

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ
В СИТУАТИВНИХ МЕРЕЖАХ**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
В СИТУАТИВНЫХ СЕТЯХ**

**MODELING OF THE INFORMATION TRANSFER PROCESSES
IN THE SITUATIONAL NETWORKS**

Анотація. Розроблена математична модель ситуативної мережі, яка за допомогою аналітичних методів дозволяє дослідити залежність процесу передавання інформації в мережі від основних характеристик її вузлів та ситуативно організованих каналів. Одержана низка аналітичних виразів, що базуються на теоріях ймовірностей та масового обслуговування, які можуть бути використані при розробці алгоритмів забезпечення необхідної якості обслуговування в ситуативних мережах.

Аннотация. Разработана математическая модель ситуативной сети, которая с помощью аналитических методов позволяет исследовать зависимость процесса передачи информации в сети от основных характеристик её узлов и ситуативно организованных каналов. Получен ряд аналитических выражений, которые базируются на теориях вероятностей и массового обслуживания, и могут быть использованы при разработке алгоритмов обеспечения качества обслуживания в ситуативных сетях.

Summary. A mathematical model of situational network was developed, which uses analytical methods, that allows to analyze how the information transmission in the network depends on the main characteristics of its components and situationally organized channels. There were obtained a number of analytical expressions, which are based on probability and queuing theories.

Аналіз сучасних технологій обміну інформацією в комп'ютерних мережах показав відсутність механізмів керування розподіленими ресурсами, які можна було б використати для організації ситуативних мереж в умовах відсутності спеціально побудованої телекомунікаційної інфраструктури та єдиного адміністративного управління [1]. Одним із основних призначень ситуативних мереж є створення сприятливих умов для обміну інформацією між її учасниками в різноманітних життєвих ситуаціях (під час подорожі, відпустки, на конференції тощо). Таким чином, під ситуативною мережею ми будемо розуміти сукупність вузлів та каналів зв'язку, які протягом певного часу (часу існування ситуативної мережі) поєднані до єдиного інформаційного простору з можливістю обміну інформацією за принципом «кожен із кожним» або в будь-який інший спосіб.

Вирішенням проблеми відсутності таких механізмів може стати запропонований авторами в попередніх роботах [1, 2] підхід до керування розподіленими ресурсами, який базується на опитуванні вузлів про наявні інформаційні ресурси, а також на ретрансляції запитів та відповідей усіма вузлами мережі. Цей підхід дозволив розробити алгоритми пошуку та передавання інформації в ситуативних мережах [2], відповідно до яких інформаційний обмін може бути організований між будь-якими абонентськими терміналами ситуативної мережі як безпосередньо, так і через посередників (через певну кількість проміжних абонентських терміналів).

Однак слід зазначити, що запропонований механізм потребує всебічного аналізу з точки зору ефективності його застосування для організації інформаційного обміну. Важливим питанням є необхідність контролю за дотриманням балансу між якістю обслуговування в ситуативній мережі та зручністю роботи користувачів із власними абонентськими терміналами, які можуть запитувати послугу, надавати її або просто забезпечувати транзит навантаження. Зокрема необхідно визначити критичні для роботи мережі параметри та їх зв'язок із характеристиками вузлів та каналів зв'язку, а також провести оцінку ефективності запропонованого механізму за різних умов.

Метою статті є розробка та дослідження математичної моделі ситуативної мережі, яка дозволить оцінити ефективність її роботи в різних умовах.

Процес функціонування будь-якої телекомунікаційної мережі залежить від досить значної кількості різноманітних факторів. До таких факторів відносяться характеристики вузлів, послуг, інтерфейсів, каналів зв'язку тощо. Ситуативна телекомунікаційна мережа (як і будь-яка інша)

складається з вузлів та каналів зв'язку між ними. При цьому характерною особливістю ситуативних мереж є те, що канали зв'язку в таких мережах можуть ділитися на два умовні типи: фактично організовані та потенційно можливі. Можливість організації того чи іншого каналу зв'язку між двома вузлами ситуативної мережі визначається, насамперед, наявними на вузлах інтерфейсами.

Основні характеристики вузлів ситуативної мережі, що можуть впливати на її конфігурацію та подальше функціонування, можна умовно поділити на три рівня. Перший рівень (рівень апаратних характеристик) визначає параметри апаратної платформи, що впливають на обчислювальну потужність вузла (в тому числі на кількість операцій за секунду), яка доступна операційній системі (ОС), а також наявність та конфігурацію мережних інтерфейсів. Другий рівень (рівень операційної системи та сторонніх прикладних процесів) визначає параметри завантаженості вузла процесами, які ініційовані операційною системою або прикладними процесами, які не мають відношення до функціонування ситуативної мережі. Основною характеристикою цього рівня є відсоток процесорної потужності, задіяної на забезпечення функціонування системних та сторонніх прикладних процесів (в тому числі мережних). Третій рівень (рівень послуг ситуативної мережі) визначає параметри прикладних процесів (клієнтських та серверних частин), які безпосередньо беруть участь в інформаційному обміні між вузлами ситуативної мережі.

Узагальнена модель ситуативної мережі, що представлена сукупністю вузлів N , а також сукупністю каналів M (що поєднують ці вузли між собою), показана на рис. 1.

