

ВИЗНАЧЕННЯ ДОСТАТНЬОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ
ВЗАЄМОПІДІМКНЕННЯ МЕРЕЖ З КОМУТАЦІЄЮ ПАКЕТІВDETERMINATION OF SUFFICIENT THROUGHPUT
FOR PACKET NETWORKS INTERCONNECTION

Анотація. В роботі розглянуто питання визначення достатньої пропускної здатності каналу зв'язку між двома мережами з комутацією пакетів. Побудовано математичну модель двох мереж, в межах яких функціонує кілька інфокомунікаційних послуг та запропоновано аналітичні вирази для обчислення розміру пропускної здатності каналу зв'язку між ними. Наведено покрокові інструкції щодо формування вихідних даних та безпосередньо здійснення розрахунків за цими виразами.

Summary. A pertinent question determines considered sufficient connection throughput between the two packet networks. Developed the mathematical model of the two networks with several infocommunication services and proposed analytical expressions to calculate the size of connection throughput between networks. Step-by-step instructions to create input data and the implementation of calculations using these expressions are described.

Стрімке розширення спектра інфокомунікаційних послуг, а також збільшення обсягів інформаційних ресурсів поставило проблему достатності пропускної здатності каналів зв'язку, що поєднують окремі фрагменти корпоративних телекомунікаційних мереж з комутацією пакетів. При цьому, коректне визначення розміру пропускної здатності таких каналів дозволяє додержуватися необхідного рівня якості обслуговування при використанні послуг та в результаті підвищити ефективність від їхнього впровадження.

При проектуванні нових телекомунікаційних мереж та визначенні обсягів пропускної здатності каналів зв'язку, що поєднують їхні фрагменти, переважна більшість спеціалістів вимушена спиратися лише на власний досвід та експериментальні спостереження за роботою інших мереж, що часто призводить до непередбачуваних, часто негативних, наслідків. Існуючі наукові підходи щодо визначення пропускної здатності каналів зв'язку між мережами з комутацією пакетів [1, 2], як правило, базуються на визначенні кількості умовних каналів, які характеризуються певною швидкістю передавання інформації.

Слід однак зазначити, що такі підходи не враховують специфіки побудови інфокомунікаційних послуг (розподіл на клієнтські та серверні реалізації, середній обсяг одного запиту або відповіді тощо) та специфіки побудови комп'ютерних мереж загалом (наявність службового навантаження, спосіб організації каналів зв'язку тощо).

Метою роботи є створення моделі взаємопідікнення двох мереж з комутацією пакетів із визначенням достатньої пропускної здатності каналу зв'язку між ними.

Обмін інформацією між двома комп'ютерними мережами визначається взаємодією прикладних процесів, що реалізують інфокомунікаційні послуги. За своїм функціональним призначенням будь-який прикладний процес можна умовно поділити на серверний або клієнтський [3,4]. При цьому взаємодія між клієнтським та серверним процесом відповідної послуги ґрунтується на принципі «запит-відповідь», тобто клієнтський процес (клієнт) з деякою періодичністю надсилає запити до серверного процесу (сервер), а серверний процес, в свою чергу, надсилає відповіді на ці запити. В залежності від вимог тієї або іншої послуги, як запит, так і відповідь можуть являти собою окремих процес передавання інформації між двома вузлами телекомунікаційної мережі. Цей процес характеризується певною тривалістю та обсягом інформації, а як наслідок – швидкістю передавання інформації.

Будемо вважати, що для коректного функціонування послуги необхідно, щоб кожен запит від клієнта до сервера передавався зі швидкістю не меншою за $v_{\text{зап}}$ (біт/с), а кожна відповідь зі швидкістю не меншою за $v_{\text{відп}}$ (біт/с). На схемі, зображеній на рис. 1, наведено приклад взаємопідікнення двох мереж з комутацією пакетів, в кожній з яких налічується по одному серверу та одному клієнту однієї і тієї ж інфокомунікаційної послуги. Припустимо, що Клієнт 1 з локальної комп'ютерної мережі (ЛКМ 1) надсилає запит до Сервера 2 ЛКМ 2. Достатня для якісної роботи послуги швидкість передавання цього запиту становить $v_{\text{зап}12}$ (біт/с). На запит Клієнта 1 з ЛКМ 1 Сервер 2 з ЛКМ 2 надсилає відповідь. Швидкість, достатня для передавання цієї відповіді становить $v_{\text{відп}21}$ (біт/с). В свою чергу Клієнт 2 з ЛКМ 2 надсилає запит до Сервера 1 з ЛКМ 1, а Сервер 1 відповідає Клієнту 2. Достатні швидкості для передавання запиту та відповіді в цьому випадку становлять $v_{\text{зап}21}$ та $v_{\text{відп}12}$ (біт/с) відповідно.

