

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

САВЧЕНКО Аліна Станіславівна

УДК 004.7: 681.51

ДИСЕРТАЦІЯ

**МЕТОДИ РОЗПОДІЛЕНОГО УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНИМИ
КОМП'ЮТЕРНИМИ МЕРЕЖАМИ**

05.13.06 – Інформаційні технології
(12-інформаційні технології)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ А.С. Савченко

Науковий консультант - Віноградов Микола Анатолійович,
доктор технічних наук професор

Київ-2021

АНОТАЦІЯ

Савченко А.С. Методи розподіленого управління корпоративними комп'ютерними мережами - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» (12 – Інформаційні технології) – Національний авіаційний університет, Київ, 2021.

На сьогодні корпоративні комп'ютерні мережі (ККМ) залишаються найпродуктивнішим засобом передачі найголовнішого ресурсу сьогодення – інформації.

В сучасних умовах масового переходу на дистанційну роботу та навчання швидкими темпами зростають обсяги передачі інформації. Використання сервісів відеоконференцій та інших мультимедійних додатків призводить до зростання вимог щодо забезпечення якості цих сервісів на базі існуючих мережних ресурсів. В зазначених умовах важко переоцінити роль автоматизованих систем управління в сфері комп'ютерних мереж. Основне завдання ККМ полягає в тому, щоб надавати користувачу якісний доступ до необхідних інформаційних ресурсів та сервісів. Виконання зазначених вимог можливо тільки завдяки впровадженню управління наявними мережними ресурсами, оскільки темпи нарощування фізичних ресурсів обмежені.

Існуючі методи та інформаційні технології управління, не враховують складність управління ККМ, як розподіленою системою, яка полягає в тому, що не відображається стохастичний характер мережі, як об'єкту управління; відсутня повна та достовірна інформація про стан мережних елементів; не враховують запізнення доставляння сигнальної та управляючої інформації; не враховуються параметри сучасного трафіку (фрактальність), а отже не вирішуються і завдання адекватного прогнозу параметрів і стану мереж. Зазначені чинники приводять до втрати оптимальності управління та погіршення якості надання інформаційних сервісів.

Розроблення нових методів та інформаційних технологій розподіленого управління здатних забезпечувати ефективну роботу ККМ завдяки урахування їх

особливостей передбачає передусім вирішення об'єктивних суперечностей між постійним збільшенням кількості користувачів мультимедійних додатків та ростом вимог щодо забезпечення якості сервісів (дотримання цільових показників QoS), з одного боку, і фізичними обмеженнями ресурсів мережі, – з іншого боку, спричиненими обмеженістю темпів збільшення пропускної здатності та недосконалістю методів розподілу наявних мережних ресурсів для забезпечення належної якості сервісів, здатних враховувати характеристики сучасного трафіку та затримки сигнальної і управляючої інформації в мережі. Таким чином, дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-прикладної проблеми: підвищенню ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі збільшення корисної пропускної здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестационарними потоками.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розв'язано важливу науково-прикладну проблему підвищення ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі збільшення корисної пропускної здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестационарними потоками. При цьому отримано такі наукові результати:

1. *удосконалено* метод аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією) потоків, сумарних та проріджених потоків, які завдяки урахуванню самоподібності сучасного трафіка та використанню диференціальної ентропії відповідних розподілів, дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу та відповідно налаштовувати параметри регуляторів системи управління;

2. *вперше* розроблено метод оптимального управління комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з використанням інформаційної функції втрат дає

можливість знаходити оптимальні управління для складеної мережі в реальному часі;

3. *вперше* розроблено метод управління сталістю системи, який завдяки монотонно-повільному поверненню особливих точок (полюсів) передатної функції в область сталості забезпечує зменшення варіабельності перехідних процесів у системі управління та дозволяє забезпечувати стійкий стан системи при випадкових затримках сигнальної та управляючої інформації;

4. *удосконалено* математичну модель у вигляді передаточної функції мережного вузла як керованого об'єкту, яка, на відміну від відомих, враховує наявність затримок сигнальної і управляючої інформації, що забезпечує оптимальний вибір постійної часу реакції керованого об'єкта;

5. *удосконалено* метод передачі сигнальної та управляючої інформації, який завдяки визначенню оптимальної розподіленої ієрархічної структури управління та здійсненню транспорту управляючої інформації в автономному сегменті на каналному рівні, дозволяє скоротити час доставки службової інформації на 25%;

6. *вперше* розроблено метод оцінки ефективності системи управління розподіленою комп'ютерною мережею, який в якості умовного критерію ефективності визначає рівень бітових помилок та затримок пакетів, що дозволяє оцінити якість роботи системи управління по її впливу на продуктивність мережі;

7. *вперше* розроблено інформаційну технологію управління корпоративною комп'ютерною мережею, яка за рахунок етапів ідентифікації, прогнозування, вибору оптимальної стратегії управління стосовно до великої інформаційно-обчислювальної мережі з різномірним обладнанням (складеної мережі), різними фізичними каналами доставляння даних, дає можливість досягнення цільових показників QoS для різних сервісів при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації) необхідних для цього.

Практичне значення одержаних результатів визначається тим, що запропоновані моделі і методи є науково-методологічною основою для розробки інформаційної технології створення систем управління корпоративними

комп'ютерними мережами з використанням нових методів розподіленого управління наявними мережними ресурсами в умовах затримки сигнальної та управляючої інформації.

1. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до методу аналізу статистичних характеристик трафіку для потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією), сумарних та проріджених, яке дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу (довжина черги, завантаженість буферної пам'яті), впроваджено в ККМ ТОВ «Об'єднання ЮГ» .

2. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до методу управління сталістю системи, яке дозволяє переводити систему до стійкого стану шляхом розрахунку та застосування нових коефіцієнтів зворотного зв'язку, при яких системи залишається стійкою, впроваджено у дата-центрі ТОВ «Об'єднані мережі України».

3. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до моделі мережного вузла, як керованого об'єкту, яке дозволяє розраховувати оптимальне значення часу реакції мережного вузла залежно від часу затримки доставки даних, впроваджено в ККМ ТОВ «Об'єднання ЮГ».

4. Запропоновані «Система управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82963, 27.08.2013 р.) та «Спосіб управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82964, 27.08.2013 р.) впроваджені шляхом інтеграції їх з системою управління корпоративною мережею і дають можливість оптимального перерозподілу ресурсів комутаційного обладнання для забезпечення цільових показників якості обслуговування (QoS) різних типів мережних сервісів, що підтверджено актом впровадження у Національне бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами.

5. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до інформаційної технології управління мережею та методу оптимального управління дає можливість досягнення заданого рівня якості обслуговування при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації)

необхідних для цього, впроваджено у ПАТ «Укртелеком», дата-центрі ТОВ «Об'єднані мережі України», ТОВ «Головне підприємство обробки польотних даних».

Розроблене алгоритмічне забезпечення та запропоновані функціональні схеми дозволяють підвищити ефективність функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі підвищення рівня корисної пропускної здатності на 9%.

Результати дисертаційної роботи пропонується використовувати науково-дослідним організаціям, підприємствам та телекомунікаційним операторам, дата-центрам України, країн СНД і інших країн при побудові високоефективних корпоративних комп'ютерних мереж та їх систем управління, а також для підвищення ефективності існуючих мереж.

Ключові слова: інформаційна технологія, корпоративна комп'ютерна мережа, мережні ресурси, оптимальне управління, функціонал узагальненої роботи, ефективність.

ABSTRACT

Savchenko A.S. Methods of distributed management of corporate computer networks - Clific scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 05.13.06 "Information technologies" (12 - Information technologies) - National aviation university, Kiev, 2021.

Today, Corporate Computer Networks (CCMs) remain the most productive means for transmitting the most important resource of today - information.

In today's conditions of intensive transition to remote work and learning, the amount of information transfer is growing rapidly. The use of video conferencing services and other multimedia applications leads to increased requirements for quality assurance of these services based on existing network resources. In these circumstances, it is difficult to overestimate the role of Automated Control Systems in the field of Computer Networks. The main task of CCM is to provide the user with quality access to the needed information resources and services. Fulfillment of these requirements is possible only through the introduction of managing the available network resources, as the rate of growth of physical resources is limited.

Existing management methods and information technologies do not take into account the complexity of CCM management as of a distributed system, which does not reflect the stochastic nature of the network as an object of management; there is no complete and reliable information about the state of network elements; the delay in delivery of signal and control information are not taken into account; the parameters of modern traffic (fractality) are not taken into account, and therefore the tasks of adequate forecast of parameters and networks' state are not solved either. These factors lead to a loss of optimal management and to quality deterioration for information services.

The development of new methods and information technologies of distributed management capable of ensuring the effective operation of CCM by taking into account their features involves primarily the resolving the objective contradictions between the constant increase in the number of multimedia applications users and the growth of requirements for quality assurance of services (compliance with QoS targets), on the

one hand, and physical limitations of network resources - on the other hand, caused by limited bandwidth growth rates and imperfect methods of allocating available network resources to ensure proper quality of services that can take into account the characteristics of modern traffic and delays for signaling and control information in the network. Thus, the dissertation is devoted to solving an important scientific and applied problem: improving the efficiency of Corporate Computer Networks in terms of increasing the useful bandwidth with physical constraints on the network resource in systems with non-stationary flows.

Scientific novelty of the obtained results. On the basis of the performed theoretical and experimental research, the important scientific and applied problem is solved - functioning efficiency increase of Corporate Computer Networks in the sense of useful throughput increase at physical restrictions on a network resource in systems with nonstationary flows. The following scientific results were obtained:

1. *improved* method of statistical characteristics analysis and flow models for heterogeneous network traffic with marking (prioritization) of flows, total and sparse flows, which due to the self-similarity of modern traffic and the use of differential entropy of appropriate distributions, allows to obtain estimates of predicted network load and adjust the parameters of the control system regulators accordingly;

2. *for the first time*, a method of optimal control for a Computer Network was developed, which due to the application of a modified criterion of generalized work of O. A. Krasovsky, using the information function of losses, makes it possible to find optimal controls for a complex network in real time;

3. *for the first time*, a method of system constancy control was developed, which due to monotonic-slow return of special points (poles) of transfer function to the region of constancy provides reduction of variability of transients in control system and allows to ensure a stable state of the system with random delays of signal and control information;

4. *has been improved* the mathematical model in form of the transfer function of the network node as a controlled object, which, in contrast to the known, takes into

account the presence of delays in signal and control information, which provides optimal choice of response time constant of the controlled object;

5. *has been improved* the transmission method of signal and control information, which by determining the optimal distributed hierarchical control structure and the implementation of control information transport in the autonomous segment at the channel level, reduces the delivery time for service information by 25%;

6. *For the first time*, a method was developed to assess the effectiveness of the distributed computer network management system, which, as a conditional criterion of efficiency, determines the level of bit errors and packet delays, which allows to assess the quality of the control system on its impact on network performance;

7. *for the first time*, information technology has been developed for Corporate Computer Network management, which due to the stages of identification, forecasting, selection of optimal management strategy in relation to a large information and computer network with heterogeneous equipment (composite network), different physical data delivery channels, allows to achieve target QoS indicators for different services with the minimum cost of information resources (minimum signaling and control information) required for this.

The practical significance of the obtained results is determined by the fact that the proposed models and methods are a scientific and methodological basis for developing information technology for creating Corporate Computer Network management systems, using new methods of distributed management of existing network resources in conditions of delayed signal and control information.

1. The algorithmic software has been developed in accordance with the method of traffic statistical characteristics analysis for flows of heterogeneous network traffic with labeling (prioritization), total and sparse, which allows to obtain estimates of the predicted load on the network (queue length, buffer memory load), implemented in LLC "The SOUTH Association".

2. The algorithmic software has been developed in accordance with the method of system consistency management, which allows to bring the system to a stable state

by calculating and applying new feedback coefficients, at which the system remains stable, implemented in the Data Center of LLC "United Networks of Ukraine".

3. The algorithmic software has been developed in accordance with the model of the network node as a managed object, which allows to calculate the optimal value of the response time of the network node depending on the time delay of data delivery, implemented in LLC "The SOUTH Association".

4. The proposed "Telecommunication Network Management System" (utility model patent № 82963, 27.08.2013) and "Telecommunication Network Management Method" (utility model patent № 82964, 27.08.2013) are implemented by integrating them with the corporate network management system and enable the optimal redistribution of switching equipment resources to ensure quality of service (QoS) targets for various types of network services, as evidenced by the Act of Implementation in the National Bureau of Air Accidents Investigation of Ukraine.

5. The developed algorithmic support in accordance with the information technology of network management and the method of optimal management, allows to achieve the given level of service quality at the minimum cost of information resources (minimum signal and control information) required for this, implemented in PJSC "Ukrtelecom", Data Center of LLC "United Networks of Ukraine", LLC "Head Enterprise of Flight Data Processing".

The developed algorithmic software and the proposed functional schemes allow to increase the efficiency of corporate computer networks in the sense of increasing the level of usable bandwidth by 9%.

The results of the dissertation are proposed to be used by research organizations, enterprises and telecommunication operators, data centers of Ukraine, CIS countries and other countries in building highly efficient Corporate Computer Networks and their management systems, as well as to increase the efficiency of existing networks.

Keywords: information technology, Corporate Computer Network, network resources, optimal management, Functional of generalized work, efficiency.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Малежик О. І., Савченко А. С. Інформаційне, алгоритмічне та програмне забезпечення мережевих комп'ютерних технологій оперативного контролю окремих етапів польотів повітряних суден за польотною інформацією. Монографія. К.: НАУ, 2012. 112 с.

2. Савченко А. С., Чанг Шу Повышение качества сервиса в сетях доступа с использованием адаптивных алгоритмов формирования и упорядочения трафика. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. праць. 2008. Вип.2(24). С. 161-169.

3. Савченко А. С., Чанг Шу Адаптивное формирование трафика путем управления частотой генератора маркеров. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*: зб. наук. праць. 2009. Вип. 1(9). С.58-64.

4. Виноградов Н. А., Лесная Н. Н., Савченко А. С., Колисник Е. В. Исследование характеристик полезной пропускной способности в условиях меняющейся нагрузки. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. праць. 2009. Вип.4(28). С. 28-31.

5. Жуков И. А., Савченко А.С., Кудзиновская И. П. Методы и технологии управления корпоративными компьютерными сетями. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. праць. 2010. Вип.3(31). С. 48-52.

6. Савченко А. С. Экспериментальное исследование свойств суммарных потоков в вычислительных сетях. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*: зб. наук. праць. 2010. Вип.4(16). С.101-107.

7. Савченко А. С. Концептуальная модель системы управления крупной корпоративной сетью. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. праць. 2011. Вип.2(34). С. 120-128.

8. Савченко А. С. Модификация критерия обобщенной работы для оптимального управления вычислительной сетью. *Вісник Державного університету інформаційнокомунікаційних технологій*. 2011. №4. Т.9. С.366-370.

9. Савченко А. С. Системный анализ протоколов управления крупной корпоративной сетью. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. праць. 2012. Вип.3(39). С.135-143.

10. Савченко А. С. Метод принудительного ввода системы управления в области устойчивости. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*: зб. наук. праць. 2012. Вип. 2(22). С. 100-105.

11. Савченко А. С. Исследование характеристик устойчивости системы управления корпоративной сетью. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. 2013. № 1. С. 79-85.

12. Савченко А. С. Модель системи управління корпоративною мережею із затримками сигнальної та управляючої інформації. *Проблеми інформатизації та управління*: зб. наук. праць. 2013. Вип. 2(42). С. 99-103.

13. Віноградов М. А., Савченко А. С. Концепція управління корпоративною комп'ютерною мережею на основі психофізіологічних механізмів професійної діяльності людини. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*: зб.наук.праць. 2013. Вип. 3(27). С. 5-14.

14. Савченко А. С., Холявкина Т. В., Гуйда О. Г. Обеспечение устойчивости системы управления телекоммуникационной сетью. *Науковий вісник Академії муніципального управління. Серія «Техніка»*: зб. наук. праць. 2013. Вип. 6. С. 141-151.

15. Савченко А. С., Василенко В. А., Данилина Г. В. Математические модели сетевых коммутационных узлов как объектов управления. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. 2013. № 3. С. 56-61.

16. Савченко А. С. Информационно-энтропийный подход к оценке производительности компьютерных сетей с разнородным трафиком. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*: зб. наук. праць. 2014. Вип. 1(29). С. 44-50.

17. A. S. Savchenko, V. A. Vasylenko, O. V. Kolisnyk, T. V. Holiavkina Computer networks monitoring and management methods. *Science-based Technology*. 2018. Т. 39. №. 3 С. 281-288. DOI: 10.18372/2310-5461.39.13075 (eng).

18. Савченко А. С., Моденов Ю. Б., Климова А. С., Чуба І. В., Куликовський Р. М. Аналітичне конструювання системи оптимального управління комп'ютерною мережею. *Наукоємні технології*. 2019. Т. 44. Вип 4. С. 417-425.

19. Василенко В. А., Климова А. С., Куклінський М.В., Савченко А.С., Харченко О.Г. Математичні моделі функцій частинних критеріїв в задачах векторної оптимізації складних технічних систем. *Наукоємні технології*. 2020. Т. 45. Вип 1. С.

20. Савченко А. С., Чуба І. В., Охремчук О. С. Методи прогнозування потоків у комп'ютерних мережах на основі апроксимації Паде. *Наукоємні технології*. 2020. Т. 46. Вип 2. С. 191-199.

21. Савченко А.С. Методи управління корпоративною інформаційною системою на базі теорії оптимального управління. *Наукоємні технології*. 2020. Т. 47. Вип 3. С. 350-357.

22. Nikolay Vinogradov, Mikhailo Stepanov, Yaroslav Toroshanko, Vyacheslav Cherevyk, Alina Savchenko, Valerii Hladkykh, Oleksandr Toroshanko, Tetiana Uvarova Development of the method to control telecommunication network congestion based on a neural model. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*. 2019. Vol 2, No 9 (98). P. 67-73. doi.org/10.15587/1729-4061.2019.164087 **Scopus**

23. Nataliia Kraus, Nataliia Andrusiak, Alina Savchenko, Maksim Iavich Practices of Using Blockchain Technology in ICT under the Digitalization of the World Economy. Proceedings of the International Workshop on *Conflict Management in Global Information Networks* (CMiGIN 2019) with 1st International Conference on Cyber Hygiene and Conflict Management in Global Information Networks (CyberConf 2019). Lviv, Ukraine, November 29, 2019. P. 80-89 **Scopus**

24. Воронин А.Н., Савченко А.С. Многокритериальная оптимизация: системный подход. *Кібернетика і системний аналіз*. ISSN 1019-5262. 2020, Том 56, № 6. С. 160-174 **Scopus**

25. Савченко А.С. Система управління телекомунікаційною мережею. Пат. 82963 Україна, МПК Н 04 L 12/70. Заявник і власник Національний авіаційний університет. № u201301393; заявка 06.02.2013; опубл. 27.08.2013, бюл. № 16/2013.

26. Савченко А.С. Спосіб управління телекомунікаційною мережею. Пат. 82964 Україна, МПК Н 04 L 12/70. Заявник і власник Національний авіаційний університет. № u201301395; заявка 06.02.2013; опубл. 27.08.2013, бюл. № 16/2013.

27. Nick A. Vinogradov, Vladimir I. Drovovozov, Alina S. Savchenko, Inna P. Kudzinovskaya An analysis of singularity of the matrices of priorities and sensibility of decisions as key performance indicators of the analytic hierarchies process. *Journal of Qafqaz University Mathematics and Computer Science*. 2011. №32. С. 40-48. ISSN 2310-9017. (Index Copernicus)

28. Nick A. Vinogradov, Alina S. Savchenko Comparative analysis of the functionals of optimal control corporate computer network. *Journal of Qafqaz University Mathematics and Computer Science*. 2013. –V.1. № 2. С. 156-167. ISSN 2310-9017. (Index Copernicus)

29. Nikolay Vinogradov Alina Savchenko Impact of network control system performance on efficiency of large corporate network. IEEE-AICT-2019. 3rd IEEE International Conference. *Advanced Information and Communication Technologies-2019: Next-Generation Networking for the Internet of Things: 5G, SDN, NFV and Cloud Computing 2~6 July, 2019 // Lviv, Ukraine IEEE-AICT-2019*. Electronic ISBN: 978-1-7281-2399-8 USB ISBN: 978-1-7281-2398-1 DOI:10.1109/AIACT.2019.8847838 Corpus ID: 203566065 *Scopus*

30. Виноградов Н. А., Савченко А.С., Колисник Е. В. Методи расчета полезной пропускной способности в условиях меняющейся нагрузки. Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2009): II міжнар. наук.-техн. конф., 10-12 червня 2009 р.: тези доп. К., 2009. С. 24.

31. Савченко А.С., Кудзиновская И.П. Устойчивость метода многокритериальной маршрутизации на основе анализа иерархий. Проблемы телекоммуникаций: V міжнар. наук.-техн. конф., 19-22 квітня 2011 р.: тези доп. К., 2011. С. 129.

32. Савченко А.С. Экспериментальное исследование процессов и потоков в сетях. Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT 2011): XIII міжнар. наук.-техн. конф, 23-28 травня 2011 р.: тези доп. К., 2011. С.152.

33. Chang Shu, Savchenko A.S. Analysis of sensibility of method of multicriterion routing to large disturbances of a priori data. Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2011): IV міжнар. наук.-техн. конф., 14-16 червня 2011 р.: тези доп. К., 2011. С. 58.

34. Савченко А.С. Модель системы управления корпоративной сетью. ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки: XII міжнар. наук.-практ. конф. студ. та молодих учених, 4-5 квітня 2012 р.: тези доп. К., 2012. С. 251.

35. Савченко А.С. Метод учета задержек управляющей и сигнальной информации в крупных корпоративных сетях. Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT 2012): XIV міжнар. наук.-техн. конф, 24 квітня 2012 р.: тези доп. К., 2012. С.123.

36. Савченко А.С. Метод оптимального управления вычислительной сетью. Проблемы телекоммуникацій: VI міжнар. наук.-техн. конф., 24-27 квітня 2012 р.: тези доп. К., 2012. С. 173.

37. Савченко А.С. Минимизация задержек служебной информации в крупных сетях. Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2012): V міжнар. наук.-техн. конф., 13-15 червня 2012 р.: тези доп. К., 2012. С. 115.

38. Савченко А.С. Системный анализ протоколов управления крупной корпоративной сетью. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології (COMINFO'2012-Livadia): VIII міжнар. наук.-техн. конф., 1-5 жовтня 2012 р. – с.м.т. Лівадія (АР Крим): тези доп. К., 2012. С. 212.

39. Савченко А.С. Управление корпоративной сетью на основе технологии экспертных систем. Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем (MPZIS-2012): X ювілейна міжнар. наук.-практ. конф., 21-23 листопада 2012 р. м. Дніпропетровськ: тези доп. Дніпропетровськ, 2012. С. 274-275.

40. Савченко А.С., Холявкина Т.В. Метод обеспечения устойчивости системы управления корпоративной сетью. Проблемы телекоммуникаций: VII міжнар. наук.-техн. конф., 16-19 квітня 2013 р.: тези доп. К., 2013. С. 176-179.

41. Савченко А.С., Холявкина Т.В. Анализ асимптотической устойчивости системы управления телекоммуникационной сетью. Системний аналіз та інформаційні технології (SAIT 2013): 15 міжнар. наук.-техн. конф., 27-31 травня 2013 р.: тези доп. К., 2013. С.182-183.

42. Савченко А.С. Якість обслуговування в телекомунікаційних мережах. ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки: XIII міжнар. наук.-практ. конф. студ. та молодих учених, 3-4 квітня 2013 р.: тези доп. К., 2013. С. 175.

43. Савченко А.С. Интеллектуальные компьютерные средства в управлении корпоративной компьютерной сетью. Интеллектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2013): Міжнар. наук. конф., 20–24 травня 2013р. Евпаторія: тез доп. Херсон.: ХНТУ, 2013. С. 384-386.

44. Савченко А.С. Метод обеспечения качества обслуживания в корпоративных сетях. Комп'ютерні системи та мережні технології (CSNT-2013): VI міжнар. наук.-техн. конф., 11–13 червня 2013 р.: тези доп. К., 2013. С. 107.

45. Савченко А.С. Подход к оценке производительности компьютерных сетей с разнородным трафиком. Проблемы телекоммуникаций: VIII міжнар. наук.-техн. конф., 22-25 квітня 2014 р.: тези доп. К., 2014. С. 224-226.

46. Віноградов М. А., Савченко А. С., Даніліна Г.В. Процеси конфліктного управління мережним комутаційним вузлом з функцією фільтрації шкідливого трафіку. Актуальні проблеми інформаційних технологій» (APIT). Науково-технічна конференція молодих учених (20 - 21 листопада, 2018, Київ), К., 2018. С. 11-12.

47. Віноградов М. А., Савченко А.С. Ефективність системи управління стохастичною корпоративною мережею. Вісник Університету «Україна» Серія: Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика», К., 2019, №1(22), С. 166-174.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	17
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	20
ВСТУП	22
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНИМИ КОМП'ЮТЕРНИМИ МЕРЕЖАМИ	33
1.1. Стан проблеми і невирішені питання управління корпоративними комп'ютерними мережами.....	33
1.2. Методи моніторингу та аналізу корпоративних комп'ютерних мереж.....	37
1.3. Методи управління корпоративними комп'ютерними мережами	47
1.4. Висновки до розділу 1. Постановка проблеми.....	56
Список використаних у першому розділі джерел.....	63
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ АНАЛІЗУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ТРАФІКУ ТА СТАНУ КОРПОРАТИВНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ	67
2.1. Методи аналізу потоків даних у корпоративних комп'ютерних мережах	67
2.2. Статистичні характеристики потоків трафіку	69
2.2.1. Модель потоку від незалежного джерела	70
2.2.2. Модель сумарних потоків у мережах	75
2.2.3. Статистичні характеристики проріджених потоків вимог у ККМ.....	83
2.2.4. Марковані потоки вимог в ККМ.....	84
2.3. Методи моделювання потоків вимог у ККМ.....	86
2.4. Методи прогнозування нестаціонарних потоків в ККМ	93
2.5. Висновки до розділу 2	105
Список використаних у другому розділі джерел	106
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКІВ В КОРПОРАТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ.....	110
3.1. Постановка задачі та розробка методик експерименту.....	110
3.2. Методика оцінювання результатів експерименту.....	113
3.3. Інтерпретація результатів експерименту	118
3.4. Оцінка продуктивності мережі з урахуванням характеристик трафіку.....	130
3.5. Метод аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку ККМ	137
3.6. Висновки до розділу 3	139

	18
Список використаних у третьому розділі джерел.....	140
РОЗДІЛ 4. МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ КОМП'ЮТЕРНОЮ МЕРЕЖЕЮ.....	143
4.1. Метод управління корпоративною комп'ютерною мережею як великою системою..	143
4.2. Критерії оптимального управління ККМ.....	150
4.3. Синтез системи управління автономним сегментом ККМ	153
4.4. Функціонал для задачі оптимального управління ККМ	169
4.5. Метод оптимального управління ККМ.....	179
4.6. Висновки до розділу 4	190
Список використаних у четвертому розділі джерел.....	192
РОЗДІЛ 5. УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ КОМП'ЮТЕРНОЮ МЕРЕЖЕЮ В УМОВАХ ЗАТРИМОК СИГНАЛЬНОЇ І КЕРУЮЧОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	195
5.1. Методи обліку та компенсації затримок сигнальної і управляючої інформації.....	195
5.2. Дослідження характеристик стійкості системи в умовах нестаціонарних потоків.....	206
5.3. Метод управління сталістю системи із випадковими затримками інформації.....	213
5.4. Метод монотонно-повільного повернення системи в область стійкості.....	220
5.6. Висновки до розділу 5	225
Список використаних у п'ятому розділі джерел.....	226
РОЗДІЛ 6. МЕТОДИ ПЕРЕДАЧІ УПРАВЛЯЮЧОЇ ІНФОРМАЦІЇ В КОРПОРАТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ.....	229
6.1. Модель мережного вузла як керованого об'єкта	229
6.3. Методи забезпечення якості обслуговування у ККМ.....	239
6.4. Метод передачі сигнальної та управляючої інформації.....	254
6.4.1. Рекомендації по оптимальному розподілу елементів системи управління.....	254
6.4.2. Вибір і обґрунтування ефективних методів транспорту управляючої інформації.....	269
6.6. Висновки до розділу 6	271
Список використаних у шостому розділі джерел	272
РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ КОМП'ЮТЕРНОЮ МЕРЕЖЕЮ.....	275
7.1. Модель процесів управління автономним сегментом ККМ	275
7.2. Метод оцінки ефективності системи управління ККМ.....	288
7.3. Інформаційна технологія управління ККМ із застосуванням методу оптимального адміністратора	294
7.3.1. Структура професійної діяльності адміністратора ККМ	296

7.3.2. Загальна психофізіологічна неформалізована та прогнозно-оптимізаційна модель діяльності адміністратора ККМ.....	299
7.3.3. Склад та структура інформаційної технології управління мережею	303
7.4. Висновки до розділу 7	315
Список використаних у сьомому розділі джерел.....	316
ВИСНОВКИ	318
Додаток А.....	325
Додаток Б	328
Додаток В.....	330

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АКФ	Автокореляційна функція
ККМ	Корпоративна комп'ютерна мережа
ПУЗ	Повільно убуваюча залежність
РВХ	Розподіли з важкими хвостами
СМО	Система масового обслуговування
ВК	Вузол комутації
ФБР	Фрактальний броунівський рух
ФШГ	Фрактальний шум гауса
ФУР	Функціонал узагальненої роботи
АВР	Available Bit Rate (доступна бітова швидкість)
AR	Autoregression (авторегресійна модель)
ARIMA	Autoregression and Integrated Moving Average (Модель авторегресія проінтегрованого ковзаючого середнього)
ARMA	Autoregression and Moving Average (Модель авторегресія ковзаючого середнього)
АТМ	Asynchronous Transfer Mode (асинхронний режим передачі)
ВМРР	Bernoulli Modulated Poisson Process (Пуасоновський процес, модульований процесом Бернуллі)
СВР	Constant Bit Rate (постійна бітова швидкість)
СМАРs	Chaotic maps (хаотичні відображення)
СМІР	Common Management Information Protocol (протокол загальної інформації, що управляє)
СМРР	Circulate Modulated Poisson Process (циклічний модульований пуасонівський процес)
FIFO	First In – First Out (дисципліна диспетчеризації (перший прийшов – перший вийшов))

GSPP	Generally Switched Poisson Process (Узагальнений пуассоновський процес з модуляцією)
ICMP	Internet Control Message Protocol (протокол управління повідомленнями в об'єднаних мережах)
IP	Internet Protocol (Інтернет протокол)
MBS	Maximum Burst Size (максимальний розмір пакету)
MCR	Minimum Cell Rate (мінімальна швидкість передачі)
MMPP	Markov Modulated Poisson Process (Пуассоновський процес, модульований ланцюгом Маркова)
MTU	Maximum Transmission Unit (максимальна одиниця передачі)
PCR	Peak Cell Rate (пікова швидкість передачі)
SCR	Sustainable Cell Rate (нормальна швидкість передачі)
SNMP	Simple Network Management Protocol (простий протокол мережного управління)
TTL	Time To Live (час життя)
UBR	Unspecified Bit Rate (невизначена бітова швидкість)
VBR	Variable Bit Rate (змінна бітова швидкість)
QoS	quality of service (якість обслуговування)

ВСТУП

Актуальність теми визначається різким зростанням ролі інформації та переходом до побудови глобальної інформаційної інфраструктури. Корпоративні комп'ютерні мережі (ККМ) залишаються найпродуктивнішим засобом передачі головного ресурсу сьогодення – інформації. В сучасних умовах масового переходу на дистанційну роботу та навчання швидкими темпами зростають обсяги передачі інформації. Використання сервісів відеоконференцій та інших мультимедійних додатків призводить до зростання вимог щодо забезпечення якості цих сервісів на базі існуючих мережних ресурсів. В зазначених умовах важко переоцінити роль автоматизованих систем управління в сфері комп'ютерних мереж. Основне завдання ККМ полягає в тому, щоб надавати користувачу якісний доступ до необхідних інформаційних ресурсів та сервісів. Виконання зазначених вимог можливо тільки завдяки впровадженню управління наявними мережними ресурсами, оскільки темпи нарощування фізичних ресурсів обмежені.

