

## МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ДАНИХ В КОРПОРАТИВНИХ ІР-МЕРЕЖАХ

*Анотація:* Розглянуто моделі трьох методів управління мережевим трафіком, що забезпечують недопущення перевантажень телекомунікаційних каналів. В основу апаратної моделі лягла технологія обмеження потоків даних через мережеві вузли.

*Ключові слова:* управління мережевим трафіком; уникнення перевантажень; обмеження потоків трафіку; перевантаження телекомунікаційних каналів.

### Вступ

Істотне підвищення ефективності виконання бізнес-процесів або процесів діяльності з використанням інформаційних технологій (ІТ) та повсюдна доступність високошвидкісних каналів доступу до мережі Інтернет призвели до активного розвитку корпоративних розподілених ІТ-інфраструктур. Для моніторингу і управління ІТ-інфраструктурою, автоматизації процесів експлуатації обчислювальних і комунікаційних систем, а також вирішення інших завдань, що сприяють ефективному використанню інформаційних і комунікаційних ресурсів підприємства, використовуються системи управління ІТ-інфраструктурою (СУІ) [1].

Активне впровадження ІТ для автоматизації практично всіх процесів на підприємствах спричиняє і негативні наслідки, що виявляються в перевантаженні телекомунікаційних мереж, які забезпечують інформаційну взаємодію між компонентами ІТ-інфраструктури, що, в свою чергу, призводить до зниження ефективності або порушення роботи ІТ. Ця проблема особливо відчутна у великих корпораціях, що об'єднують багато філій і мають розвинену мережу регіональних офісів. Корпоративні ІР-мережі, які об'єднують велику кількість користувачів і великі території, побудовані на основі дорогого комунікаційного обладнання, з'єднаного каналами зв'язку з обмеженою пропускною здатністю. Впровадження нових ІТ спричиняє збільшення навантаження на корпоративні мережі. Це супроводжується істотними економічними витратами на модернізацію корпоративних ІР-мереж для збільшення сумарної пропускної здатності мережі. Тому однією з найважливіших задач, вирішення якої в корпоративних мережах покладається на СУІ, є управління інформаційними потоками з метою ефективного використання пропускної здатності корпоративної мережі без локальних та загальних перевантажень [2,3].

### Аналіз існуючих рішень

Управління інформаційними потоками найчастіше використовується для боротьби з мережевими перевантаженнями, що виникають при перевищенні вхідним навантаженням пропускної здатності мережі. У [4] розглядаються питання управління потоками інформації з метою запобігання втрати працездатності мережі, викликаній надмірним вхідним

і транзитним трафіком, але не приділяється уваги питанням побудови керуючого пристрою.

В [5] розглядаються питання динамічного управління ресурсами мережі на основі математичних моделей, описаних у просторі станів. Розглянуто деякі підходи до моделювання мереж: детермінований, стохастичний та адаптивний. Основний недолік даних підходів полягає у тому, що в них розглядається лише моделювання мережі, а не задача управління трафіком.

В [6] розглядаються питання перевірки ефективності управління мультимедійним ТСП-трафіком, впровадженим на базі NDIS-драйвера, який забезпечує роботу ТСП-подібного протоколу в середовищі Matlab на рівні доступу до каналу зв'язку та здатен імітувати динаміку Інтернет при передачі трафіку локальною мережею. Недоліком статті є те, що динаміка роботи не враховує програмування в значних обсягах середовища Matlab та необхідність впровадження керування на нижніх рівнях моделі OSI.

**Метою статті** є моделювання різних підходів до управління потоками даних в корпоративній інформаційно-телекомунікаційній мережі, що використовує IP-протокол, та порівняння їх ефективності у вирішенні проблеми запобігання перевантаженням у мережі.

### **Моделі управління потоками даних**

В даній статті змодельована робота трьох регуляторів, які можуть бути застосовані в СУІ. Моделі перша та друга – апаратний та програмний регулятори, робота яких відповідає алгоритмам, що використовуються в мережевому обладнанні. Третя модель – оптимальний по швидкодії регулятор, що реалізує підхід до управління інформаційними потоками, який базується на застосуванні методів теорії автоматичного управління (ТАУ).