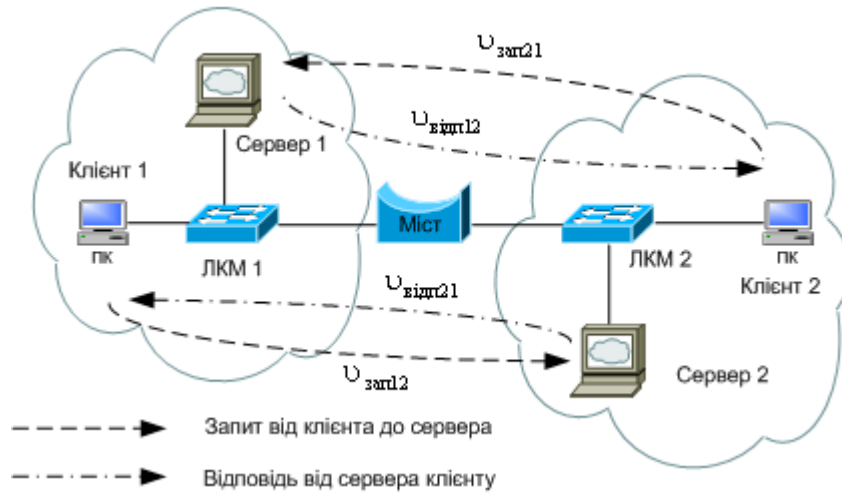


Рисунок 1 – Приклад взаємопідімкнення двох мереж з комутацією пакетів

Будемо вважати, що для коректного функціонування інфокомунікаційної послуги в межах обох мереж (рис. 1), необхідно, щоб пропускна здатність каналу зв'язку в напрямку від ЛКМ 1 до ЛКМ 2 V_{12} (біт/с) була достатня, щоб одночасно передати запит від Клієнта 1 до Сервера 2 та відповідь від Сервера 1 до Клієнта 2, а пропускна здатність каналу зв'язку в напрямі від ЛКМ 2 до ЛКМ 1 V_{21} (біт/с) – щоб одночасно передати запит від Клієнта 2 до Сервера 1 та відповідь від Сервера 2 до Клієнта 1. Таким чином:

$$V_{12} = v_{\text{зап}12} + v_{\text{відп}12}, \quad (1)$$

$$V_{21} = v_{\text{зап}21} + v_{\text{відп}21}.$$

Зважаючи, що практично будь-який прикладний процес, що використовує телекомунікаційну мережу для передавання інформації, можна поділити на клієнтський та серверний, наведений вище принцип буде справедливим і для більш складних мереж. Таким чином, для коректного функціонування будь-якої послуги пропускна здатність каналу зв'язку в напрямі від однієї комп'ютерної мережі до другої має бути достатньою для одночасного передавання запитів від клієнтів з однієї мережі до серверів цієї послуги, що розміщені в другій мережі, а також відповідей від серверів цієї мережі до клієнтів другої мережі.

На рис. 2 наведено приклад мережі, в якій одночасно функціонує N клієнтських процесів однієї інфокомунікаційної послуги та один серверний. При цьому всі клієнтські процеси сконцентровано в межах одного сегмента, а серверний процес розміщено в іншому сегменті мережі, який поєднано з першим за допомогою каналу зв'язку, що організовано з використанням двох каналоутворюючих пристроїв (наприклад, SHDSL-модемів).

Будемо вважати, що кожний клієнтський процес надсилає запити до серверного процесу, розміщеного в іншому сегменті мережі з інтенсивністю $\lambda_{\text{зап}}$ (запитів/с) (розподіл часу надходження запитів буде мати пуассонівський характер). Для коректної роботи (із заданим рівнем якості обслуговування) інфокомунікаційної послуги запит має передаватися до сервера зі швидкістю $v_{\text{зап}}$ (біт/с), при цьому середній обсяг інформації, що передається в межах одного запиту, дорівнює $L_{\text{зап}}$ (біт). Таким чином, середня

тривалість передавання запиту мережею становить $T_{\text{зап}} = \frac{L_{\text{зап}}}{v_{\text{зап}}}$ (с). Сумарна інтенсивність запитів, що надходить до першого (зі сторони клієнтів) каналоутворюючого пристрою, дорівнює $N\lambda_{\text{зап}}$ [2, 5].

Припустимо, що пристрої, які використовуються для організації каналу зв'язку між сегментами мережі (рис. 2) дозволяють одночасно підтримувати передавання K_1 запитів зі швидкістю $v_{\text{зап}}$ кожний. У разі, якщо в межах каналу зв'язку передається одночасно більш ніж K_1 запитів – заданий рівень якості обслуговування не додержується і вважати пропускну здатність такого каналу зв'язку достатньою не можна (швидкість передавання запитів буде меншою за $v_{\text{зап}}$). Будемо вважати, що ймовірність

того, що передавання запиту виконано без належного рівня якості обслуговування, дорівнює $P_{\text{втрат}}$. При цьому сервер, що розміщено в іншому сегменті мережі, одержує потік запитів (надісланих із заданим рівнем якості обслуговування) з інтенсивністю $N\lambda_{\text{зап}}(1 - P_{\text{втрат}})$ [2, 5]. У свою чергу інтенсивність запитів, що втрачається або надсилається зі швидкістю меншою за достатню, становить $N\lambda_{\text{зап}}P_{\text{втрат}}$.