Існуючі методи та інформаційні технології управління ККМ не враховують складність управління мережею, як розподіленою системою, яка полягає в тому, що не відображається стохастичний характер мережі, як об'єкту управління. Ніколи немає повної інформації про параметри і стан мережі, про відмови та/або перевантаження окремих мережних вузлів, маршрутів, сегментів мережі. Параметри сучасного трафіку (фрактальність) не враховуються, а отже не вирішуються і завдання адекватного прогнозу параметрів і стану мережі. Інформація про стан мережі надходить з випадковою затримкою. Відповідно і сигнали (команди) управління надходять із запізненням (нестационарні потоки вимог). Це призводить до втрати оптимальності управління. Іноді стан мережі в процесі управління може стати навіть гірше, ніж якщо б управління взагалі було відсутнє.

Спроби управління всією мережею не ефективні через проблеми розмірності. Проблема оптимального поділу мережі на автономні керовані

сегменти не вирішена. Відсутня єдина теорія управління мережами як складними розподіленими системами з затримкою користувальницької, службової та сигнальної інформації.

Отже проблема управління ККМ вирішена не повністю. На основі фундаментальних досліджень проблеми управління мережами, проведення широкомасштабних експериментів можна вирішити проблему оптимального управління мережними ресурсами в реальному часі. Зменшення числа повторних передач внаслідок втрат пакетів навіть на одиниці відсотків у масштабах глобальної інформаційної системи призведе до значної економії витрат на забезпечення функціонування. Отже, розробка методів розподіленого управління ККМ є актуальною.

Дослідженню функціонування інформаційно-обчислювальних систем та їх систем управління, розвитку теорії оптимізації та синтезу складних розподілених систем управління присвячено роботи таких вітчизняних та зарубіжних вчених як В. М. Глушков, Б. В. Гнеденко, І. М. Коваленко, Г. С. Поспелов, К. Шеннон, М. М. Моїсєєв, Т. Сааті, О. А. Красовський, А. Я. Городецький, В. С. Заборовський, О. І. Шелухін, А. Tanenbaum, W. Stallings. Л. Н. Беркман, Ю. Л. Леохін, О. І. Ролік, М. М. Климаш, Г. А. Кучук, Ю. Л. Лосєв, В. В. Поповський, О. В. Лемешко.

Існує декілька підходів до управління мережними ресурсами в ККМ, зокрема централізоване та розподілене управління. Особливістю централізованого підходу управління, який дає можливість сформулювати цілісне уявлення про стан мережі, відповідно розрахувати глобальний оптимум управління і проводити балансування навантаження, є складність знаходження оптимального управління через недостатність інформації, ресурсів. Один зі шляхів вирішення питання недостатності інформації для оптимального централізованого управління – це збільшення кількості службової (сигнальної та управляючої) інформації, що призводить до зниження корисної пропускну здатності мережі та збільшення випадкових затримок інформації. Другий підхід – розподілене (децентралізоване) управління, передбачає створення ієрархічної структури управління мережею, що

дозволяє скоротити час затримки сигнальної та управляючої інформації, а також знизити вимоги щодо обчислювальної потужності управляючих вузлів, але може призвести до втрати цілісності картини щодо стану мережі та втрати глобального оптимуму управління. Отже, розроблення нових методів та інформаційних технологій розподіленого управління здатних забезпечувати ефективну роботу корпоративних комп'ютерних мереж завдяки урахування їх особливостей передбачає передусім вирішення *об'єктивних суперечностей* між постійним збільшенням кількості користувачів мультимедійних додатків та ростом вимог щодо забезпечення якості сервісів (дотримання цільових показників QoS), з одного боку, і фізичними обмеженнями ресурсів мережі, – з іншого боку, спричиненими обмеженістю темпів збільшення пропускну здатності та недосконалістю методів розподілу наявних мережних ресурсів для забезпечення належної якості сервісів, здатних враховувати характеристики сучасного трафіку та затримки сигнальної і управляючої інформації в мережі. Таким чином, дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої **науково-прикладної проблеми**: підвищенню ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі збільшення корисної пропускну здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестационарними потоками.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з «Основними науковими напрямами та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАН України на 2019–2023 роки», виконана в межах наукового напрямку «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства» визначеного пріоритетним у переліку актуальних проблем Міністерством освіти і науки України, концепції «Програми інформатизації НАН України на 2020-2024 роки за основними її напрямами». Робота направлена на дослідження функціонування корпоративних комп'ютерних мереж на основі інтелектуальних технологій і тісно пов'язана з основними напрямками розвитку телекомунікацій України, визначених в основних діючих

нормативних документах, а також із реальними проблемами галузі зв'язку й інформатизації.

Теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи були використані в науково-дослідних роботах, які виконувались у Національному авіаційному університеті, а саме НДР «Розробка, дослідження та впровадження методів і засобів контролю та управління якістю програмних продуктів» (тема №2/28-248, 28.01.2013, шифр роботи ДІ 207-13, державний реєстр №0113U000258, 2013-2014 рр.), НДР «Дослідження характеристик трафіку та параметрів комутаційного обладнання на основі аналізу обчислювальних мереж» (№ 78/09.01.03, 2008-2011 рр.), НДР «Метод та засіб управління якістю програмної системи на етапах життєвого циклу» (№ 18/10.02.05, 2011-2016 рр.), НДР «Метод та засіб проектування архітектури програмних систем із врахуванням вимог якості» (№75/09.01.03, 2016-2020 рр.), НДР «Методи і засоби забезпечення якості та цілісності програмних продуктів в гнучких технологіях проектування і розробки» (№ 20-2020/09.01.03, 2020-2023 рр.).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка і впровадження методів і засобів для підвищення ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж шляхом оптимального розподілу наявного мережного ресурсу.

Відповідно до обґрунтованої мети здійснюється розв'язання конкретних наукових *задач*:

1) провести огляд і аналіз сучасного стану проблеми управління корпоративними комп'ютерними мережами в умовах нестационарних потоків вимог;

2) провести експериментальне дослідження для визначення статистик трафіку, варіацій статистик в процесі передачі до отримувачів, підсумовування інтенсивності, проріджування потоків через перевантаження мережних вузлів (проріджені потоки);

3) удосконалити метод аналізу статистичних характеристик та математичні моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією), потоків сумарних та проріджених;

4) розробити метод оптимального управління комп'ютерною мережею за критерієм узагальненої роботи О. А. Красовського;

5) розробити метод управління сталістю системи з випадковими затримками сигнальної та управляючої інформації;

6) запропонувати математичну модель у вигляді передаточної функції мережного вузла як керованого об'єкту;

7) удосконалити методи передачі сигнальної і керуючої інформації з використанням протоколів управління мережами;

8) розробити метод оцінки ефективності системи управління розподіленою корпоративною комп'ютерною мережею;

9) розробити інформаційну технологію управління мережею з етапами ідентифікації, прогнозування, вибору оптимальної стратегії управління, яка дозволяє досягти цільових показників якості обслуговування (QoS) для різних сервісів при мінімальних затратах на управління.

Об'єкт дослідження – процеси розподіленого управління ресурсами корпоративних комп'ютерних мереж для забезпечення цільових показників якості обслуговування (QoS) для різних сервісів при мінімальних затратах на управління.

Предмет дослідження – методи та технології управління мережними ресурсами в корпоративних комп'ютерних мережах із затримками сигнальної та управляючої інформації.

Методи дослідження. З урахуванням специфіки об'єкта досліджень і сформульованої мети методами дослідження є:

- методи математичної статистики та теорії ймовірностей для розробки технології експериментального дослідження потоків у комп'ютерних мережах;

- методи системного аналізу, методи ймовірно-статистичного аналізу та моделювання для розробки методу аналізу статистичних характеристик та математичних моделей потоків вимог різнорідного мережного трафіку ККМ;
- методи оптимального і адаптивного управління, багатокритеріальної оптимізації, диференціальних та різницевих рівнянь з аргументом, що відхиляється для розробки методу оптимального управління мережею та концепції «оптимального адміністратора»;
- методи загальної теорії систем та систем масового обслуговування при розробленні моделей мережних вузлів як керованих об'єктів та розробці оцінки ефективності системи управління розподіленою комп'ютерною мережею;
- методи теорії комп'ютерних мереж для розробки методів передачі сигнальної та управляючої інформації за протоколами каналного та мережного рівнів.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи. На основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розв'язано важливу науково-прикладну проблему підвищення ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі збільшення корисної пропускної здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестаціонарними потоками. При цьому отримано такі наукові результати:

1) *удосконалено* метод аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією) потоків, сумарних та проріджених потоків, які завдяки урахуванню самоподібності сучасного трафіка та використанню диференціальної ентропії відповідних розподілів, дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу та відповідно налаштовувати параметри регуляторів системи управління;

2) *вперше* розроблено метод оптимального управління комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з використанням інформаційної функції втрат дає

можливість знаходити оптимальні управління для складеної мережі в реальному часі;

3) *вперше* розроблено метод управління сталістю системи, який завдяки монотонно-повільному поверненню особливих точок (полісів) передатної функції в область сталості забезпечує зменшення варіабельності перехідних процесів у системі управління та дозволяє забезпечувати стійкий стан системи при випадкових затримках сигнальної та управляючої інформації;

4) *удосконалено* математичну модель у вигляді передаточної функції мережного вузла як керованого об'єкту, яка, на відміну від відомих, враховує наявність затримок сигнальної і управляючої інформації, що забезпечує оптимальний вибір постійної часу реакції керованого об'єкта;

5) *удосконалено* метод передачі сигнальної та управляючої інформації, який завдяки визначенню оптимальної розподіленої ієрархічної структури управління та здійсненню транспорту управляючої інформації в автономному сегменті на каналному рівні, дозволяє скоротити час доставки службової інформації на 25%;

6) *вперше* розроблено метод оцінки ефективності системи управління розподіленою комп'ютерною мережею, який в якості умовного критерію ефективності визначає рівень бітових помилок та затримок пакетів, що дозволяє оцінити якість роботи системи управління по її впливу на продуктивність мережі;

7) *вперше* розроблено інформаційну технологію управління корпоративною комп'ютерною мережею, яка за рахунок етапів ідентифікації, прогнозування, вибору оптимальної стратегії управління стосовно до великої інформаційно-обчислювальної мережі з різномірним обладнанням (складеної мережі), різними фізичними каналами доставляння даних, дає можливість досягнення цільових показників QoS для різних сервісів при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації) необхідних для цього.

Практичне значення отриманих результатів визначається тим, що запропоновані моделі і методи є науково-методологічною основою для розробки інформаційної технології створення систем управління корпоративними

комп'ютерними мережами з використанням нових методів розподіленого управління наявними мережними ресурсами в умовах затримки сигнальної та управляючої інформації.

1. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до методу аналізу статистичних характеристик трафіку для потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією), сумарних та проріджених, яке дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу (довжина черги, завантаженість буферної пам'яті), впроваджено в ККМ ТОВ «Об'єднання ЮГ» .

2. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до методу управління сталістю системи, яке дозволяє переводити систему до стійкого стану шляхом розрахунку та застосування нових коефіцієнтів зворотного зв'язку, при яких системи залишається стійкою, впроваджено у дата-центрі ТОВ «Об'єднані мережі України».

3. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до моделі мережного вузла, як керованого об'єкту, яке дозволяє розраховувати оптимальне значення часу реакції мережного вузла залежно від часу затримки доставки даних, впроваджено в ККМ ТОВ «Об'єднання ЮГ».

4. Запропоновані «Система управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82963, 27.08.2013 р.) та «Спосіб управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82964, 27.08.2013 р.) впроваджені шляхом інтеграції їх з системою управління корпоративною мережею і дають можливість оптимального перерозподілу ресурсів комутаційного обладнання для забезпечення цільових показників якості обслуговування (QoS) різних типів мережних сервісів, що підтверджено актом впровадження у Національне бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами.

5. Розроблене алгоритмічне забезпечення відповідно до інформаційної технології управління мережею та методу оптимального управління дає можливість досягнення заданого рівня якості обслуговування при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації)

необхідних для цього, впроваджено у ПАТ «Укртелеком», дата-центрі ТОВ «Об'єднані мережі України», ТОВ «Головне підприємство обробки польотних даних».

Розроблене алгоритмічне забезпечення та запропоновані функціональні схеми дозволяють підвищити ефективність функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі підвищення рівня корисної пропускної здатності на 9%.

Результати використано у навчальному процесі Національного авіаційного університету при викладанні дисциплін «Комп'ютерні мережі» та «Методи та системи штучного інтелекту» (акт впровадження від 11.02.2021 р.) та Державного університету телекомунікацій (акт впровадження від 06.11.2020 р.).

Результати дисертаційної роботи пропонується використовувати науково-дослідним організаціям, підприємствам та телекомунікаційним операторам, дата-центрам України, країн СНД і інших країн при побудові високоефективних корпоративних комп'ютерних мереж та їх систем управління, а також для підвищення ефективності існуючих мереж.

Особистий внесок здобувача

В дисертаційній роботі узагальнено результати досліджень, виконаних автором самостійно [6-12, 16, 21, 25-26, 32, 34-39, 42-45]. Особисто автором здійснена розробка загальної концепції дисертації та вибір об'єктів, визначено мету і задачі роботи, обрано та обґрунтовано методи досліджень. У роботах, написаних в співавторстві, здобувачу належить: [1] – обґрунтування базових етапів реалізації мережних комп'ютерних технологій для оперативного контролю окремих етапів польотів; [2, 33] – розробка моделі регуляторів типу «відро маркерів» з різними методами призначення пріоритетів трафіка; [3] – аналітичне виведення виразів для характеристик якості формування трафіку; [4, 30] – методика аналізу характеристик корисної пропускної здатності мереж різного призначення в умовах змінного навантаження, втрат пакетів та повторних передач; [5, 31] – розробка методу транспорту управляючої та сигнальної інформації з використанням протоколів прикладного рівня; [13] – розробка

структури системи управління мережею на основі концепції «оптимального адміністратора»; [14, 40-41] – розробка методу приведення інформаційної системи до стійкого стану при змінах затримки сигнальної і керуючої інформації; [15, 46] – запропоновано вид передаточної функції системи управління та підхід до вибору постійних часу комутаційного вузла; [17] – розробка методу з ковзною апостеріорною оптимізацією для визначення оптимальної кількості рівнів та кількості пристроїв системи управління комп’ютерною мережею; [18] – розробка методу вибору виду цільового функціоналу для оптимізації системи управління; [19] – розробка методу створення моделі для кожного окремого критерію оптимізації за відповідними даними експерименту; [20] – розробка методу прогнозування трафіку комп’ютерних мереж за допомогою апроксимації Паде; [22] – розробка схеми контролю перевантажень з використанням зворотного зв’язку; [23] – формулювання принципів побудови та функціонування Blockchain; [24] – запропоновано метод вирішення багатокритеріальних задач за допомогою концепції нелінійної схеми компромісів; [27] – розроблено метод аналізу чутливості рішення «у великому»; [28] – запропоновано вид функціонала узагальненої роботи для управління мережею як складною стохастичною системою; [29, 47] – постановка завдання та визначення критеріїв ефективності системи управління.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на 18 міжнародних наукових конференціях [31-48], а саме:

- II, IV, V та VI Міжнародних науково-технічних конференціях «Комп’ютерні системи та мережні технології «CSNT» (м. Київ, Україна, 2009 р., 2011-2013 рр.);
- V, VI та VII Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми телекомунікацій» (м. Київ, Україна, 2011-2013 рр.);
- XII, XIV та XV Міжнародних науково-технічних конференціях «Системний аналіз та інформаційні технології «SAIT» (м. Київ, Україна, 2011-2013 рр.);

- XII та XIII Міжнародних науково-практичних конференціях студентів та молодих учених «ПОЛІТ. Сучасні проблеми науки» (м. Київ, Україна, 2012-2013 рр.);
- VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології «COMINFO» (с.м.т. Лівадія (АР Крим), Україна, 2012 р.);
- X Міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем «MPZIS» (м. Дніпропетровськ, Україна, 2012 р.);
- Міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту «ISDMCI» (м. Херсон, Україна, 2013 р.);
- науково-технічній конференції молодих учених «Актуальні проблеми інформаційних технологій «APIT» (м. Київ, Україна, 2018);
- 3rd IEEE International Conference «Advanced Information and Communication Technologies-2019 «AICT» (Lviv, Ukraine, 2019) *Науковий збірник матеріалів індексований у наукометричній базі Scopus.*

Публікації. Результати дисертаційної роботи викладені в 47 публікаціях (22 з яких одноосібні), у тому числі 20 наукових статтях в фахових журналах за переліком МОН України, 3 наукові статі у журналах, індексованих у МНБ Scopus, 2 одноосібних патентах на корисну модель, 2 наукові статті у зарубіжних журналах, та в 19 тезах і матеріалах доповідей на міжнародних конференціях, 1 з яких входять до МНБ Scopus, 1 монографії.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, списку скорочень, вступу, змісту, семи розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел, та містить 298 сторінок основного тексту, 81 рисунок, 16 таблиць, 15 сторінок додатків. Список використаних джерел налічує 183 найменування на 21 сторінці.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНИМИ КОМП'ЮТЕРНИМИ МЕРЕЖАМИ

1.1. Стан проблеми і невирішені питання управління корпоративними комп'ютерними мережами

Управління інформаційними системами або мережами, як термін, має безліч визначень, залежно від того, що враховує об'єкт та функції управління. Найчастіше немає повної інформації щодо системного представлення складових інформаційних систем, їх функцій та взаємозв'язків всередині системи.

Корпоративна комп'ютерна мережа (ККМ) — це мережа, головним призначенням якої є підтримка роботи конкретного підприємства, що володіє даною мережею. Користувачами корпоративної мережі є тільки співробітники даного підприємства [1].

Трафік - сукупність інформаційних сигналів, що передаються за допомогою технічних засобів операторів, провайдерів телекомунікацій за визначений інтервал часу, включаючи інформаційні дані споживача та/або службову інформацію [1].

Інформаційна технологія (ІТ) - це сукупність методів виробничих процесів і програмно-технічних засобів, об'єднаних у технологічний ланцюжок, що забезпечують збір, обробку, зберігання, розподіл і відображення інформації з метою зниження трудомісткості процесів використання інформаційного ресурсу, а також підвищення їх надійності та оперативності [2].

Інформаційні технології та методи, що використовуються для вирішення проблеми управління інформаційними мережами і, зокрема, корпоративними комп'ютерними мережами (ККМ), не завжди адекватно враховують особливості будови, функціонування, надання сервісів користувачам таких мереж.

Основне завдання ККМ полягає в тому, щоб надавати користувачу якісний доступ до необхідних інформаційних ресурсів та сервісів. Для цього необхідно

підтримувати нормальну експлуатацію мережі, здійснювати її технічне обслуговування з мінімальними витратами і забезпечувати при цьому необхідний рівень якості обслуговування. Виконання зазначених вимог можливо тільки завдяки впровадженню управління мережними ресурсами та сервісами.

Серед основних чинників, які обумовлюють розробку інформаційних технологій, спрямованих на забезпечення ефективної роботи ККМ слід відзначити такі [3-12]:

Зовнішні фактори, які впливають на характер потоків даних в ККМ – різноманітність сервісів та дотиків, великі обсяги передачі даних. Традиційні методи перерозподілу мережних ресурсів припускають згладжування профілю трафіку інформаційних потоків. Наприклад, застосуванням методу статистичного мультиплексування або методу згладжування інтенсивності інформаційного потоку.

Існуючі методи управління перевантаженнями, які використовуються в ККМ, не враховують можливості зміни властивостей трафіка при проходженні про різними каналам зв'язку, тому процес управління не завжди є адекватним профілю трафіка. При виникненні пікових значень інтенсивності даних складно існуючими методами врахувати їх короткочасність і сам момент часу виникнення пікових значень.

Вирішення зазначених проблем неможливе без створення і впровадження технологій та методів розподіленого управління мережними ресурсами, які дозволяють підтримувати на заданому рівні цільові показники якості обслуговування QoS.

Складність розробки інформаційних технологій для управління ККМ, як розподіленою системою, полягає в тому, що ніколи немає повної та достовірної інформації щодо стану мережних та термінальних вузлів, каналів зв'язку.

Першим етапом будь-якої інформаційної технології є збір та зберігання даних про об'єкт – в нашому випадку, стан та характеристики ККМ. Випадковий характер процесів, що протікають в мережі впливає на складність запровадження методів збору, зберігання та обробки цих даних. Інформацію щодо стану

елементів ККМ потрібно збирати досить часто (наприклад, з інтервалом 1-5 хв.) та аналізувати у реальному часі, що вимагає потужного програмного та апаратного забезпечення. В результаті модель бази даних з інформацією про об'єкт контролю, - корпоративну комп'ютерну мережу, - буде не менш складною ніж сама мережа.

Збір, зберігання та обробку інформації навіть для найпростішої мережі, яка складається з десятка термінальних вузлів та декількох активних мережних елементів (комутаторів, маршрутизаторів), об'єднаних каналами зв'язку, можуть знецінити фізичні відмови, перевантаження, які присутні в будь-якій ККМ і, які майже неможливо спрогнозувати. Крім того вся інформація (щодо стану мережі – сигнальна, щодо управління – управляюча) доставляється з певною затримкою, особливо відчутною при перевантаженні мережі або окремого сегменту.

На випадковий характер даних про стан мережі значно впливають як кількість інформації, що передається, так і її характер. Вид інформації, яка передається, наприклад, Triple Play: мова, відео, дані або Quadruple Play: мова, відео, дані, мобільні абоненти, визначає характеристики потоку трафіку, який передає зазначену інформацію – пуасонівський або самоподібний, ступінь самоподібності тощо.

Підсумовуючи вищезазначене, можна зробити висновок, що відсутність повної та достовірної інформації про стан мережних елементів, термінальних вузлів та каналів зв'язку, затримки доставляння сигнальної та управляючої інформації, визначає стохастичний характер ККМ, як об'єкту управління, а отже і складність запровадження відповідних методів та інформаційних технологій управління. Сигнали (команди) управління надходять із запізненням, що призводить до втрати оптимальності управління. Іноді стан мережі в процесі управління може стати навіть гірше, ніж якщо б управління взагалі було відсутнє. Не враховуючи параметри сучасного трафіку (фрактальність), не можна вирішити завдання адекватного прогнозу параметрів і стану мереж. Зазначені чинники приводять до втрати оптимальності управління та погіршення якості надання інформаційних сервісів.

Спроби управління всією мережею не ефективні через проблеми розмірності. Проблема оптимального поділу мережі на автономні керовані сегменти не вирішена.

Відсутня єдина теорія управління мережами як складними розподіленими системами з затримкою користувальницької, службової та сигнальної інформації.

Принципова відмінність інформаційних технологій управління ККМ від систем автоматичного управління у класичному розумінні, полягає в тому, що основним об'єктом управління є сервіси, що надаються користувачам, а управляючі сигнали є інформаційними, і в той час як для класичних систем маються на увазі силові механізми, перемикачі, регулятори тощо.

Зменшення числа повторних передач внаслідок втрат пакетів навіть на одиниці відсотків у масштабах глобальної інформаційної системи призведе до значної економії витрат на забезпечення функціонування. Розробка методів розподіленого управління мережами великого масштабу є актуальною.

Проблема управління корпоративними інформаційними мережами вирішена не повністю. Її вирішення можливо тільки на основі фундаментальних досліджень проблеми управління мережами, проведення широкомасштабних експериментів можна вирішити проблему оптимального управління в реальному часі.

Оптимізація в інформаційних системах може бути зосереджена на питаннях розподілу мережних ресурсів та управління різномірним трафіком в розподілених мережах. Збільшення кількості мережних додатків, які генерують різномірний трафік, які вимагають певного рівня якості обслуговування тягне за собою як збільшення масштабів та ускладнення фізичних мережних пристроїв, так і вимагає вдосконалення методів та алгоритмів управління ресурсами. Керування відбувається завдяки існуючим протоколу, чим спричиняє збільшення службового трафіку та зменшення корисної пропускної здатності.

Методи оптимізації інформаційних розподілених систем при управління ресурсами в першу чергу мають враховувати мінімальність витрат ресурсу (мінімум службової управляючої інформації) при обмеженнях на управління.

Описана ситуація активізує розробку нових інформаційних технологій, методів здатних забезпечувати ефективну роботу корпоративних комп'ютерних мереж завдяки урахування їх особливостей. Крім того, важливо з допомогою інформаційних технологій забезпечити інтелектуальну підтримку адміністратора мережі, як особи, що приймає рішення. Це дозволить знизити ризик виникнення помилок в процесі управління мережею та підвищить якість управляючих дій за рахунок знаходження оптимальних стратегій на основі поточного стану корпоративної комп'ютерної мережі.

1.2. Методи моніторингу та аналізу корпоративних комп'ютерних мереж

Першим етапом в інформаційній технології управління корпоративною комп'ютерною мережею має бути збір інформації щодо стану об'єкту – тобто моніторинг мережі.

На етапі моніторингу виконується збір первинних даних про роботу мережі: статистики про кількість циркулюючих в мережі кадрів і пакетів різних протоколів, стан портів концентраторів, комутаторів і маршрутизаторів тощо. Завдання моніторингу вирішуються програмними і апаратними вимірниками, тестерами, мережевими аналізаторами і вбудованими засобами моніторингу систем управління мережами.

Однією з найважливіших характеристик сучасних інформаційних мереж є мультисервісність, яка передбачає передачу мережею всіх видів трафіку: від традиційного для комп'ютерних мереж трафіку додатків до відеотрафіка, трафіку голосових додатків тощо. Різні типи трафіку пред'являють різні вимоги до параметрів якості обслуговування. Тому моніторинг і аналіз параметрів трафіку є важливою складовою будь-якої системи управління корпоративною мережею.

Задачами моніторингу та управління інформаційними мережами у відповідності зі стандартами якості зв'язку є забезпечення якості обслуговування трафіку QoS (Quality of Services) як сумарного ефекту робочих характеристик

обслуговування, який визначає ступінь задоволеності користувачів цією службою [12].

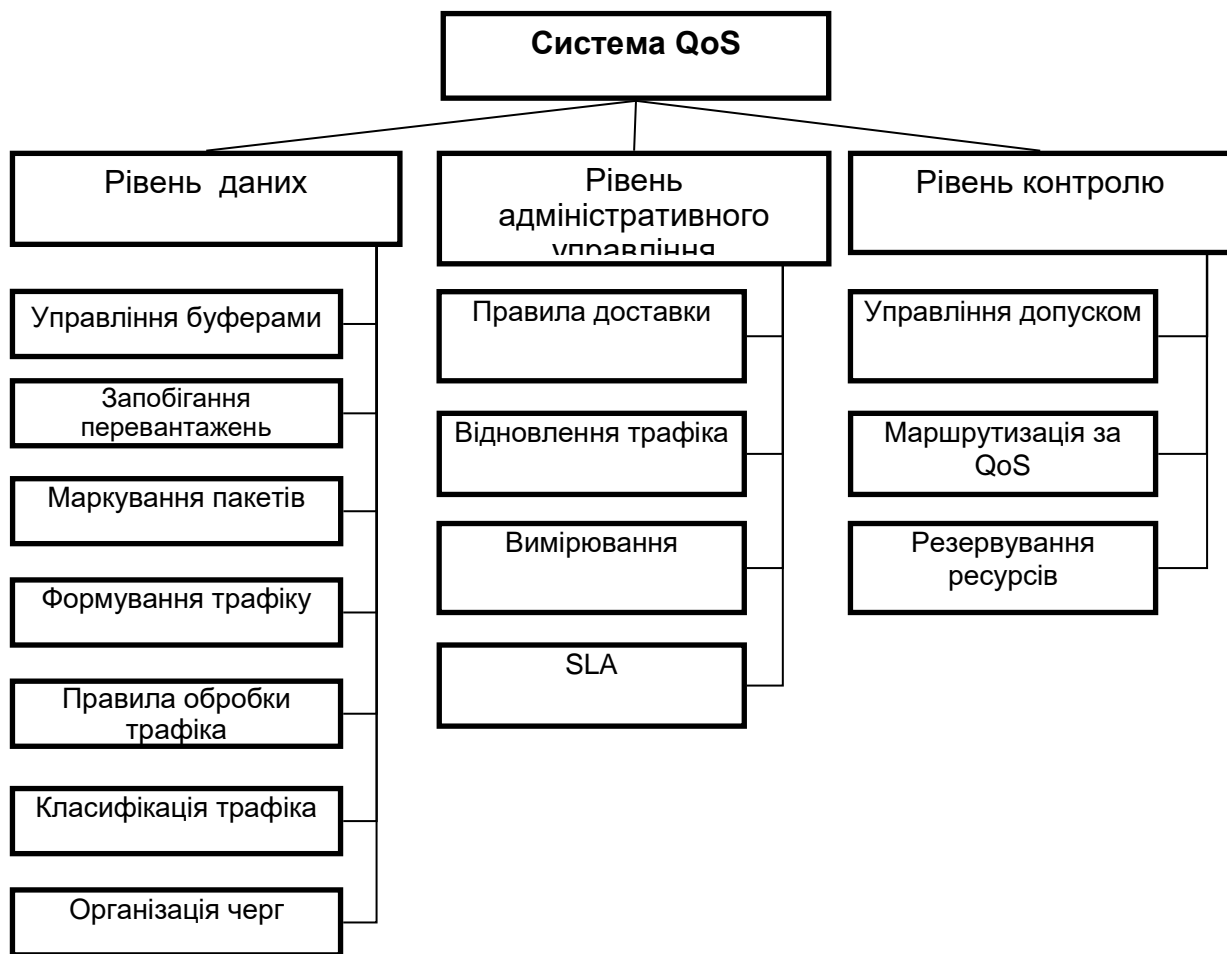


Рис. 1.1. Структура системи забезпечення якості QoS

Ключовими показниками якості обслуговування, які підлягають моніторингу, є наступні:

- продуктивність мережі або швидкість передачі (біт/с);
- величина втрат пакетів, що передаються (%);
- затримки й джитер (випадкові варіації) затримки (мс);
- надійність мережних елементів (імовірність відмов, середній час наробітки на відмову);
- живучість мережі - можливість збереження експлуатаційних характеристик при виході з ладу окремих елементів (резервування обладнання по схемам холодної або гарячої заміни).

Перші три показники характеризують параметри трафіку (тобто логічний рівень з'єднання), а останні два стосуються мережного обладнання (тобто

фізичного рівня мережі), тому необхідний як моніторинг параметрів трафіку, так і моніторинг стану мережних елементів.

Серед параметрів мережного обладнання найбільш доцільно проводити моніторинг доступності та стану завантаженості портів, стану процесора та пам'яті пристрою.

Принцип роботи засобів моніторингу заснований на взаємодії, так званого, менеджера з агентами, які і займаються моніторингом [3]. Агент наповнює модель керованого ресурсу, - базу даних керуючої інформації (Management Information Base, MIB) - поточними значеннями характеристик даного ресурсу. Менеджер використовує модель, щоб знати, чим характеризується ресурс, які характеристики можна запитувати у агента. Менеджер взаємодіє з агентом по стандартному протоколу: для Інтернету - SNMP, а для стандарту ISO / OSI на основі протоколу CMIP.

Існує кілька основних класів засобів моніторингу та аналізу, кожен з яких включає певний набір функцій [3-12].

1. Системи управління мережею (Network Management Systems) - централізовані програмні системи, які збирають дані про стан вузлів і комунікаційних пристроїв мережі, а також про параметри трафіку.

Ці системи не тільки здійснюють моніторинг і аналіз мережі, а й виконують в автоматичному чи напівавтоматичному режимі дії з управління мережею - включення і відключення портів пристроїв, зміна параметрів мостів адресних таблиць мостів, комутаторів і маршрутизаторів тощо. Прикладами систем управління можуть служити популярні системи HP OpenView, SunNetManager, IBMNetView.