Апаратний регулятор виконаний за аналогією з існуючим методом управління трафіком у маршрутизаторах – policing, який здійснює затримку або відкидання пакетів з метою обмеження навантаження на канали зв'язку. Управління реалізується шляхом обмеження інформаційного потоку у випадку перевищення ним заданого рівня. Таким чином частина даних, що передавались, відкидається.

Моделі системи управління з апаратним регулятором наведена на рис. 1.

В даному випадку регулятор працює таким чином: якщо після порівняння бажаної та реальної величини потоку інформації виникає потреба обмежити потік, то весь трафік, який перевищує задану величину, відкидається і на виході отримується необхідне значення. На рис. 2 потік обмежений рівнем значення задаючого впливу, що дорівнює 1.

Перевагою цього способу управління потоками є простота реалізації та універсальність регулятора, оскільки він аналогічним чином управляє всіма видами трафіку. Проте істотним недоліком є те, що таке управління не є регулюванням, воно швидше зводиться до обмеження у випадках

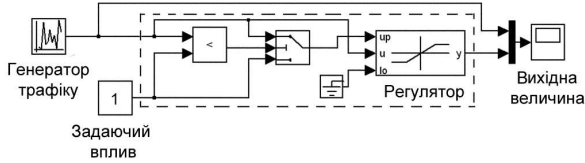


Рис. 1 – Модель систем управління потоками трафіку на основі апаратного регулятора.

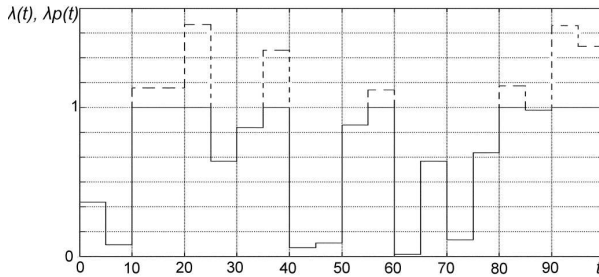


Рис. 2 – Перехідна характеристика систем управління потоками трафіку на основі апаратного регулятора (суцільною лінією позначено трафік після обмеження  $\lambda_p(t)$ , пунктирною – вхідний потік  $\lambda(t)$ ).

перевантажень у каналах передачі даних. Тобто не виробляється ніяка управляюча дія, яка, за необхідності, синтезувала б керуючі сигнали для генераторів трафіку про потребу зменшення кількості інформації, що передається, з метою уникнення перевантажень, втрат інформації та повторної передачі. Такий шлях, зрештою, призводить до надлишкового неефективного використання комунікаційних ресурсів та зниження ефективності функціонування розподілених застосунків.

В програмному регуляторі (див. рис. 3) управління відбувається таким чином: якщо після порівняння бажаної та реальної величини потоку даних виникає потреба обмежити потік, то регулятор поступово знижує коефіцієнт передачі доти, доки потік не буде достатньо обмежено. Проте, у зв'язку з особливостями даного методу, виникає затримка винесення рішення, що обумовлена необхідністю постійного аналізу стану каналів, збору інформації про пакети, що надійшли, та ін. При цьому виникає ситуація, коли потік вже достатньо обмежено, але через відсутність інформації про стан каналів, яка ще не отримана, додатково продовжується обмеження потоків. Після цього регулятор з'ясує, що потоки занадто обмежені та здійснює стрибкоподібне підвищення коефіцієнту передачі. У зв'язку з цим отримуємо пилоподібну завантаженість каналів зв'язку, яку можна спостерігати на рис. 4.

Перевагою цього регулятора є універсальність, оскільки він дозволяє

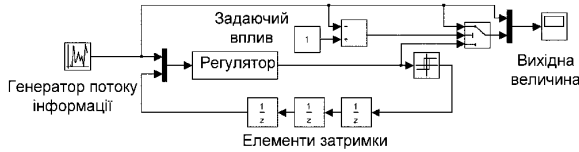


Рис. 3 – Модель систем управління потоками трафіку на основі програмного регулятора.