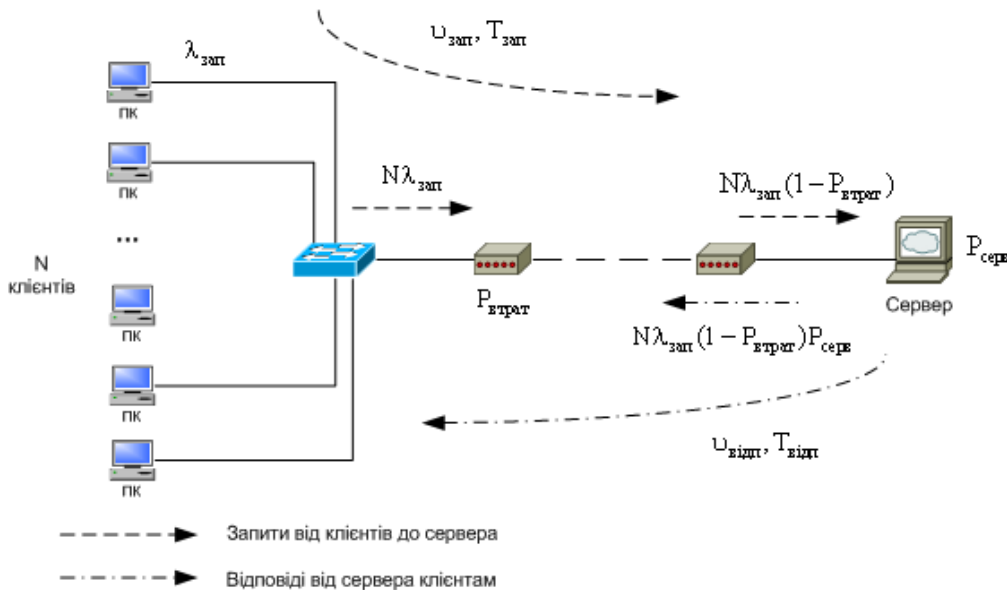


Рисунок 2 – Мережа з декількома клієнтами та одним сервером

Сервер, що обробляє одержані запити, формує та надсилає відповіді клієнтам, які надіслали запити. Ймовірність направлення відповіді на запит клієнта (ймовірність того, що сервер має запитувану інформацію або запитаний ресурс) дорівнює $P_{\text{серв}}$. При цьому потік відповідей від сервера до сегмента мережі, в якому розміщені клієнтські процеси, буде мати інтенсивність $N\lambda_{\text{зап}}(1 - P_{\text{втрат}})P_{\text{серв}}$.

Для роботи інфокомунікаційної послуги із заданим рівнем якості обслуговування необхідно, щоб кожна відповідь передавалася каналом зв'язку зі швидкістю $v_{\text{відп}}$ при цьому середній обсяг інформації, що передається в межах однієї відповіді, дорівнює $L_{\text{відп}}$ (біт). Таким чином, середня тривалість передавання запиту мережею становить $T_{\text{відп}} = \frac{L_{\text{відп}}}{v_{\text{відп}}}$ (с).

У зворотному напрямку канал зв'язку здатний підтримувати передавання K_2 відповідей одночасно, кожна з яких передається зі швидкістю $v_{\text{відп}}$ (біт/с). Для зображеного на рис. 2 прикладу коректна робота інфокомунікаційної послуги буде досягатися лише тоді, коли пропускна здатність каналу зв'язку в напрямку від клієнтів до сервера буде становити $K_1v_{\text{зап}}$, а в напрямку від сервера до клієнтів – $K_2v_{\text{відп}}$.

Таким чином, у простішому випадку задача визначення достатньої для роботи інфокомунікаційної послуги пропускної здатності (у разі, якщо вимоги до роботи самої послуги задано швидкостями $v_{\text{відп}}$ та $v_{\text{зап}}$, середніми обсягами запитів та відповідей, а також ймовірністю $P_{\text{втрат}}$) зводиться до визначення максимально припустимої кількості одночасних сесій K_1 та K_2 .

Для визначення кількості одночасних сесій K_1 та K_2 необхідно розглянути канали зв'язку в обох напрямках у вигляді багатоканальних систем масового обслуговування (СМО) з відмовами [5, 6]. Це дозволить враховувати лише випадок повноцінної роботи інфокомунікаційної послуги. При цьому випадок, в якому в каналі передається одночасно понад K_1 запитів або понад K_2 відповідей, може розглядатися як відмова (втрата заявки – в термінах теорії масового обслуговування).

Таким чином, канал зв'язку в напрямку від клієнтів до сервера можна представити у вигляді СМО типу $M|M|K_1|0$ [5], а канал зв'язку в зворотному напрямі, як СМО типу $M|M|K_2|0$.

Як відомо, ймовірність відмови $P_{\text{втрат}}$ (тобто випадку, за якого в каналі вже утворено максимально припустимої кількості сесій) можна обчислити за формулою Ерланга [5 ... 8], яка для СМО типу $M|M|K_1|0$ (в наведеному прикладі) буде мати вигляд:

$$P_{\text{втрат}} = \frac{(N\lambda_{\text{зап}} T_{\text{зап}})^{K_1}}{\sum_{i=0}^{K_1} \frac{(\lambda_{\text{зап}} T_{\text{зап}})^i}{i!}} \quad (2)$$

Використовуючи формулу (1) або її рекурентний аналог [9] шляхом табулювання значень ймовірності відмови неважко визначити для якого значення K_1 ймовірність відмови буде дорівнювати $P_{\text{втрат}}$. Визначення максимально припустимої кількості одночасних сесій в зворотному каналі зв'язку – K_2 може бути виконано аналогічним чином.

Слід однак зазначити, що на відміну від прикладу, наведеного на рис. 2, реальні комп'ютерні мережі налічують значну кількість робочих станцій, на яких встановлено клієнтське або серверне програмне забезпечення, що реалізує функціональність певної кількості інфокомунікаційних послуг. При цьому в межах однієї робочої станції можуть одночасно функціонувати декілька програмних продуктів різного призначення (веб-браузер для доступу до веб-серверів, поштовий клієнт, програмне забезпечення, що реалізує одночасно клієнтський та серверний процеси в піринговій мережі файлового обміну тощо). Зважаючи на це – однією з найбільш доцільних форм аналітичного представлення діючої комп'ютерної мережі може бути матрична.