2. Засоби керування системою (System Management) часто виконують функції, аналогічні функціям систем управління, але по відношенню до інших об'єктів: облік використовуваних апаратних і програмних засобів, розподіл і установка програмного забезпечення, віддалений аналіз продуктивності і виникаючих проблем.

3. Вбудовані системи діагностики і управління (Embeddedsystems). Ці системи виконуються у вигляді програмно-апаратних модулів, що встановлюються в комунікаційне обладнання, а також у вигляді програмних модулів, вбудованих в операційні системи. Вони виконують функції діагностики і управління тільки одним пристроєм, і в цьому їх основна відмінність від централізованих систем управління. Вбудовані модулі управління часто виконують роль SNMP-агентів, що поставляють дані про стан пристрою для систем управління.

4. Аналізатори протоколів являють собою програмні або апаратно-програмні системи, які обмежуються на відміну від систем управління лише функціями моніторингу і аналізу трафіку в мережах.

5. Устаткування для діагностики і сертифікації кабельних систем. До них відносяться: мережеві монітори, прилади для сертифікації кабельних систем, кабельні сканери і тестери (мультиметри).

6. Експертні системи дозволяють акумулювати знання про виявлення причин аномальної роботи мереж і можливі способи приведення мережі в працездатний стан. Іноді реалізуються у вигляді окремих підсистем різних засобів моніторингу та аналізу мереж: систем управління мережами, аналізаторів протоколів, мережевих аналізаторів. Більш складні експертні системи являють собою, так звані бази знань, що володіють елементами штучного інтелекту. Прикладом такої системи є експертна система, вбудована в систему управління Spectrum компанії Cabletron.

Завдання моніторингу - збір інформації. Подальші методи інформаційної технології управління передбачають аналізу отриманих даних з метою визначення відповідності заданому рівню якості обслуговування для всіх видів трафіку. Трафік класифікують за ключовими показниками якості обслуговування, представленими у таблицях 1.1 та 1.2, і розподіляють на класи [3, 7-11].

Таблиця 1.1

Класифікація трафіка

Клас трафіка	Характеристика
А	Постійна бітова швидкість, чутливість до затримок, передача з встановленням з'єднання. Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, затримка, джитер. Приклад трафіку: голосовий трафік, телевізійного зображення.
В	Мінлива бітова швидкість, чутливість до затримок, передача з встановленням з'єднання. Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, пульсація, середня швидкість передачі даних, затримка, джитер. Приклад трафіку: компресійний голос, компресійний відеозображення.
С	Мінлива бітова швидкість, еластичність, передача з встановленням з'єднання. Параметри QoS: пікова швидкість передачі даних, пульсація, середня швидкість передачі даних. Приклад трафіку: трафік комп'ютерних мереж з використанням протоколів FR, X.25, TCP. □
Д	Мінлива бітова швидкість, еластичність, передача без встановлення з'єднання. Параметри QoS не визначені. Приклад трафіку: трафік комп'ютерних мереж з використанням протоколів IP / UDP, Ethernet.
Х	Тип трафіку і його параметри визначаються користувачем.

Для кожного з класів трафіку визначені кількісні характеристики показників якості [7, 10, 11].

Таблиця 1.2

Мережні характеристики	Класи QoS				
	А	В	С	Д	Х
Затримка доставки пакета IP, IPTD	400 мс	100 мс	400 мс	1 с	Не визначено
варіація затримки пакета IP, IPDV	50 мс	Не визначено	Не визначено	Не визначено	Не визначено
коефіцієнт втрати пакетів IP, IPLR	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	Не визначено
коефіцієнт помилок пакетів IP, IPER	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	Не визначено

Аналіз станів мережного середовища ґрунтується на таких інтегральних показниках якості функціонування як [10-12]:

- пропускна здатність мережі - інтегральний показник, що характеризує обсяг переданої інформації;
- реакція на характеристики профілю трафіку - для визначення цієї характеристики мережа моделюється як чорний ящик; розглядається реакція на зміну навантаження на мережу;
- кількість втрачених пакетів - для ТСП мережі 1 -5% втрачених пакетів, згідно з експертними оцінками, знаходиться в межах норми; 40% втрачених пакетів - граничне значення, при якому мережа практично не працює; проте, в даний момент існують механізми, які дозволяють мати 60-70% втрат і зберігати працездатність мережі;
- час доставки - вимірюють часом подвійного ходу (в прямому і зворотному напрямку); цей показник фіксується з використанням програмами PING;
- нерівномірність доставки пакетів (джитер) - ця характеристика впливає на роботу окремих додатків, наприклад, передачі аудіо потоку в відеоконференції або пакетної телефонії.

Однак використання тільки перерахованих інтегральних показників не дозволить скласти цілісну картину про стан мережі. Тому необхідно виконувати моніторинг та аналіз за значеннями об'єктів, що зберігаються в базах МІВ пристроїв.

Імена МІВ мають ієрархічну структуру [10, 15]. Існує вісім корневих груп:

- System - загальні дані про пристрій (версія ОС, час роботи і тощо);
- Interfaces - параметри мережевих інтерфейсів пристрою (кількість, розмір MTU, швидкість передачі, фізичні адреси і тощо);
- IP - дані про що проходять IP пакетах (кількість запитів, відповідей, відкинутих пакетів).
- ICMP - інформація про контрольні повідомлення (вхідні / вихідні повідомлення, помилки і тощо).
- TCP - дані про транспортний протоколі TCP (алгоритми, константи, з'єднання, відкриті порти тощо).

□ UDP - аналогічно попередньому, для UDP протоколу (вхідні / вихідні датаграми, порти, помилки).

□ EGP - дані про трафік Exterior Gateway Protocol (використовується маршрутизаторами, об'єкти зберігають інформацію про вжиті / відісланих / відкинутих пакети).

□ SNMP - статистика по SNMP протоколу, - вхідні / вихідні пакети, обмеження пакетів за розміром, помилки, дані про оброблених запитах і тощо

Об'єкти RMON MIB містять додаткові лічильники помилок в пакетах, гнучкіші засоби аналізу трендів і статистики, потужні засоби фільтрації для захоплення і аналізу окремих пакетів, а також складні умови встановлення сигналів попередження. Інтелектуальність агентів RMON MIB вище, ніж агентів MIB-I і II, що дозволяє їм виконувати значну частину роботи, яку раніше виконували менеджери. Крім того, незалежність стандарту RMON MIB від протоколу мережного рівня, дозволяє використовувати його для гетерогенних середовищ.

Проводити моніторинг всіх змінних по всіх об'єктах накладно, з точки зору ресурсу. Крім того, деякі змінні можуть взагалі не змінюватися протягом довгого часу. Тому доцільно обрати найбільш інформативні параметри. Пропонується використовувати 31 змінну, які динамічно змінюються протягом доби: 24 вхідних і 7 вихідних [16]. Список змінних представлено у додатку Б.

Крім того, деякі змінні можуть характеризувати режим роботи і стан сервера. Змінна `snmpin- badcommunityuses {snmp 5}` свідчить про спроби несанкціонованого доступу до бази MIB.

Змінні `snmpintoobigs {snmp 8}`, `snmpingenerrs {snmp 12}` або `ifadminstatus {ifentry 7}` і деякі інші характеризують поточний стан системи, і тривале їх відстеження частіше за все не дасть корисної інформації. Інші змінні, наприклад, `ipnettomediaaddress {ip 22}`, `ipnettomediaentry` або `iproutedest` і тощо, корисно контролювати при серйозних збоях і порівнювати їх з еталонними значеннями. Деякі змінні важливі при аналізі ефективності системи, наприклад, `ipfragcreate {ip 19}` або `ipfragfails {ip 18}`, - остання змінна говорить про те, скільки передано

пакетів з флагом, що забороняє фрагментацію, в умовах, коли вона необхідна, що може свідчити про неправильний вибір MTU (Maximum Transmission Unit) - максимального розміру блоку (в байтах), який може бути переданий на каналному рівні комунікаційного протоколу.

Змінні `ip.ipinrecei-ves`, `ifentry.ifinucastpkts`, `ifentry.ifinnunicastpkts` характеризують середній потік пакетів на вході мережного інтерфейсу. Можна проаналізувати, яку частку трафіку складають ширококомвні і мультікастинг пакети.

Великий потік пакетів типу `nonunicast` зазвичай говорить про несправності в мережі. Величини `ifentry.ifoutunicastpkts` і `ifentry.ifoutnonunicastpkts` характеризують вихідний потік пакетів, співвідношення звичайних і `nonunicast`-пакетів. Порівняння їх значення говорило б про несправність мережного інтерфейсу даного вузла або про некоректну роботу мережного драйвера.

Блок змінних `ip.ipinhderrors`, `icmp.icmproutererrors`, `icmp.icmpoutdestunreachs` і `ifentry.ifinunknownprotos` свідчить про кількість збоїв в мережі. Якщо співвіднести ці цифри з вхідним і вихідним потоками пакетів, можна зробити висновок про нормальну поведінку трафіка в даному АС протягом досліджуваного періоду. Такі проблеми можуть виникати через сплеск шумів або наведень (наприклад, по мережі змінного струму або в результаті грози).

Високе значення `icmpoutdestunreachs` може бути результатом роботи програми `ping` або `tracert` для недоступного вузла або помилка в IP-адресу.

Змінна `icmp.icmpinsrcquenchs` відзначає випадки перевантаження. Відстежуючи цю змінну для різних вузлів, можна виявити слабкі елементи в мережі і скоригувати їх параметри (наприклад, збільшити буферну пам'ять).

Змінні `tcp.tcpinsegs`, `tcp.tcpoutsegs` і `tcp.tcppretranssegs` характеризують потоки TCP-пакетів. Кількість `tcppretranssegs` характеризує надійність і вірність настойки параметрів мережі: чим менше це число, тим краще.

Змінні `udp.udpin datagrams`, `udp.udpout datagrams` вказують на вхідний і вихідний потоки UDP-дейтаграм. Запис в MIB `udp.udpnoports` є важливим діагностичним показником.

Моніторинг на основі непрямих показників можливий за допомогою службових даних з протоколів передачі користувальницької інформації.

На транспортному рівні при використанні протоколу TCP моніторинг можливий за часом проходження в обидва кінці (Round-Trip Time, RTT), який не дає докладної інформації про стан ресурсів на всіх вузлах маршруту в мережі. Однак по його значенню можна судити про стан ресурсів і управляти розмірами вікон прийому, передачі, перевантаження і порога, а також таймерами TCP-сутностей при використанні технології ковзаючого вікна [5]. Час RTT вимірюється в джерелі інформації при надходженні пакета, що підтверджує правильний прийом переданого кадру, що мінімізує накладні витрати (особливо при "супутній передачі" квитанцій на доставлені пакети). Явним недоліком методу ковзного вікна в TCP є його досить висока інерційність. Якщо кадр, з якої-небудь причини втрачається на початку маршруту від джерела до приймача, то в кращому випадку джерело встановить цей факт тільки після закінчення часу, рівного RTT. З огляду на те, що спрацьовування таймера повторної передачі Retransmission Time Out (RTO) відбувається трохи пізніше, доводиться констатувати факт зайвого навантаження мережі інформацією від джерела в протягом досить тривалого періоду часу (так як згодом, найімовірніше, доведеться вдаватися до повторної передачі), що затримує ліквідацію заторів на маршруті, якщо саме вони стали причиною відсутності підтвердження.

Для додатків реального часу, які використовують протокол Real Time Protocol (RTP - протокол передачі трафіку реального часу), що працює поверх UDP, моніторинг ресурсів маршруту здійснюється нумерацією пакетів RTP, зазначенням ідентифікатора джерела синхронізації разом з відміткою часу. Це дозволяє визначити розбіжність в інтенсивностях передачі і прийому пакетів, встановити факт пропажі пакету тощо. Для підтримки зворотного зв'язку між джерелом і приймачем інформації протокол RTP завжди використовується в парі з протоколом Real-Time Transport Control Protocol (RTCP - протокол управління мережними компонентами). Постійний зворотний зв'язок забезпечує динамічне налаштування на забезпечення найкращої якості для використовуваних додатків

реального часу. Пари RTP і RTCP працюють над протоколом UDP (їх пакети інкапсулюються в дейтаграми UDP), тому багато дослідників відносять їх до прикладного рівня стека протоколів TCP / IP [5]. Подібним же чином працюють і методи моніторингу інших потокових протоколів.

Для моніторингу стану ресурсів мережі при їх управлінні можливе використання утиліт протоколу міжмережних керуючих повідомлень Internet Control Message Protocol (ICMP), в основі яких так само, як і в протоколі TCP, лежить вимір RTT. Так, утиліта ping встановлює факт наявності зв'язку між вузлами мережі і вимірює RTT між джерелом та адресатом. Утиліта traceroute (або tracert в OS Windows) дозволяє багаторазовим використанням утиліти ping встановити маршрут і дані по RTT для всіх вузлів мережі на маршруті від джерела мережі до приймача за умови, що ці вузли мають власні IP-адреси. До недоліків утиліти ping (а отже, і утиліти traceroute) слід віднести точність вимірювання RTT (мікросекунди). Для глобальних мереж це виявляється достатнім, проте в корпоративних локальних мережах RTT навіть для кількох сегментів з високою пропускною спроможністю не перевищує похибки вимірювань. Саме тому для дослідження часу затримки трафіку комутаторами доводиться модифікувати процедуру ping, залучаючи для вимірювання найбільш швидкодіючі елементи комп'ютерів (тактові генератори процесорів) [17]. Іншим, не настільки явним недоліком процедури ping є використання протоколу ICMP, про що у відповідному полі IP-заголовка пакета повідомляє код типу протоколу. Для вузлів мережі, що підтримують метод черг BRFQ і WFQ, пакетам, що містить луна-запити і луна-відповіді, буде відданий пріоритет при обслуговуванні, в першому випадку через коротку довжини пакета (при технології BRFQ), а в другому (WFQ) - ще і через пріоритетності керуючих повідомлень в мережі по відношенню до призначеного для користувача трафіку. Тому використовувати утиліту ping для моніторингу UDP- і TCP-трафіку для корпоративних мереж, побудованих і функціонуючих на основі сучасних мережевих технологій, слід дуже коректно.

Для підвищення ефективності процесу моніторингу в складі СУ інформаційною мережею можна використовувати дворівневу систему параметрів

моніторингу. На нижньому рівні (рівень АС) моніторити зазначені вище параметри, що дозволить більш точно оцінити стан і побудувати прогноз. На верхньому рівні (рівень управління всією інформаційною системою) використовувати інтегральні показники якості. Такий підхід дозволить значно зменшити навантаження при передачі службової інформації між АС і, в той же час, не знизити якість прогнозування стану і управління.

1.3. Методи управління корпоративними комп'ютерними мережами

Моніторинг сам по собі не здатен забезпечити необхідний рівень якості обслуговування (QoS). Для цього використовуються методи та інструменти управління мережею, серед яких [3-5]:

- збільшення пропускної здатності мережі за рахунок апаратних можливостей;
- методи зменшення навантаження на мережу (призначення пріоритетів трафіку та організація черг, балансування навантаження, резервування ресурсів тощо).

Більшість відомих систем управління ККМ використовують однаково базову структуру і спосіб взаємодії на принципі адаптивної маршрутизації потоків даних. Типова архітектура [3-12] системи управління ККМ ISO показана на рис. 1.2.

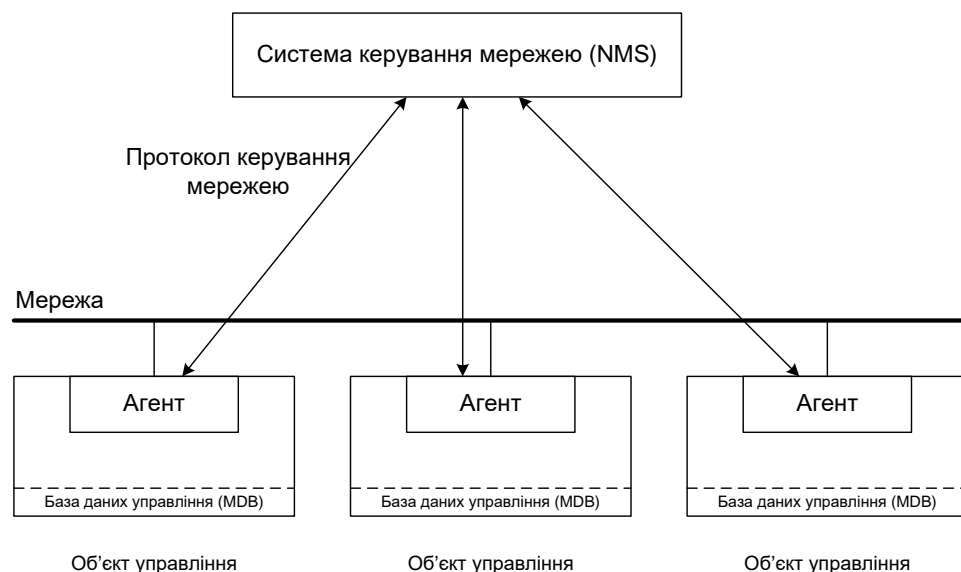


Рис.1.2. Типова архітектура системи управління мережею ISO

Програмні модулі (агенти), Які накопичують інформацію про пристрій, який управляється, в якому смороду розташовані, зберігають цю інформацію в базі даних управління (mdb) і передають її в об'єкти, які управляються, що знаходяться в межах відповідної системи управління мережа (NMS).

Об'єкти, якими управляються, постійно контролюють змінні ефективності. При перевищенні порогу ефективності виробляється і надсилається до NMS відповідне сигнальне повідомлення.

Завдання системи управління можуть виконуватися в автоматичному, ручному або напівавтоматичному режимах. У моделі управління OSI не робиться відмінностей між керованими об'єктами - каналами, сегментами локальних мереж, мостами, комутаторами і маршрутизаторами, модемами і мультиплексорами, апаратним та програмним забезпеченням комп'ютерів, СУБД. Всі ці об'єкти управління входять у загальне поняття «система», і керована система взаємодіє з керуючою системою за відкритими протоколами OSI.

Існує три принципових підходи до організації управління складними неоднорідними мережами: централізоване, децентралізоване і слабо розподілене управління [3].

Централізоване управління здійснюється з єдиного центру управління мережею, в який стікається вся інформація управління від всіх об'єктів.

Принцип централізованої системи управління полягає в тому, що кожен вузол КМ спочатку передає інформацію про свій стан (затримки або пропускні спроможності вихідних каналів тощо) центральному вузлі. Цей вузол, на основі отриманої глобальної інформації про поточний стан мережі, формує управляючі сигнали та передає їх усім вузлам.

Основними перевагами такого підходу можна назвати концентрацію всієї інформації про стан мережі в одному вузлі управління. Це дозволяє створити цілісну картину стану мережі. На основі узагальненої інформації адміністратор має можливість приймати несуперечливі рішення.

У той же час при значному масштабі мережі централізоване управління втрачає ряд переваг.

Основною проблемою таких систем є масштабованість. Дійсно, в разі зростання мережі, а також у разі зростання складності керованих об'єктів істотно збільшується навантаження на лінії передачі даних і на керуючу станцію.

Крім того система вразлива, оскільки вихід з ладу центральної керуючої станції призведе до повної відсутності управління.

Значний обсяг оброблюваної інформації вимагає високопродуктивних серверів, а частина пропускної здатності каналів мережі використовується для передачі службової інформації центру управління.

Однак основною проблемою є затримка доставки сигнальної і керуючої інформації. При значній розподіленості ККМ ці затримки можуть призводити до втрати оптимальності управління.

Для вирішення проблеми масштабованості системи управління може бути використаний підхід, заснований на слабо розподіленій архітектурі, описаній в TMN. В такому випадку використовується ієрархічна організація моделі з декількома рівнями керуючих елементів (Рис.1.3).

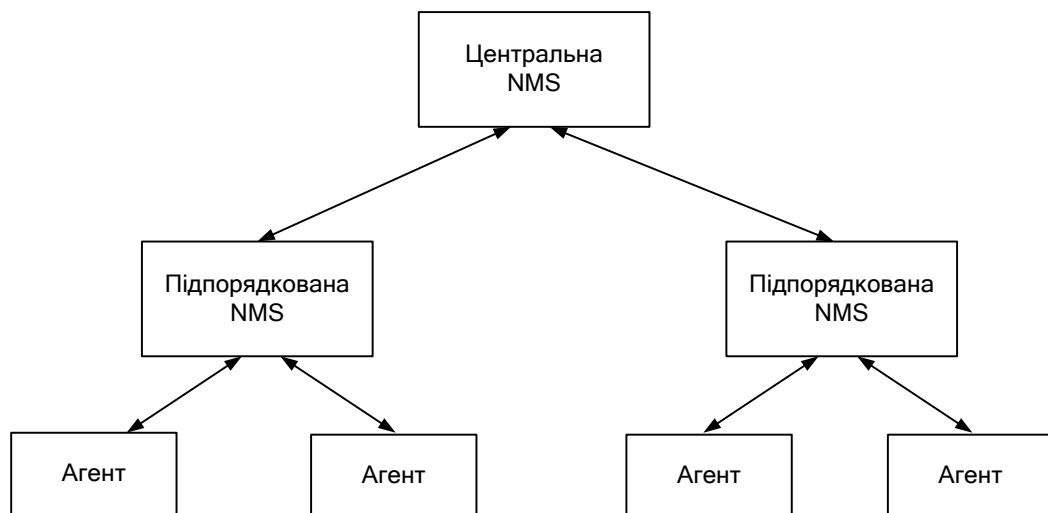


Рис. 1.3. Структура ієрархічної системи управління.

Очевидно, такий підхід дозволяє усунути деякі недоліки централізованої системи:

- підвищити живучість системи за рахунок відсутності єдиного центра;
- скоротити обсяг оброблюваної інформації, тобто знизити вимоги до продуктивності серверів і розвантажить лінії зв'язку;
- скоротити затримки службової інформації.

Особливість такої СУ можна назвати наявністю інформації тільки про стан автономного сегмента.

Децентралізований підхід характеризується відсутністю єдиного центру управління мережею (рис. 1.4). Його функції перерозподіляються між безліччю систем управління мережею. Перевагами такого підходу є живучість системи, відсутність необхідності в високопродуктивних серверах, менші в порівнянні з централізованим підходом обсяги оброблюваної інформації і трафік службової інформації, значно менший час зворотного зв'язку з елементами мережі, тобто більш ефективне управління сегментом. Недоліки полягають в складності розмежування зон автономних сегментів, відсутності цілісної картини побудови мережі і суперечливість прийнятих рішень.

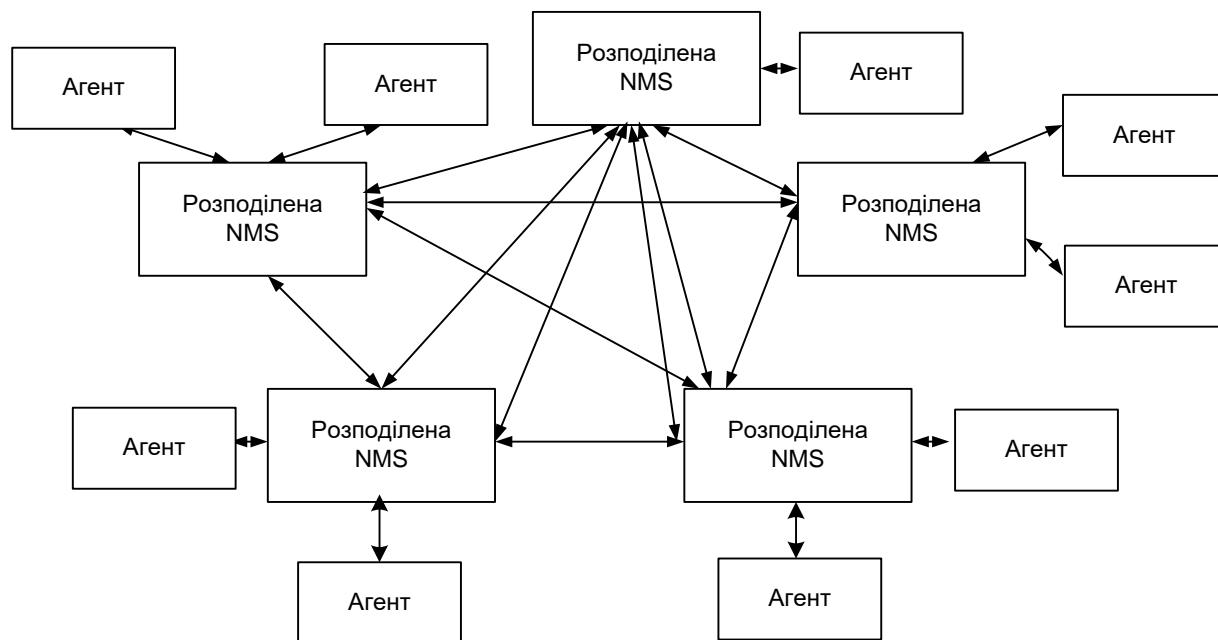


Рис.1. 4. Структура децентралізованої системи управління

Платформний підхід. При побудові систем управління великими локальними і корпоративними мережами зазвичай використовується платформний підхід, коли індивідуальні програми управління розробляються не "з нуля", а

використовують служби та примітиви, що надаються спеціально розробленим для цих цілей програмним продуктом - платформою. Прикладами платформ для систем управління є такі відомі продукти, як HP OpenView, SunNet Manager і Sun Soltice, Cdblettron Spectrum, IMB / Tivoli TMN10.

Платформа зазвичай включає підтримку протоколів взаємодії менеджера з агентами - SNMP і рідше CMIP, набір базових засобів для побудови менеджерів і агентів, а також засоби графічного інтерфейсу для створення консолі управління. У набір базових засобів зазвичай входять функції, необхідні для побудови карти мережі, засоби фільтрації повідомлень від агентів, засоби ведення бази даних. Набір інтерфейсних функцій платформи утворює інтерфейс прикладного програмування (API) системи управління. Користуючись цим API, розробники з третіх фірм створюють закінчені системи управління, які можуть керувати специфічним обладнанням відповідно до п'ятьма основними групами функцій.

HP OpenView Network Node Manager побудований за ієрархічною модульнім архітектурі і дозволяє проводити аналіз, прогнозування стану, а також управління мережевими пристроями (рис. 1.5). Недоліком даного програмного продукту, при визначенні топології мережі, є невірна побудова карти, якщо адміністратор не зазначить центральний маршрутизатор. Серед достоїнств слід відзначити можливість установки адміністратором тимчасового інтервалу (протягом якого відбуваються попередньо вибраних дій для видачі сигналу тривоги) і порогових значень параметрів. Це дозволяє знизити чутливість системи до незначних відхилень [18].

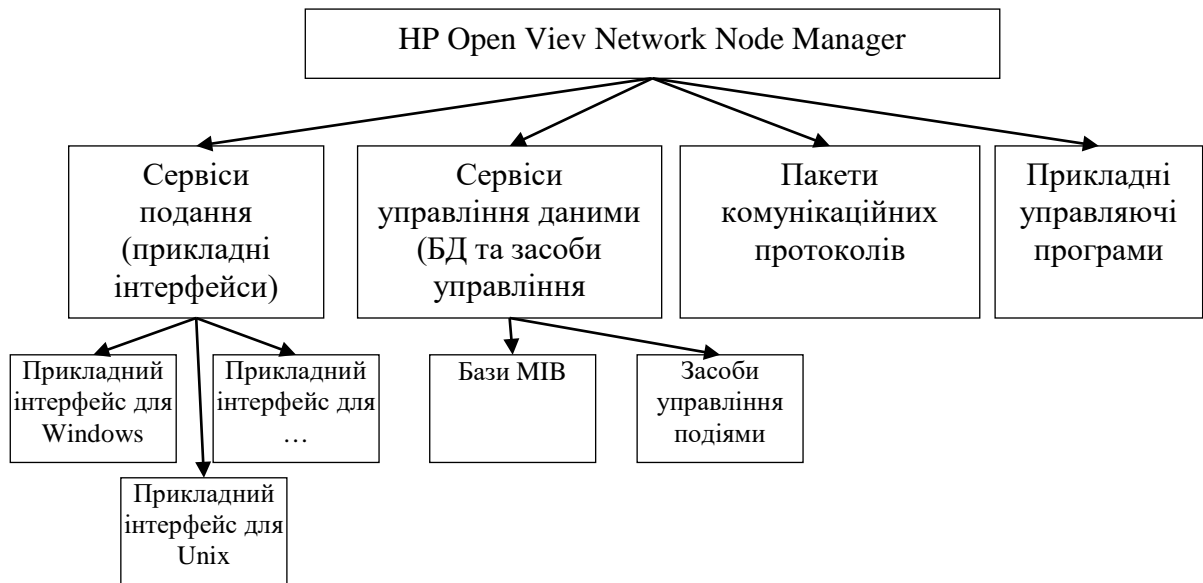


Рис. 1.5. Архітектура HP Open View Network Node Manager [16]

Sun Solstice Manager також використовує ієрархічну модульну архітектуру із застосуванням програм-менеджерів і програм-агентів, що дозволяє підвищити ефективність (рис. 1.6). Як об'єкт управління може служити програма-менеджер молодшого рівня. Сімейство програм Sun Solstice Manager має всі необхідні функції для управління мережами на основі протоколів SNMP і CMIP. Недоліком можна вважати некоректну роботу Sun Solstice Manager на великих багаторівневих мережах. Адміністратору необхідно, вручну визначати маршрутизатори, але це також не гарантує досягнення правильної побудови мережевої топології [19].

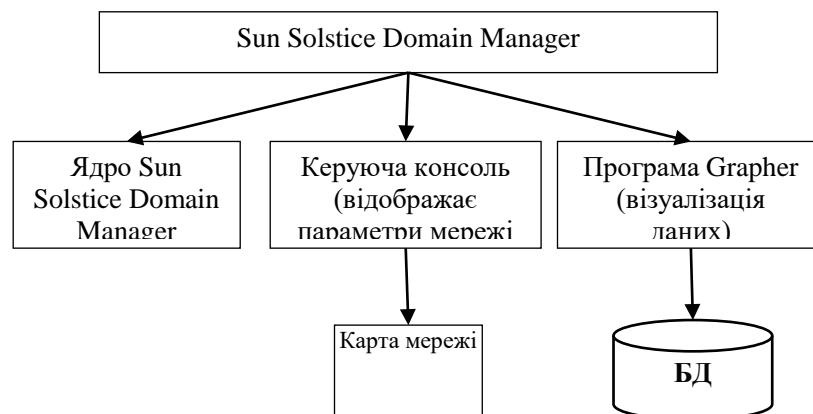


Рис. 1.6. Архітектура Sun Solstice Domain Manager [19]

IBM Tivoli NetView розроблена на базі розподіленої архітектури з використанням Web-технології і дозволяє діагностувати мережі на основі TCP / IP, працювати з мережами різних топологій за допомогою протоколу SNMP, дослідити взаємозв'язок між подіями в мережі, контролювати роботу мережі і оцінювати її продуктивність (рис. 1.7.) [20].