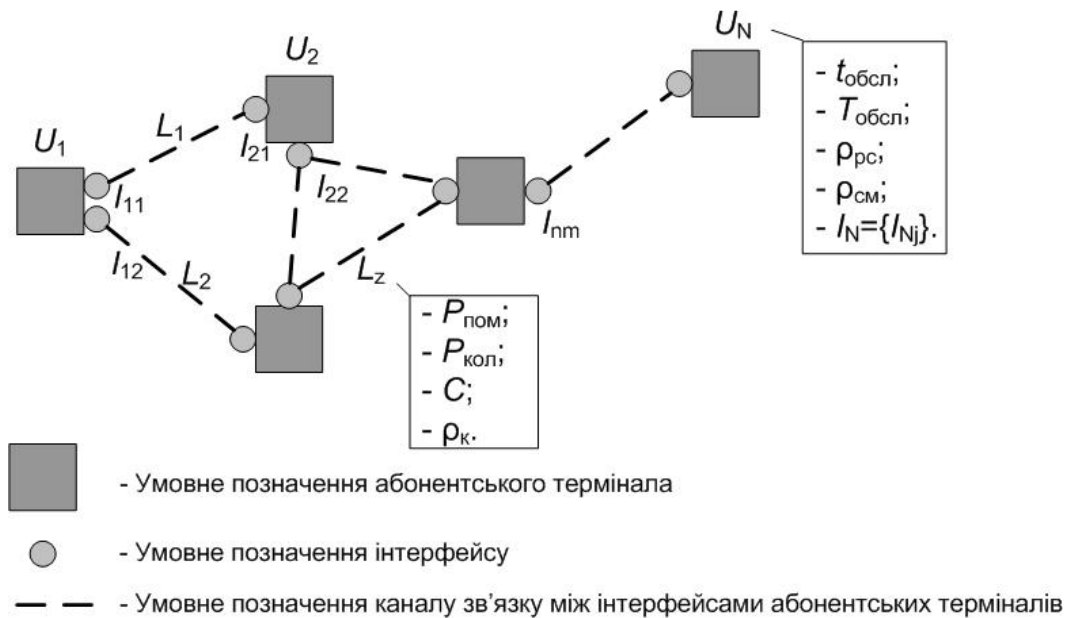


Рисунок 1 – Узагальнена модель ситуативної мережі

Зазначену сукупність вузлів (рис. 1) можна подати у вигляді вектора $U = \{U_1, U_2, \dots, U_N\}$, де кожен вузол пронумеровано числовим індексом $i = 1 \dots N$. При цьому кожен з вузлів має параметр абсолютної завантаженості ρ , яка розподіляється на завантаженість операційної системи і прикладних процесів $\rho_{\text{рс}}$, а також завантаженість процесу, що забезпечує роботу ситуативної мережі $\rho_{\text{см}}$. Також відзначимо, що кожен вузол має перелік задіяних в роботі ситуативної мережі інтерфейсів $I_{ij} = \{I_{i1}, I_{i2}, \dots, I_{im}\}$, де i – номер вузла, якому належать інтерфейси; $j = 1, 2, \dots, m$ – номери задіяних інтерфейсів відповідного вузла. Важливим показником працездатності абонентського терміналу є час обслуговування запиту (пакета), даний показник не є сталою величиною і надто залежить від завантаженості системи прикладними процесами ($\rho_{\text{рс}}$), тому введемо параметр ідеального часу обслуговування $t_{\text{обс}}$, який відповідає часовому проміжку, який необхідно затратити на обробку одного запиту (пакета), за умов незайнятості системи іншими прикладними процесами (тобто система є ненавантаженою $\rho_{\text{рс}} = 0$). Величина вказаного часового проміжку ($t_{\text{обс}}$) є відомою сталою величиною для сучасної комп'ютерної техніки [4]. Час обслуговування запиту абонентським терміналом $T_{\text{обсл}}$ (за умов $\rho_{\text{рс}} > 0$) являє собою реальний проміжок часу, який необхідно затратити на обслуговування запиту всередині абонентського терміналу ($T_{\text{обсл}} > t_{\text{обс}}$).

Сукупність каналів зв'язку, що пов'язують між собою абонентські термінали, задамо вектором $L = \{L_1, L_2, \dots, L_M\}$, де кожен канал зв'язку пронумеровано числовим індексом $i = 1 \dots M$. Кожний з елементів вектора L задається рядом параметрів, серед яких: ймовірність помилки в каналі зв'язку $P_{пом}$, ймовірність колізії $P_{кол}$, швидкість передавання даних C , завантаженість каналу передавання даних ρ_k , перелік інтерфейсів абонентських пристроїв, що підключені до відповідного каналу $\{I_{ij}\}$. Під завантаженістю каналу будемо розуміти відношення кількості інформації, що передається каналом за одиницю часу до максимальної кількості інформації, що може передаватися за одиницю часу.