Будемо вважати, що мережу повністю задано, коли задані параметри всіх діючих в мережі інфокомунікаційних послуг, а також задано інтенсивності запитів, що надсилаються кожною клієнтською частиною інфокомунікаційної послуги в розрізі вузлів мережі, та ймовірнісний розподіл запитів серед серверних частин послуги.

Параметри інфокомунікаційних послуг, що функціонують в телекомунікаційній мережі можуть задаватися за допомогою таких векторів:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}^{\text{зап}} &= (v_1^{\text{зап}} \quad v_2^{\text{зап}} \quad \dots \quad v_M^{\text{зап}}), \\ \mathbf{v}^{\text{відп}} &= (v_1^{\text{відп}} \quad v_2^{\text{відп}} \quad \dots \quad v_M^{\text{відп}}), \\ \mathbf{T}^{\text{зап}} &= (t_1^{\text{зап}} \quad t_2^{\text{зап}} \quad \dots \quad t_M^{\text{зап}}), \\ \mathbf{T}^{\text{відп}} &= (t_1^{\text{відп}} \quad t_2^{\text{відп}} \quad \dots \quad t_M^{\text{відп}}), \\ \mathbf{P}^{\text{відп}} &= (p_1^{\text{відп}} \quad p_2^{\text{відп}} \quad \dots \quad p_M^{\text{відп}}), \\ \mathbf{P}^{\text{втрат.зап}} &= (p_1^{\text{втрат.зап}} \quad p_2^{\text{втрат.зап}} \quad \dots \quad p_M^{\text{втрат.зап}}), \\ \mathbf{P}^{\text{втрат.відп}} &= (p_1^{\text{втрат.відп}} \quad p_2^{\text{втрат.відп}} \quad \dots \quad p_M^{\text{втрат.відп}}), \end{aligned} \quad (3)$$

де M – кількість інфокомунікаційних послуг, що функціонують в мережі; $\mathbf{v}^{\text{зап}}$ – вектор швидкостей, достатніх для передавання запитів ($v_i^{\text{зап}}$ (біт/с) – достатня для передавання запитів швидкість в межах i -ї послуги); $\mathbf{v}^{\text{відп}}$ – вектор швидкостей, достатніх для передавання відповідей ($v_i^{\text{відп}}$ (біт/с) – достатня для передавання відповідей швидкість в межах i -ї послуги); $\mathbf{T}^{\text{зап}}$ – вектор значень середнього часу передавання запитів ($t_i^{\text{зап}}$ (с) – середній час передавання запиту зі швидкістю $v_i^{\text{зап}}$ в межах i -ї послуги); $\mathbf{T}^{\text{відп}}$ – вектор значень середнього часу передавання відповідей ($t_i^{\text{відп}}$ (с) – середній час передавання відповіді із швидкістю $v_i^{\text{відп}}$ в межах i -ї послуги); $\mathbf{P}^{\text{відп}}$ – вектор ймовірностей позитивного рішення щодо відправлення відповіді на запит клієнта ($p_i^{\text{відп}}$ – ймовірність відправлення відповіді на запит клієнта в межах i -ї послуги); $\mathbf{P}^{\text{втрат.зап}}$ – вектор ймовірностей втрат запитів при передаванні каналами зв'язку ($p_i^{\text{втрат.зап}}$ – ймовірність втрати запиту в межах i -ї послуги), $\mathbf{P}^{\text{втрат.відп}}$ – вектор ймовірностей втрат відповідей при передаванні каналами зв'язку ($p_i^{\text{втрат.відп}}$ – ймовірність втрати відповіді на запит в межах i -ї послуги).

Параметри вузлів телекомунікаційної мережі можуть задаватися у вигляді двох матриць:

$$\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} & \dots & \lambda_{1M} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} & \dots & \lambda_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \lambda_{N1} & \lambda_{N2} & \dots & \lambda_{NM} \end{pmatrix}, S = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1M} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{N1} & s_{N2} & \dots & s_{NM} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

де λ – матриця інтенсивностей надсилання запитів клієнтськими частинами програмного забезпечення, що встановлено на вузлах мережі (λ_{ij} (запитів/с) – інтенсивність надсилання запитів клієнтською частиною програмної реалізації j -ї інфокомунікаційної послуги, що встановлена на i -му вузлі мережі); S – матриця ймовірностей надходження запитів від клієнтів до серверних частин програмного забезпечення, встановлених на вузлах мережі (s_{ij} – ймовірність надходження запитів до серверної частини j -ї інфокомунікаційної послуги, що встановлена на i -му вузлі мережі, від будь-якої клієнтської частини j -ї інфокомунікаційної послуги). Слід зазначити, що у випадку, коли на вузлі не використовується (або взагалі не встановлена) клієнтська частина тієї або іншої послуги (тобто цей вузол не надсилає запитів серверам) відповідне значення елемента матриці λ має дорівнювати нулю, а у випадку, коли на вузлі не використовується (або взагалі не встановлена) серверна частина послуги, то нулю має дорівнювати відповідний елемент матриці S . У замкнутій мережі (мережі, що не має каналів зв'язку з іншими мережами) для будь-якої j -ї інфокомунікаційної послуги буде виконуватися умова $\sum_{i=1}^N s_{ij} = 1$.