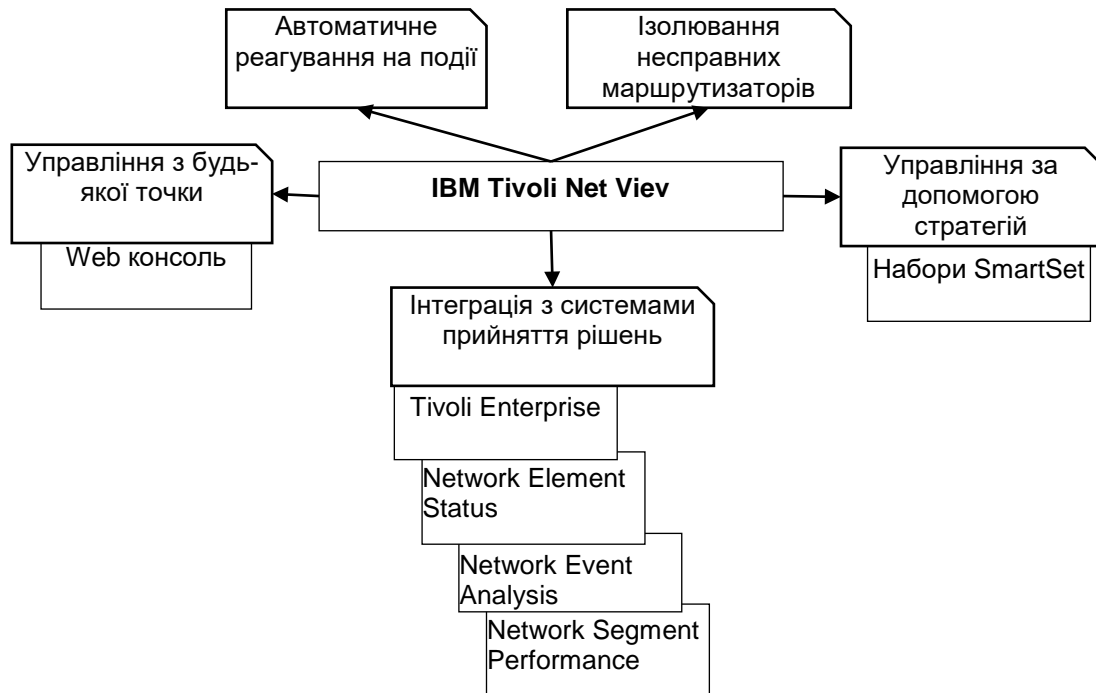


Рис. 1.7. Архітектура IBM Tivoli Net View [20].

Крім стандартних функцій для систем управління мережами, IBM NetView дозволяє робити моніторинг доступності мережевих ресурсів і локалізувати проблеми з використанням Web-інтерфейсу, створювати аналітичні звіти, працювати з найбільш поширеними версіями MIB, а також підтримує роботу з групами користувачів.

Крім цього, IBM NetView може виконувати відразу багато операцій при виникненні будь-яких ситуацій (перевищення значень порогів, виявлення помилок в роботі мережі, брак системних ресурсів і тощо).

Заздалегідь передбачена інтеграція з іншими модулями для спільного аналізу та зберігання даних. Для управління мережею існує окремий додаток - Tivoli Decision Support Network Guide, яке допомагає адміністратору керувати мережевими пристроями, надаючи інформацію про тенденції змін.

Окремі модулі Tivoli Netview дозволяють отримати детальну інформацію про стан і роботу окремих компонентів мережі (маршрутизатори, сервери, кінцеві системи, SNMP-агенти і дані з таблиць MIB); забезпечують повний огляд інформації про трафік повідомлень в мережі і NetView (аналіз подій виконується в залежності від часу, з урахуванням класу пристроїв і серйозності подій); надають можливість переглядати інформацію про роботу сегмента мережі, визначеного раніше за допомогою параметрів RMON.

Перевагами IBM Tivoli NetView є коректне побудова карти мережі, потужний інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Недоліком можна вважати неправильне автоматичне визначення деяких мережевих пристроїв і низька швидкість роботи при зборі первинних даних про стан мережі.

Крім перерахованих програмних продуктів відомі також інтелектуалізовані системи управління інформаційно-обчислювальними мережами [17]. Для вирішення завдань ідентифікації і прогнозування стану мереж тут застосовуються засоби, в основу функціонування яких покладено метод, який використовує апарат теорії нейронних мереж.

Загалом, система управління корпоративною інформаційною мережею представляється як взаємодія двох підсистем (рис. 1.8.):

1. об'єкта управління; в інформаційних системах це віртуальний канал зв'язку між двома кінцевими точками - джерелом і приймачем інформації, яка передається в вигляді пакетного трафіку;

2. пристрою управління, в якості якого виступають спеціальні мережні протоколи і пристрої (маршрутизатори, комутатори, контролери).

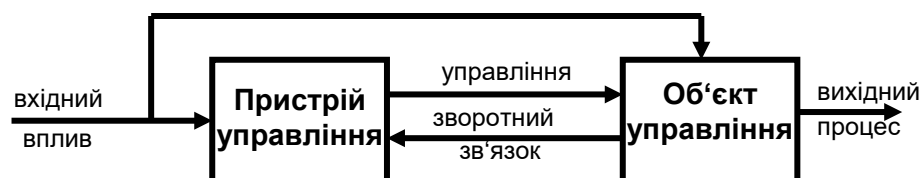


Рис. 1.8. Узагальнена модель системи управління корпоративною інформаційною мережею

Для відповідності процесів в об'єкті управління (інформаційній системі) заданим критеріям якості, необхідно використовувати управляючі дії (управляючі сигнали у вигляді протоколів управління). При формуванні управляючих впливів слід враховувати оптимальність співвідношення користувацької та службової інформації.

Для забезпечення належної ефективності, системи управління сучасними інформаційними мережами мають містити інтелектуальні складові. Інтелектуальність систем управління стосовно до інформаційних мереж може полягати в тому, що окрім інформації із самої системи для вироблення оптимальних управлінь використовуються дані, які надходять від людини-оператора та/або інтелектуалізованої системи прийняття рішень.

Використання людини в контур управління інформаційною системою дозволяє з одного боку істотно підвищити гнучкість системи, з іншого боку вносить елемент невизначеності в характер поведінки системи. Ця невизначеність пов'язана з внесенням в процес управління суб'єктивних оцінок і затримок, пов'язаних з присутністю людини-оператора. З функціональної точки зору людина є носієм знань про ОУ, які складають основу для короткострокового і довгострокового прогнозування наслідків застосування тих чи інших управляючих впливів.

Отже, основним предметом досліджень при розробці інформаційної технології управління ККМ є оптимальність вироблених управляючих впливів, алгоритми обробки оперативної інформації про стан мережевих процесів, за допомогою яких можна провести класифікацію режимів роботи мережі і на цій основі передбачити стан на наступних етапах роботи. Розподілена структура системи і стохастичний характер зв'язків між мережними компонентами значно впливають на стійкість системи управління. Тому необхідно забезпечувати в реальному часі структурну стійкість або, іншими словами, забезпечувати плавну зміну функціональних можливостей в разі втрати координуючих впливів або порушення роботи окремих підсистем, включаючи канали передачі даних. Також

необхідно враховувати особливості сучасного мережного трафіку задля побудови адекватних моделей прогнозування, маршрутизації та статистичного мультиплектування.

Питання оптимізації службового трафіка є досить і розглядалось у роботах багатьох вітчизняних та зарубіжних дослідників, зокрема Zhaogang Shu, Jiafu Wan, Jiaxiang Lin, М.М. Климаша, О.М. Шпура, В.О. Багрій, А.Л. Швеця, Г. А. Кучук, О.В. Корецького, С.С. Думича. Зокрема, у [21] розглядається задача зменшення службового трафіка комп'ютерної мережі, проведено дослідження ефективних рішень забезпечення допустимого навантаження для робочих станцій, запропоновано оцінку навантаження службовим трафіком з урахуванням достатньої забезпеченості інформативності процесу моніторингу. В роботі [22] пропонується модель та алгоритм, запровадження яких дозволить зменшити локальні перевантаження в окремих вузлах, адаптувати мережу до трафіка, характерного для мультисервісних додатків. В [23] представлено метод, застосування якого дозволяє зменшити інтенсивність потоку службового трафіка на критичній ділянці мультисервісної мережі та збільшити розмір мережевого ресурсу. При прогнозуванні інтенсивності трафіка критичної ділянки враховується фрактальний характер його інформаційної та службової компонент. В роботі [25] запропоновано загальні принципи динамічної маршрутизації цифрових потоків, які зменшують затримки часу на маршрутизацію і службовий трафік у каналах зв'язку.

1.4. Висновки до розділу 1. Постановка проблеми

Проведене дослідження сучасного стану розвитку інформаційних технологій управління інформаційними системами, і зокрема, корпоративними комп'ютерними мережами, показало, що відомі методи управління мережами не враховують

- стохастичний характер мережі, як об'єкту управління;
- відсутність повної та достовірної інформації про стан елементів;

- запізнення доставляння сигнальної та управляючої інформації;
- параметри сучасного трафіку (фрактальність),

а отже не вирішуються і завдання адекватного прогнозу параметрів і стану мережі.

Недоліком існуючих методів та систем управління ККМ (програмних продуктах від відомих виробників) є те, що за основу приймається, необхідність для управління інформаційними системами лише контролювати та керувати конфігурацією активного мережного обладнання (наприклад, маршрутизаторів, комутаторів) та обробляти сигнали помилок. В найкращому випадку, такі системи допомагають адміністратору мережі зібрати терабайти інформації щодо стану майже кожного мережного елемента, представити її у вигляді яскравого сучасного інтерфейсу (інфографіки, спливаючих вікон тощо). Найскладніша робота, – вибір стратегії управління комп'ютерною мережею та відповідних управляючих дій, - залишається функцією людини. Про оптимальність управляючих стратегій та дій, в такому випадку, очевидно, не йдеться взагалі. Від досвідченості, навиків, уміння узагальнювати та аналізувати інформацію, будувати причино-наслідкові зв'язки конкретного адміністратора, залежить якість управління мережею, як складним багатовимірним об'єктом.

Аналітичний огляд дозволив виділити декілька методів управління мережними ресурсами в корпоративних комп'ютерних мережах, зокрема розподіленого та централізованого управління. Особливістю централізованого методу управління, який дає можливість сформувати цілісне уявлення про стан мережі, відповідно розрахувати глобальний оптимум управління і проводити балансування навантаження, є складність знаходження оптимального управління через недостатність інформації, ресурсів. Один зі шляхів вирішення питання недостатності інформації для оптимального централізованого управління – це збільшення кількості службової (сигнальної та управляючої) інформації, що призводить до зниження корисної пропускну здатності мережі та збільшення випадкових затримок інформації. Другий – розподілене (децентралізоване) управління, яке передбачає створення ієрархічної структури управління мережею,

що призводить до втрати цілісності картини щодо стану мережі та втрати глобального оптимуму управління. Отже, розроблення нових інформаційних технологій та методів розподіленого управління здатних забезпечувати ефективну роботу корпоративних комп'ютерних мереж завдяки урахування їх особливостей передбачає передусім вирішення *об'єктивних суперечностей* між постійним збільшенням кількості користувачів мультимедійних сервісів, а також ростом вимог щодо забезпечення якості сервісів, з одного боку, і фізичними обмеженнями ресурсів мережі, - з іншого боку, спричиненими обмеженістю темпів збільшення пропускної здатності та недосконалістю методів розподілу наявних мережних ресурсів для забезпечення належної якості сервісів, здатних враховувати характеристики сучасного трафіку та затримки сигнальної та управляючої інформації в мережі. Таким чином, дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої **науково-прикладної проблеми**: підвищенню ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі збільшення корисної пропускної здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестационарними потоками.

Розв'язання цієї проблеми можливе при досягненні мети дисертаційного дослідження – розробка і впровадження методів і засобів для підвищення ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж шляхом оптимального розподілу наявного мережного ресурсу.

Для досягнення вказаної мети треба вирішити ряд задач:

1) провести огляд і аналіз сучасного стану проблеми управління корпоративними комп'ютерними мережами в умовах нестационарних потоків вимог;

2) провести експериментальне дослідження для визначення статистик трафіку, варіацій статистик в процесі передачі до отримувачів, підсумовування інтенсивності, проріджування потоків через перевантаження мережних вузлів (проріджені потоки);

3) удосконалити метод аналізу статистичних характеристик та математичні моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією), потоків сумарних та проріджених;

4) розробити метод оптимального управління комп'ютерною мережею за критерієм узагальненої роботи О. А. Красовського;

5) розробити метод управління сталістю системи з випадковими затримками сигнальної та управляючої інформації;

б) запропонувати математичну модель мережного вузла як керованого об'єкту;

7) удосконалити методи передачі сигнальної і керуючої інформації з використанням протоколів управління мережами;

8) розробити метод оцінки ефективності системи управління роз-поділеною корпоративною комп'ютерною мережею;

9) розробити інформаційну технологію управління мережею з етапами ідентифікації, прогнозування, вибору оптимальної стратегії управління, яка дозволяє досягти заданого рівня якості обслуговування при мінімальних затратах на управління.

Концептуальна схема досліджень для вирішення проблеми управління інформаційними системами взагалі, і корпоративними комп'ютерними мережами зокрема пропонується у вигляді, представленому на рис. 1.9., за допомогою інформаційної технології оптимального управління ККМ в реальному часі, яка включає аналіз поточний стану об'єкту управління (мережі), прогноз на майбутні періоди, формує оптимальні управління при заданому стані мережі, а також обґрунтовує запропоноване рішення для адміністратора-людини. Загальну структуру інформаційної технології для вирішення проблеми управління ККМ представлено Кожна інформаційна технологія заснована на системному використанні інструментальних методів, які вирішують окремі завдання.

Інформаційна технологія аналізу й обробки інформації – для задач аналізу інформації про стан мережних елементів та каналів зв'язку, а також для врахування розбіжностей, затримок інформації, які виникають в мережах.



Рис. 1.9. Структура інформаційної технології управління корпоративними комп'ютерними мережами

Інформаційна технологія моделювання стану мережі та мережних елементів - для задач побудови моделі процесів передачі інформації у мережі за допомогою різницевих рівнянь з аргументом, що відхиляється.

Інформаційна технологія прогнозування трафіку та стану мережі для задач побудови прогнозів на майбутня періоди на основі статистичних характеристик трафіку та моделей черг у активних мережних елементів на основі моделей, заснованих на стані.

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень – для інтелектуальної підтримки адміністратора, задач формування оптимальних управлінь на основі поточного стану комп'ютерної мережі за допомогою класичних та неklasичних методів та пояснення прийнятого рішення з використанням технології експертних систем.

Реалізація інформаційної технології управління корпоративною комп'ютерною мережею передбачає наявність таких складових (рис. 1.10).

Поняття інформаційної технології (ІТ) (рис.1.10) дещо ширше ніж поняття ІС завдяки включенню виробничої складової, тобто інформаційної моделі, яка описує технологічні процеси та роботи, які виконуються з урахуванням кваліфікаційних вимог у межах конкретного змісту роботи. Інформаційні системи включають лише методологічну частину та безпосередньо програмні комплекси та їх архітектуру [26, 33-35].

Технічна архітектура включає периферійні пристрої, мережеву архітектуру (комутатори, маршрутизатори, кабелі тощо), конфігурації апаратного забезпечення, засоби безпеки та надійності [27] (безперебійне живлення, рейд масиви тощо).

Програмна архітектура містить комп'ютерні програми, призначені для вирішення завдання управління ККМ [28]. Архітектура даних поєднує в собі як фізичні сховища даних, так і засоби керування даними. Крім того, до неї входять логічні сховища даних, а у випадку аналітичного оцінювання виділяється окремий рівень – архітектура знань (knowledge architecture). На цьому рівні описуються

логічні й фізичні моделі даних, визначаються правила цілісності, складаються обмеження для даних. Структура програмної архітектури описує склад програмних комплексів, БД та зв'язок між ними на платформному рівні.

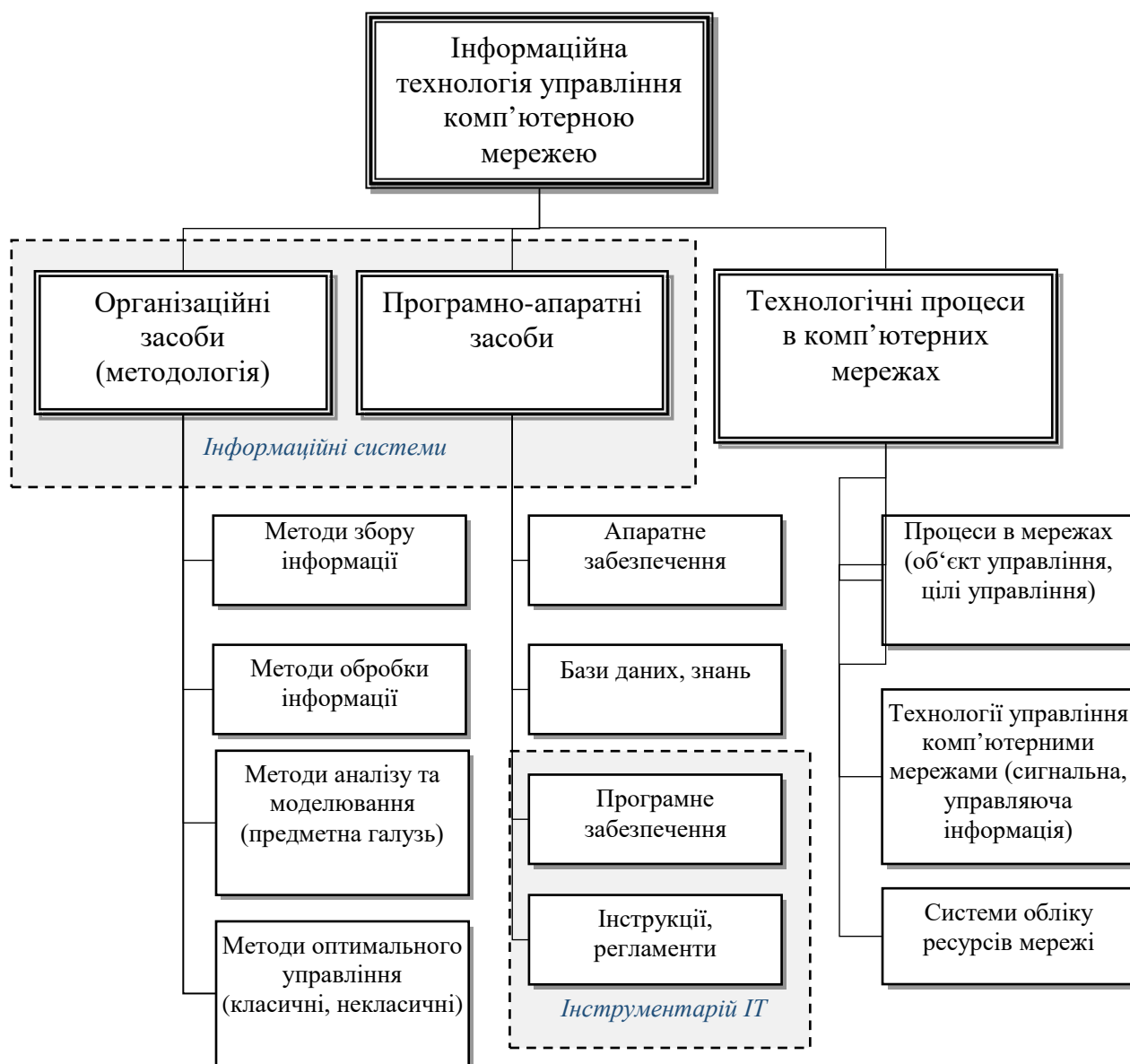


Рис.1.10. Склад інформаційної технології управління комп'ютерною мережею

Інформаційна технології управління ККМ мережею має забезпечуватись

- організаційними засобами, тобто методологією управління мережею, яка включає математичний апарат для знаходження оптимального управління, а також методи збору інформації, її подальшої обробки та моделювання з побудовою прогнозу на майбутні періоди;
- програмно-апаратними засобами, які включають апаратне забезпечення (комп'ютери, мережне обладнання, канали зв'язку тощо); бази даних

для зберігання інформації щодо стану мережних елементів; бази знань, які містять правила щодо формування оптимальної стратегії управління; програмне забезпечення для реалізації управління на базі існуючих протоколів; інструкції та регламенти;

- технологічними процесами в комп'ютерних мережах, які забезпечують надання певних сервісів користувачам – це процеси обміну сигнальною та управляючою інформацією, системи обліку ресурсів мережі.

Основні мета інформаційної технології управління корпоративною комп'ютерною мережею в забезпеченні необхідної якості сервісів користувачам. Для цього складові інформаційної технології мають бути керованими - мережні елементи, різноманітні данні, додатки, сервіси. Інформаційна технологія управління мережею має складатися з

- об'єкту управління (тобто необхідно визначити якими саме елементами мережі, їх складовими та сервісами необхідно управляти);
- цілі управління – визначити який стан мережі є бажаним;
- управляючої інформації – тобто набору управляючих сигналів на базі існуючих протоколів управління.

Зазначені складові є основою для формальної моделі інформаційного об'єкту, який виконує функцію з обробки даних. Від ретельності опису мережі, як об'єкту управління, залежить можливість ефективно на нього впливати.

Список використаних у першому розділі джерел

1. Закон України Про телекомунікації (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2004, № 12, ст.155.
2. <https://uk.wikipedia.org/>
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы. 5-е изд. СПб: Издательство «Питер», 2016. - 992 с.
4. Столлинс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.

5. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. СПб.: БХВ - Санкт-Петербург, 2000. 512 с
7. Олвейн Вивек. Структура и реализация современной технологии MPLS / пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. - 480 с.
8. Дикер-Пилдуш Галина. Сети ATM корпорации Cisco. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 880 с.
9. Кульгин М.В. Контроль трафика в сетях ATM // LAN/Журнал сетевых решений. - 1998. - №12. - С. 75 - 77.
10. Cisco Systems, Inc. Руководство по технологиям объединенных сетей / пер с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. - 1040 с.
11. Кучерявый Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети интернет. СПб.: Наука и Техника, 2004. 336с.
12. Шринивас Вегешна. Качество обслуживания в сетях IP / пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003 - 368с.
13. Леохин Ю.Л., Саксонов Е.А. Инструментальные средства отладки программного обеспечения систем управления корпоративными сетями с гетерогенным трафиком // Информатизация образования и науки. № 3(7). – 2010. – С. 36-51
14. Кульгин М.В. Контроль трафика в сетях ATM // LAN/Журнал сетевых решений. - 1998. - №12. - С. 75 - 77.
15. RFC-1213. Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets: MIB-II. K. McCloghrie, M.T. Rose. Mar-01-1991.
16. Леохин Ю.Л. Прогнозирование состояний корпоративной сети центра Управления полетами в нейросетевом логическом базисе. // Качество. Инновации. Образование. №12, 2011. С. 75-82
17. Бойченко М. К., Иванов И. П. Мониторинг ресурсов узлов корпоративной сети // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. “Приборостроение”. 2010. №2. – С. 114-120

18. Зителло Т. HP Open View – настольная книга системного администратора: Network Node Manager, Customer Views, Service Information Portal, HP Open View Operations: пер. с англ./Т. Зителло, Д. Вильямс, П. Вебер. – М.: ЭКОМ: Интернет – Ун-т информ. технологий, 2006. – 616 с.

19. Sun Solstice Manager <http://sunsite.uakom.sk/sunworldonline/swol-02-1997/swol-02-solstice.html> (дата звернення 25.12.2013)

20. IBM Tivoli NetView <http://download.boulder.ibm.com/ibmdl/pub/software/dw/ru/download/ibm3.pdf> (дата звернення 25.12.2013).

21. Астраханцев А.А. Сравнительный анализ эффективности протоколов маршрутизации в AD-НОС сетях. Системи обробки інформації. – 2014. – № 1 (117). – С. 156–159.

22. Traffic engineering in software-defined networking: Measurement and management / Zhaogang Shu, Jiafu Wan, Jiayang Lin and other // Access IEEE. – 2016. – Vol. 4. – P. 3246–3256.

23. Метод диференційованого мультипоточкового керування трафіком у транспортних програмно-керованих мережах / М.М. Климаш, О.М. Шпур, В.О. Багрій, А.Л. Швець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2014. – № 796. – С. 60–68.

24. Kuchuk G.A. Method of synthesis of the information structure of the coherent fragment of the corporate multiservice network / G.A. Kuchuk // Collection of scientific works of the Kharkiv University of Air Forces. – 2013. – No. 2 (35). – P. 97–102.

25. Корецький О.В. Моделі та алгоритми підвищення ефективності комутації інформаційних потоків у повністю оптичних телекомунікаційних системах / О.В. Корецький, С.С. Думич // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. – № 766. – С. 96–103.

26. Бурков А.В. Проектирование информационных систем / А.В. Бурков. – Саратов: Саратов. гос. ун-т, 2009. – 377 с.

27. Воронин А.А. Надежность информационных систем /А.А. Воронин. – СПб: Санкт-Петербур. гос. технолог. ун-т, 2001. – 387 с.

28. Pavlenko P. Development of information system of the assessment of complexity of project works / P.Pavlenko, S. Tolbatov // Aviation in the XXI-st century. Safety in Aviation and Space Technologies: The Sixth World congress, September 23-25, 2014. – Kyiv: National Aviation University, 2014. – P.1.9.1-1.9.5.

29. Астраханцев А.А. Сравнительный анализ эффективности протоколов маршрутизации в AD-HOC сетях / А.А. Астраханцев, С.М. Горбань // Системи обробки інформації. – 2014. – № 1 (117). – С. 156–159.

30. Traffic engineering in software-defined networking: Measurement and management / Zhaogang Shu, Jiafu Wan, Jiayang Lin and other // Access IEEE. – 2016. – Vol. 4. – P. 3246–3256.

31. Метод диференційованого мультипоточкового керування трафіком у транспортних програмно-керованих мережах / М.М. Климаш, О.М. Шпур, В.О. Багрій, А.Л. Швець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2014. – № 796. – С. 60–68.

32. Корецький О.В. Моделі та алгоритми підвищення ефективності комутації інформаційних потоків у повністю оптичних телекомунікаційних системах / О.В. Корецький, С.С. Думич // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. – № 766. – С. 96–103.

33. Бурков А.В. Проектирование информационных систем / А.В. Бурков. – Саратов: Саратов. гос. ун-т, 2009. – 377 с.

34. Гвоздева Т.В. Проектирование информационных систем / Т.В. Гвоздева, Б.А. Баллод. – Ростов на Дону: Феникс, 2009. – 512 с.

35. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: учеб. – 2-е изд., перераб. и доп / А.М. Вендров. – Москва: Финансы и статистика, 2006. – 544 с

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ АНАЛІЗУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО ТРАФІКУ ТА СТАНУ КОРПОРАТИВНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

2.1. Методи аналізу потоків даних у корпоративних комп'ютерних мережах

Однією з важливих задач при вирішенні проблеми управління ККМ є задача аналізу даних (збору, моделювання та прогнозування) щодо мережного трафіку та стану елементів мережі. До інструментальних методів інформаційних технологій, які забезпечують вирішення цієї задачі відносять методи моделювання на основі статистичних характеристик, моделі на часових рядах та даних спостереження, методи адаптивного та нелінійного прогнозування.

Для опису потоків даних у ККМ та завантаженості комунікаційного обладнання часто використовують теорію систем масового обслуговування (СМО) [1]. Слід зауважити, що моделі СМО мають певні обмеження при застосуванні до реальних ККМ [2]:

- дані, які надходять по каналах зв'язку, розглядаються як потоки заявок, що може призвести до неадекватності моделі. Слід розрізняти потоки запитів і потоки даних;
- велика розмірність реальних ККМ робить практично неможливим застосування теорії СМО для опису структури і розподілу потоків;
- при моделюванні необхідно враховувати те, що завантаження кожного каналу зв'язку мережі визначається інтенсивністю потоків даних всіх типів, які передаються каналом, а не тільки потоком запитів.

Одним з етапів при розподіленому управлінні ККМ має бути аналіз потоків даних та визначення їх параметрів. Для цього використовується статистичний аналіз, математичне моделювання потоків даних [3].

Аналіз інформації щодо трафіку в ККМ та стану мережних елементів має включати чотири основні етапи (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Узагальнена схема методу обробки даних про стан ККМ

На етапі збору та зберігання даних щодо стану ККМ визначених ключових точках мережі знімаються статистичні дані щодо трафіку та зберігаються з певним інтервалом у відповідній базі даних. Крім того за допомогою стандартних протоколів (наприклад, SNMP) відбувається збір інформації щодо стану мережного обладнання. Зібрана інформація зберігається у відповідних базах МІВ.

Етап аналізу інформації щодо стану ККМ передбачає визначення статистичних характеристик трафіку та ідентифікацію стану мережного обладнання та/або автономного сегмента ККМ (наприклад, працездатне, перевантаження, відмова) на основі зібраних статистичних даних. Відбувається обробка, узагальнення інформації, статистичний аналіз із застосуванням методів параметричної та непараметричної статистики, побудова графіків залежності на відповідних часових проміжках.

Етап моделювання на основі аналізу даних щодо стану ККМ та прогнозування стану ККМ на майбутні періоди передбачають побудову

математичних моделей, на даних спостереження та розрахунків короткострокових та довгострокових прогнозів.

Враховуючи особливості функціонування комп'ютерних мереж, можна виділити чотири основні групи потоків:

- потік від незалежного джерела – притаманний кінцевим (термінальним) вузлам. Для цього трафіка характерна значна неоднорідність. Можуть спострігатися значні викиди на фоні невеликого середнього значення;
- сумарні потоки, як правило, формуються на пограничних маршрутизаторах і складаються із безлічі потоків від незалежних джерел;
- рідючі потоки утворюються найчастіше на виході мережного вузла. Це зумовлено тим, що на шляху від джерела до одержувача повідомленню доводиться долати значну кількість проміжних вузлів. При цьому перевищується встановлений час життя пакета і він знищується;
- марковані потоки утворюються внаслідок обслуговування мережним вузлом різнорідного трафіку (дані, голос, відео) із заданим рівнем якості QoS . В такому випадку вищий пріоритет віддається, наприклад, мультимедійному трафіку.

2.2. Статистичні характеристики потоків трафіку

Для розробки інформаційної технології управління комп'ютерною мережею, як розподіленою стохастичною системою, важливим етапом є визначення законів розподілу або моментів усіх випадкових параметрів, що входять у рівняння стану і спостереження.

Якщо відносно структурно-функціональних параметрів достатнім може стати значення їх математичних очікувань і дисперсії, то щодо збурень і завад вимірів вид законів їх розподілу є визначальним для подальшого ходу рішення задачі управління.

Характер потоку визначається безліччю чинників, наприклад, гетерогенністю, структурою мережі (кількістю проміжних вузлів -

маршрутизаторів), протоколами передачі даних і управляючої інформації, кількістю і активністю кінцевих користувачів в автономних сегментах (АС). На різних ділянках великої корпоративної мережі спостерігатимуться відмінності між імовірнісними розподілами потоку.

Стохастичні моделі найадекватніше можуть описати процеси, що відбуваються при передачі інформації в сучасних обчислювальних мережах. Основою таких моделей є імовірнісні розподіли потоків, які циркулюють в мережі.

Розглянемо статистичні характеристики чотирьох основних груп потоків, які циркулюють у ККМ: потік від незалежного джерела, сумарні, рідючі і марковані потоки.

2.2.1. Модель потоку від незалежного джерела

Потоки від незалежного джерела характеризується значною неоднорідністю – на тлі невеликого середнього значення спостерігаються нетривалі сплески значно більшої інтенсивності. Ця властивість дозволяє вважати, що трафіку, генерованому кінцевим вузлом, не притаманні властивості простого потоку, як вважалося раніше. В таких потоках проявляються самоподібні властивості [4, 5].

Випадковий процес $x(t)$ є статистично *самоподібним* з параметром Херста H ($0,5 \leq H \leq 1$), якщо для будь-якого дійсного значення $a > 0$ процес $x(at)/a^H$ має ті ж статистичні характеристики, що і сам процес $x(t)$ [5] :

$$\text{математичне очікування} \quad M[x(t)] = \frac{M[x(at)]}{a^H} ;$$

$$\text{дисперсія} \quad D[x(t)] = \frac{D[x(at)]}{a^{2H}} ;$$

$$\text{кореляційна функція} \quad R(t, \tau) = \frac{R(at, a\tau)}{a^{2H}} .$$

Чим більше H , тим довше зберігається властивість самоподібності при багатократному масштабуванні. При $H=0,5$ ця властивість практично відсутня.

Для часових послідовностей масштабованою величиною є час. Виходячи з визначення самоподібності, можна стверджувати, що часові і спектральні характеристики трафіку при зміні масштабу усереднювання описуватимуться одними і тими ж рівняннями, функціями, але з відповідними масштабними коефіцієнтами. Іншими словами, самоподібність процесу (явища) можна трактувати як інваріантність до змін масштабу або розміру.