Насамперед визначимо загальні параметри ситуативної мережі, які можуть суттєво впливати на якість надання послуг її користувачам:

- час дослідження мережі $T_{чдм}$, являє собою проміжок часу необхідний для отримання абонентським терміналом повної інформації про інші вузли мережі і типи ресурсів, якими вони володіють, починаючи з моменту підключення абонентського терміналу до ситуативної мережі;
- максимальний час затримки при передаванні інформаційного потоку між користувачами $T_{мчз}$ являє собою проміжок часу, який необхідно витратити на проходження інформаційного повідомлення між найбільш віддаленими абонентами ситуативної мережі;
- ймовірність $P_{бв}$ доставки повідомлення без втрат між абонентами ситуативної мережі.

Вказані параметри значною мірою залежать від характеристик вузлів і каналів зв'язку, вказаних вище, а також загальної характеристики ситуативної мережі – діаметра D , що являє собою максимальну кількість переходів між двома абонентськими терміналами однієї мережі. Таким чином, визначення ймовірнісних і часових параметрів ситуативної мережі зводиться до отримання аналітичних виразів, що визначаються співвідношенням заданих характеристик вузлів і каналів.

1. **Часові характеристики ситуативної мережі.** Подамо найпростішу ситуативну мережу у вигляді моделі (рис. 2), що складається з чотирьох систем масового обслуговування (СМО), через дві з яких послідовно проходить запит сформований терміналом «А» (канал зв'язку від терміналу «А» до «В», і процес оброблення всередині терміналу «В»), а через дві інших проходить відповідь, сформована терміналом «В» (канал зв'язку від терміналу «В» до «А» і процес оброблення всередині терміналу «А»). Процес очікування обслуговування заявок і відповідей у вхідних та вихідних буферах інтерфейсів терміналів «А» і «В» подано чергами очікування обслуговування.

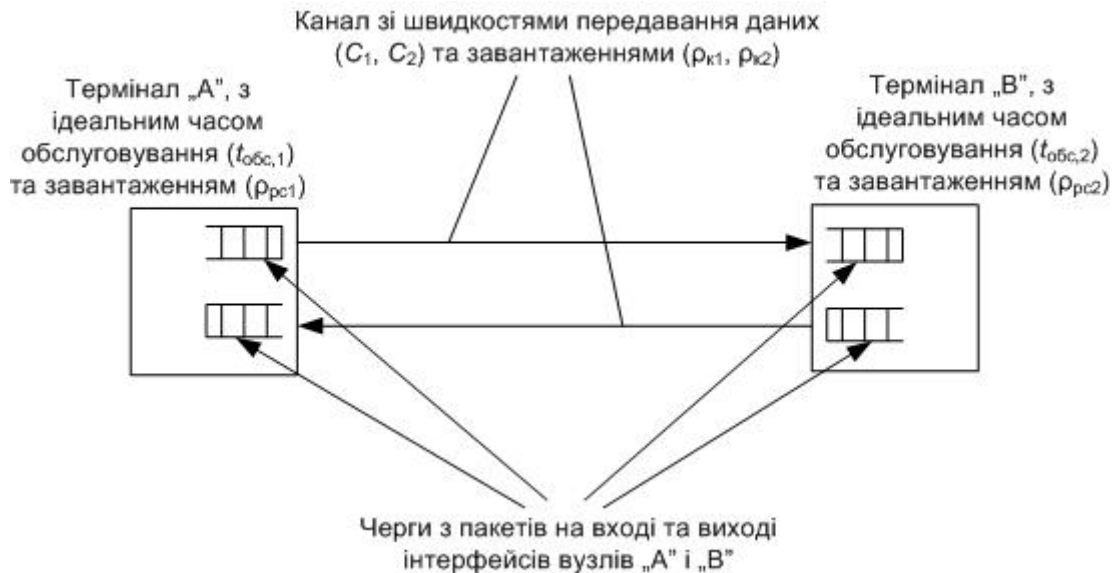


Рисунок 2 – Модель простішої ситуативної мережі

Знайдемо час подвійного обертання кадру для розглянутої моделі (рис. 2). Вихідними параметрами для визначення часових характеристик в розглянутій моделі є ряд статичних і динамічних характеристик. До статичних (таких, що не змінюються з часом, або таких, змінами яких можна знехтувати) відносяться: швидкість передавання даних каналу в прямому та зворотному напрямку між абонентськими терміналами "А" і "В" (C_1, C_2); середній проміжок часу, необхідний

абонентському терміналу на обслуговування отриманого запиту за умов незайнятості системи ($t_{обс,1}$, $t_{обс,2}$); відстань між абонентськими терміналами (R); коефіцієнт ефективного використання пропускної здатності каналу передавання даних (η), розмір кадру канального рівня із запитом та кадру із відповіддю ($L_{фр1}$, $L_{фр2}$).

До динамічних характеристик (таких, що можуть змінюватись з часом) відносяться: завантаженість каналу у прямому та зворотному напрямках між абонентськими терміналами "А" і "В" ($\rho_{к1}$, $\rho_{к2}$); завантаженість абонентського терміналу сторонніми прикладними процесами та службами користувача ($\rho_{рс1}$, $\rho_{рс2}$).