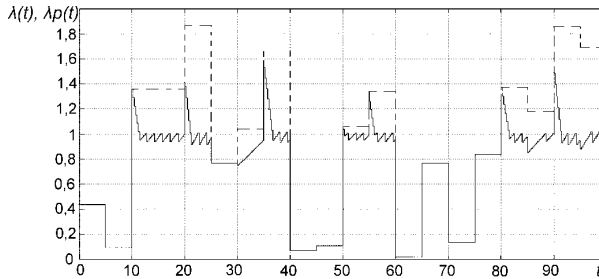


Рис. 4 – Графік залежності величини потоків інформації від часу, в системі з програмним регулюванням (суцільна лінія  $\lambda_p(t)$ ) і без нього (пунктирна лінія  $\lambda(t)$ ). Бажана завантаженість каналу дорівнює 1.

регулювати різні типи трафіку. Недоліком є високий вплив на якість керування затримок, що виникають при зборі та обробці інформації і розповсюдженні керуючого впливу. Оскільки зміна коефіцієнту відбувається лінійно, великі затримки спричиняють несвоєчасну і невідповідну управляючу дію.

Перспективним у вирішенні задачі управління потоками мережевого трафіку є використання принципів та методів теорії автоматичного управління. Для того, щоб розглянути мережу передачі даних та СУІ з точки зору ТАУ, необхідно представити їх як систему автоматичного регулювання (САР). Дослідження будь-якої САР починається з формалізації понять і об'єктів, а також з формулювання цілей та критеріїв управління.

Класична схема САР містить об'єкт регулювання (ОР) та пристрій управління, який, аналізуючи регульовану величину (тобто вихід об'єкту управління, що подається на регулятор за допомогою зворотного зв'язку) та вихідний вплив, синтезує необхідне управління. Формалізуючи задачу управління потоками, визначимо, що об'єктом управління є станція, підмережа чи будь-яка сукупність об'єктів мережі, що генерують потоки інформації; вихідна (регульована) величина – величина завантаженості каналу зв'язку; вхідний вплив – пропускна здатність каналу передачі інформації; помилка системи – величина перевантажень, що

виникають в мережі при надмірних потоках інформації. Метою керування є мінімізація помилки системи за максимально коротким проміжком часу. Дану систему можна класифікувати як різновид дискретної системи стабілізації, оскільки при відсутності перевантажень система не потребує управління потоками, у протилежному ж випадку – регулятор намагається підтримувати стабільне значення величини потоку інформації не вище заданого вхідного впливу.

Ключовим моментом є визначення математичної моделі, що належним чином описує поведінку ОР. Зазвичай, така математична модель являє собою диференційне рівняння чи систему диференціальних рівнянь, що характеризують динаміку об’єкту управління залежно від різних вхідних впливів. В реальних мережах генерування трафіку – це стохастичний процес. Єдиний спосіб, яким так чи інакше можна вплинути на величину потоку інформації, – обмежити його. Саме значення цього обмеження залежно від величини перевантажень та затримок в мережі і є кінцевим управляючим впливом.

Математична модель заданого об’єкту управління описується цифровою передатною функцією:

$$W_{OP}(z) = \frac{(0.17z^2 - 0.17945124z + 0.5448581)(z^2 - 1.86343304z + 1.0272802)}{(z^2 - 0.6899688z + 0.99999679)(z^2 - 1.90008393z + 1.00004419)} \cdot \frac{(z^2 - 1.97367732z + 1.0001752)}{(z^2 - 1.97291917z + 0.99995902)}. \quad (1)$$

Знаючи передатну функцію ОР і обравши бажані характеристики замкненої системи, можна синтезувати регулятор, що забезпечить кінцевій системі необхідні показники якості. В даному випадку, бажаними показниками якості є відсутність статичної помилки та максимальна швидкодія системи. Відповідно до цього і буде синтезуватись регулятор.