Важливою особливістю самоподібних процесів є повільне убуття автокореляційної функції агрегованого процесу $X^{(m)}$ при $m \rightarrow \infty$ на відміну від стохастичних моделей, для яких справедливо: $r_m(k) \rightarrow 0, m \rightarrow \infty, k \in N$.

Самоподібний процес при досить великих значеннях рівня агрегування m виглядає менш згладженим, більше нерівномірним (має більшу дисперсію). Ця властивість має принципове значення, оскільки, наприклад, розподіл пропускної спроможності, досить часто розглядають стосовно агрегованих процесів.

Важливу для прогнозування властивість самоподібного процесу – тривалу пам'ять, описує поняття повільно убуючої залежності (автоковаріації). Вважається [4], що процес X має повільно убуючу залежність (ПУЗ) [*long - range dependence*], якщо виконується умова:

$$r(k) \sim k^{-\beta} L_1(k), k \rightarrow \infty, \quad (2.1)$$

Таким чином, процеси з ПУЗ характеризуються автокореляційною функцією, яка убиває гіперболічно (за ступеневим законом) при збільшенні часової затримки.

У частотній області ПУЗ відбивається на характерному ступеневому законі поведінки спектральної щільності процесу. Враховуючи (2.1) можна записати, що процесу X притаманна ПУЗ, якщо

$$f(\lambda) \sim \lambda^{\beta-1} L_2(\lambda), \quad \lambda \rightarrow 0, \quad 0 < \beta < 1,$$

де L_2 – функція, що повільно змінюється в нулі, а $f(\lambda) = \sum_k r(k) e^{ik\lambda}$ -

означає спектральну щільність.

Таким чином, з точки зору спектрального аналізу процес з ПУЗ крім того, що має не підсумовану АКФ, має спектральну щільність з особливістю в нулі. Тобто спектральна щільність $f(\lambda)$ такого процесу прямує до нескінченності, коли частота λ прямує до нуля.

Для представлення щільності ймовірності, що описує процеси передачі даних, такі як інтервали між надходженнями пакетів і тривалості пакетів, самоподібних потоків найбільш адекватними є розподіли з «важкими хвостами» (РВХ).

Розподіл випадкової змінної X повільно затухає, якщо

$$1 - F(x) = \Pr[X > x] \sim \frac{1}{x^a} \quad \text{при } x \rightarrow \infty, \quad 0 < a,$$

де $0 < a < 2$ і називається параметром форми, c деяка позитивна константа.

На відміну від розподілів з легкими хвостами (РЛХ), такими як експоненціальний або Гауса, які мають експоненціальне убивання хвоста, РВХ мають хвости, що спадають за ступеневим (гіперболічним) законом. При $0 < a < 2$ РВХ мають нескінченну дисперсію, а при $0 < a \leq 1$ ще і мають нескінченне середнє. У разі мережі особливо цікавим є випадок $1 < a < 2$, тобто графіки щільності розподілу таких процесів убивають значно повільніше, ніж при експоненціальному. Залежності зберігаються при розгляді в різному масштабі.

Прикладами таких розподілів можуть служити логарифмічно-нормальний, гамма-розподіл, розподіли Вейбулла, Парето. Останній використовується для опису самоподібного трафіку найчастіше [5]. З усіх повільно затухаючих розподілів він описується найпростішими математичними формулами. Вираз для щільності ймовірності розподілу Парето має наступний вигляд:

$$f(x) = \frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha+1},$$

де k і α ($k, \alpha > 0$) - параметри розподілу.

Відповідно функція ймовірності

$$F(x) = 1 - \left(\frac{k}{x}\right)^\alpha \quad (x > k; \alpha > 0),$$

з середнім значенням

$$E[X] = \frac{\alpha}{\alpha - 1} k \quad (\alpha > 1).$$

Основна властивість випадкової величини, розподіленої відповідно до РВХ, полягає в тому, що вона проявляє високу мінливість [4]. Іншими словами, вибірка з РТХ складається з переважно невеликих значень, проте також містить і достатню кількість дуже великих значень. При $\alpha \rightarrow 1$ вплив важкого хвоста відбивається на вибірці спадом збіжності вибіркового середнього до математичного очікування. Наприклад, при розмірі вибірки m вибіркоче середнє \overline{Z}_m Парето розподіленої випадкової величини може значно відхилитися від математичного очікування, часто недооцінюючи його. Фактично модуль помилки $|\overline{Z}_m - M[Z]|$ аналогічний $m^{(1/\alpha)-1}$, і тому для значень α , близьких до 1, необхідно слідкувати враховувати, що висновки про мережеву продуктивність, пов'язані з помилкою вибірки, будуть невірними.

Слід також відмітити, що важкі хвости розподілу тісно пов'язані з поняттям тривалої пам'яті і ПУЗ процесу. Чим більше період спостереження активності з'єднання, тим вище ймовірність, що з'єднання не буде розірвано, тобто процес володіє персистентністю.

Мірою самоподібності процесу є параметр Херста, що є мірою стійкості статистичного явища, або мірою тривалості довгострокової залежності. Чим ближче значення H до 1, тим вище міра стійкості довгострокової залежності.

Одним із способів обчислення коефіцієнта H є аналіз так званої R/S статистики (нормованого розмаху).

Якщо прийняти, що ξ - щорічний рівень води в Нілі, тоді середній рівень води за τ років:

$$M[\xi] = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} \xi_i.$$

Тоді новий (кумулятивний) ряд, що представляє суму за час t щорічних коливань рівня Нілу відносно середнього $M[\xi]$:

$$X(t, \tau) = \sum_{i=1}^t (\xi_i - M[\xi]), 1 \leq t \leq \tau.$$

При цьому діапазон між максимальним і мінімальним значенням $X(t, \tau)$ за час τ позначається $R(\tau)$:

$$R(\tau) = \max(X(t, \tau)) - \min(X(t, \tau)), 1 \leq t \leq \tau. \quad (2.2)$$

Тоді R/S статистика визначається безрозмірним відношенням діапазону $R(\tau)$ до стандартного відхилення ξ :

$$R/S = \frac{R(\tau)}{S(\tau)} = \frac{R(\tau)}{\sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} (\xi_i - M[\xi])^2}}.$$

Херст показав, що для багатьох природних явищ справедлива залежність:

$$M \left[\frac{R(\tau)}{S(\tau)} \right] \sim c\tau^H, \tau \rightarrow \infty, \quad (2.3)$$

де c - додатна константа, яка не залежить від τ .

У випадку $0,5 < H < 1$ говорять про персистентність процесу, тобто процес має тривалу пам'ять. Це означає - якщо впродовж деякого часу у минулому спостерігалися додатні прирости процесу, тобто відбувалося збільшення, то і надалі в середньому відбуватиметься збільшення. Інакше кажучи, ймовірність того, що процес на $i+1$ кроці відхилиться від середнього в тому ж напрямі, що й на i кроці настільки велика, наскільки параметр H близький до 1. Вважається [4]), що ця властивість характерна для багатьох процесів, у тому числі, мережного трафіку.

Якщо $0 < H < 0,5$ говорять про антиперсистентність процесу. Тут високі значення процесу йдуть за низькими, і навпаки. Ймовірність того, що на $i+1$ кроці процес відхилиться від середнього в протилежному напрямі (по відношенню до відхилення на i кроці) настільки велика, наскільки параметр H близький до 0.

При $H = 0,5$ відхилень процесу від середнього є дійсно випадковими і не залежать від попередніх значень.

Саме властивість персистентності дозволяє застосовувати для моделювання і прогнозування самоподібних рядів авторегресійні моделі виду

$$X_n = \varphi_0 + \sum_{r=1}^p \varphi_r \cdot X_{n-r} + \varepsilon_n, \quad (2.14)$$

де φ_i - константи, ε_n – некорельовані випадкові змінні (білий шум) з нульовим середнім. Вираз (2.2) показує, як, знаючи минуле процесу, передбачити його майбутнє. Зокрема, отримали широке поширення такі авторегресійні моделі, як *ARMA* (процес ковзаючого середнього), *ARIMA* (інтегральний процес ковзаючого середнього) і *FARIMA* (фрактальний інтегральний процес ковзаючого середнього).

Вираз (2.3) може використовуватися для оцінки коефіцієнта H по часовому ряду. Для цього необхідно прологарифмувати обидві його частини

$$\log\left(M\left[\frac{R(\tau)}{S(\tau)}\right]\right) \sim H \cdot \log(\tau) + \log(c), \quad \tau \rightarrow \infty$$

і побудувати графік залежності

$$\log\left(M\left[\frac{R(\tau)}{S(\tau)}\right]\right) \text{ от } \log(\tau)$$

Нахил прямої, що апроксимує цю залежність, і є коефіцієнт Херста, що характеризує досліджуваний часовий ряд.

Самоподібність мережного трафіку характеризується тим, що пакети приходять на вузол комутації не окремо, з періодом, розподіленим за експоненціальним законом, як це характерно для пуассонівського потоку, а цілими групами. Відповідно, для якісного обслуговування потоку з такими властивостями слід передбачити підвищений об'єм буферної пам'яті, щоб пакети не втрачалися через обмежену чергу.

2.2.2. Модель сумарних потоків у мережах

Розглянемо модель процесу формування сумарного потоку в результаті накладення окремих потоків від різних джерел. Потоки трафіку в сучасних цифрових мережах з пакетною комутацією найчастіше мають самоподібний

характер [5]. Необхідно чітко розмежовувати поняття «потік трафіку» і «процес в мережі». Процеси в мережах:

- пошук оптимальних маршрутів;
- формування і регулювання потоків трафіку;
- встановлення і розрив з'єднання;
- організація обміну даними усередині автономного сегменту мережі;
- організація обміну даними між сегментами;
- процес хакерської атаки на мережу;
- процес захисту від атаки та ін.

Можна розглядати як потоки заявки на обслуговування у відповідному вузлі, мережевому або термінальному. Надалі розглядатимемо саме процеси в мережах як потоки заявок (ПЗ) в системі масового обслуговування.

Переважна більшість досліджень з теорії масового обслуговування виходить з припущення, що потік вимог, є простим. В той же час у ряді випадків початкові припущення, що послужили визначенням простого потоку, не витікають з розгляду фізичної картини явища. І дійсно, в деяких практичних завданнях спостерігаються відхилення істинних потоків від потоків простого типу. В силу різноманітності умов протікання реальних явищ такі відхилення мають бути правилом, а не виключенням. Проте виявляється, що великі розбіжності спостерігаються значно рідше, ніж це можна було б чекати, виходячи з апіорних міркувань.

Таким чином, разом із завданням з'ясування причин, в силу яких можуть з'являтися потоки, відмінні від простих, виникає і прямо протилежне завдання: пояснити, чому так часто простий потік добре узгоджується з характером реальних потоків. Відповіді на це питання присвячені декілька робіт: С. Пальма [6], А. Реньї [7], А. Я. Хінчіна [8], Г. А. Ососкова [9], Б. И. Григеліоніса [10].

Початковою моделлю досліджень [6-10] було припущення, що спостережувані потоки є сумами великого числа незалежних потоків малої інтенсивності, кожен з яких є ординарним і стаціонарним. Відносно відсутності післядії ніяких гіпотез не робилися. При дещо загальніших умовах завдання

розглядалося в [11]. За дуже широких умов відносно початкових потоків сумарні потоки будуть близькі до пуассонівських, у тому числі і до простих.

Сумарні потоки в обчислювальних мережах утворюються досить часто. Дійсно, потік, що надходить, на пограничний маршрутизатор автономного сегменту (АС) мережі є агрегованим потоком від різних джерел. Далі ситуація повторюється на більш високих рівнях, включаючи магістральні, регіональні і континентальні канали. Крім того, потік пакетів від кінцевого користувача до одного одержувача, що розділяється (з міркувань прискорення доставки) на декілька парціальних потоків, які проходять по різних маршрутах, на вході приймального устаткування одержувача також є сумою (парціальних) потоків.

Можна припустити, що імовірнісні характеристики такого потоку будуть відрізнятися від характеристик потоку користувача з самоподібними властивостями. За рахунок підсумовування великого числа потоків, може відбуватися деяке згладжування неоднорідності – на тлі підвищення середнього значення викиди стають менш помітні.

За визначенням, даним в [1], випадковий процес $x(t)$ є *ступінчастим*, якщо при $t > s > 0$ прирости $x(t) - x(s)$ можуть приймати лише від'ємні цілочисельні значення. Припустимо, що $x(0) = 0$; це відповідає тому, що процес почався лише в момент $t = 0$. Значення процесу $x(t)$ можна інтерпретувати як число деяких подій, що сталися до моменту t . Такими подіями можуть бути виклики абонентів, що надходять на телефонну станцію, пакети, що приходять на комунікаційний пристрій тощо

Припустимо

$$x_n(t) = \sum_{r=1}^{k_n} x_{nr}(t)$$

де $x_{nr}(t)$ – незалежні між собою ступінчасті процеси. Очевидно, що процес $x(t)$ також є ступінчастим.

Вважається, що послідовність процесів $x_n(t)$ сходиться при $n \rightarrow \infty$ до процесу $x(t)$, якщо функція розподілу векторів

$$\{x_n(t_1), x_n(t_2), \dots, x_n(t_k)\}$$

при будь-якому виборі k і t_1, t_2, \dots, t_k сходиться в кожній точці безперервності до значення функції розподілу вектору

$$\{\mathbf{x}(t_1), \mathbf{x}(t_2), \dots, \mathbf{x}(t_k)\}.$$

Поняття пуассонівського процесу $x(t)$ з провідною функцією $\Lambda(t)$ як процесу, який має незалежні прирости, і при усіх $s < t$ для будь-кого невід'ємного цілих k визначається таким чином

$$P\{x(t) - x(s) = k\} = \frac{[\Lambda(t) - \Lambda(s)]^k}{k!} e^{-[\Lambda(t) - \Lambda(s)]}$$

провідна функція $\Lambda(t)$ додатна, безперервна ліворуч, кінцева і $\Lambda(t) = 0$ при $t \leq 0$.

Використовуємо наступні позначення:

$$p_{nr}(k, t, s) = P\{x_{nr}(t) - x_{nr}(s) = k\}, \quad s < t, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$\Lambda_n(t, s) = \sum_{r=1}^{k_n} p_{nr}(1; t, s),$$

$$B_n(t, s) = \sum (1 - p_{nr}(0; t, s) - p_{nr}(1; t, s)).$$

Процеси $x_{nr}(t)$ ($r = 1, 2, \dots, k_n$) називають нескінченно малими, якщо при будь-якому фіксованому t

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \max_{1 \leq r \leq k_n} [1 - p_{nr}(0; t, 0)] = 0. \quad (2.4)$$

Тобто, процеси $x_{nr}(t)$ нескінченно малі, якщо для будь-кого $\varepsilon > 0$ і довільного фіксованого t можна вказати таке n , що для усіх ($r = 1, 2, \dots, k_n$)

$$P\{x_{nr}(t) > 0\} < \varepsilon.$$

Для збіжності сум $x_n(t) = \sum_{r=1}^{k_n} x_{nr}(t)$ незалежних и нескінченно малих випадкових процесів $x_{nr}(t)$ до процесу Пуассона з ведучою функцією $\Lambda(t)$ необхідно і достатньо, щоб при фіксованих s і t ($s < t$) були виконані співвідношення

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Lambda(t, s) = \Lambda(t) - \Lambda(s) \quad (2.5)$$

і

$$\lim_{n \rightarrow \infty} B_n(t, 0) = 0 \quad (2.6)$$

Доказ необхідності умов заснований на наступній позиції теорії підсумовування незалежних випадкових величин [1]. Якщо випадкові величини $x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nk_n}$ незалежні і нескінченно малі, тобто при будь-кому $\varepsilon > 0$ і $n \rightarrow \infty$

$$\sup_{1 \leq k \leq k_n} P\{|x_{nk}| > \varepsilon\} \rightarrow 0,$$

те, щоб функція розподілу сум

$$s_n = x_{n1} + x_{n2} + \dots + x_{nk_n}$$

при $n \rightarrow \infty$ сходилась до розподілу Пуассона

$$P(x) = \sum_{0 \leq k < x} \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda},$$

необхідно і достатньо виконання умов: при кожному ε ($0 < \varepsilon < 1$) і $n \rightarrow \infty$:

$$1. \sum_{k=1}^{k_n} \int_{R_\varepsilon} dF_{nk}(x) \rightarrow 0$$

$$2. \sum_{k=1}^{k_n} \int_{|x-1| < \varepsilon} dF_{nk}(x) \rightarrow \lambda$$

$$3. \sum_{k=1}^{k_n} \int_{|x| < \varepsilon} x dF_{nk}(x) \rightarrow 0$$

$$4. \sum_{k=1}^{k_n} \left[\int_{|x|<\varepsilon} x^2 dF_{nk}(x) - \left(\int_{|x|<\varepsilon} x dF_{nk}(x) \right)^2 \right] \rightarrow 0$$

Введено позначення: $F_{nk}(x) = P\{x_{nk} < x\}$, R_ε – область, яку отримують з нескінченної прямої шляхом відкидання з неї відрізків $|x| < \varepsilon$ і $|x-1| < \varepsilon$.

В теоремі слід припустити

$$\lambda = \Lambda(t) - \Lambda(s), \quad \int_{|x-1|<\varepsilon} dF_{nk}(x) = p_{nk}(1; t, s),$$

$$\int_{R_\varepsilon} dF_{nk}(x) = 1 - p_{nk}(0; t, s) - p_{nk}(1; t, s)$$

Таким чином, перша і друга умови сформульованої теореми в точності співпадають з умовами (2.5) і (2.6). Третя і четверта умови теореми для ступінчастих процесів виконуються автоматично, оскільки у відрізку $|x| < \varepsilon$ їх функції мають єдину точку зростання $x = 0$.

Необхідність теореми витікає, з того, якщо сходяться процеси, то повинні сходитися їх одновимірні розподіли.

Достатність витікає з того, що умовами (2.4)-(2.6) забезпечуються як асимптотична незалежність приростів процесу $x_n(t)$, так і збіжність одновимірних розподілів до відповідних пуассонівських. Втім, збіжність витікає з теореми і зі встановленої тотожності умов цієї теореми з умовами (2.4) -(2.6). При доказі достатності використані основні теореми теорії характеристичних функцій.

У нестационарному випадку функція $\Lambda(t_0, t)$ рівна середньому числу вимог потоку, що надходять за проміжок (t_0, t) :

$$\mu(t_0, t) = \sum_{k=0}^{\infty} k p_k(t_0, t) = \Lambda(t_0, t)$$

Миттєва інтенсивність потоку $\mu(t_0)$ визначається як межа $\mu(t_0) = \lim_{t \rightarrow t_0} \frac{\mu(t_0, t)}{t - t_0}$. Із

визначення функції $\Lambda(t_0, t)$ слідує, якщо $t_0 < \tau < t$, то $\Lambda(t_0, t) = \Lambda(t_0, \tau) + \Lambda(\tau, t)$.

Теорема. Якщо відомо, що у відрізок часу (t_0, t) потрапили n вимог ординарного потоку без післядії, то кожна з вимог розташовується в цьому відрізку незалежно від інших, і ймовірність того, що вони потрапить у відрізок

$$(a, b) \quad (t_0 \leq a < b \leq t), \text{ рівна } \frac{\Lambda(a, b)}{\Lambda(t_0, t)}.$$

До потоків, які мають яскраво виражену періодичність, відносяться, наприклад, потоки викликів на телефонну станцію, потоки пакетів на вхідний порт маршрутизатора тощо. В цьому випадку істотна періодичність протягом доби. Часто доводиться зустрічатися з потоками, параметр яких $\lambda(t)$ прямує з ростом t до постійного значення λ . Іншим прикладом є потік з параметрів

$$\lambda(t) = 2\lambda \sin^2 at = \lambda(1 - 2\cos 2at).$$

Середня інтенсивність потоку за проміжок часу (t_0, t) дорівнює

$$\mu(t_0, t) = \lambda \left[1 - \frac{\sin a(t - t_0)}{a(t - t_0)} \cos a(t + t_0) \right].$$

У розглянутому прикладі середня інтенсивність із зростанням проміжку часу до нескінченості прагне до постійного значення λ . Цей висновок справедливий для будь-яких періодичних функцій $\lambda(t)$.

Складання систем диференціальних рівнянь, аналогічних рівнянням для простого потоку $\frac{dP_k(t)}{dt} = -\lambda P_k(t) + \lambda P_{k-1}(t)$, в даному випадку може бути легко виконано і для довільного простого нестационарного потоку:

$$\frac{dP_k(t_0, t)}{dt} = -\lambda(t_0, t) P_k(t_0, t) + \lambda(t_0, t) P_{k-1}(t_0, t).$$

Потік називається *сингулярним пуассонівським*, якщо йому притаманні наступні властивості.

1. Події потоку можуть наставати тільки в заздалегідь визначені моменти часу t_i ($i = 1, 2, \dots$), а числа подій, що відбуваються в різні моменти t_i , є взаємно незалежними випадковими величинами.

2. Ймовірність настання k подій в момент t_i рівна

$$e^{-\alpha_i} \frac{\alpha_i^k}{k!} \quad (\alpha_i > 0, k = 0, 1, 2, \dots)$$

3. Ряд $c(t) = \sum_{0 < t_i < t} \alpha_i$ сходиться при будь-якому $t > 0$.

Легко підрахувати, що функція цього потоку, має вигляд

$$\Gamma(x; \alpha, \beta) = \exp[c(\beta) - c(\alpha)](x-1)$$

За вказаною функцією $\Lambda(t)$ визначимо точки її розриву t_1, t_2, \dots , величини стрибків $\alpha_i = \Lambda(t_i + 0) - \Lambda(t_i - 0)$ і функції

$$c(t) = \sum_{0 < t_i < t} \alpha_i; \quad \Lambda_1(t) = \Lambda(t) - c(t)$$

Функція $\Lambda_i(t)$ неперервна при всіх значеннях t . Побудуємо випадковий процес з функцією

$$\Phi(x; \alpha, \beta) = \exp[\Lambda_1(\beta) - \Lambda_i(\alpha)](x-1)$$

Цей процес є пуассонівським без післядії. Він ординарний в тому сенсі, що при будь-яких $t > 0$ і $\varepsilon > 0$ знайдеться таке $\delta > 0$, що для $0 < \alpha < \beta < \alpha + \delta < t$ справедлива нерівність $\pi_2(\alpha, \beta) \leq \varepsilon \pi_1(\alpha, \beta)$. Такі процеси А.Я. Хінчін назвав *регулярними*.

Отже будь-який пуассонівський потік без післядії є сумою двох незалежних потоків без післядії, один з яких пуассонівський регулярний, а інший - пуассонівський сингулярний. Як показав Хінчін, ця властивість є характеристичною.

Отже, якщо на вхід формувача трафіку, що знаходиться на межі автономного сегменту мережі, надходить декілька парціальних потоків з інтенсивностями одного порядку, результуючий потік прямуватиме до пуассонівського потоку з

провідною функцією $\Lambda(t)$, яка фізично є асимптотичною оцінкою суми параметрів $\lambda_i(t)$ парціальних потоків.

2.2.3. Статистичні характеристики проріджених потоків вимог у ККМ

У ряду практичних задач доводиться стикатися з ситуацією, коли первинний потік вимог, проходячи через ряд послідовних обслуговуючих приладів, втрачає деяку частину своїх елементів. Так формуються розріджені або рідіючі потоки. Зокрема, поява потоків цього виду в мережах обумовлена тим, що на шляху від джерела до одержувача повідомленню доводиться долати значну кількість проміжних вузлів. При значному завантаженні мережі може скластися ситуація, коли встановлений час життя окремого пакету (*TTL - Time To Live*) збігає раніше, ніж він устигає досягти адресата. Пакет знищується (не передається на вихідний порт) прямо на проміжному вузлі, тобто із загального потоку на вході комунікаційного пристрою виходить деякий проріджений потік на виході.

Характеристики такого потоку залежатимуть від співвідношення коефіцієнта завантаження мережі і встановленого значення *TTL* пакету. Очевидно, що збільшення коефіцієнта завантаження при незмінному значенні *TTL* приведе до збільшення ймовірності вилучення заявки з потоку на вході комунікаційного пристрою. І, відповідно, збільшення значення *TTL* при підвищенні коефіцієнта використання мережі дозволить зменшити ймовірність відкидання пакету. Відносно імовірнісних розподілів в [1] висловлюється припущення, що за широких умов рідіючий потік наблизатиметься до пуассонівського. Крім того, А. Реньї [7] довів, що так перетворюваний потік дійсно прямує до простого.

Рідіючим (розрідженим) потоком називається потік, отриманий з початкового потоку шляхом випадкового видалення з нього подій з постійною ймовірністю q . Іншими словами, подія початкового потоку залишається в розрідженому з ймовірністю $p = 1 - q$. Слід розрізнити операцію детермінованого "просіювання", за допомогою якої виходять потоки Ерланга, і операцію випадкового розрідження.

Стосовно обчислювальних мереж, як правило, розглядають випадкове розрідження початкового потоку.

Гранична теорема Реньї твердить, якщо до будь-якого потоку A відновлення з кінцевою інтенсивністю λ послідовно застосувати перетворення $T_{q_1}, T_{q_2}, T_{q_3} \dots$ і при $n \rightarrow \infty$ $Q_n = q_1 q_2 \dots q_n \rightarrow 0$, то потік $T_{q_n}, T_{q_{n-1}} \dots T_{q_1}$ прямує при $n \rightarrow \infty$ до найпростішого потоку з тією ж інтенсивністю λ .

Таким чином, основні властивості рідіючих потоків полягають в наступному.

1) Якщо послідовно розріджувати початковий стаціонарний ординарний потік Пальма з ймовірністю p_1, p_2, \dots, p_n , то багаторазово розріджений потік прямує до пуассонівському при $n \rightarrow \infty$.

2) Інтенсивність розрідженого потоку λ_p дорівнює інтенсивності початкового потоку, помноженій на ймовірність збереження події в потоці, тобто $\lambda_p = p\lambda$, де p – коефіцієнт прорідження потоку заявок.

Тоді середня інтенсивність прорідженого потоку заявок за проміжок часу (t_0, t) може бути розрахована за виразом

$$\mu(t_0, t) = \lambda_p \left[1 - \frac{\sin a(t - t_0)}{a(t - t_0)} \cos a(t + t_0) \right].$$

Середня інтенсивність із зростанням проміжку часу до нескінченості прагне до постійного значення λ .

2.2.4. Марковані потоки вимог в ККМ

У сучасних мережах виникає необхідність обслуговування різнорідного трафіку (дані, голос, відео) із заданим рівнем якості QoS . Кожен з цих видів трафіку пред'являє свої вимоги до мережі. Наприклад, для передачі так званого «еластичного» трафіку (даних) критична втрата порції інформації (пакетів), але не накладається суворих обмежень на час доставки. Якісна передача «нееластичного» трафіку (потокового відео, голосу), навпаки, вимагає дотримання допустимих меж зміни затримки передачі (джитера), а незначна

втрата інформації може бути відновлена за допомогою спеціальних алгоритмів на приймаючій стороні. Тому при одночасній передачі даних і відео по одній мережі, природно віддати вищий пріоритет в обслуговуванні терміновим пакетам «нееластичного» трафіку. Одним з механізмів забезпечення *QoS* є маркування потоків і, відповідно, їх пріоритетне обслуговування на комунікаційних пристроях.

У загальному випадку потік вимог містить заявки декількох типів, є маркованим, причому вимоги першого типу обслуговуються поза всякою чергою, якщо тільки в черзі немає вимог того ж типу. По відношенню до вимог третього і наступного типів правом переваги користуються заявки другого типу і так далі.

Наявність пріоритетів у вимог має велике значення [12]. Вимоги з різними пріоритетами утворюють потоки з однаковими або різними розподілами. В межах цього пріоритету вимоги надходять на обслуговування в один або більше число каналів за принципом «першим прийшов — першим вийшов».

При вирішенні задачі для системи з пріоритетами виникають питання, пов'язані з вартістю обслуговування, які необхідно включати в модель. Може виявитися необхідним мінімізувати загальну вартість часу очікування, вартість часу простою обслуговуючого пристрою і вартість перерваного обслуговування.

Обслуговування з пріоритетом буває двох типів: з *перериванням* обслуговування заявки з нижчим пріоритетом, якщо надійшла вимога вища за рангом; *без переривання*, у такому разі вимога старшого рангу не перериває вже початих обслуговувань, але стає попереду усіх вимог нижчого рангу. Стосовно мереж доцільний розгляд другого варіанту пріоритетного обслуговування, тобто без переривання.

Отже, розглядаючи марковані потоки можна виділити наступні випадки.

1) Потік вимог з *однаковим пріоритетом*. Результат слід розглядати як суму парціальних незалежних потоків малої величини. Тобто, незалежно від характеристик початкового потоку, при $n \rightarrow \infty$ отримуємо пуассонівський потік.

2) Потоки з *різними пріоритетами*. У такому разі справедливо буде правило для складання потоків з провідними функціями, що значно

відрізняються. Інтенсивність пріоритетного потоку буде вища, тому можна вважати, що для результуючого потоку будуть характерні властивості початкового з найвищим пріоритетом. Якщо початкові потоки розрізняються інтенсивністю, то властивості сумарного потоку будуть близькі до потоку з найвищою інтенсивністю. Якщо при рівній інтенсивності потоки розрізняються властивостями, то швидкість збіжності сумарного до простого визначатиметься коефіцієнтом самоподібності.

Імовірнісні характеристики результуючого потоку залежать від інтенсивностей і статистик кожного з потоків, тому необхідно проводити експериментальні дослідження.

В загальному випадку сумарний маркований потік випадкових процесів з різною інтенсивністю $x_i(t)$ – потік вимог з i -тим пріоритетом, $i = 1 \dots 7$ збігається

$$\text{до } x_n(t) = \sum_{i=1}^k x_i(t), \quad k = 1 \dots 7.$$

2.3. Методи моделювання потоків вимог у ККМ

Методи моделювання потоків вимог застосовують як для опису інтенсивності мережного трафіку, так і для процесів обслуговування заявок в маршрутизаторі. Зазначені моделі можна розділити на три групи: моделі, засновані на стані, моделі на основі часових рядів, моделі на основі даних спостереження (рис. 2.2) [13].

1. *Моделі, засновані на стані (моделювання стану мережного елемента).* Існують два різні методи в моделюванні: процес генерації вимог модулюється кінцевим числом станів або процес генерації вимог моделюється безпосередньо.

1.1. *Процеси з модуляцією* передбачають, що кінцеве число станів модулює очікувану швидкість (середню величину) основного процесу. Передбачається, що кінцеве число станів має марківські або напівмарківські властивості. Моделі джерел цього класу розрізняються в наступних аспектах.

1.1.1. *За типом розподілу часу перебування.* У більшості моделей приймається, що час перебування в певному стані підпорядковується від'ємному

експоненціальному розподілу. Однак це не завжди справедливо. Крім того, воно не завжди може бути описане, як незалежне від попереднього стану. В цьому випадку джерела моделюються групами станів, які можуть мати розподіл Коксу, ерлангівський або гіперерлангівський.