У рамках пропонованої моделі час подвійного обертання кадру складається з таких частин (рис. 3):

- час очікування кадру запиту в черзі терміналу «А» на доступ до канального ресурсу ($T_{очкан1}$);
- час, необхідний на розповсюдження електричного або електромагнітного імпульсу через середовище передавання від терміналу «А» до терміналу «В» ($T_{розп1}$);
- час, необхідний на передавання кадру запиту довжиною $L_{фр1}$ через канал зі швидкістю передавання інформації C_1 ($T_{пер1}$);
- час очікування кадру запиту на обслуговування всередині вхідного буфера на терміналі «В» ($T_{очобсл2}$);
- час, необхідний на обробку кадру запиту та формування кадру відповіді всередині терміналу «В» ($T_{обсл2}$);
- час очікування кадру відповіді в черзі терміналу «В» на доступ до канального ресурсу ($T_{очкан2}$);
- час, необхідний на розповсюдження електричного або електромагнітного імпульсу через середу передавання від терміналу «В» до терміналу «А» ($T_{розп2}$);
- час, необхідний на передавання кадру відповіді довжиною $L_{фр2}$ через канал зі швидкістю передавання інформації C_2 ($T_{пер2}$);
- час очікування кадру відповіді на обслуговування всередині вхідного буфера на терміналі «А» ($T_{очобсл1}$);
- час, необхідний на обробку кадру відповіді всередині терміналу «А» ($T_{обсл1}$).

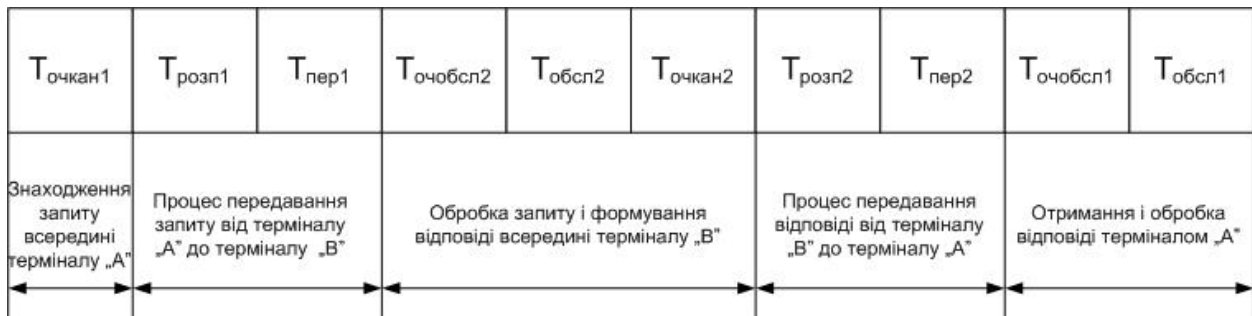


Рисунок 3 – Складові частини часового проміжку очікування відповіді на запит

Таким чином загальний час очікування відповіді абонентом терміналу «А» буде дорівнювати:

$$T_{зч} = T_{очкан1} + T_{розп1} + T_{пер1} + T_{очобсл2} + T_{обсл2} + T_{очкан2} + T_{розп2} + T_{пер2} + T_{очобсл1} + T_{обсл1} \quad (1)$$

Отримасмо аналітичні вирази для кожного типу складових виразу (1) для найпростішого випадку.

Припустимо, що потік запитів і відповідей в кожному з вузлів являє собою найпростіший (пуасонівський) потік. У цьому випадку сформовані на вузлах черги можуть бути представлені у вигляді найпростіших одноканальних систем масового обслуговування (СМО) з необмеженою чергою, тобто СМО типу $M|M|1$.

В ідеальному випадку максимальна інтенсивність передавання кадрів через канал зв'язку може бути визначена як $\mu_{ідк} = \frac{1}{T_{пер}}$, де середній час обслуговування $T_{пер} = \frac{L_{фр}}{C}$ дорівнює часу, необхідному на передавання кадру через канал зв'язку, а $L_{фр}$ – середній розмір кадру та C – пропускна здатність каналу зв'язку відповідно.

Реальна максимальна інтенсивність передавання кадрів ($\mu_{рек}$) є величиною меншою за ідеальну, внаслідок наявності міжкадрових інтервалів, а також зважаючи на необхідність передавання

службових повідомлень, що можуть бути частиною механізму доступу до каналного ресурсу. Будемо визначати її за формулою:

$$\mu_{рек} = \eta \frac{C}{L_{фр}}, \quad (2)$$

де η – коефіцієнт ефективного використання пропускної здатності каналу передавання даних ($0 < \eta < 1$).

Знаючи середній проміжок часу, необхідний абонентському терміналу на обслуговування отриманого запиту за умов незайнятості системи ($t_{обс}$), а також завантаженість абонентського терміналу сторонніми прикладними процесами та службами ($\rho_{рс}$), можна визначити (за допомогою формули Літтла [5]) середній час обслуговування запиту завантаженим абонентським терміналом:

$$T_{обсл} = \frac{t_{обс}}{1 - \rho_{рс}}. \quad (3)$$

У цьому випадку інтенсивність обслуговування СМО, що являє собою абонентський термінал, визначатиметься за формулою $\mu_{ат} = \frac{1}{T_{обсл}}$, а використовуючи формулу Літтла можна знайти середній час перебування кадру в черзі на обслуговування.