Для визначення достатньої пропускної здатності взаємопідімкнення мереж з комутацією пакетів необхідно, насамперед, задати параметри послуг, що функціонують в обох мережах у вигляді векторів (3), а також задати матриці інтенсивностей надсилання запитів клієнтськими частинами програмного забезпечення та ймовірностей надходження запитів від клієнтів до серверних частин програмного забезпечення (4) для кожної з мереж (рис. 3).

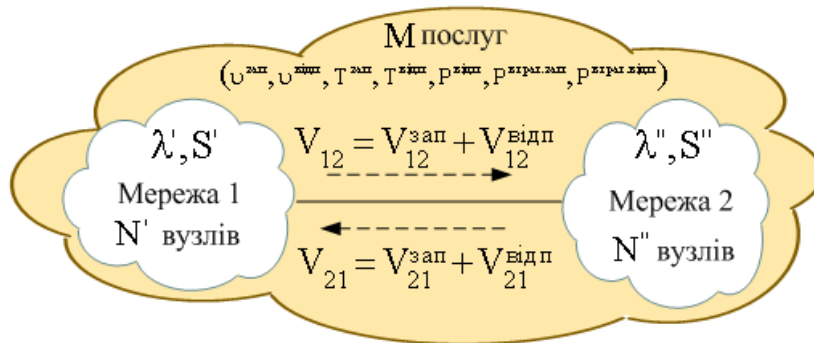


Рисунок 3 – Узагальнена модель взаємопідімкнення мереж з комутацією пакетів

На рис. 3 зображено модель взаємодії двох мереж з комутацією пакетів. Мережа 1 нараховує N' вузлів, а мережа 2 – N'' вузлів. У межах обох мереж функціонує M послуг, параметри яких задані відповідними векторами v^{zap} , v^{vidp} , T^{zap} , T^{vidp} , P^{vidp} , $P^{vtrat.zap}$ та $P^{vtrat.vidp}$. Клієнтські частини програмного забезпечення, встановленого на вузлах мережі 1 надсилають запити із інтенсивностями заданими матрицею λ^1 , а клієнтські частини, встановлені на вузлах мережі 2 із інтенсивностями заданими матрицею λ^2 . Імовірнісний розподіл запитів по серверах послуг, розташованих у мережі 1 та 2, задано матрицями S^1 та S^2 , при цьому $\sum_{i=1}^{N'} s_{ij} + \sum_{i=1}^{N''} s_{ij} = 1$ для будь-якої j -ї послуги.

Розмір достатньої пропускної здатності взаємопідімкнення мереж зображених на рис. 3 при передаванні інформації від мережі 1 до мережі 2 (V_{12}) визначається як сума пропускних здатностей, необхідних для передавання запитів, що надсилаються клієнтами мережі 1 до серверів мережі 2 (V_{21}^{zap}) та відповідей від серверів мережі 1 на запити клієнтів мережі 2 (V_{12}^{vidp}), тобто: $V_{12} = V_{12}^{zap} + V_{12}^{vidp}$. В свою чергу, при передаванні інформації від мережі 2 до мережі 1, достатня пропускна здатність (V_{21}) буде визначатися як: $V_{21} = V_{21}^{zap} + V_{21}^{vidp}$.

Пропускна здатність $V_{12}^{\text{зап}}$ може бути визначена за формулою:

$$V_{12}^{\text{відп}} = \sum_{i=1}^M c_i' v_i^{\text{зап}}, \quad (5)$$

де $C' = (c_1' c_2' \dots c_M')$ – вектор максимальних кількостей одночасних запитів, які можуть передаватися каналом зв'язку в напрямі від мережі 1 до мережі 2 за умов, що ймовірність втрати запиту визначається вектором $P^{\text{втрат.зап}}$; $v_i^{\text{зап}}$ – достатня для передавання запитів швидкість у межах i -ї послуги.

Пропускна здатність $V_{21}^{\text{відп}}$ може бути визначена за формулою:

$$V_{21}^{\text{відп}} = \sum_{i=1}^M c_i'' v_i^{\text{відп}}, \quad (6)$$

де $C'' = (c_1'' c_2'' \dots c_M'')$ – вектор максимальних кількостей одночасних відповідей, що можуть передаватися каналом зв'язку в напрямі від мережі 2 до мережі 1 за умов, що ймовірність втрати запиту визначається вектором $P^{\text{втрат.відп}}$; $v_i^{\text{відп}}$ – достатня для передавання відповідей швидкість в межах j -ї послуги.

Пропускні здатності $V_{21}^{\text{зап}}$ та $V_{12}^{\text{відп}}$ обчислюються аналогічним чином з використанням векторів C''' та C'''' відповідно:

$$V_{21}^{\text{зап}} = \sum_{i=1}^M c_i''' v_i^{\text{зап}}, \quad (7)$$

$$V_{12}^{\text{відп}} = \sum_{i=1}^M c_i'''' v_i^{\text{відп}}.$$

Таким чином, задача визначення достатньої пропускної здатності взаємопідімкнення мереж з комутацією пакетів полягає у визначенні векторів C', C'', C''' та C'''' . При цьому, значення елементів цих векторів залежать, як від параметрів обох мереж, так і від параметрів послуг, що функціонують в їх межах та можуть бути обчислені за формулами:

$$P_j^{\text{втрат.зап}} = \frac{(t_j^{\text{зап}} \sum_{i=1}^{N'} \lambda'_{ij} \sum_{i=1}^{N''} s''_{ij})^{c_j'}}{c_j'!} \cdot \frac{c_j!}{\sum_{i=0}^{c_j} \frac{(t_j^{\text{зап}} \sum_{i=1}^{N'} \lambda'_{ij} \sum_{i=1}^{N''} s''_{ij})^i}{i!}}, \quad P_j^{\text{втрат.відп}} = \frac{(t_j^{\text{відп}} p_j^{\text{відп}} (1 - p_j^{\text{втрат.зап}}) \sum_{i=1}^{N'} \lambda'_{ij} \sum_{i=1}^{N''} s''_{ij})^{c_j''}}{c_j''!} \cdot \frac{c_j''!}{\sum_{i=0}^{c_j''} \frac{(t_j^{\text{відп}} p_j^{\text{відп}} (1 - p_j^{\text{втрат.зап}}) \sum_{i=1}^{N'} \lambda'_{ij} \sum_{i=1}^{N''} s''_{ij})^i}{i!}}, \quad (8)$$

$$P_j^{\text{втрат.зап}} = \frac{(t_j^{\text{зап}} \sum_{i=1}^{N''} \lambda''_{ij} \sum_{i=1}^{N'} s'_{ij})^{c_j''}}{c_j''!} \cdot \frac{c_j''!}{\sum_{i=0}^{c_j''} \frac{(t_j^{\text{зап}} \sum_{i=1}^{N''} \lambda''_{ij} \sum_{i=1}^{N'} s'_{ij})^i}{i!}}, \quad P_j^{\text{втрат.відп}} = \frac{(t_j^{\text{відп}} p_j^{\text{відп}} (1 - p_j^{\text{втрат.зап}}) \sum_{i=1}^{N''} \lambda''_{ij} \sum_{i=1}^{N'} s'_{ij})^{c_j'''}}{c_j'''!} \cdot \frac{c_j'''!}{\sum_{i=0}^{c_j'''}} \frac{(t_j^{\text{відп}} p_j^{\text{відп}} (1 - p_j^{\text{втрат.зап}}) \sum_{i=1}^{N''} \lambda''_{ij} \sum_{i=1}^{N'} s'_{ij})^i}{i!}.$$

З формул (8) видно, що для обчислення кількості одночасних сесій для передавання запитів та відповідей інтенсивності запитів та ймовірності розподілу навантаження використовуються лише у вигляді сумарних значень для тієї або іншої послуги. Слід зазначити, що в реальних мережах часто буває складно установити інтенсивність передавання запитів конкретним вузлом, а також ймовірність розподілу таких запитів по серверах мережі. Для спрощення процедури обчислення можна використовувати сумарні значення інтенсивностей та ймовірностей, які можуть бути одержані шляхом вимірювань навантаження, що циркулює в каналах зв'язку між двома мережами.

Розроблена модель взаємопідімкнення двох комп'ютерних мереж дозволяє за допомогою аналітичних виразів (5 ... 8) обчислити розмір достатньої пропускної здатності каналу зв'язку між цими мережами в обох напрямках та визначити оптимальну технологію організації цього каналу зв'язку. Слід однак зазначити, що процес розрахунку цього параметра являє собою доволі складну процедуру, яка у загальному вигляді складається з трьох частин: формування вихідних даних, обчислення усереднених показників та безпосередньо визначення достатньої пропускної здатності каналу зв'язку. Узагальнену послідовність визначення достатньої пропускної здатності каналу зв'язку між двома мережами з комутацією пакетів наведено на рис. 4.

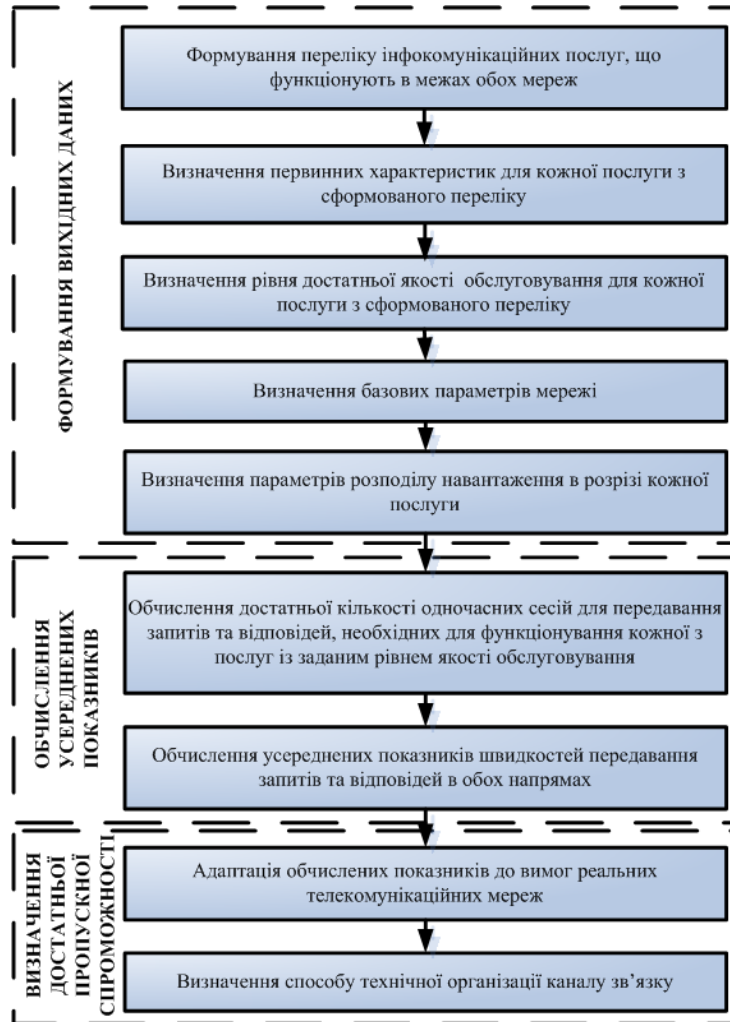


Рисунок 4 – Послідовність визначення достатньої пропускної здатності каналу зв'язку

Як видно з рис. 4 на етапі формування вихідних даних, насамперед, має бути сформовано перелік інфокомунікаційних послуг, що функціонують в межах обох мереж. Це формування має базуватися на аналізі програмного забезпечення, що встановлено на робочих станціях та серверах мереж.