Замкнена система описується таким виразом:

$$W_3(z) = \frac{W_P(z) \cdot W_{OP}(z)}{1 + W_P(z) \cdot W_{OP}(z)}, \quad (2)$$

де  $W_{OP}(z)$  – передатна функція ОР,  $W_3(z)$  – передатна функція замкненої системи,  $W_P(z)$  – передатна функція регулятора.

Передатну функцію регулятора можна представити як

$$W_P(z) = \frac{W_3(z)}{W_{OP}(z) \cdot (1 - W_3(z))}. \quad (3)$$

Синтез регулятора виконується в кілька етапів.

Перший етап – факторизація передатної функції об’єкту регулювання:

$$W_{OP}(z) = \frac{B(z)}{C(z)} = \frac{B(z)}{(z - 1)^{r_0} \cdot C^-(z) \cdot C^+(z)}, \quad (4)$$

де поліноми  $C^-(z)$  та  $C^+(z)$  мають нулі поза кругом і в крузі одиничного радіуса відповідно;  $r_0$  – степінь астатизму.

Для об’єкту, що розглядається, всі корені лежать поза кругом одиничного радіусу, тому  $C^-(z) = 1$ .

Другий етап – вибір виду бажаної передатної функції замкненої системи. З можливих варіантів обираємо той, який забезпечить бажаний процес у будь-які моменти часу та надасть системі астатизм порядку  $r = 1$  по заданому вхідному впливу. Бажана передатна функція замкненої системи такого типу описується таким виразом:

$$W_3(z) = \frac{B(z) \cdot M(z)}{Q(z)}. \quad (5)$$

де  $M(z)$  – поліном;  $Q(z)$  – характеристичний поліном замкненої системи. Помилка системи описується виразом (6)

$$1 - W_3(z) = \frac{(z - 1)^r \cdot C^-(z) \cdot N(z)}{Q(z)}, \quad (6)$$

де  $N(z)$  – поліном.

Характеристичний поліном для системи з максимальною швидкістю знаходиться за формулою:

$$Q(z) = z^k, \quad (7)$$

де

$$K = \|B\| + \|C^-\| + r = 6 + 0 + 1 = 7, \quad (8)$$

$$Q(z) = z^7. \quad (9)$$

Степені поліномів  $M(z)$  та  $N(z)$  визначаються таким чином:

$$\begin{aligned} \|M\| &= \|C^-\| = 0, \\ \|N\| &= \|B\| = 6. \end{aligned} \quad (10)$$

Відповідно поліноми  $M(z)$  та  $N(z)$  набувають такого вигляду:

$$\begin{aligned} M(z) &= m_0, \\ N(z) &= n_6 z^6 + n_5 z^5 + n_4 z^4 + n_3 z^3 + n_2 z^2 + n_1 z + n_0. \end{aligned} \quad (11)$$

Для визначення значень коефіцієнтів поліномів (11) використаємо рівність

$$B(z) \cdot M(z) + (z - 1) \cdot C_1^-(z) \cdot N(z) = Q(z). \quad (12)$$

Підставивши (9) та (11) в (12) і розв’язавши (12), отримаємо коефіцієнти шуканих поліномів:

$$\begin{aligned}
 m_0 &= 430, 19578640435048394874991557408, \\
 n_0 &= 240, 83220514488348792418917773668, \\
 n_1 &= -750, 58581050822039618450753122253, \\
 n_2 &= 962.24998935265428649232552226844, \\
 n_3 &= -662, 17621722822273644958557088917, \\
 n_4 &= 285, 68636361094297625792474413030, \\
 n_5 &= -72, 133283688739582271287485647593, \\
 n_6 &= 1.
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

З виразу (3), з урахуванням (4) – (6), отримуємо наступну формулу для обчислення передатної функції регулятора:

$$W_P(z) = \frac{(z - 1)^{r_0 - r} \cdot C^+(z) \cdot M(z)}{N(z)}.
 \tag{14}$$

Підставивши всі необхідні дані з (14), отримуємо розраховану передатну характеристику регулятора:

$$W_P(z) = \frac{430,196z^6 - 2083,008z^5 + 4517,761z^4}{z^7 - 73,133z^6 + 357,82z^5 - 947,86z^4 +}
 \tag{15}$$

$$\frac{-5728,698z^3 + 4517,76z^2 - 2083,008z + 430,196}{1624,4z^3 - 1712,8z^2 + 991,42z - 240,83}.$$

Результат моделювання системи з розрахованим регулятором у середовищі Matlab зображений на рис. 5 та 6.