Зауважимо, що завантаженість абонентського терміналу ситуативним трафіком визначатиметься, як відношення інтенсивності надходження кадрів з каналу ($\lambda_{см}$) до інтенсивності обслуговування цих кадрів ($\mu_{ат}$) всередині абонентського терміналу $\rho_{см} = \frac{\lambda_{с.м.}}{\mu_{ат}}$. При цьому кількість

кадрів, що надходять на обслуговування до абонентського терміналу за одиницю часу, визначається як добуток завантаженості каналу зв'язку між абонентськими терміналами ($\rho_{к}$) і максимальною інтенсивністю передавання кадрів через канал зв'язку ($\mu_{рек}$):

$$\lambda_{см} = \rho_{к} \mu_{рек} \quad (4)$$

Час, необхідний для передавання електричного або електромагнітного імпульсу (час розповсюдження), знайдемо виходячи з формули:

$$T_{розп} = \frac{R}{C_{св}}, \quad (5)$$

де R – відстань між терміналами абонентів; $C_{св}$ – швидкість поширення електромагнітної хвилі через середовище передавання.

Використовуючи вирази (2...5), з урахуванням того, що $T_{розп1} = T_{розп2}$, отримаємо загальний вираз для часу очікування відповіді абонентом терміналу «А», який відповідає параметру $T_{чдм}$ для ситуативної мережі, що розглядається:

$$T_{зч} = \frac{L_{фр1} \rho_{к1}}{\eta_1 C_1 (1 - \rho_{к1})} + 2 \frac{R}{C_{св}} + \frac{L_{фр1}}{C_1} + \frac{\rho_{к1} \eta_1 C_1 (t_{обс2})^2}{L_{фр1} (1 - \rho_{рс2})^2 - t_{обс2} \rho_{к1} \eta_1 C_1 (1 - \rho_{рс2})} + \frac{t_{обс2}}{1 - \rho_{рс2}} + \frac{L_{фр2} \rho_{к2}}{\eta_2 C_2 (1 - \rho_{к2})} + \frac{L_{фр2}}{C_2} + \frac{\rho_{к2} \eta_2 C_2 (t_{обс1})^2}{L_{фр2} (1 - \rho_{рс1})^2 - t_{обс1} \rho_{к2} \eta_2 C_2 (1 - \rho_{рс1})} + \frac{t_{обс1}}{1 - \rho_{рс1}}. \quad (6)$$

Зазначимо також, що при використанні більшості безпроводових технологій (наприклад, Wi-Fi) одне і те саме середовище передавання використовується як для приймання повідомлень так і для передавання (режим напівдуплекса). Таким чином, якщо вважати, що збігаються розміри кадрів ($L_{фр1} = L_{фр2}$), завантаження терміналів і час обслуговування ($\rho_{рс1} = \rho_{рс2}$, $t_{обс1} = t_{обс2}$), то вираз (7) набуває більш спрощеного вигляду:

$$T_{зч} = 2 \left(\frac{L_{фр} \rho_{к}}{\eta C (1 - \rho_{к})} + \frac{R}{C_{св}} + \frac{L_{фр}}{C} + \frac{\rho_{к} \eta C (t_{обс})^2}{L_{фр} (1 - \rho_{рс})^2 - t_{обс} \rho_{к} \eta C (1 - \rho_{рс})} + \frac{t_{обс}}{1 - \rho_{рс}} \right). \quad (7)$$

Мережа, яка подана на рис. 2, є найпростішим виродженим випадком, більший інтерес являють собою з'єднані ланцюгом N абонентських терміналів. Знаходження часових параметрів такої моделі надасть можливість оцінити межі використання ситуативних мереж, перелік послуг, що можуть надаватися, у відповідності з довжиною ланцюга – параметра, який відповідає діаметру мережі. Модель такої мережі подана на рис. 4.

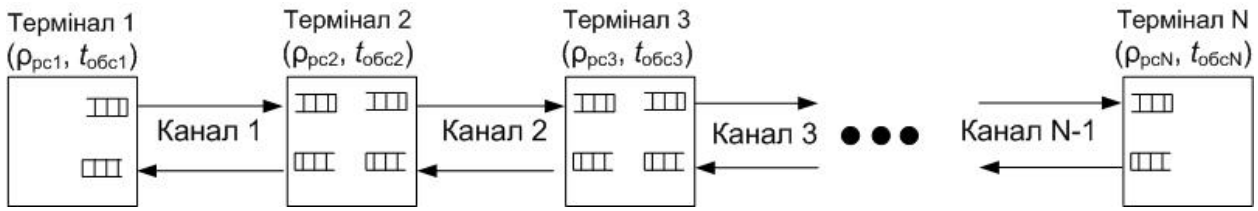


Рисунок 4 – Модель ланцюгової ситуативної мережі

Розглянута модель являє собою з'єднані між собою $N-1$ моделей найпростіших ситуативних мереж, які подані на рис. 2. Таким чином, загальний час очікування абонентом терміналу 1 відповіді на запит від терміналу N складатиме суму часових проміжків, що необхідні для проходження запиту і відповіді через кожну з таких найпростіших моделей:

$$T_{зчс} = \sum_{i=1}^{N-1} T_{зч,i}, \quad (8)$$

де $T_{зч,i}$ обчислюється за формулою, поданою у виразі (6).