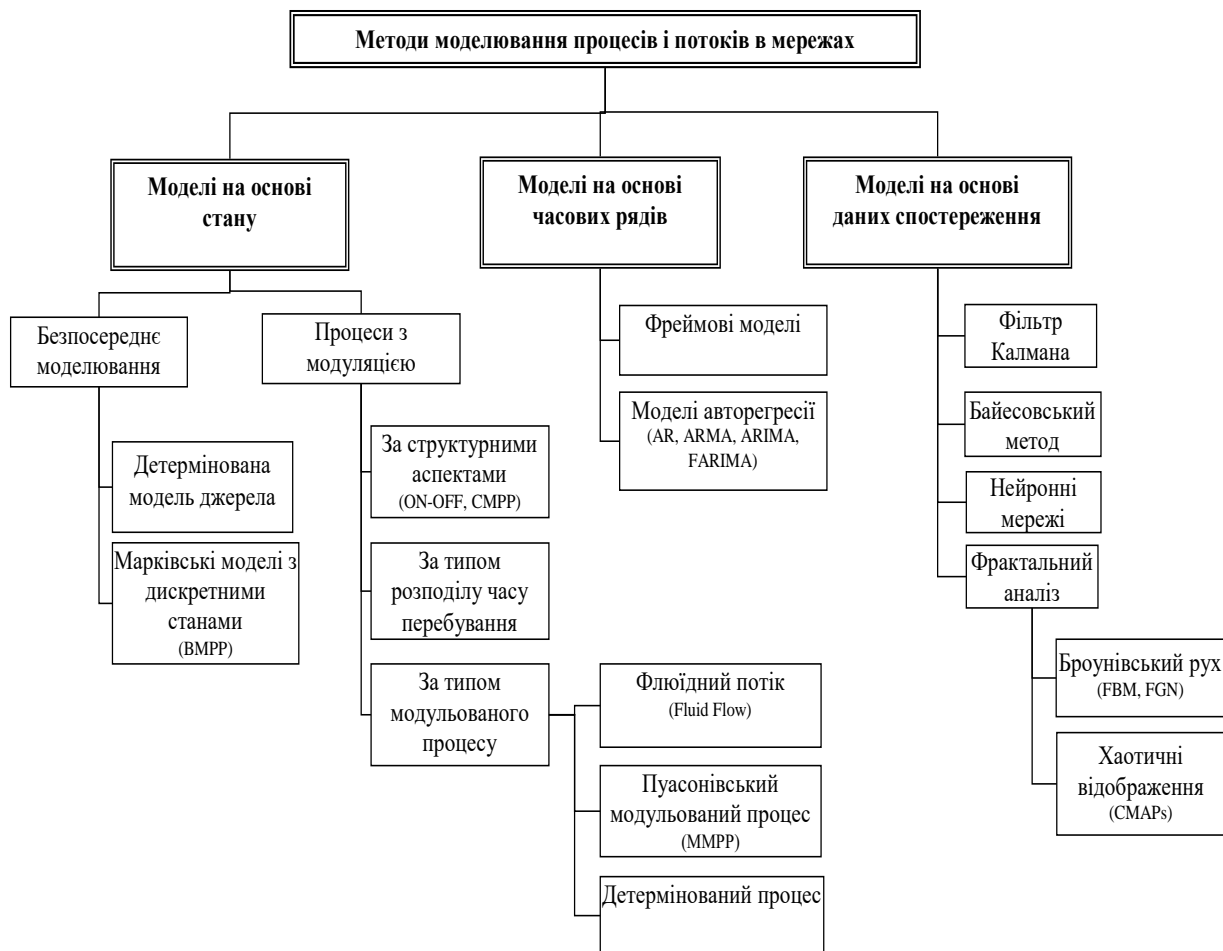


Рис. 2.2. Класифікація методів моделювання трафіку

1.1.2. *За типом модульованого процесу* розрізняють такі моделі.

- Модульований процес часто (з міркувань простоти математичної обробки) вибирається пуассонівським. При цьому вимоги генеруються незалежно від усіх попередніх вимог при постійній швидкості, яка визначається модулятором. Якщо час перебування вибрано відповідно до від'ємного експоненціального розподілу, цей вид стохастичного процесу розглядається як пуассонівський процес, що модулюється харківським (MMPP - Markov Modulated Poisson Process).

- Детермінований процес складніше обробляється математично, ніж

пуассонівський, проте, він у багатьох випадках краще відображає нижні рівні моделі джерела (наприклад, рівень вимог або пачки).

- Флюїдний потік (Fluid Flow) вимог джерела апроксимується безперервним флюїдом, який "втікає" в систему, тобто в моделі не вивчаються окремі вимоги. Цей тип моделі націлений, в основному, на математичний аналіз системи.

1.1.3. *За структурними аспектами моделі.* Останньою властивістю, яка відрізняє різні типові моделі джерела, є розмір і структура простору стану. Часто вводять обмеження, щоб зменшити число параметрів і збільшити легкість математичної обробки. Ефективною є модель з двома станами типу ON-OFF, в якій вимоги формуються в період ON і не формуються в період OFF. Активність джерела часто моделюється як ланцюг, тобто одновимірна структура, де кожен наступний стан залежить від попереднього, але не більше раннього стану. Модель цього типу носить назву мульти-мини-источника (multi-mini-source model). Таке джерело може бути розглянуте як об'єднання M незалежних ON - OFF джерел з середніми ON - і OFF - періодами $1/\alpha$ і $1/\beta$ відповідно і зі швидкістю λ в ON-періоді. Незважаючи на її простоту, ця модель добре відображає деякі з характеристик, наприклад, джерела з VBR (variate bit rate). Проте, вона не здатна відбити періодичності (наприклад, кадрову), властиві джерелу з VBR. Для таких випадків розроблені процедури, названі циклічними ланцюгами, наприклад, - циклічний модульований пуассонівський процес (CMPP - Cyclic Modulated Poisson Process).

1.2. *Моделювання процесу генерації вимог безпосередньо* передбачає, що рівень вимог моделюється прямо.

1.2.1. Найпростіше реалізується за допомогою марківської моделі дискретного часу з дискретними станами. Один часовий крок дорівнює одному періоду вимоги. Процес Бернуллі є найпростішим з них. У моделі, де пуассонівський процес, модулюється процесом Бернуллі (BMPP - Bernuli Modulated Poisson Process) вимога надходить з постійною ймовірністю p . Прибуття/генерація вимоги не залежить від попереднього прибуття/генерації. Це

відповідає геометрично ідентичним і незалежно розподіленим періодам між надходженнями вимоги з середнім $1/p$. Ця модель популярна завдяки легкості математичної обробки і широко використовується, попри те, що не існує фізично обґрунтованої мотивації, чому течія вимог повинна мати саме цю характеристику.

1.2.2. Детермінована модель джерела є спеціальним класом моделей, в якій вимоги джерела завжди мають одні і ті ж інтервали між надходженнями. Цей клас використовується, щоб моделювати джерела з CBR (constant bit rate). Фази між надходженнями вимог з різних джерел визначають затримки буферизації і можливі втрати вимог в системі.

2. *Моделі, засновані на часових рядах.* Ці моделі найбільш поширені при моделюванні відео джерел з VBR.

2.1. *Фреймові моделі,* в яких інформаційний потік джерела може бути змодельований як часовий ряд, де, наприклад, очікуване число біт у вигляді фреймів визначається числом біт в попередньому фреймі.

2.2. *Модель авторегресії* є простою моделлю, орієнтованою на часові ряди, яка пов'язана з моделлю, орієнтованою на стан. У вищезгаданих моделях передбачається, що вимоги з одного фрейма рівномірно розподілені на періоді фрейма, і що усі фрейми закодовані подібно. Основні моделі цього класу: AR - чиста авторегресійна модель; ARMA - модель авторегресії ковзаючого середнього; ARIMA - модель авторегресії проінтегрованого ковзаючого середнього; FARIMA - дробово-інтегрована модель авторегресії ковзаючого середнього.

Пакетизовані дані через пачковість характеру і нелінійну природу особливо складно моделювати і прогнозувати з використанням традиційних моделей. Виміри трафіку, зібрані за великий період у багатьох країнах світу [13, 14], були використані для отримання статистичних характеристик, необхідних для вироблення стратегій управління мережею. В результаті проведених досліджень з'явилася можливість порівнювати раніше використовувані аналітичні моделі і підходи теорії черг з моделями, заснованими на вимірах реального трафіку, в силу чого непридатними були визнані раніше використовувані моделі. Для вирішення

цієї задачі застосовуються альтернативні ("нетрадиційні") техніки моделювання, такі як: калмановський фільтр, байесовський метод, апарат нейронних мереж і нечіткої логіки, фрактальний аналіз [16-18].

3. Моделі, засновані на даних спостереження (моделювання потоків в мережах – трафіку)

3.1. *Байесовський метод*. Для управління мережею важливим параметром є пікова і середня інтенсивність трафіку. На практиці ймовірність отримання середнього різних типів викликів при їх надходженні незначна. Згадана проблема і проблема врахування нелінійної природи трафіку є фундаментальними при побудові генеральної моделі потоку трафіку. Байесовська теорія пропонує вирішення цих проблем без необхідних припущень про характер процесу прибуття (тобто, пуассонівський процес або процес Бернуллі). Нелінійності моделюються в потоці бета - розподілом $B(\alpha, \beta)$, де розподіл змінює форму, коли змінюються параметри α і β . Рішення ґрунтується на функції, яка вказує, чи є вимога прийнятою або відкинutoю. Рішення може бути задане у вигляді залежності $S_n = \sum_i \frac{N_i}{a_i}$, де N_i - ширина смуги на виклик, a_i - пікова швидкість

вимоги на виклик. N_i і a_i містять апріорну інформацію про джерело трафіку в деякий час і визначають очікувану міру точності. Недоліком байесовського методу є те, що оцінки, підібрані та оптимізовані для деякого джерела трафіку, призводять до нестійкості рішення. Через це байесовський метод дозволяє створювати дуже точні моделі потоку трафіку, до тих пір, поки джерело істотним чином не змінить свої характеристики, і є потужним інструментом для опису нелінійного або пачкового трафіку. Це положення забезпечує успіх згаданого методу у порівняння із звичайним методом, подібним *ММРР*.

3.2. *Фільтр Калмана* довгий час розглядався, в основному, як метод для моделювання і рекурсивного передбачення поведінки динамічних систем. Останнім часом робилися спроби використати фільтр Калмана для передбачення інтенсивності голосового трафіку на один крок вперед за часом, заснованого на попередній інтенсивності трафіку і середньому спостережуваного трафіку.

Проблемою у використанні фільтру Калмана є вибір методу моделювання нестационарної і нелінійної системних динамік. Ця проблема може бути розв'язана на основі відомого методу *Box'a* і *Jenkns'a*. Результати, отримані для голосового трафіку в реальному масштабі часу дали задовільні результати [15]. Основним недоліком цього методу є недолік стійкості фільтрів Калмана.

3.3. *Нейронні мережі і системи з нечіткою логікою* можуть служити прикладами алгоритмів, які пристосовані до адаптивних моделей з високою нелінійністю процесів при мінімумі апріорних припущень. Метод нечіткої логіки має дві переваги: стійкість до шумів і здатність до самонавчання. Ряд авторів [15] базують фазу навчання свого алгоритму на методі побудови нечітких відношень за допомогою адаптивної кластеризації. Нечіткі відношення розглядаються при цьому в якості аналога функції передачі системи. Після фази навчання використовуються нечіткі правила разом із спостережуваними величинами для прогнозування майбутніх параметрів трафіку. Метод використовувався для демонстрації ефективності моделювання пачкового відео трафіку в пакетній мережі [15, 16].

Проте, незважаючи на досить високу міру точності оцінювання, для усіх вищеповисаних нетрадиційних методів потрібні апріорні припущення. В той же час використання моделей пакетного трафіку переважно ігнорує питання фізичної основи. В результаті для складних моделей трафіку необхідно велике число параметрів, при цьому не забезпечуючи глибокого моделювання динаміки трафіку, спостережуваного в реальних мережах.

3.4. *Фрактальний аналіз*. Зважаючи на самоподібну природу мережного трафіку з'явилася необхідність у теоретичній основі для істотних характеристик структури реального мережного трафіку. До таких характеристик відносяться довготривала залежність, повільно спадаюча дисперсія, розподіли з «важкими хвостами», фрактальні характеристики. Знайшов розвиток підхід [4], що забезпечує просте пояснення самоподібності пакетного, генерованого парою джерело-одержувач. Суперпозиція багатьох джерел типу ON - OFF з ефектом нескінченної дисперсії, проявляється в самоподібному агрегованому трафіку. Це

призводить до високозмінних періодів ON - OFF, які з деякою ймовірністю можуть бути дуже великими. Математично для розрахунку використовуються розподіли з «важкими хвостами» і параметром Херста в межах від 0,5 до 1.

3.5. *Хаотичні відображення* - одна з перших моделей для моделювання самоподібного трафіку. Хаос - це явище, яке описується детермінованим процесом, причому такий опис виникає при аналізі навіть досить простих нелінійних динамічних систем. При описі системи задаються її початковий стан і динамічні закони, що описують її роботу, тобто процес зміни стану в часі. Хаос (стохастична на вигляд поведінка) виникає внаслідок залежності траєкторії змін станів системи від початкових умов. Якщо $f(x)$ - хаотичне відображення і існують дві траєкторії з майже однаковими початковими умовами x_0 та $x_0 + \varepsilon$ то залежність від початкових умов може бути визначена у вигляді $|f^N(x_0 + \varepsilon) - f^N(x_0)| = \varepsilon e^{N\lambda(x_0)}$, де N - номер стану системи. Інакше кажучи, траєкторії, що починаються від довільно близьких початкових умов, і можуть розходитися з експоненціальною інтенсивністю. Параметр λx_0 , що описує експоненціальне розходження, називається показником Ляпунова, причому для того, щоб відображення було хаотичним, він має бути позитивним "майже для усіх" x_0 . Основна передумова класичного аналізу динамічних систем полягає в тому, якщо відомі початкові умови, подальша поведінка системи може бути визначена для усіх моментів часу. На практиці початкові умови можуть бути задані лише з деякою кінцевою точністю. Такого роду невизначеність в початкових умовах росте за експоненціальним законом, що і робить непередбачуваними довгострокові характеристики подібних систем. Моделювання навантаження систем цифрової передачі може здійснюватися за допомогою кусково-лінійного і переривчастого відображення. Навіть, якщо пакетне навантаження є дуже нерегулярним і пачковим, надається можливість побудови простих нелінійних моделей першого або другого порядку, які дозволяють здолати багато труднощів. Моделювання може здійснюватися за умови, що джерело генерує пачку пакетів при піковій швидкості (що відповідає стану ON), коли змінна стану вище порогу, і не генерує ніяких пакетів, коли вона нижча порогу (стан OFF). Використовуючи відповідний

вибір $f(\cdot)$ можна моделювати розподіл часу перебування або з "легким хвостом", або з "важким хвостом" з нескінченною дисперсією в ON - і OFF - станах.

Моделювання процесу часткового броунівського руху (FBM fractional Brownian motion process) з Херст-параметром в межах $0,5 \div 1$. Це процес гауса з нульовим середнім і стаціонарними інкрементами і коваріаційною структурою: $Cov[Z(t), Z(s)] = \sigma^2 / 2 (t^{2H} + s^{2H} - |t - s|^{2H})$. В особливому випадку, коли $H=0,5$, $Z(t)$ є стандартний броунівський рух. Самоподібні властивості $Z(t)$ ґрунтуються на факті, що $Z(\alpha t)$ ідентичний по розподілу з $\alpha^H Z(t)$. Інкрементний процес $X(k) = Z(k+1) - Z(k)$. $K \geq 0$ називається частковим шумом гауса (FGN – fractional Gaussian noise) і є стаціонарним (дискретно-часовим) процесом гауса з автокореляційною функцією $r(k) = 1/2 (|k+1|^{2H} - 2|k|^{2H} + |k-1|^{2H})$, $k \geq 1$. Асимптотично $r(k) \approx H(2H)|k|^{-2H-2}$, тобто демонструє довготривалу залежність. Експериментальним аналізом було показано [4], що FBM - модель "суворо самоподібного трафіку", наприклад, трафіку даних в мережах Ethernet.

2.4. Методи прогнозування нестаціонарних потоків в ККМ

Для процесів, які відбуваються у корпоративних комп'ютерних мережах (наприклад, передача трафіку) характерна значна нестаціонарність. Особливістю трафіку комп'ютерних мереж є характерна значна неоднорідність, присутні значні викиди на фоні невеликого середнього значення [16, 18].

Відповідно, для прогнозування на майбутні періоди, а при можливості - для попередження входження комп'ютерної мережі до перевантаженого стану, необхідні потужні статистичні методи моделювання.

Особливістю процесів у комп'ютерних мережах, що розглядаються, є саме їх раптовість, яка виникає через відсутність апіорної інформації. Адекватною моделлю для прогнозування процесів та потоків у мережах могла б служити модель типу спалаху білого шуму. Але внаслідок надширокої смуги такого

процесу він не дає практичних висновків для прийняття оперативних та коректних управлінських рішень.

Прагнення побудувати адекватну модель реальних процесів та необхідність підвищення якості прогнозів ведуть до модифікацій вже існуючих моделей та до появи нових класів моделей. Слід також враховувати слабкі місця та обмеження вже існуючих моделей.

Дослідженню характеристик процесів та потоків у комп'ютерних мережах та математичним методам їх моделювання присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених. У роботах [13, 18, 19, 20] висвітлено результати експериментального дослідження трафіку різних мереж та масштабів. Показано, що трафік є самоподібним зі значними викидами, інтенсивність яких напряму пов'язана з показником самоподібності - з параметром Херста. У роботі [21] авторами запропоновано моделювання трафіку на основі диференціальних рівнянь коливних процесів.

Математичні моделі для процесів із раптовими змінами, як у комп'ютерних мережах, можуть будуватися, наприклад, на основі теорії викидів випадкових процесів [22] або методами теорії марковських процесів [23]. Однак ці теорії, при досить високому степеню абстракції рідко дають практичні результати, які можна було б застосовувати для досягнення реальних цілей та керування мережами.

Основні напрямки робіт вітчизняних та зарубіжних вчених спрямовані на побудову адекватних математичних моделей часових рядів [24-26]. Ці моделі будуються з використанням результатів теорії системного аналізу та теорії конфлікту [27, 28].

Для прогнозування нестационарних процесів у більшості робіт використовують регресійні моделі з урахуванням тренду різних видів [29, 30]. Однак при цьому не враховуються суттєві обмеження результатів прогнозування на основі тренду. У якості тренду зазвичай беруть поліноміальну модель, але його проектування на великий термін в майбутнє буде, очевидно, небезпечним, так як рано чи пізно змінна повинна стабілізуватися, а ніякий поліном не може мати

горизонтальної асимптоти. Крім того, виділення тренду і сезонної складової слід здійснювати за допомогою ітераційного процесу, що передбачає, по крайній мірі, дві оцінки кожного компонента. В результаті обсяг обчислень буде, як правило, значним навіть для швидкодіючих ЕОМ [25].

Поліном навіть високого степеню не дає гарного прогнозу. У всякому разі, його можна використовувати в цій якості лише для прогнозування на незначний час (наприклад, декілька хвилин для комп'ютерної мережі). Для прогнозування значень, розташованих на значному віддаленні (години), цей поліном зростає, причому зростає і його похідна. Відповідно, зростає й похибка прогнозу [26].

Усунути вказані недоліки може дати можливість апроксимація дробово - раціональними функціями або так звана апроксимація Паде [31]. На відміну від поліноміальної апроксимації, при якій поліном не може мати горизонтальної асимптоти, раціональна апроксимація гарантовано прагне до горизонтальної асимптоти (при цьому, звичайно, усі полюси дробово-раціональної функції повинні лежати у лівій частині p -площини, тобто площини перетворення Лапласа).

Розглянемо особливості апроксимації Паде та можливості її застосування для моделювання та прогнозування часових рядів, які представляють собою процеси та потоки в комп'ютерних мережах.

Відновлення функції по степеневому ряду за допомогою апроксимації Паде. Апроксимація Паде представляє функцію у вигляді відношення двох поліномів. Використовуючи апроксимацію Паде за допомогою раціональної (точніше, дробово-раціональної) функції, можна позбутися обмежень, пов'язаних з розкладанням у ряд Тейлора [31].

Поки вважаємо функцію, що підлягає апроксимації, функцією дійсної змінної. Слідуючи Бейкеру [31], конкретизуємо коефіцієнти поліномів. Очевидно, вони визначаються коефіцієнтами розкладання функції в ряд Тейлора. Таким чином, якщо задано розкладання в степеневий ряд виду

$$f(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} c_i x^i, \quad (2.7)$$

то апроксимація Паде є раціональною функцією виду

$$\frac{a_0 + a_1x + \dots + a_L x^L}{b_0 + b_1x + \dots + b_M x^M}, \quad (2.8)$$

розкладання якої в ряд Тейлора співпадає з розкладанням (2.7).

Функція (2.8) має $L+1$ коефіцієнтів у чисельнику та $M+1$ коефіцієнтів у знаменнику. Весь набір коефіцієнтів визначається з точністю до загального множника. Для спрощення можна прийняти один з постійних членів (a_0 або b_0) рівним одиниці, оскільки це не впливає на динамічні властивості процесу, який підлягає апроксимації. Прийmemo для визначеності $b_0 = 1$. Тоді матимемо $L+1$ вільних членів у чисельнику та M у знаменнику дробу (2.8), тобто $L+M+1$ вільних членів всього. Тоді коефіцієнти розкладання функції $[L/M]$ у ряд Тейлора при степенях $1, x, x^2, \dots, x^{L+M}$ повинні співпадати з відповідними коефіцієнтами ряду (2.7). Звідси випливає очевидне співвідношення

$$\sum_{i=0}^{\infty} c_i x^i = \frac{a_0 + a_1x + \dots + a_L x^L}{b_0 + b_1x + \dots + b_M x^M} + O(x^{L+M+1}). \quad (2.9)$$

Помножимо функцію (2.9) на знаменник дробу. Знаходимо, що

$$\begin{aligned} (b_0 + b_1x + \dots + b_M x^M) \cdot \sum_{i=0}^{\infty} c_i x^i &= (b_0 + b_1x + \dots + b_M x^M) \cdot (c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots) = \\ &= a_0 + a_1x + \dots + a_L x^L + O(x^{L+M+1}). \end{aligned} \quad (2.10)$$

Прирівнюючи коефіцієнти при $x^{L+1}, x^{L+2}, \dots, x^{L+M}$, отримаємо очевидні рівності

тому випадку, коли система рівнянь (2.12) має стійкий розв'язок. Умови отримання стійкого розв'язку також розглядатимуться нижче.

Коефіцієнти членів ряду Тейлора, в який розкладається функція $f(x)$ по степеням $1, x, x^2, \dots, x^{L+M}$, співпадають з відповідними коефіцієнтами ряду (2.1).

Якщо вважати функцію $f(z)$ аналітичною функцією, що визначається на всій площині комплексної змінної єдиним чином, цю функцію можна розповсюдити на комплексну область. Нехай на відрізку $[x_1, x_2]$ дійсної осі X задана неперервна функція $f(x)$ дійсної змінної; тоді в деякій області ρ комплексної площини, яка містить відрізок $[x_1, x_2]$ дійсної осі, може існувати лише одна аналітична функція $f(z)$ комплексної змінної z , що приймає дані значення $f(x)$ на відрізку $[x_1, x_2]$. Функція $f(z)$ є аналітичним подовженням функції $f(x)$ дійсної змінної x в комплексну область ρ . При цьому матиме місце природний перехід від розкладання функції $f(x)$ у ряд Тейлора до розкладання функції $f(z)$ у ряд Лорана [32]:

$$f(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n (z - z_0)^n = \sum_{n=0}^{\infty} c_n (z - z_0)^n + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{c_n}{(z - z_0)^n}, \quad (2.14)$$

де z_0 – фіксована точка z -площини.

Нехай ряд Лорана має кінцеве число m членів з негативними степенями. Тоді ізольована точка функції $f(z)$ є полюсом m -го порядку. За допомогою апроксимації Паде ряду Лорана $\sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n (z - z_0)^n$ можна отримати наближення функції $f(z)$ з похибкою, що необмежено прагне до нуля, але тут виникають дві проблеми: побудови апроксимації Паде та її збіжності до функції, яка апроксимується. Для побудови апроксимації Паде за виразами (2.12) та (2.13) треба мати коефіцієнти ряду (2.14) та алгоритм, який відповідає необхідним умовам. Проблему стійкості та збіжності отриманих рішень розглянуто нижче.

Аналіз збіжності апроксимації Паде та стійкості рішення. Як відомо, будь-

який степеневий ряд має свою область збіжності – коло збіжності радіусом R . При $|z| < R$ ряд збігається, при $|z| > R$ – розбігається. Якщо $R \rightarrow \infty$, ряд представляє собою функцію, аналітичну всюди в комплексній площині [31]. Значення функції в довільній точці z може бути наближено отримано безпосереднім сумуванням ряду, причому похибка наближення (апроксимації) при необмеженому збільшенні числа членів ряду монотонно прагне до нуля:

$$\varepsilon_{appr} = \left| f(z) - \sum_{k=-K}^K c_k z^k \right| \rightarrow 0 \text{ при } K \rightarrow \infty.$$

Якщо послідовність апроксимацій Паде формального степеневого ряду (2.14) збігається до функції $f(z)$ у колі збіжності R , $z \in R$, у практичних застосуваннях можна з упевненістю вважати, що ряд Лорана типу (2.14) відповідає функції $f(z)$. Якщо ряд Лорана збігається до функції $f(z)$ у колі $|z| < R$, $0 < R < \infty$, то теоретично послідовність апроксимацій Паде може збігатися в більш широкій області. Але для практичних застосувань (наприклад, для побудови математичних моделей потоків у мережах) принциповий інтерес має проблема стійкості рішення: при яких умовах поліном

$$\frac{a_0 + a_1 z + a_2 z^2 + \dots + a_L z^L}{b_0 + b_1 z + b_2 z^2 + \dots + b_M z^M}, \quad (2.15)$$

який, по суті, відіграє роль аналітичного подовження поліному (2.8) на площину комплексної змінної z , буде стійким? Позитивна відповідь на це питання буде мати місце при задоволенні умови збіжності апроксимації Паде у одиничному колі z -площини [32]. Дана умова задовольняється порівняно просто.

У відповідності з основною теоремою вищої алгебри [32, 33] поліном довільного степеню (припустимо, степеню N) з дійсними коефіцієнтами має рівно N коренів, які є або дійсними, або створюють комплексно-зв'язані пари. Тоді знаменник поліному (2.8) та чисто формально знаменник поліному (2.15) мають рівно M коренів. Ці корені є полюсами функції комплексної змінної (2.15). Якщо ці полюси не виходять за межі одиничного кола z -площини, об'єкт (цифровий фільтр, різницеве рівняння, система управління, стан комп'ютерної мережі тощо)

є стійким. Іншими словами, він повертається у стабільний стан після завершення збудження.

Таким чином, при застосуванні апроксимації Паде треба контролювати абсолютні значення полюсів апроксимуючого поліному. Це – своєрідна платня, яку доводиться платити за високу точність апроксимацій Паде та їх збіжність до горизонтальної асимптоти навіть при низькому порядку апроксимуючого полінома [31]. У зв'язку з цим відзначимо, що апроксимуючий поліном зберігатиме свої властивості прямування до горизонтальної асимптоти (зокрема, до вісі абсцис) при виконанні простої умови: у виразах типу (2.15) завжди повинно виконуватися правило $L < M$, тобто степінь чисельника функції (2.15) повинен завжди бути менше степеню знаменника.

Інша складність конструювання апроксимації Паде полягає в тому, якщо в апроксимуючому поліномі (2.15) один чи декілька полюсів виходять за межі одиничного кола z -площини, то ряд Лорана є таким, що розходиться усюди, крім точки $z = 0$, а його застосування, по суті, стає марним.

Для примусового повернення полінома виду (2.15) до стійкого стану необхідно повернути "ненадійні" полюси всередину одиничного кола [33]. Для цього треба зробити модулі полюсів меншими одиниці, але так, щоб кутове положення цих полюсів не змінювалося, тобто дотриматися правила консерватизму кутів. Найпростіше за все це можна зробити, представивши полюс як комплексне число у показовій формі. Нехай m -й полюс $p_m = |p_m| \cdot \exp(j\varphi_{p_m})$, причому $|p_m| > 1$. Візьмемо новий полюс $p_{mnew} = [1/|p_m|] \cdot \exp(j\varphi_{p_m})$. На рис. 2.3 показана діаграма розташування початкового полюса p_m , який по модулю більше одиниці, що призводить до нестійкості функції $f(z)$, та модифікованого полюса p_{mnew} , модуль якого $|p_{mnew}| = 1/|p_m|$ за визначенням менше одиниці.

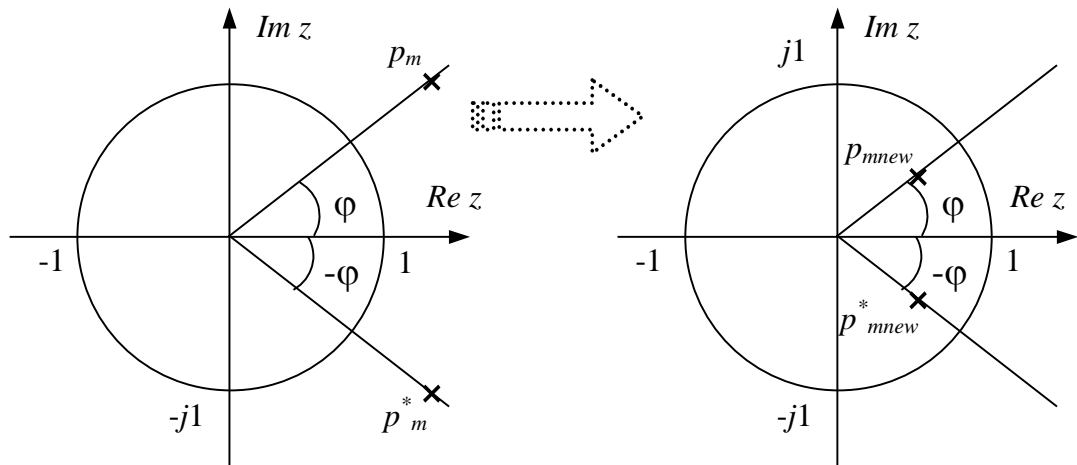


Рис. 2.3. Діаграма трансформації полюсів для введення цифрового об'єкту в зону стійкості.

$$|p_{mnew}| = 1/|p_m|, \quad |p_{mnew}^*| = 1/|p_m^*|, \quad \varphi = \text{const}, \quad -\varphi = \text{const}$$

При дзеркальному відображенні полюса всередину одиничного кола з дотриманням консерватизму кутів динаміка зміни станів об'єкту не порушується [34].

Вимоги до чисельних методів знаходження апроксимацій Паде. Для визначення можливості застосування прогнозування процесів у інформаційних системах на основі апроксимації Паде необхідно знайти чисельні методи знаходження апроксимацій Паде.

В першу чергу слід враховувати, що математична модель будь-якого процесу в інформаційній системі включає велику кількість параметрів, а отже передбачає велику обчислювальну складність.

Однією з основних проблем при застосуванні апроксимації Паде є обчислення значень діагональних апроксимацій Паде, які відповідають заданому ряду [31]. Точні обчислення можна виконувати лише для апроксимації малого порядку. Отже, враховуючи велику кількість змінних та складність обчислень, особливу роль відіграє знаходження ефективного алгоритму для обчислення апроксимації Паде.

Розглянемо, для початку, прямий метод – основною складністю якого є

чисельне розв'язання системи лінійних рівнянь (2.12), де дійсні або комплексні коефіцієнти c_i , $i = 0, 1, 2, \dots, L+M$ ($c_i = 0$ при $i < 0$) задані з визначеною точністю. Найпростішим підходом для вирішення цієї задачі, є метод виключень Гауса з повною перестановкою, основна робота якого полягає в обчисленні коефіцієнтів b_1, b_2, \dots, b_M з системи (2.12). Тут важливо врахувати можливість виродження системи у випадку $C(L/M)=0$. Якщо припустити, що коефіцієнти c_0, c_1, \dots, c_{L+M} не є цілими або раціональними з точними бінарними представленнями (коли можуть бути застосовані символічні методи), отже обчислення є заздалегідь наближеними. Тоді використання апроксимації Паде за методом Гауса не дозволить виявити, що $C(L/M)=0$, якщо це має місце через похибки округлення. Тобто будь-який результат залежить від похибок округлення і заздалегідь буде неточним.

Одними з головних вимог до алгоритму є висока точність розв'язку системи (2.12) та, щ важливіше, можливість виявляти виродженість системи. Метод Гауса задовольняє першій вимозі при використанні подвійної (або навіть більше) точності, але такий підхід не є найкращим з очевидних причин.

