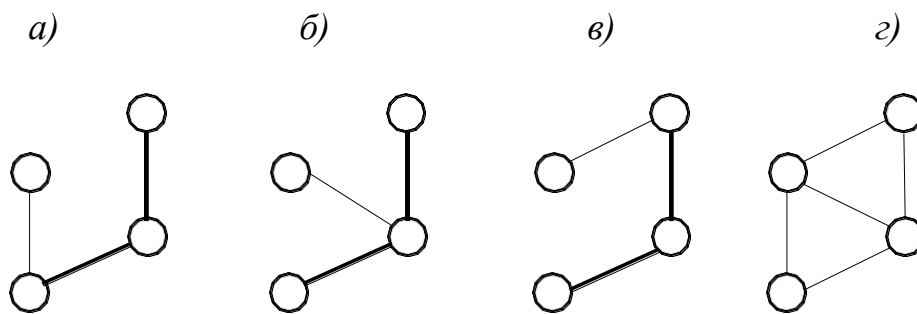


Рисунок 9 – Приклад роботи алгоритму підвищення живучості мережі з кількістю ліній розриву, що задається, $k = 2$

Запропоновані алгоритми дозволяють формалізувати, прискорити та спростити процес проектування топологій територіально розподілених мереж, що задовольняють заданому співвідношенню ціна-живучість. На базі розроблена програмна система, яка дозволяє автоматизувати процес проектування.

ВИСНОВКИ

Показано, що проектування, експлуатація та модернізація територіально розподілених мереж базується на аналізі інформаційних потоків між вузлами мережі з чітким визначенням типів та обсягів даних, що передаються. Подібний аналіз є основою для синтезу мережевих топологій, що задовольняють задану швидкодію, живучість і вартість.

1. Удосконалено інформаційну модель, яка описує функціонування - територіально розподіленої комп'ютерної мережі, яка, на відміну від відомих моделей, враховує трафік різної природи (бізнес-додатків, систем дистанційного навчання, передачу відео- та голосових даних) та побудована на базі модифікованих багаторівневих DFD -діаграм зі спеціальним маркуванням дуг із зазначенням типів та обсягів трафіку між об'єктами мережі. Модель дозволяє проаналізувати, описати і кількісно та якісно оцінити інформаційні потоки в територіально розподіленій мережі. На базі розробленої моделі при використанні відповідних CASE -систем можливе подальше автоматизоване проектування мережевих програмних програм та СУБД, що функціонують у територіально розподіленій мережі.

2. Запропоновано модель, що враховує різні типи та обсяги даних, що передаються в залежності від числа користувачів інтермережі та розв'язуваних ними завдань. Модель та реалізований із її застосуванням метод дозволяє виконувати прогнозування зростання трафіку в мережі у міру її розвитку. Використання запропонованої моделі дозволяє шляхом заповнення матриць, що параметризуються, всіх типів трафіку прискорити і формалізувати розрахунки при визначенні необхідних пропускних здібностей каналів передачі даних між підрозділами і користувачами територіально розподіленої мережі.

Достоїнство запропонованої моделі полягає в тому, що вона враховує більшу кількість типів діючого навантаження та можливе збільшення їх числа у

зв'язку з розширенням області застосування мережі, а також дозволяє формалізувати отримання чисельних значень кожного виду трафіку в інтермережі, трафіку реального часу та синтетичного трафіку між будь-якою парою вузлів інтермережі, а також інтегрального трафіку. Це дає можливість оцінити вплив кожного типу трафіку на загальне завантаження мережі та полегшує вибір мережевої технології при побудові територіально розподілених мереж, вибір пропускних здібностей ліній зв'язку та мережевого обладнання.

3. Запропоновано метод побудови топології територіально розподіленої мережі, що дозволяє формалізувати процес побудови топології з урахуванням співвідношення ціна-живучість. Застосування методу містить два етапи: побудова екстремального дерева територіально розподіленої мережі, що дозволяє отримати працездатну мережу за мінімальних фінансових витрат; збільшення живучості окремих ділянок мережі чи всієї мережі загалом до необхідного рівня залежно від рівня фінансування проекту. Перевага методу полягає в тому, що він дозволяє поетапно підвищувати живучість мережі шляхом введення додаткових зв'язків. При цьому довжина з'єднань та вартість отриманої мережі залишаються мінімальними відповідно до необхідного співвідношення ціна-живучість.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Альянах І.М. Моделювання обчислювальних систем. Машинобудування, 1988. 222 с .
2. Башарін Т.П., Бочаров П.П., Каган Я.А. Аналіз черг у обчислювальних мережах: теорія та методи розрахунку. К: Наука, 1989. 337 с.
3. Бертсекас Д., Галлагер Р. Мережі передачі. К: Світ, 1989. 544 с .
4. Блек Ю. Мережі ЕОМ: протоколи, стандарти, інтерфейси. Світ, 1989.
5. Вендров А.М. CASE–технології. М.: Фінанси та статистика, 1998. 175 с.
6. Гвозденко А. Ethernet виходить за межі локальних мереж // Комп'ютерний огляд. 2001. №43. С.44-45.
7. Гнеденко Б.В., Коваленко І.М. Введення у теорію масового обслуговування. Наука, 1987.
8. Додонов А.Г., Клещов Н.Т., Клименко В.Г. Аналіз галузевих обчислювальних мереж. Суднобудування, 1990. 256 с.
9. Девіс Д., Барбер Д., Прайс У., Соломонідес С. Обчислювальні мережі та мережеві протоколи. М.: Світ, 1982. 563 с.
10. Жожикашвілі В.А., Вишневський В.М. Мережі масового обслуговування. К: Радіо і зв'язок, 1988.
11. Зайченко Ю.П. Комп'ютерні мережі. К.: Слово, 2003. 256 с.
12. Кульгін М.В. Технології корпоративних мереж. К., 1999. 699 с.
13. Оліфер В.Г., Оліфер Н.А. Комп'ютерні мережі: принципи, технології, протоколи. К: 1999. 668 с.
14. Рад Б.Я., Яковлев С.А. Моделювання систем. Підручник. Харків., Вища школа, 1985.
15. Спортак М. та ін. Високопродуктивні мережі. Енциклопедія користувача. Київ, ДіаСофт , 1998.
16. Центр інформаційних технологій [Електронний ресурс] . -

www.citforum.ua.

16. Фірма Net Cracker [Електронний ресурс]. URL: www.netcracker.com., (дата звернення 10.05.2023)
17. Фірма WideBand [Електронний ресурс]. URL: www.wband.com. (дата звернення 15.05.2023)
18. Д. Шідер . Основи комп'ютерних мереж. Діалектика 2002. 656с.
19. М. Палмер, Р. Сінклер. Проектування та впровадження комп'ютерних мереж. BHV, 2004. 720с.
20. Тайсон . Мережі Інтранет . Вид. Українська редакція. 2000, 300с.