Подібний підхід є досить складним для практичного використання, тому для отримання приблизних оцінок щодо затримки передавання фрейма в розглянутій ланцюговій мережі вважатимемо, що ряд параметрів для відповідних каналів ($\rho_k, \eta, L_{фр}, C, R$) та абонентських терміналів ($\rho_{рс}, t_{обс}$) збігаються за значенням. У такому випадку використовуючи (7), отримаємо спрощений вираз:

$$T_{зчс} = 2(N-1) \left(\frac{L_{фр}\rho_k}{\eta C(1-\rho_k)} + \frac{R}{C_{св}} + \frac{L_{фр}}{C} + \frac{\rho_k \eta C (t_{обс})^2}{L_{фр} (1-\rho_{рс})^2 - t_{обс} \rho_k \eta C (1-\rho_{рс})} + \frac{t_{обс}}{1-\rho_{рс}} \right). \quad (9)$$

Приклад. Розглянемо як буде змінюватись час затримки передавання інформації між користувачами зі зміною завантаженості каналів (ρ_k), а також діаметром мережі, який в даному випадку збігається з кількістю абонентських терміналів у мережі (N), за умов, що між абонентськими терміналами використовується технологія IEEE 802.11b (максимальна швидкість передавання інформації 11 Мбіт/с), середня довжина фрейма $L_{фр}=1000$ байт, відстань між сусідніми абонентськими терміналами $R = 30$ м. Завантаженість робочих станцій вважатимемо рівною 0,5 ($\rho_{рс} = 0,5$), час обслуговування за умов незайнятості робочої станції для сучасних терміналів є відомою величиною [4] і складає 10...20 мкс (вважатимемо $t_{обс} = 15$ мкс). Коефіцієнт ефективного використання пропускної здатності каналу передавання даних при використанні методу доступу CSMA/CA (carrier sense multiple access / collision avoidance), що використовується технологією IEEE 802.11b може змінюватись значною мірою, що залежить від кількості абонентських терміналів, які взаємодіють між собою через загальний канал, а також характеру інформаційного обміну, що проводиться, і відповідно до проведених досліджень [6] складає 0,7...0,9 (в нашому випадку внаслідок взаємодії кожного терміналу максимум з двома іншими вважатимемо $\eta = 0,9$).

Зауважимо також, що швидкість передавання даних 11 Мбіт/с розподіляється на конкурентній основі в кожному каналі між усіма абонентами, що підключені до каналу, тому для розрахунків вважатимемо $C = 5,5$ Мбіт/с.

Таким чином, підставляючи вказані величини до виразу (9), отримаємо числові показники, відображені на графіках рис. 5.

Таким чином, отримані результати показують, що часовий показник загального часу очікування відповіді залежить від завантаженості каналів за експоненціальним законом і при значенні $\rho_k > 0,8$ різко збільшується. Збільшення часу очікування відповіді від загальної кількості абонентів у ланцюзі N (в даному випадку вказану кількість абонентів можна співвіднести до діаметра ситуативної мережі) відбувається за лінійним законом.

Отримані в результаті досліджень вирази можуть бути використані для розрахунків таймерів T_1, T_2, T_3 при програмній реалізації запропонованого механізму [3]. Таймери T_1 і T_3 будуть збігатись з часом дослідження мережі і дорівнюватимуть максимальному параметру $T_{зчс}$ для системи що розглядається, де параметр N буде дорівнювати діаметру мережі для таймера T_1 і кількості переходів, що залишилось пройти запиту для таймера T_3 . Таймер T_2 буде визначатись, як половина різниці між максимальним і мінімальним значенням $T_{зчс}$ за умови використання різних технологій.