Після формування переліку для кожної послуги мають бути визначені такі параметри, як: достатня швидкість передавання запиту, достатня швидкість передавання відповіді, середній час передавання запиту, середній час передавання відповіді, а також ймовірність позитивної відповіді сервера на запит користувача. При цьому для кожної послуги необхідно виділити поняття запиту та відповіді. Слід зважати на те, що реалізація певних послуг може не мати чітко вираженого розподілу на клієнтську та серверну частину. Так, наприклад, послуга IP-телефонії, як правило, передбачає використання однорангових терміналів, кожен з яких може виступати, як в ролі клієнта (якщо з цього терміналу надіслано виклик) так і в ролі сервера (якщо виклик одержано цим терміналом). У цьому випадку доцільно використовувати симетричні параметри, як для достатньої швидкості передавання (запитів та відповідей), так і для параметрів, що визначають середній час тривалості запиту або відповіді (при цьому в якості запиту та відповіді виступає одна телефонна розмова).

Визначення параметрів інфокомунікаційних послуг можна здійснити, наприклад, виходячи з обсягу переданих даних, або безпосередньо базуючись на швидкості, достатній для якісного функці-

онування послуги. Перший спосіб базується на використанні формул $v^{зап} = \frac{L_{зап}}{T_{зап}}$ та $v^{відп} = \frac{L_{відп}}{T_{відп}}$, де

$L_{зап}$, $L_{відп}$ – усереднений обсяг даних, що передається в межах запиту та відповіді відповідно (враховуючи службову інформацію, що передається в межах заголовків блоків даних); $T^{зап}$, $T^{відп}$ – час необхідний для передавання запиту та відповіді. При цьому, послуги, які передбачають функціонування в реальному часі (наприклад, IP-телефонія або IP-TV), краще оцінювати за необхідною швидкістю передавання інформації, яка визначається швидкістю генерування інформаційного потоку (наприклад, швидкістю генерування мовної інформації кодеком). Як приклад, можна навести орієнтовні показники для деяких найбільш розповсюджених інфокомунікаційних послуг (табл. 1). Слід зазначити, що зазначені в табл. 1 параметри (з неповного переліку) можуть обиратися для кожного випадку окремо (в залежності від вимог того чи іншого підприємства) або визначатися тими чи іншими нормативними документами [10].

Таблиця 1 – Усереднені параметри інфокомунікаційних послуг

№ з/п	Назва послуги	$L_{зап}$, Кбайт	$L_{відп}$, Кбайт	$T^{зап}$, с	$T^{відп}$, с	$v^{зап}$, Кбіт/с	$v^{відп}$, Кбіт/с
1	Веб-доступ	0,5	100	0,4	5	10	160
2	Електронна пошта	7,5	7,5	2	2	30	30
3	IP телефонія	–	–	300	300	24	24
4	Доступ до IP TV	–	–	3 600	3 600	20	1500
5	Відео конференції	–	–	600	600	128	128

Визначення параметрів інфокомунікаційних послуг є досить складним процесом та часто потребує окремого дослідження. Результатом виконання цієї процедури мають стати вектори: $v^{зап}$, $v^{відп}$, $T^{зап}$, $T^{відп}$ та $P^{відп}$.

Наступним кроком після визначення параметрів інфокомунікаційних послуг (рис. 4) необхідно визначити рівень достатньої якості обслуговування для кожної послуги з сформованого переліку. Під рівнем достатньої якості обслуговування в даному випадку мається на увазі ймовірність настання події, за якої запит або відповідь передається з меншою, ніж достатня, швидкістю. Ці параметри безпосередньо впливають на максимально можливу кількість одночасних сесій (запитів або відповідей) в межах функціонування кожної з послуг. Результатом виконання цієї процедури мають стати вектори $P^{втрач.зап}$ та $P^{втрач.відп}$.

Наступним кроком формування вихідних даних є визначення базових параметрів мереж під час якого необхідно провести їх комплексне обстеження (визначити кількість вузлів у кожній із мереж, обстежити вузли з метою аналізу установлених клієнтських частин кожної з інфокомунікаційних послуг тощо). Після цього необхідно провести дослідження мережного навантаження, утворюваного кожним із вузлів обох мереж (наприклад, із застосуванням аналізаторів мережного навантаження [11]) з метою установлення інтенсивності запитів, що надсилаються клієнтськими частинами кожної із послуг. Результатом виконання цієї процедури мають стати матриці інтенсивностей запитів λ' та λ'' . При цьому достатньо визначити сумарні інтенсивності запитів, що надсилаються клієнтами кожної мережі в межах кожної з послуг.

На останньому кроці цього етапу (визначення параметрів розподілу навантаження в розрізі кожної послуги) необхідно дослідити розподіл запитів, що надсилаються клієнтськими частинами кожної із послуг, до серверів цієї послуги, що встановлено в кожній з двох мереж. На основі цього аналізу має бути встановлено ймовірнісний розподіл запитів та сформовано матриці розподілу навантаження S' та S'' для кожної із двох мереж. Для розрахунків достатньо визначити загальний розподіл навантаження по мережах для кожної послуги.