У майже вироджених випадках особливо корисний метод, що складається з вирівнювання, часткової перестановки з утворенням LU -розкладання і послідовності ітераційних уточнень рішення. Головною частиною цього витонченого методу є LU -розкладання матриці коефіцієнтів (2.12), яке використовується для побудови послідовності векторів, апроксимуючих рішення. Ітераційний процес сходиться геометрично і для стабільних добре обумовлених завдань і для багатьох погано обумовлених завдань, які так часто зустрічаються при обчисленні апроксимацій Паде. Якщо ітерації сходяться погано, то майже з певністю можна зробити висновок, що рішення обумовлене помилками округлення і відповідає виродженій апроксимації. Чисельні характеристики процесу дозволяють краще відрізнити погано обумовлену, але невироджену задачу від виродженої.

Який би метод розв'язання системи (2.12) не був обраний, повний алгоритм повинен вказувати на виході, що апроксимація, яка обчислюється, є виродженою

згідно з прийнятим критерієм. Якщо алгоритм включає точкове обчислення апроксимацій Паде, він повинен включати також спеціальний сигнал на той випадок, коли розглянута точка виявляється полюсом апроксимації.

Отже, чисельний алгоритм повинен включати надійний тест на виродженість, якщо апроксимація Паде, відповідна до вхідних даних, що не існує, то алгоритм повинен це виявити і вказати на виродженість. Такі алгоритми є надійними.

Крім вище зазначеного, необхідно, щоб малі варіації вихідних даних не викликали значних змін обчислених значень апроксимацій Паде. Однак погано обумовлені задачі часто зустрічаються при обчисленні апроксимацій Паде, і тому більш реалістичною є вимога, щоб зникаюче малій варіації даних коефіцієнтів ряду відповідали зникаюче малі зміни обчислених значень коефіцієнтів чисельника і знаменника Паде. Ця умова відображає математичну ідею безперервності, і методи, яким притаманна така властивість, називають стійкими.

Погано обумовлені задачі розпізнаються по збільшенню помилок, пов'язаних з округленням початкових даних.

Алгоритм також має бути ефективним, але ефективність не так важлива, як надійність і стійкість. Обчислення апроксимацій Паде зазвичай займає меншу частину загального часу обчислень; велика частина часу йде на обчислення з високою точністю коефіцієнтів ряду. Відзначимо, що рішення системи (2.12) методом виключення вимагає $O(1/3M_3)$ операцій, якщо не використовуються ітераційні уточнення рішення.

Щодо точності чисельних розрахунків, то обчислення апроксимації Паде $[L / M]$ слід вести з M додатковими десятковими знаками. Неможливо заздалегідь передбачити, що потрібно M , $M - 1$, $2M$ або іншу кількість додаткових знаків. З обчислювальної точки зору інформація, що дозволяє апроксимації Паде здійснювати аналітичне продовження функції далеко за межі кола збіжності, укладена в далеких десяткових знаках записи даних коефіцієнтів ряду; тому природно, що точність вихідних даних має першорядне значення.

Раніше припускалось, що завданням є обчислення коефіцієнтів конкретної апроксимації Паде $[L / M]$ з метою подальшого обчислення значення цієї

апроксимації в даній точці z . Практично більш імовірно, що завдання полягає в табулюванні значень апроксимацій Паде або в обчисленні значень послідовності таких апроксимацій в зазначеній точці. Вибір найкращого алгоритму обчислення апроксимацій Паде залежить і від конкретної постановки задачі.

Зазвичай розрізняють проблему коефіцієнтів і проблему значень. При табулюванні значень однієї апроксимації Паде зручніше обчислити спочатку коефіцієнти $a_0, a_1, \dots, a_L, b_0, b_1, \dots, b_M$ і потім обчислювати значення апроксимації. Якщо потрібно знайти значення цілої послідовності апроксимації Паде, то краще використовувати рекурентні методи, такі як ε -алгоритм або Q. D.-алгоритм [31].

Прямі методи обчислення апроксимацій Паде надійні і стійкі, але можуть виявитися не найефективнішими. Існує кілька « $O(\alpha M^2)$ » методів, де α звичайно дорівнює 4 або 6, які виграють в обчислювальній ефективності за рахунок надійності. Їх застосування переважно в тих випадках, коли існування і невироджені апроксимацій Паде не викликають сумнівів.

Для оперативного та точного передбачення поведінки потоків в великих корпоративних комп'ютерних мережах необхідні потужні методи статистичної обробки та прогнозування часових рядів. Одним з таких методів є апроксимації Паде. Метод відзначається високою точністю оцінювання та гнучкістю параметрів [35].

Для запобігання втраті стійкості апроксимації пропонується примусове переміщення полюсів апроксимуючої функції в зону стійкості – одиничне коло z -площини. При перетворенні лінійних розмірів підтримується консерватизм кутів. Тому можна стверджувати, що запропоноване перетворення є конформним.

Проаналізовано чисельні методи знаходження апроксимацій Паде. Визначено вимоги до алгоритму реалізації апроксимації Паде. Показано, що алгоритм повинен вказувати на виході, що апроксимація, яка обчислюється, є виродженою згідно з прийнятим критерієм, тобто включати надійний тест на виродженість. Алгоритм також має бути ефективним, але ефективність не так важлива, як надійність і стійкість. Точність чисельних розрахунків має першорядне значення,

оскільки інформація, що дозволяє апроксимації Паде здійснювати аналітичне продовження функції далеко за межі кола збіжності, укладена в далеких десяткових знаках запису даних коефіцієнтів ряду.

2.5. Висновки до розділу 2

1. Аналіз особливостей функціонування корпоративних комп'ютерних мереж, дозволив виділити чотири основні групи потоків: потік від незалежного джерела, сумарні, рідючі і марковані потоки. У розділі представлено і обґрунтовано математичні моделі для кожного з видів потоків.

2. Потік від незалежного джерела характеризується значною неоднорідністю – на тлі невеликого середнього значення спостерігаються нетривалі сплески значно більшої інтенсивності. Адекватною моделлю такого потоку є самоподібна.

3. Обґрунтовано, що для властивостей сумарного потоку за рахунок підсумовування великого числа складових, притаманне деяке згладжування неоднорідності – на тлі підвищення середнього значення викиди стають менш помітні. Характеристики збігаються до простого потоку.

4. Характеристики рідючих потоків залежать від ступеню прорідження та характеристик початкового потоку. Аналіз методів моделювання процесів і потоків в комп'ютерних мережах показав, що основні напрямки робіт вітчизняних та зарубіжних вчених спрямовані на побудову адекватних математичних моделей часових рядів. Ці моделі будуються з використанням результатів теорії системного аналізу та теорії конфлікту.

5. Аналіз математичних моделей для процесів із раптовими змінами, як у корпоративних комп'ютерних мережах, показав, що вони можуть будуватися, наприклад, на основі теорії викидів випадкових процесів або методами теорії марковських процесів. Однак ці теорії, при досить високому степеню абстракції

рідко дають практичні результати, які можна було б застосовувати для досягнення реальних цілей та керування мережами.

6. Показано, що для прогнозування нестационарних процесів використовують регресійні моделі з урахуванням тренду різних видів. Однак при цьому не враховуються суттєві обмеження результатів прогнозування на основі тренду. У якості тренду зазвичай беруть поліноміальну модель, але його проектування на великий термін в майбутнє є, небезпечним, так як рано чи пізно змінна повинна стабілізуватися, а ніякий поліном не може мати горизонтальної асимптоти.

7. Визначено, що поліном навіть високого степеню не дає гарного прогнозу, його можна використовувати в цій якості лише для прогнозування на незначний час (наприклад, декілька хвилин для комп'ютерної мережі). Для прогнозування значень, розташованих на значному віддаленні (години), цей поліном зростає, причому зростає і його похідна. Відповідно, зростає й похибка прогнозу.

8. Запропоновано для прогнозування мережного трафіку та стану мережних елементів використовувати метод апроксимації Паде, який на відміну від поліноміальної апроксимації, при якій поліном не може мати горизонтальної асимптоти, прагне до горизонтальної асимптоти (при цьому, звичайно, усі полюси дробово-раціональної функції повинні лежати у лівій частині p -площини, тобто площини перетворення Лапласа).

Список використаних у другому розділі джерел

1. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. 1966. 432 с.

2. Лосев Ю. И., Руккас К. М. Сравнительный анализ математического аппарата моделирования телекоммуникационных сетей. Системы обработки информации. 2007. Вип. 8 (66). С. 55–60.

3. Пономарев Д. Ю. Исследование вероятностно–временных характеристик информационных сетей тензорным методом. Компьютерные учебные программы и инновации. 2007. № 7. С. 160–161.
4. Столлингс В. Современные телекоммуникационные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
5. Савченко А.С. Экспериментальное исследование трафика высокоскоростных сетей / А.С. Савченко, Е.В. Колисник // Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2006. – Вип.2(17). – С. 64-71.
6. Palm C. Intensitätsschwankungen in Fernsprechverkehr // Ericsson technics. – 1943. V.44, № 1. – S. 1 – 189.
7. Rényi A. Poisson-folyamat egy jellemzője // Труды Мат. Института АН Венгрии. – 1956. – Т. 1, № 4. – S. 519-527.
8. Хинчин А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания. – М.: Физматгиз, 1963. – 236 с.
9. Ососков Г.А. Одна предельная теорема для потоков однородных событий. // Теория вероятностей и ее применения. – 1956. – Т. 1, № 2. – С. 274 – 282.
10. Григелионис Б.И. О точности приближения композиции процессов восстановления пуассоновским процессом // Литов. мат. Сб. – 1962. – Т. 2, № 2. – С. 135 – 143.
11. Погожев И.Б. Оценка отклонений потока отказов в аппаратуре многократного использования от пуассоновского потока // Кибернетику – на службу коммунизму. – Т. 2. – М.: Энергия, 1964. – С. 228 –245.
12. Элементы теории массового обслуживания и её приложения; Автор: Саати Т.Л. Издательство: Советское радио; Год: 1965 . 459 с.
13. Савченко А. С. Экспериментальное исследование свойств суммарных потоков в вычислительных сетях. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*: зб. наук. праць. 2010. Вип.4(16). С.101-107.

14. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W. and Wilson D.V. On the self-similar nature of Ethernet traffic // *IEEE/ACM Transactions of Networking*. – 1994. – 2(1). – P. 1–15.

15. Rutka G. Network Traffic Prediction using ARIMA and Neural Networks Models // *Electronics And Electrical Engineering*. – №4. – 2008.

16. Леохин Ю.Л. Прогнозирование состояний корпоративной сети центра Управления полетами в нейросетевом логическом базисе. // *Качество. Инновации. Образование*. №12, 2011. С. 75-82

17. Леохин Ю.Л., Саксонов Е.А. Инструментальные средства отладки программного обеспечения систем управления корпоративными сетями с гетерогенным трафиком // *Информатизация образования и науки*. № 3(7). – 2010. – С. 36-51

18. Дронюк І. М., Федевич О. Ю. Аналіз трафіку комп'ютерної мережі на основі експериментальних даних середовища wireshark. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі*. 2015. № 814.

19. Головешко М.В., Северілов А.В., Лебедеико Т.М. Результати експериментального дослідження методу активного управління чергами на інтерфейсах телекомунікаційних мереж Харківський національний університет радіоелектроніки. *Проблеми телекомунікацій*. 2019. № 2 (25). С. 37-55.

20. Радівілова Т.А. Метод безпечної маршрутизації мультифрактального трафіка. *Проблеми телекомунікацій*. № 1 (24). 2019. С. 24-33.

21. Ivanna Droniuk, Maria Nazarkevych, Olga Fedevych Asymptotic method of traffic simulation. *Communications in Computer and Information Science*. Springer. 2014, Vol. 279. P. 1–9.

22. Тихонов В.И., Хищенко В.И. Выбросы траекторий случайных процессов М.: Наука. 1987. 304 с.

23. Стратонович Р.Л. Условные марковские процессы и их применение к теории оптимального управления. М.: МГУ, 1966. 319 с.

24. Ruey S. Tsay *Analysis of Financial Time Series*. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2010. 677 pp.
25. Кендэл М. *Временные ряды*. М.: Финансы и статистика, 1981. 199 с.
26. Андерсон Т. *Статистический анализ временных рядов*. Пер. с англ. М.: Мир, 1976. 755 с.
27. Додонов А.Г., Ландэ Д.В. *Живучесть информационных систем*. К.: Наук. думка, 2011. 256 с.
28. Дружинин В.В., Конторов Д.С., Конторов М.Д. *Введение в теорию конфликта*. М.: Радио и связь, 1989. 288 с.
29. Попович Б.М. Прогнозування нелінійних нестационарних процесів в економіці та фінансах. *System Research & Information Technologies*. 2017. № 4. С. 38 - 53.
30. David W. Hosmer. Jr. Stanley Lemeshow. *Applied logistic regression*. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd., 2008. 396 p.
31. Бейкер Дж. П., Грейвс-Моррис *Аппроксимации Паде*. М.: Мир, 1986. 502 с.
32. Свешников А.Г., Тихонов А.Н. *Теория функций комплексной переменной*. М.: Наука, 1967. 304 с.
33. Савченко А.С. Метод принудительного ввода системы управления в области устойчивости. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*: зб. наук. праць. К.: УНДІЗ, 2012. Вип.2(22). С. 100-105.
34. Виноградов Н.А., Яковлев В.Н., Воскресенский В.В. и др. *Справочник по устройствам цифровой обработки информации*. Под ред. В.Н. Яковлева. К.: Техника, 1988. 415 с.
35. Савченко А. С., Чуба І. В., Охремчук О. С. Методи прогнозування потоків у комп'ютерних мережах на основі апроксимації Паде. *Наукоємні технології*. 2020. Т. 46. Вип 2. С. 191-199.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКІВ В КОРПОРАТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

3.1. Постановка задачі та розробка методики експерименту

Сучасний трафік високошвидкісних інформаційних мереж погано описується класичними моделями потоків, навпаки проявляє самоподібні властивості [1-5].

Метою експериментального дослідження є вивчення структури реального мережного трафіку, спрямоване на виявлення його характерних особливостей і перевірка теоретичних передумов про наявність самоподібності в структурі процесу.

Для цього в першу чергу необхідно зібрати статистичні дані з інформаційних систем різного масштабу та типу.

Для побудови математико-статистичних моделей завжди потрібне проведення експериментальних досліджень. При цьому для поставлених цілей моделювання можна виділити ряд наступних етапів [1, 5]:

1. Вибір вихідних величин - параметрів оптимізації, вибір незалежних вхідних величин, що впливають на об'єкт дослідження - факторів.
2. Збір апріорної інформації і використання її перед проведенням експерименту, а також складання схеми проведення дослідів експерименту.
3. Виконання експерименту.
4. Статистична обробка отриманих результатів.
5. Висновок за результатами експерименту.

При отриманні інформація, після кожного етапу, визначається подальша стратегія експерименту. Звідси з'являється можливість оптимального управління експериментом. При плануванні експерименту дозволяється варіювати одночасно всіма факторами і отримувати кількісні оцінки основних ефектів і ефектів взаємодії. Самі ефекти визначаються з меншою помилкою, ніж при традиційних методах дослідження.

Можливості моніторингу надають два протоколи ICMP і SNMP. Протокол SNMP для даних цілей найбільш зручний, оскільки підтримується практично усіма мережами, у тому числі і непрацюючими зі стеком протоколів TCP/IP [6].

Найпростішим способом збору статистичної інформації є використання програм що входять в комплект операційної системи (наприклад, Network Monitor), або вільно поширюваних програм, наприклад, tcpdump і MRTG, а також платформи Cisco Cable Modem Termination System (CMTS).

Network Monitor дозволяє аналізувати мережевий трафік, отримувати статистику по протоколах і фреймах, спостерігати за завантаженням мережі з метою виявлення потенційних помилок в її конфігурації і наявність вузьких місць. Наприклад, аналізуючи пакети, що приймаються і IP, що розсилаються, маршрутизатором, можна з'ясувати які з робочих станцій або серверів намагаються звертатися по адресам, недоступних з цієї локальної мережі, і відповідно змінити конфігурацію комп'ютерів. Network Monitor дозволяє виконувати наступні операції [7]:

- робити перехоплення пакетів і збереження їх у буфері для подальшого аналізу і/або модифікації;
- відображення і фільтрація перехоплених пакетів по заданій умові;
- редагування і посилку виправлених пакетів в мережу з метою моделювання певної ситуації;
- використати для перехоплення пакетів віддаленої машини Windows NT, на якій встановлений Network Monitor Agent, що входить в комплект постачання, з подальшим відображенням і обробкою на локальному комп'ютері.

Перехоплені пакети можуть бути збережені на диску для їх подальшого аналізу або використання при моделюванні тієї або іншої ситуації. Розмір буфера для зберігання перехоплених пакетів задається адміністратором, після заповнення буфера перехоплення припиняється. Існує можливість зупинки перехоплення або виконання зовнішньої програми за настанням події: або при заповненні буфера на задану величину, або при перехопленні пакету, що містить задану сигнатуру в заголовку або тілі пакету.

Network Monitor розпізнає сигнатури більшості мережевих протоколів і сервісів, що їх, що використовують. Система установки фільтрів дозволяє використати в умові фільтрації практично будь-яке поєднання операцій І/АБО/НЕ для мережевих адрес, протоколів і вмісту пакетів.

Програма tcpdump переводить інтерфейс EOM в режим прийому усіх пакетів, що пересилаються по цьому мережевому сегменту. Потім відбирає і відображає на екрані пакети, що посилаються і отримуваним цим інтерфейсом. Критерії відбору можуть варіюватися, що дозволяє проаналізувати виконання різних мережевих процедур. В якості параметрів при зверненні до програми можуть використовуватися найменування протоколів, номери портів тощо. Проте для запису отриманих даних необхідно спеціально організувати виведення даних у файл [7].

Принцип роботи системи MRTG(Multi Router Traffic Grapher) ґрунтується на використанні статистичних даних, що отримуються від пристрою шляхом виконання SNMP-запитів [8]. З точки зору операційної системи, MRTG є звичайною утилітою, яка періодично запускається користувачем або самою системою. У момент запуску MRTG робить SNMP-опитування спостережуваного пристрою, і на основі отриманих даних модифікує відповідні файли. Система MRTG записує отриману інформацію в log-файл, а також представляє її у вигляді графіків, які відображають зміну параметрів функціонування пристрою упродовж попередньої доби, тижня, місяця, року.

Найбільш популярним аспектом спостереження за роботою маршрутизатора є робота його портів і інтерфейсів. Інформація про роботу конкретного порту виводиться або в абсолютному вигляді (біт/сек), або масштабується відносно деякої величини, визначеної користувачем як максимальне значення для цього порту. Це дає можливість оцінити відсоток використання каналу зв'язку, величину вхідного та вихідного трафіку.

Іншим аспектом спостереження може бути, наприклад, інформація про кількість і частоту появи помилок при прийомі/передачі кадрів, кількості знищених (Discards) пакетів внаслідок перевантаження пристрою тощо. В

загальному випадку доступні для спостереження будь-які статистичні параметри пристрою, за умови, що вони реалізовані в МІВ пристрою [9].

Отже, враховуючи функціональні можливості та недоліки зазначених систем, для вирішення поставлених задач моніторингу мережі була обрана MRTG.

3.2. Методика оцінювання результатів експерименту

Для подальшого статистичного аналізу, дані отримані від програми *MRTG*, необхідно привести до еквідистантної (з постійним кроком ΔT) шкали по осі часу. Для цього використовується процедура агрегації. Вибирається рівень агрегації - величина ΔT . Вісь часу розбивається на інтервали ΔT , кожному з яких ставиться у відповідність відношення кількості за цей інтервал часу інформації (у бітах) до тривалості інтервалу (в хв.).

Припустимо, $\xi = \{\xi(t_1), \xi(t_2), \dots, \xi(t_n)\}$ - початкова (не еквідистантна) реалізація трафіка, що складається з n відліків, причому $|t_{i+1} - t_i| \neq \text{const}$, де $i \in 1, n$ (рис. 3.1) [10-12].

Оскільки відліки $\Delta T, 2\Delta T, \dots, N\Delta T$, як правило, не співпадають з відліками t_i початкової реалізації, при усередненні в якості останнього елемента, що належить до інтервалу ΔT , необхідно вибрати найближчий відлік ξ , тобто до інтервалу $\Delta T - 2\Delta T$ відносяться відліки $\xi(t_{h+1}), \xi(t_{h+2}), \dots, \xi(t_{f+1})$. Очевидно, чим менше значення помилок $|q(\Delta T)|, |q(2\Delta T)|, |q(3\Delta T)|, \dots, |q(N\Delta T)|$, тим менше спотворень вноситься на даному етапі.

Таким чином, отримуємо агреговану еквідистантну реалізацію трафіку $X = \{X(\Delta T), X(2\Delta T), \dots, X(N\Delta T)\}$, що містить N елементів. Фізичний зміст кожного її елементу - середня швидкість (біт/сек) на відповідному інтервалі ΔT .

Після приведення експериментальних даних до виду, зручного для подальшої обробки, в першу чергу слід провести класичний статистичний аналіз досліджуваних реалізацій. Для цього необхідно знайти основні статистичні

характеристики кожної з реалізацій: статистичне середнє m , середньоквадратичне відхилення σ , кількість відліків в реалізації N .

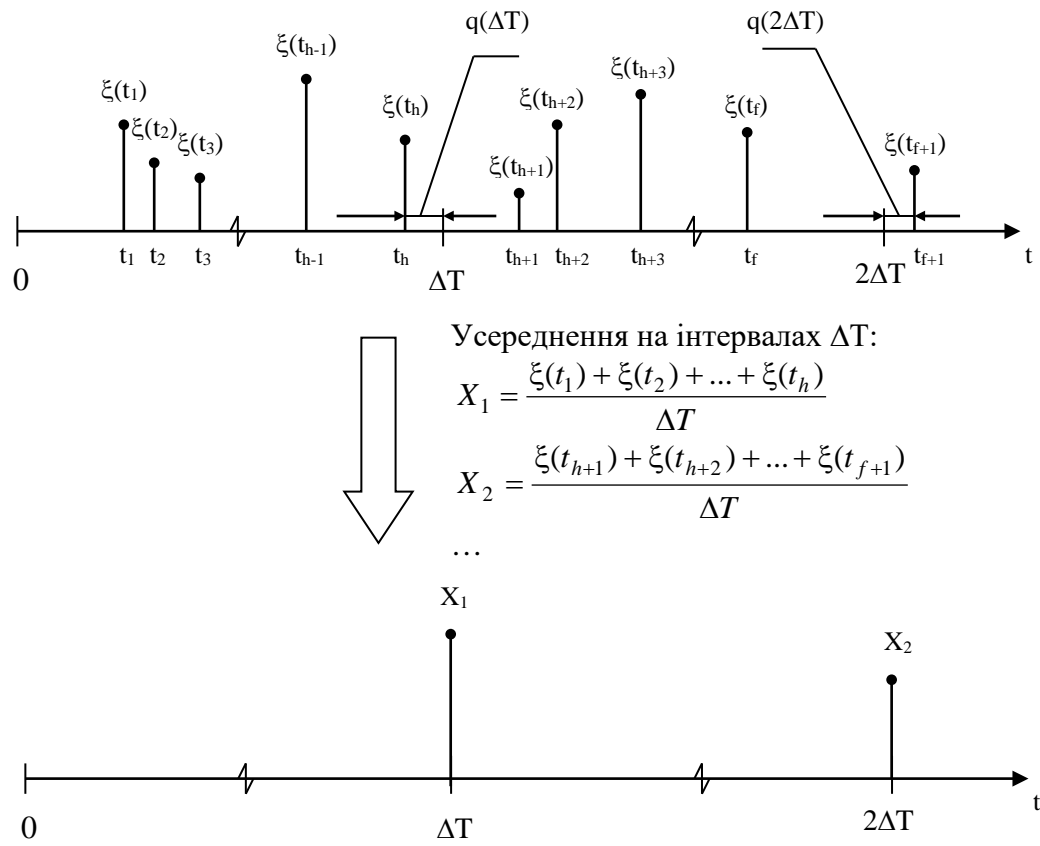


Рис. 3.1. Схема агрегації реалізації

Ці характеристики розраховуються за класичними формулами [11]:

$$m[X] = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m)^2}{N}}.$$

Оскільки параметр Херста H є основною характеристикою, що свідчить про самоподібність процесу, важливим є його безпосереднє обчислення для досліджуваних рядів.

Для розрахунку параметра Херста застосовується методика, заснована на використанні R/S статистики. Відомо [21], що для стохастичного процесу $x(t)$, визначеного в дискретні моменти часу $\{x_t, t = 0, 1, 2, \dots\}$, діапазон $x(t)$ у зміненому масштабі шкали за інтервал часу N визначається як відношення R/S .

$$\frac{R}{S} = \frac{\max_{1 \leq j \leq N} \left[\sum_{k=1}^j (X_k - M(N)) \right] - \min_{1 \leq j \leq N} \left[\sum_{k=1}^j (X_k - M(N)) \right]}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (X_k - M(N))^2}},$$

де $M(N)$ – вибіркове середнє за період часу N :

$$M(N) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_j.$$

У чисельнику дробу знаходиться величина інтервалу процесу, а в знаменнику - вибіркове середньоквадратичне відхилення. Для самоподібного процесу це відношення при великих значеннях N має наступну характеристику:

$$R/S \sim (N/2)^H \text{ при } H > 0,5.$$

Якщо прологарифмувати обидві частини виразу, отримуємо:

$$\log[R/S] \sim H \log(N) - H \log(2).$$

Таким чином, при побудові графіку залежності $\log[R/S]$ від N в логарифмічному масштабі, вийде пряма з нахилом, рівним H - параметру Херста. Розрахунок параметра Херста проводився за допомогою програми *Fractan 4.4*.

Візуальне підтвердження гіпотези має досить велике значення, тому доцільною є побудова щільності ймовірності за експериментальними даними. Оцінка щільності розподілу проводиться на підставі геометричного зображення (гістограм) відносних частот появи заздалегідь заданих ділянок даних.

Самоподібні процеси можна представити за допомогою повільно затухаючих розподілів, або розподілів з «важкими хвостами». Однією з переваг такого підходу є можливість отримати керовані моделі.

Тому необхідно провести аналіз функції розподілу експериментальних рядів. Оскільки заздалегідь невідомо до генеральної сукупності, з яким розподілом можуть належати отримані дані, слід використати методи непараметричної статистики.

Для вивчення характеристик процесу необхідно досліджувати приналежність отриманої експериментальним шляхом вибірки до генеральних сукупностей розподілів з «важкими хвостами»: логарифмічно-нормальним, розподілом Вейбулла, Парето.

Принцип моделювання даних з необхідним законом розподілу полягає в тому, що з випадкової величини X , рівномірно розподіленої на відрізку $[0, 1]$ можна отримати неперервну випадкову величину, розподілену за будь-яким законом $F(\xi)=p(\Theta<\xi)$ [13-15]. Функція розподілу випадкової величини Θ монотонно зростає від 0 до 1. Можна показати, що значення випадкової величини Θ , розподіленої за довільним законом в інтервалі $[a, b)$ зі щільністю $f(\xi)$ – визначається з рівняння

$$\chi = \int_a^{\xi_1} f(\xi) d\xi.$$

Для кожної реалізації величини X вирішується останнє рівняння відносно ξ_1 , тобто визначається реалізація величини Θ . У [15-17] відзначається, що при аналізі отриманих статистичних даних занадто близький збіг теоретичного і статистичного розподілів не є випадковим і може бути пояснений певними причинами, пов'язаними з реєстрацією і обробкою експериментальних даних. Зокрема, з дуже поширеним на практиці «підчищенням» експериментальних даних, коли деякі результати довільно відкидаються або дещо змінюються.

Для перевірки гіпотези про приналежність експериментальної вибірки до генеральних сукупностей з тим або іншим розподілом, як правило, використовують критерії згоди Колмогорова-Смирнова, χ^2 (Пірсона), іноді Блума-Кифера-Розенבלата.

Критерій Колмогорова-Смирнова по простоті вигідно відрізняється від критерію χ^2 . Проте цей критерій можна застосовувати тільки у разі, коли гіпотетичний розподіл повністю відомий заздалегідь з теоретичних міркувань, тобто коли відомий не лише вид функції розподілу, але і усі параметри, що входять в нього [16, 18]. Такий випадок досить рідко зустрічається на практиці.

Зазвичай з теоретичних міркувань відомий тільки загальний вигляд функції, а його числові параметри визначаються за експериментальним матеріалом.

При використанні критерію χ^2 ця обставина враховується відповідним зменшенням ступенів свободи розподілу. Критерій Колмогорова-Смирнова такого узгодження не передбачає.

Якщо все ж застосовувати цей критерій в тих випадках, коли параметри теоретичного розподілу вибираються за експериментальними даними, критерій дає завищені значення ймовірності. Тому у ряді випадків є ризик прийняти як правдоподібну гіпотезу, яка насправді погано узгоджується з експериментальними даними.

Перевагою критерію Блума-Кифера-Розенблата є те, що він характеризується більшою потужністю, ніж вищезазначені критерії. Проте необхідно модифікувати даний критерій, оскільки він призначений для перевірки корельованості компонентів випадкового вектору. Помилки, які виникають при його використанні, значно перевищують виграш по потужності.

Враховуючи вищевикладене, оптимальним критерієм згоди для перевірки отриманих експериментальних даних можна рахувати критерій χ^2 .

Вибір рівня значущості α до деякої міри довільний, оскільки у більшості ситуацій немає точної межі для «дозволеної» ймовірності помилки першого роду. Як правило, рекомендується [16] для рівня значущості вибирати одне із стандартних значень : 0,005, 0,01, 0,05. Ця стандартизація має деякі переваги, оскільки вона дозволяє скоротити об'єм таблиць, використовуваних при проведенні різних випробувань. Ніякої іншої спеціальної причини для вибору саме цих значень немає. Дійсно, вибираючи рівень значущості, необхідно також звертати увагу на потужність критерію β . Якщо вона виявляється занадто малою, то може виявитися бажаним використання значень α , що перевершують звичайні, наприклад, 0,1 або 0,2.

Інша обставина, яка часто впливає на вибір рівня значущості, - це відношення до гіпотези до проведення експерименту. Якщо є упевненість в істинності гіпотези, то знадобляться переконливі докази проти неї для того, щоб

відмовитися від своєї упевненості. Відповідно, рівень значущості буде вибраний дуже низьким. Низький рівень значущості призводить до того, що гіпотеза відкидається при таких комбінаціях результатів спостережень, повна ймовірність яких при гіпотезі мала, так що поява цих результатів украй неправдоподібна при справедливості гіпотези.

3.3. Інтерпретація результатів експерименту

У експерименті досліджувався трафік корпоративних комп'ютерних мереж різного масштабу: як великих мереж масштабу міста, так і мереж невеликого офісу, що налічують не більше 30 комп'ютерів. Приклад типової структури досліджуваної мережі представлений на рис. 3.2.