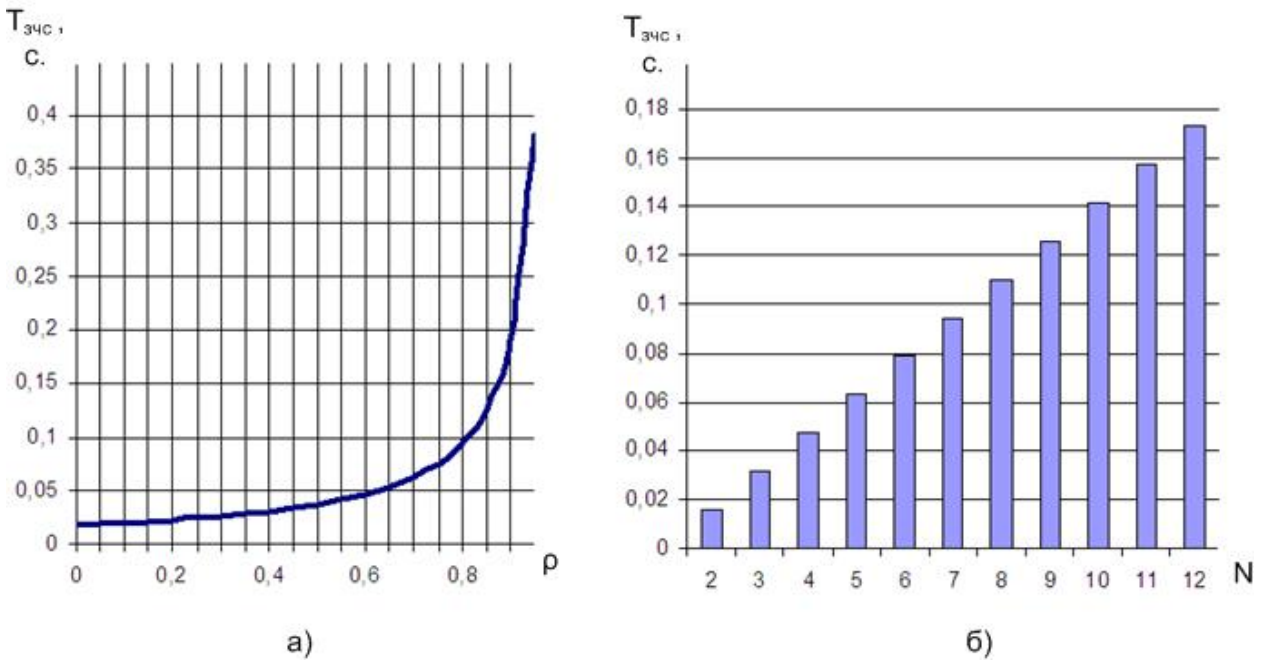


Рисунок 5 – Значення максимального часу очікування відповіді при:
 а) зміні завантаженості каналів між абонентськими терміналами, за умов $N = 7$;
 б) зміні кількості абонентських терміналів в ланцюговій ситуативній мережі, за умов $\rho = 0,8$.

2. Ймовірнісні характеристики ситуативної мережі. Сумарну ймовірність колізії при передаванні пакета даних через ситуативну мережу можна знайти, знаючи ймовірності колізії при передаванні на кожному з переходів мережі. Найпростіша схема ситуативної мережі, яка складається з трьох вузлів, показана на рис. 6, де $P_{\text{кол}12}$ і $P_{\text{кол}23}$ ймовірності колізії при передаванні пакета з першого на другий вузол і з другого та третій вузол відповідно.

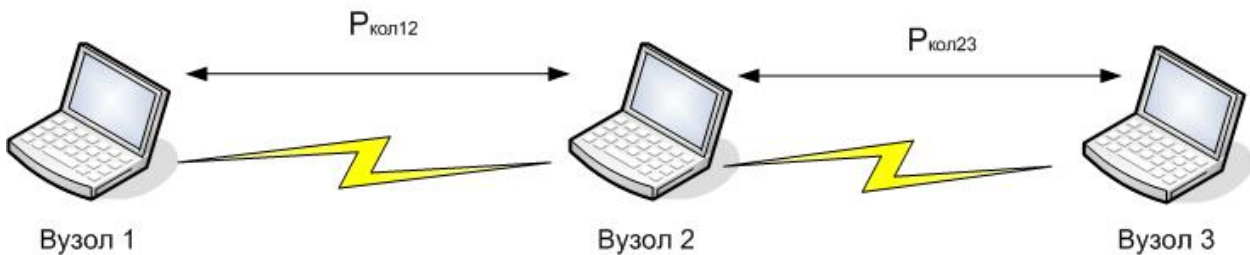


Рисунок 6 – Схема ситуативної мережі, яка складається з трьох вузлів

Події виникнення колізії при передаванні пакета від вузла 1 до вузла 3 відповідають одній з двох подій:

- подія виникнення колізії при передаванні пакета з вузла 1 до вузла 2, ймовірність чого дорівнює $P_{\text{кол}12}$.
- подія виникнення колізії при передаванні пакета з вузла 2 до вузла 3, що в свою чергу, складається з двох подій – події передавання пакета між вузлом 1 і вузлом 2 без колізії $(1 - P_{\text{кол}12})$ і події виникнення колізії при передаванні пакета між вузлом 2 і вузлом 3 ($P_{\text{кол}23}$). У разі незалежності подій [7] виникнення колізій на кожному проміжку, отримаємо ймовірність виникнення колізії на проміжку між вузлом 2 і вузлом 3 для пакета відправленого з вузла 1: $(1 - P_{\text{кол}12}) P_{\text{кол}23}$.

Виходячи з аксіоми адитивності подій [7], отримаємо, що загальна ймовірність виникнення колізії при передаванні пакета з вузла 1 до вузла 3 складається з двох ймовірностей:

$$P_{\text{кол}13} = P_{\text{кол}12} + (1 - P_{\text{кол}12}) P_{\text{кол}23}$$

Розглянемо загальний випадок – підключення між собою N вузлів ланцюгом один за одним (рис. 7).