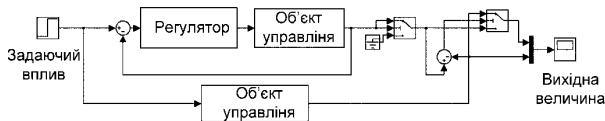


Рис. 5 – Модель систем управління потоками трафіку на основі оптимального по швидкодії регулятора.

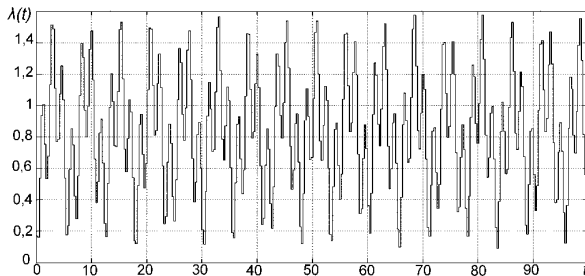


Рис. 6 – Перехідна характеристика системи без регулятора.

Використання регулятора, побудованого на основі методів ТАУ, для управління трафіком дозволило отримати швидкий процес регулювання

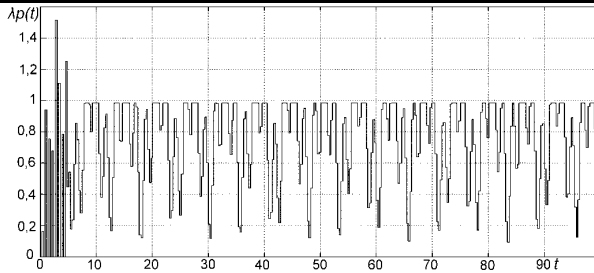


Рис. 7 – Перехідна характеристика систем управління потоками трафіку на основі оптимального по швидкодії регулятора.

з установленим значенням, яке знаходиться в заданих межах. Недоліком такого регулятора є ефективна робота лише з чітко описаним об'єктом управління, оскільки тільки за таких умов будуть досягатися бажані критерії якості роботи системи. У реальних комп'ютерних мережах чітко описати об'єкт управління, що здійснює генерацію трафіку, неможливо, а будь-яке його математичне представлення є лише наближенням.

Можливість застосування ТАУ в сфері телекомунікаційних мереж загалом, та для вирішення поставленої задачі зокрема, викликає безперечний інтерес, оскільки математичний апарат ТАУ дозволяє досить чітко розрахувати керуючий пристрій, що надає системі бажаних показників якості навіть за умови наявності затримок в системі.

Після моделювання описаних вище підходів до управління потоками інформації в мережі можна виконати порівняння даних регуляторів за такими критеріями: швидкодія регулятора, тобто швидкість, з якою регулятор виробляє необхідну керуючу дію; вплив затримок передачі даних на своєчасність регулюючої дії; види трафіку, які здатен регулювати регулятор; простота реалізації та розрахунку регулятора; ефективне використання наявних мережевих ресурсів.

За швидкістю вироблення управляючої дії перша модель беззаперечно займає лідируючу позицію, оскільки не потребує глибокого аналізу ситуації і, відповідно, часу на вироблення та передачу управляючої дії, оскільки обмеження відбувається одразу при перевищенні пропускної здатності каналу передачі інформації. Інші два регулятори у разі значних затримок при передачі керуючої дії не можуть повністю виключити перевантаження, у другій моделі такі затримки спричиняють пілкоподібний вигляд встановленого значення завантаженості каналу.