На етапі обчислення достатньої кількості одночасних сесій (рис. 4) для кожної з послуг за формулами (8) мають бути проведені розрахунки чотирьох векторів, які визначають кількості одночасних сесій для передавання запитів (C' та C'') та відповідей (C''' та C''''), за яких забезпечується заданий векторами $P^{втрач.зап}$ та $P^{втрач.відп}$ рівень якості обслуговування. Після цього за формулами (5...7) мають бути обчислені сумарні достатні швидкості передавання запитів та відповідей в обох напрямках ($V_{12}^{зап}$, $V_{12}^{відп}$, $V_{21}^{зап}$ та $V_{21}^{відп}$). Після цього за допомогою виразів $V_{12} = V_{12}^{зап} + V_{12}^{відп}$ та $V_{21} = V_{21}^{зап} + V_{21}^{відп}$ має бути обчислено усереднений розмір достатньої швидкості передавання даних

від мережі 1 до мережі 2 (V_{12}) та від мережі 2 до мережі 1 (V_{21}).

Слід зазначити, що обчислені швидкості V_{12} та V_{21} дозволяють оцінити рівень навантаження, яке утворюється усіма діючими інфокомунікаційними послугами, однак не враховують додаткового навантаження службового призначення, яке також передається каналами зв'язку, як від мережі 1 до мережі 2, так і в зворотному напрямі. До такого навантаження відноситься навантаження, яке утворюється протоколами маршрутизації (наприклад, OSPF (Open Shortest Path First)), а також протоколами керування мережею (наприклад, ICMP (Internet Control Message Protocol)). На цьому кроці обчислені швидкості мають бути збільшені на необхідну кількість відсотків, яка має обиратися в діапазоні від 5 до 15% в залежності від конкретних умов.

Останнім кроком має стати визначення способу технічної організації каналу зв'язку (рис. 4), яке має базуватися на розмірі обчислених значень достатньої пропускної здатності (з урахуванням процедури адаптації до вимог реальних телекомунікаційних мереж).

Висновки та результати. На основі проведеного дослідження зроблено такі висновки:

1. Процес взаємодії телекомунікаційних комп'ютерних мереж повністю визначається процесами взаємодії клієнтських та серверних частин програмної реалізації інфокомунікаційних послуг, що функціонують в межах цих мереж.

2. Розмір достатньої, для якісного функціонування будь-якої інфокомунікаційної послуги, пропускної здатності каналу зв'язку в напрямі від однієї мережі до іншої визначається сумарною пропускною здатністю достатньою для передавання запитів з першої мережі до серверів другої мережі та відповідей від серверів першої мережі на запити клієнтів другої мережі. Розмір пропускної здатності каналу зв'язку в зворотному напрямі визначається аналогічним чином.

3. Розмір пропускних здатностей, достатніх для передавання запитів або відповідей, визначається як добуток швидкості передавання на максимально припустиму кількість одночасних сесій при передаванні запитів або відповідей відповідно.

4. Максимально припустима кількість одночасних сесій при передаванні запитів або відповідей може бути визначена на основі відомостей про інтенсивність запитів від клієнтських частин програмної реалізації інфокомунікаційної послуги, розподілу цих запитів при надсиланні їх серверним частинам програмної реалізації, а також з урахуванням рівня якості обслуговування, який визначається ймовірністю недодержання достатньої швидкості передавання запитів або відповідей.

Запропонований в роботі підхід до визначення достатньої пропускної здатності каналів зв'язку може бути використаний фахівцями в галузі проектування телекомунікаційних мереж для визначення обсягів оренди ресурсів у операторів телекомунікацій (при організації взаємопідімкнення віддалених фрагментів корпоративних та відомчих мереж) або для визначення найбільш оптимального способу технологічної організації каналів зв'язку між двома мережами з комутацією пакетів.

Література

1. Ложковський А.Г., Салманов Н.С., Чумак Н.А. Рекуррентный метод расчета пропускной способности пакетной сети доступа // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2006. – № 2. – С. 44–48.
2. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – С.Пб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
3. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – 4-е изд. – С.Пб.: Питер, 2005. – 992 с.
4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. – С.Пб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2000. – 512 с.
5. Вишнеvский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. – М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
6. Розенберг В.Я., Прохоров А.И. Что такое теория массового обслуживания. – М.: Советское радио, 1962. – 250 с.
7. Кенинг Д., Штойян Д. Методы теории массового обслуживания; под ред. Климова Г.П.; пер. с нем. Матвеева В.Ф., Нагапетян Р.Ш. – М.: Радио и связь, 1981. – 128 с.
8. Кофман А. Массовое обслуживание. Теория и приложения; пер. с франц. В.И. Неймана и В.П. Швальба; под ред. И.Н. Коваленко. – М.: Мир, 1965. – 302 с.
9. Лившиц Б.С., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика: Учебник для вузов. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Связь, 1997. – 224 с.
10. Чумак М.О., Баєв А.П., Гринюк В.В., Лисенко Н.М., Марущак Г.М. РД Методика проектування мереж мультисервісного абонентського доступу на базі мідних кабелів (на розгляді).
11. Ethereal: A Network Protocol Analyzer. – Режим доступу: <http://www.ethereal.com/>. Заголовок з екрана.