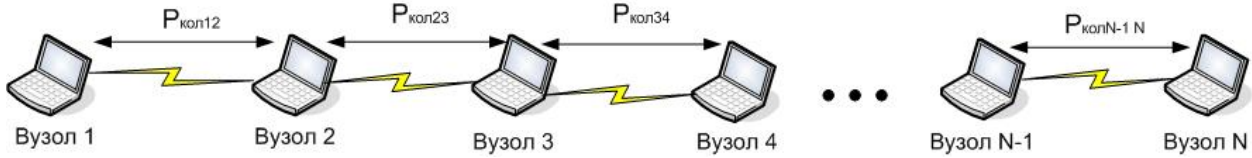


Рисунок 7 – Схема ланцюгової ситуативної мережі, яка складається з N вузлів

Аналогічно до попереднього випадку для виникнення події того, що пакет відправлений з вузла 1 потрапить на колізію між вузлами $N-1$ і N не повинно відбутися колізій при передаванні пакета на всіх проміжках від вузла 1 до вузла $N-1$ і виникнення колізії на проміжку між вузлами $N-1$ і N :

$$(1 - P_{\text{кол}12})(1 - P_{\text{кол}23})(1 - P_{\text{кол}34}) \cdots (1 - P_{\text{кол}N-2,N-1})P_{\text{кол}N-1,N}.$$

У такому випадку, загальна ймовірність того що при передаванні пакета між вузлом 1 і вузлом N виникне колізія, буде дорівнювати:

$$P_{\text{кол}1N} = \sum_{i=1}^{N-1} \left[\prod_{j=1}^i (1 - P_{\text{кол}j-1,j}) \right] P_{\text{кол}i,i+1}, \quad (10)$$

де $P_{\text{кол}01} = 0$.

Розглянемо випадок, коли розповсюдженню інформації перешкоджають дві незалежні події: виникнення помилки і виникнення колізії. В такому випадку повну групу подій при інформаційному обміні між двома робочими станціями формують три несумісні події: успішне передавання інформації; виникнення колізії при передаванні інформації (з ймовірністю $P_{\text{кол}}$) і виникнення помилки при передаванні інформації (з ймовірністю $P_{\text{пом}}$).

У такому випадку для схеми, зображеної на рис. 7, аналогічним чином до формули (10) можна отримати вирази загальної ймовірності виникнення колізії:

$$P_{\text{кол}1N} = \sum_{i=1}^{N-1} \left[\prod_{j=1}^i (1 - P_{\text{кол}j-1,j} - P_{\text{пом}j-1,j}) \right] P_{\text{кол}i,i+1} \quad (11)$$

і відповідно ймовірності виникнення помилки:

$$P_{\text{пом}1N} = \sum_{i=1}^{N-1} \left[\prod_{j=1}^i (1 - P_{\text{кол}j-1,j} - P_{\text{пом}j-1,j}) \right] P_{\text{пом}i,i+1}. \quad (12)$$

Таким чином, ймовірність $P_{\text{бв}1N}$ того, що повідомлення буде доставлене без помилки і не натрапить на колізію при передаванні з терміналу 1 на термінал N визначатиметься:

$$P_{\text{бв}1N} = 1 - P_{\text{кол}1N} - P_{\text{пом}1N},$$

де $P_{\text{кол}1N}$, $P_{\text{пом}1N}$ визначаються виразами (11) і (12) відповідно.

Висновки та результати. В статті отримано аналітичні вирази, що дозволяють визначити часові і ймовірнісні характеристики ситуативних мереж відповідно до запатентованого авторами механізму їх організації. Отриманий результат дозволяє:

- визначити основні часові показники конкретних ситуативних мереж (час дослідження мережі та час доставки повідомлення) в залежності від технологій, що використовуються на каналному рівні, а також завантаженості каналів і абонентських терміналів;
- оцінити межі використання розробленого механізму, виходячи з максимального діаметра ситуативної мережі (в розглянутих випадках кількість абонентів в ланцюзі можна співвіднести з максимальним діаметром ситуативної мережі), де значення відповідних часових і ймовірнісних характеристик можуть обмежити використання тих чи інших послуг абонентами;
- отримати значення часових показників (таймерів) при подальшій реалізації механізму керування ресурсами в ситуативних мережах.

Подальша робота передбачає розробку імітаційної моделі запропонованого механізму, а також реалізацію механізму керування розподіленими ресурсами ситуативних мереж.

Література

1. *Каптур В.А.* Механізм керування розподіленими ресурсами в ситуативних мережах / В.А. Каптур, О.В. Степаненко // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – № 1. – С. 31–37.
2. Степаненко О.В. Алгоритми пошуку та передавання інформації в ситуативних мережах / О.В. Степаненко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – № 3. – С. 75–80.
3. Пат. 55941 Україна, МПК Н 04 L 12/28, Н 04 L 12/407, Н 04 L 29/02, Н 04 L 29/06. Спосіб встановлення з'єднання між вузлами ситуативної мережі / Каптур В.А., Степаненко О.В.; заявник і патентовласник Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова. – u201008903; заявл. 16.07.10 ; опубл. 27.12.10, Бюл. № 24.
4. *Zaitsev D.A.* Simulating Telecommunication Systems with CPN Tools: Students' book / D.A. Zaitsev, T.R. Shmeleva. – Odessa: ONAT, 2006. – 60 p.
5. *Крылов В.В.* Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
6. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / [Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В.]. – М.: Техносфера, – 2005. – 592 с.
7. *Письменный Д.Т.* Конспект лекций по теории вероятностей и математической статистике / Письменный Д.Т. – М.: Айрис-пресс, 2005. – 256 с. – Серия «Высшее образование».