Максимальне використання пропускної здатності каналу зв'язку відбувається у першій моделі, оскільки канал завантажується повністю аж до появи перевантажень, у той час як в інших двох моделях при появі надмірної кількості потоків відбувається часткове розвантаження каналу за рахунок реалізації управління. Але в даному випадку не можна говорити про найефективніше використання ресурсів першою моделлю, оскільки за відсутності регулювання інтенсивності потоків, при



перевантаженнях з’являється необхідність повторної передачі відкинутих даних. Таким чином, повторно виконується передача, що знову веде до використання мережевих ресурсів. Тому говорити про ефективне використання ресурсів мережі в першій моделі не можна. Набагато менше перевантажень, а отже, і необхідності повторної передачі пакетів даних, відбувається в моделях другій та третій, що, у свою чергу, свідчить про ефективніше використання ресурсів мережі.

За складністю розрахунку та реалізації останній, розрахований за допомогою методів ТАУ, регулятор є найскладнішим. Але якість регулювання трафіку таким регулятором набагато вища за всі попередні моделі. Найбільшим недоліком цього регулятора є можливість роботи лише з чітко заданим трафіком. В той час, як види потоків трафіку, що регулюються першою та другою моделями регуляторів, не обмежені, за винятком випадку, коли час, необхідний регулятору на корекцію коефіцієнту передачі, на порядок менший за час зміни величини потоку.

### **Висновки**

В роботі розглянуто різні підходи до моделювання управління потоками даних в комп’ютерних мережах. Розроблено три моделі управління потоками. Визначені переваги і недоліки кожної моделі та їх сфери застосування. Апаратна модель відрізняється простотою реалізації та високою швидкістю, але вона позбавлена можливості генерування управляючих команд для джерел трафіку. Модель на основі програмного регулятора має можливість впливати на генерацію трафіку, але її неможливо адаптувати до затримок при прийнятті рішень, які призводять до неефективного управління на надлишкових втрат. Модель, що побудована з використанням методів ТАУ, здатна адаптуватися до затримок, що виникають при виробленні управляючої дії.

Наступним етапом дослідження може бути синтез регулятора, що зможе працювати з неповністю або нечітко описаними об’єктами, які змінюють свою структуру та параметри у часі.

### **Література**

1. Теленик С.Ф. Система управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов, Р.Л. Соколовський // Вісник НТУУ “КПІ”. Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2006. – 45. – С. 112–126.
2. Ролик А.И. Система управления информационными потоками в корпоративной IP-сети / А.И. Ролик, В.А. Иосифов / Адаптивные системы автоматического управления. Межвед. науч.-техн. сб. – Днепропетровск: Системные технологии, 2009. – Вып. 14(34). – С. 73–85.
3. Ролик А.И. Модель подсистемы управления информационными потоками с адаптивным регулятором/ А.И. Ролик, Ю.Н. Пошак, М.А. Никоненко, А.В. Мельник // Адаптивні системи автоматичного

управління. Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2010. – Вип. 16(36). – С. 94–103.

4. Дымарский Я.С. Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи / Я.С. Дымарский, Н.П. Крутякова, Г.Г. Яновский // М.: ИТЦ “Мобильные коммуникации”. – 2003. – 384 с.
5. Поповский В.В. Динамическое управление ресурсами ТКС: математические модели в пространстве состояний / В.В. Поповский, А.В. Лемешко, О.Ю. Евсеева // Науково-виробничий збірник “Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв’язку”. – 2009. – 1(9). – С. 3–26
6. Аноприенко А.Я. Многоуровневое моделирование сетей на базе стека протоколов TCP/IP в среде Matlab/Simulink / А.Я. Аноприенко, С.Н. Джон, А.Ж. Нури // Науч. труды ДонНТУ. Вып. 39. Сер.: Информатика, кибернетика и вычислительная техника (ИКВТ-2002): – Донецк: ДонНТУ, 2002. – С. 271–279.

Отримано 09.03.2011 р.