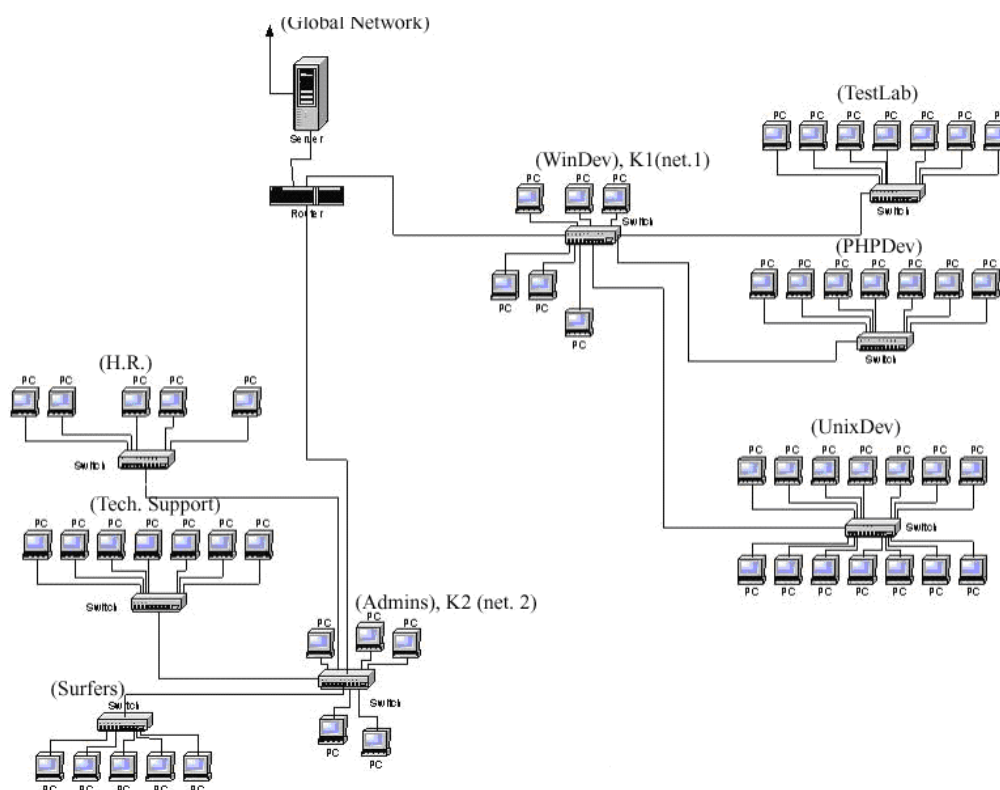


Рис. 3.2. Типова структура досліджуваної мережі

Моніторинг проводився цілодобово за допомогою програми *MRTG*. Усі зафіксовані значення записувалися в *log*-файл. Дані представлені п'ятьма колонками чисел в *ASCII*- форматі: перша колонка містить дані про час виміру,

друга і третя - усереднене значення швидкості вхідного і вихідного трафіку (біт/сек), за вказаний інтервал, четверта і п'ята - максимальне значення швидкості вхідного і вихідного трафіку, за вказаний інтервал. На рис. 3.3. наведений приклад *log*- файлу.

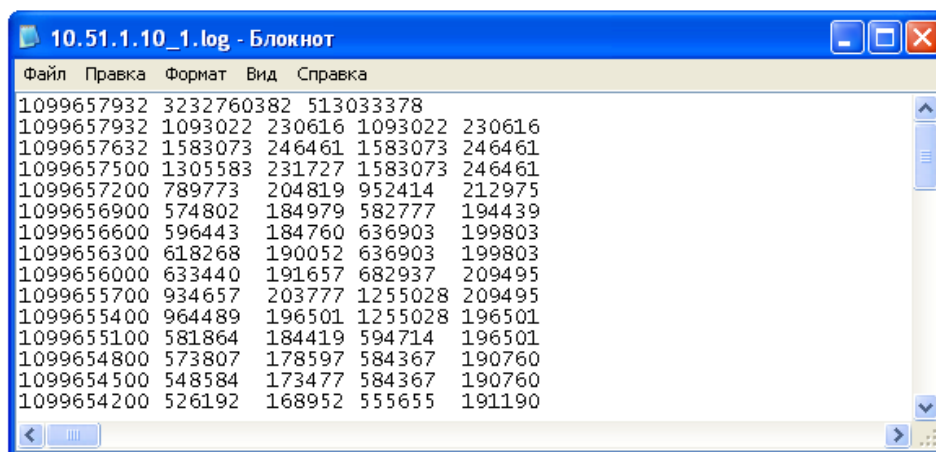


Рис. 3.3. Приклад *log*-файлу

Після цього дані переводилися у формат, зручний для подальшої обробки і агрегувалися по рівню 5 хв. (табл. 3.1).

Таблиця 3. 1

Вхідні дані інтенсивності трафіка

Інтервал	Середня швидкість вхідного трафіка, (біт/сек)	Середня швидкість вихідного трафіка, (біт/сек)	Максимальна швидкість вхідного трафіка, (біт/сек)	Максимальна швидкість вихідного трафіка, (біт/сек)
05.11.2015 11:30	52061092	16089052	50550655	10910190
05.11.2015 11:35	54858454	17367477	58743967	19907060
05.11.2015 11:40	57380127	17859776	58436734	19076024
05.11.2015 11:45	58186344	18441934	59471467	19650145
05.11.2015 11:50	96448934	19650176	125502889	19650167
05.11.2015 11:55	93465723	20377790	125502856	20949590
05.11.2015 12:00	63344089	19165765	68293767	20949567
05.11.2015 12:05	61826856	19005254	63690365	19980328
05.11.2015 12:10	59644345	18476034	63690367	19980327
05.11.2015 12:15	57480267	18497949	58277778	19443997
05.11.2015 12:20	78977389	20481924	95241478	21297502
05.11.2015 12:25	130558349	23172756	158307389	24646121

У додатку А представлені результати аналізу деяких експериментальних потоків. Всього проаналізовано дані від приблизно 200 незалежних джерел. Коефіцієнт самоподібності експериментальних рядів рівний 0,51...0,97, а також співпадання експериментальних і теоретичних даних за критерієм χ^2 з ймовірністю 0,7...0,9, дозволяє вважати найбільш адекватною математичною моделлю різнорідного трафіку користувача потік з розподілом Парето.

Сумарні потоки. Для перевірки вказаної гіпотези про збіжність незалежних нескінченно малих випадкових потоків до пуассонівського потоку був проведений експеримент. Інтенсивність усіх початкових експериментальних потоків приблизно рівна. Незалежні джерела об'єднувалися в групи, і проводилася фіксація сумарного трафіку. Кількість джерел в групі приймалася кратною $10 \cdot N$, де $N=1, 2, 3, \dots, 20$. В результаті отримані відповідні реалізації *Sum*.

Важливим є питання про швидкість збіжності сумарного потоку при різному ступені самоподібності початкового потоку. Для цього джерела були згруповані за ступенем самоподібності ($H \approx 0,5; 0,7; 0,9$).

Проаналізуємо характеристики першої групи джерел з коефіцієнтом самоподібності $H \approx 0,5$.

Це означає, що ефект самоподібності практично відсутній, тобто викиди по амплітуді перевищують середній рівень приблизно в 10 разів. На рис. 3.4 і 3.5 показані приклад початкового потоку і гістограми отриманих сумарних потоків. У табл. 3.2. представлені результати перевірки відповідності за критерієм згоди χ^2 отриманих експериментально сумарних потоків Пуассонівському із заданими параметрами

Таблиця 3. 2

Ряд	<i>Sum10</i>	<i>Sum20</i>	<i>Sum30</i>	<i>Sum40</i>	<i>Sum50</i>
Критерій χ^2	0,022	0,068	0,27	0,711	0,964
	<i>Sum60</i>	<i>Sum70</i>	<i>Sum80</i>	<i>Sum90</i>	<i>Sum100</i>
Критерій χ^2	0,964	0,997	0,997	0,997	0,997

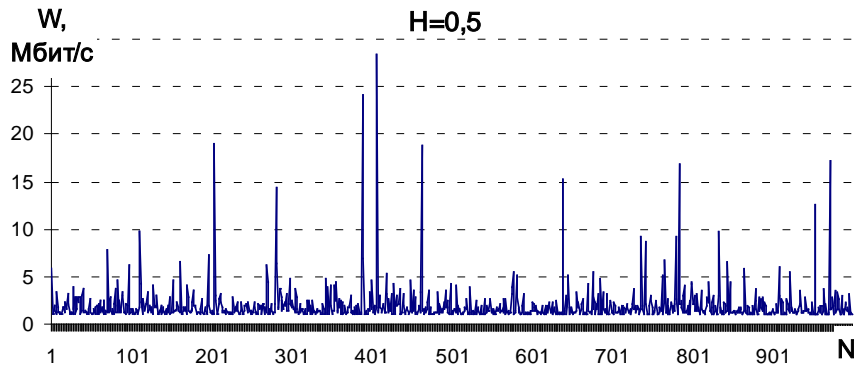


Рис.3.4. Приклад початкового потоку з розподілом Парето ($H=0,5$).

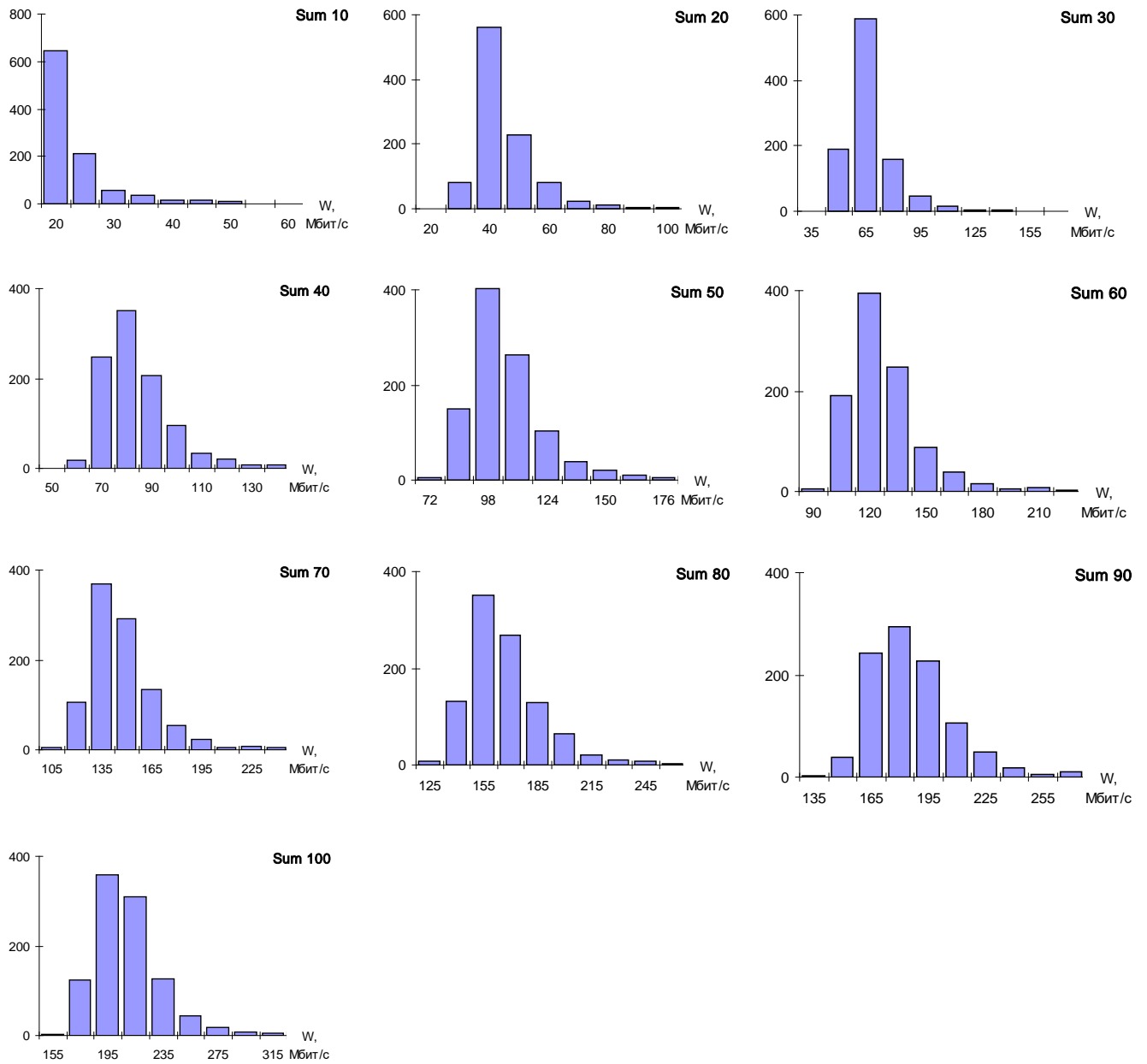
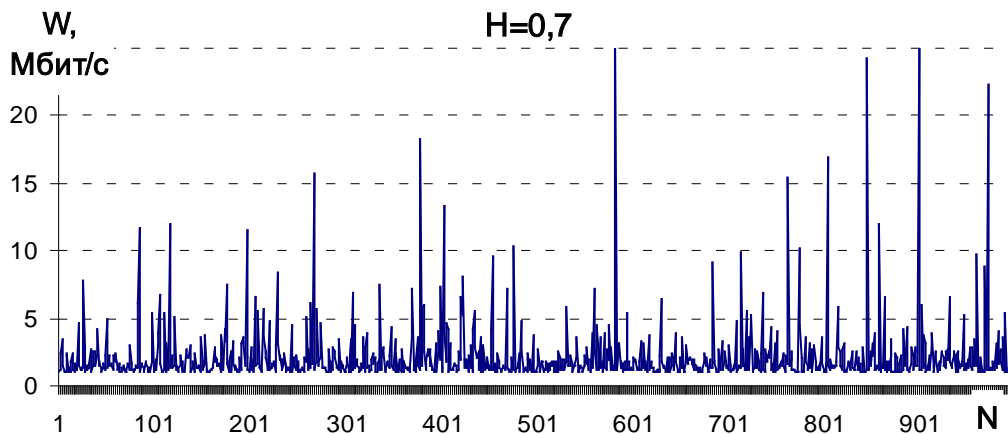


Рис. 3.5. Гістограми сумарного потоку при $H=0,5$.

Для другої групи джерел коефіцієнт само подібності $H \approx 0,7$, тобто викиди по амплітуді перевищують середній рівень приблизно в 25 разів. На рис. 3.6 і 3.7 показані приклад початкового потоку і гістограми отриманих сумарних потоків. У табл. 3.3. представлені результати перевірки відповідності за критерієм згоди χ^2 отриманих експериментально сумарних потоків Пуассонівському із заданими параметрами.

Таблиця 3. 3

Ряд	<i>Sum10</i>	<i>Sum20</i>	<i>Sum30</i>	<i>Sum40</i>	<i>Sum50</i>
Критерій χ^2	0,001	0,04	0,04	0,112	0,393
	<i>Sum60</i>	<i>Sum70</i>	<i>Sum80</i>	<i>Sum90</i>	<i>Sum100</i>
Критерій χ^2	0,393	0,544	0,711	0,864	0,964

Рис. 3. 6. Приклад початкового потоку з розподілом Парето ($H=0,7$).

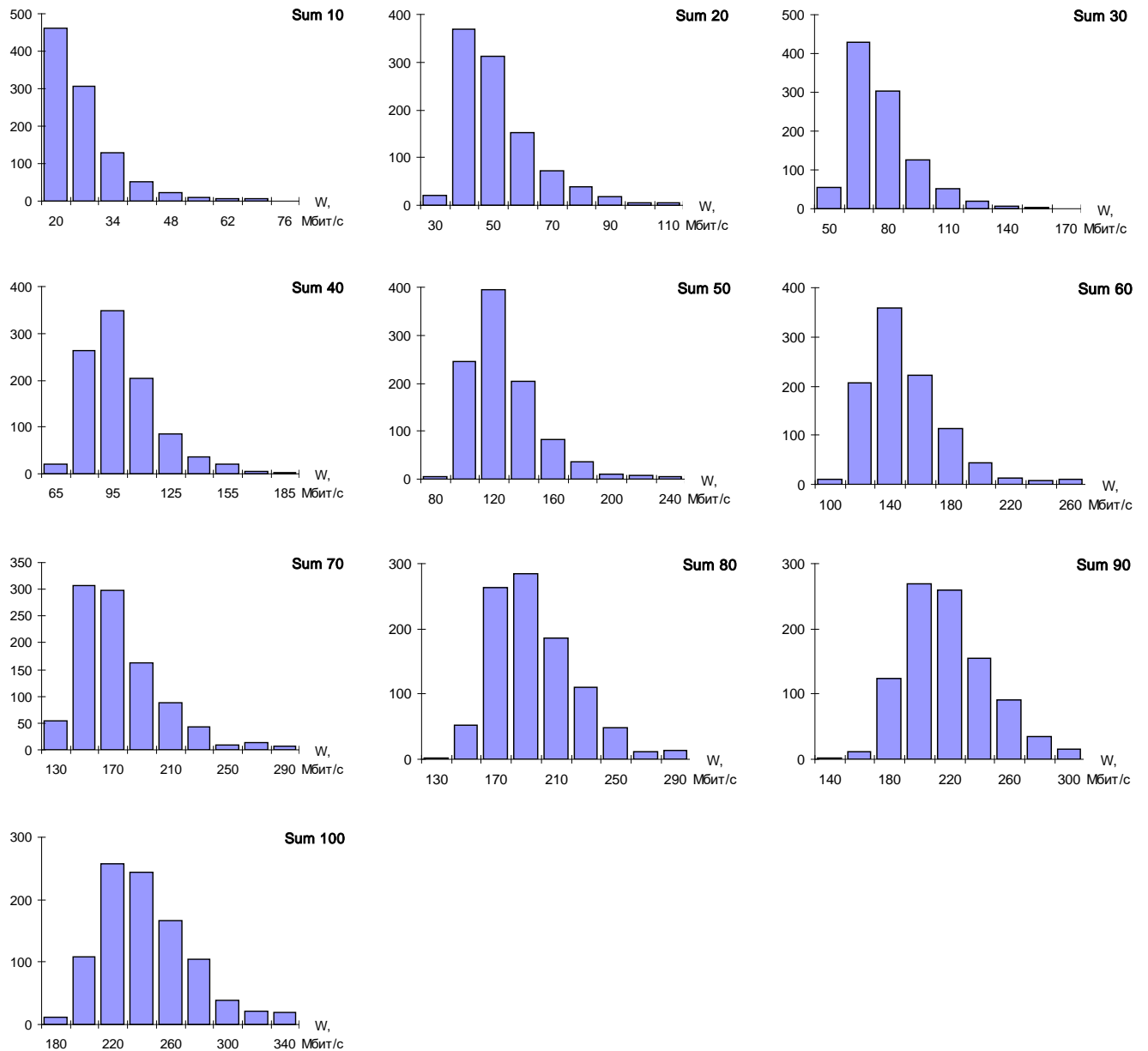


Рис 3.7. Гістограми сумарного потоку при $N=0,7$.

Для третьої групи джерел коефіцієнт само подібності $N \approx 0,9$. Це призводить до викидів по амплітуді, що перевищують середній рівень приблизно в 100 разів. На рис. 3.8 і 3.9 показані приклад початкового потоку і гістограми збіжності до розподілу Пуассона. Для отримання прийнятного рівня відповідності між експериментальними і теоретичними даними знадобилося підсумовування потів від 200 джерел.

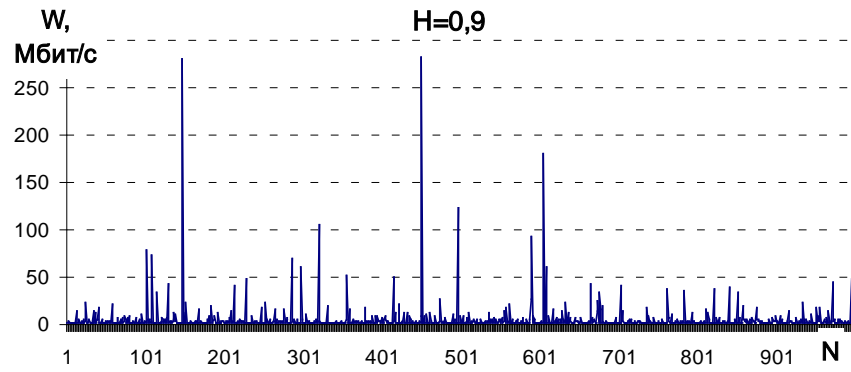
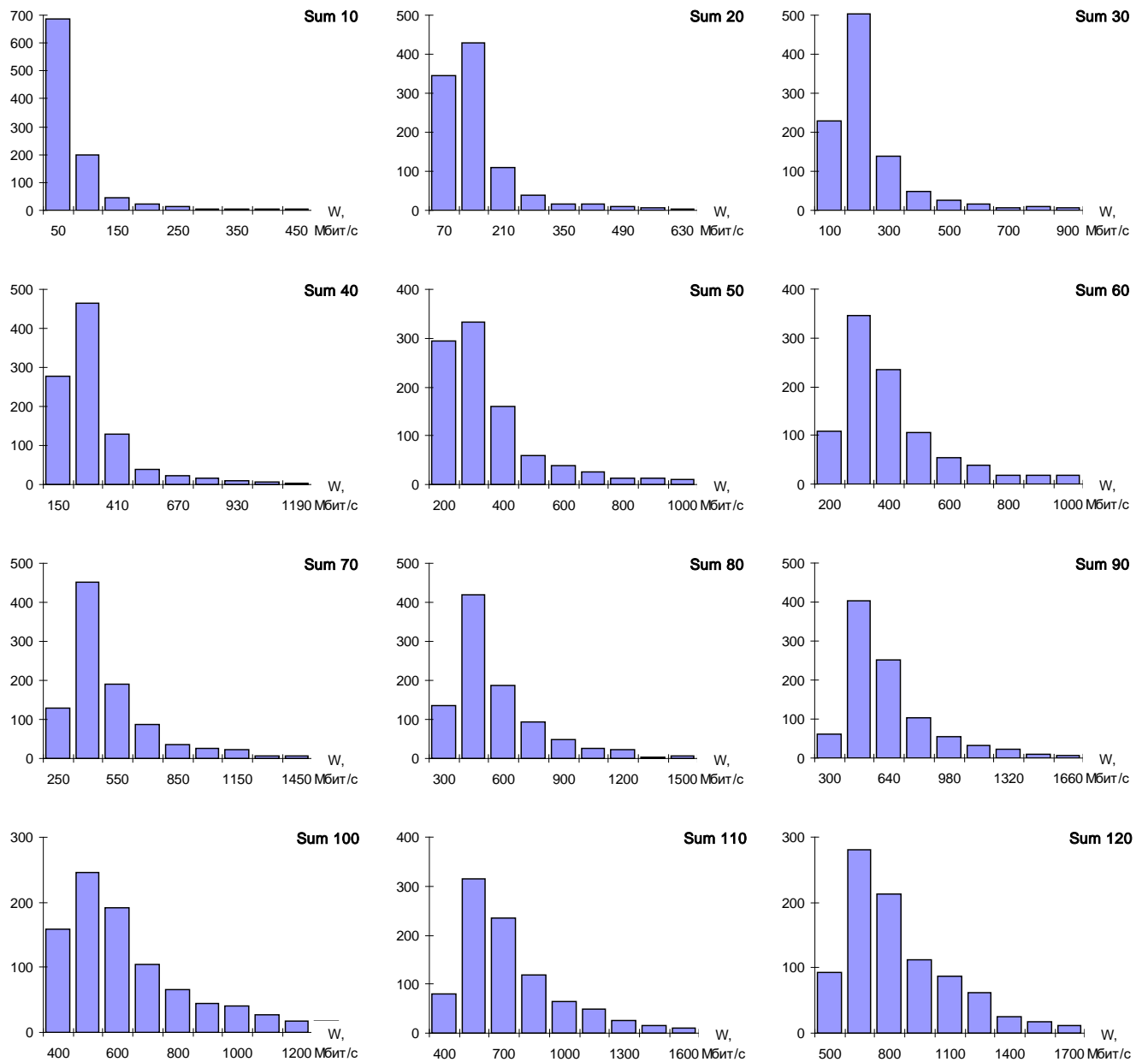


Рис. 3.8. Приклад початкового потоку з розподілом Парето ($H=0,9$).



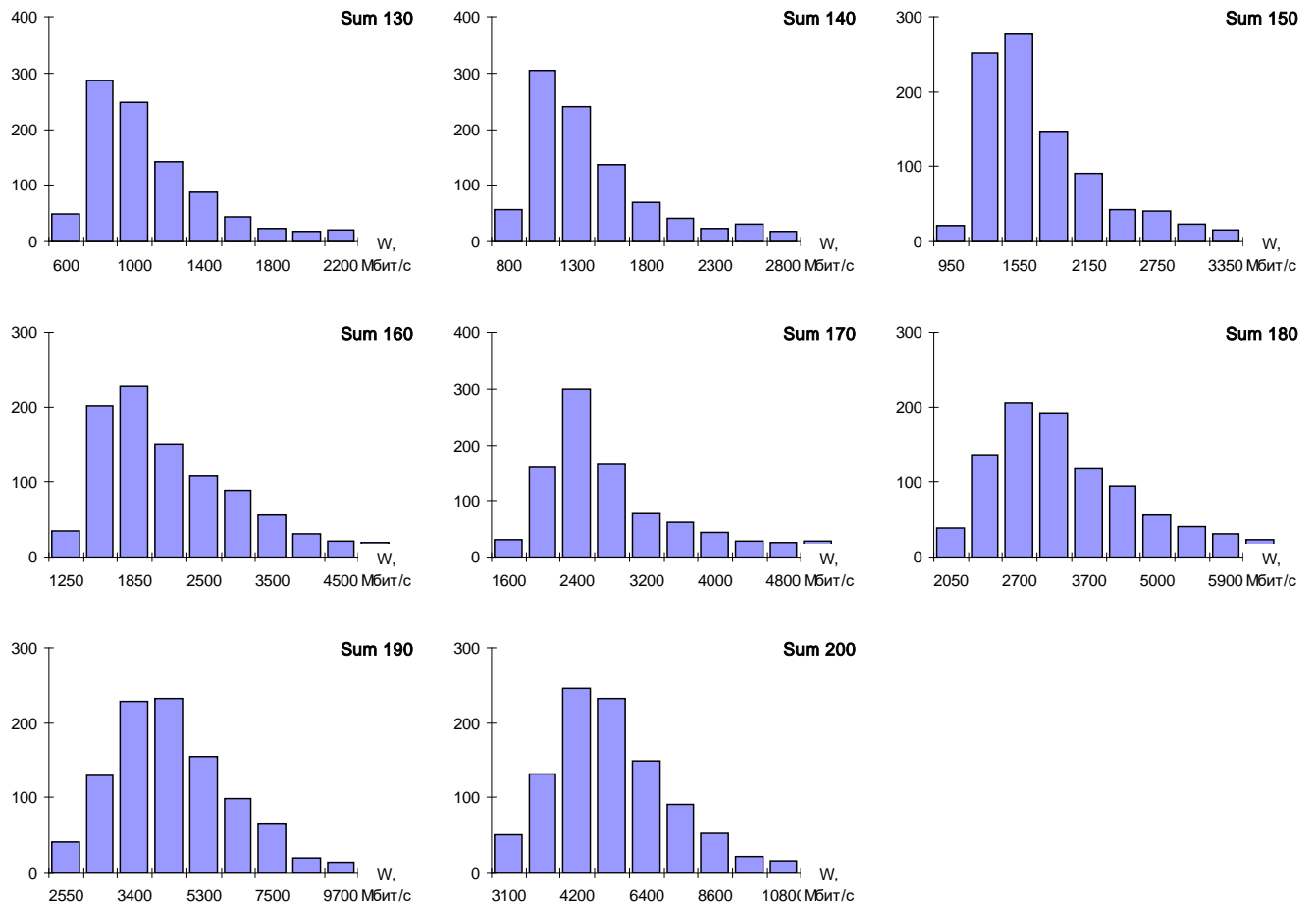


Рис.3.9. Гістограми сумарного потоку при Н=0,9.

Таблиця 3.4

Ряд	<i>Sum10</i>	<i>Sum20</i>	<i>Sum30</i>	<i>Sum40</i>	<i>Sum50</i>
χ^2 тест	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
χ^2 тест	<i>Sum60</i>	<i>Sum70</i>	<i>Sum80</i>	<i>Sum90</i>	<i>Sum100</i>
	0,001	0,003	0,012	0,04	0,068
χ^2 тест	<i>Sum110</i>	<i>Sum120</i>	<i>Sum130</i>	<i>Sum140</i>	<i>Sum150</i>
	0,112	0,112	0,178	0,27	0,393
χ^2 тест	<i>Sum160</i>	<i>Sum170</i>	<i>Sum180</i>	<i>Sum190</i>	<i>Sum200</i>
	0,544	0,711	0,864	0,964	0,997

За результатами аналізу узгодженості експериментальних і теоретичних даних за критерієм χ^2 побудований графік залежності ймовірності збіжності сумарного потоку до пуасоновського від кількості джерел при різному рівні самоподібності початкового потоку (рис. 3.10).

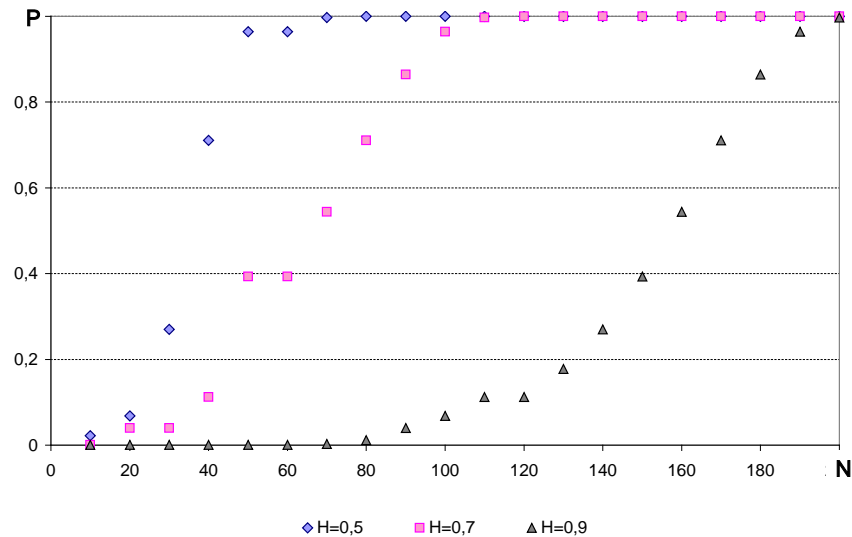


Рис. 3.10. Графік збіжності сумарного потоку вимог до пуассонівського

Таким чином, можна зробити висновок, що на швидкість збіжності сумарного потоку до пуассонівському більше впливають властивості початкових потоків (ступінь самоподібності), ніж їх кількість. Так, за умови приблизно рівної інтенсивності початкових потоків, сумарний буде близький до простого від 40 джерел при $H=0,5$, від 80 джерел при $H=0,7$ і 170 джерел при $H=0,9$.

Марковані потоки. Експериментально перевіримо властивості потоку на виході комутатора або маршрутизатора, в якому організовані пріоритетні черги (рис. 3.11).

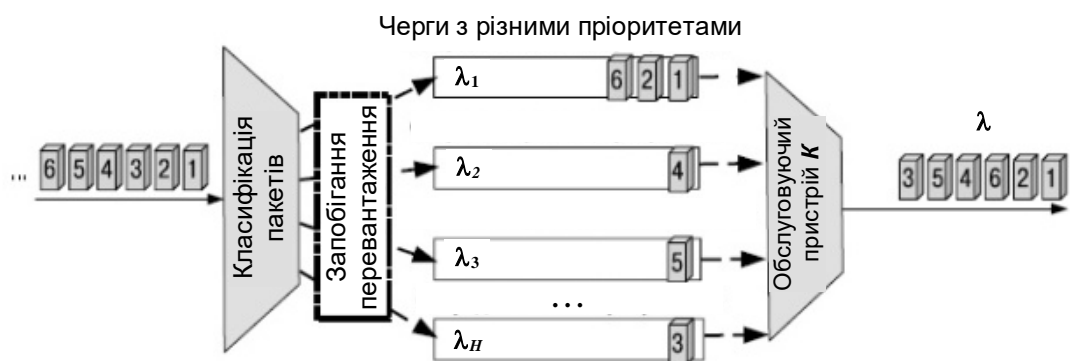


Рис. 3.11. Схема обслуговування черг з пріоритетами

Обслуговуючий пристрій K . Дисципліна обслуговування з відносним пріоритетом (без переривання обслуговування). Число пріоритетів N співпадає з числом типів заявок N . $Pr = 1, 2, \dots, N$. Найвищий пріоритет - під номером 1. Для

кожного типу заявок використовується індивідуальна черга, кількість місць черги не обмежена.

Потоки, що входять $\lambda_1 \dots \lambda_N$ самоподібні з різним параметром Херста: високопріоритетний потік з розподілом Парето і $H \approx 0,9$, а інші потоки з розподілом Парето і $H \approx 0,5$. Приклади графіків інтенсивностей початкових потоків представлені на рис. 3.12, 3.13. Необхідно дослідити характеристики сумарного маркованого потоку λ .

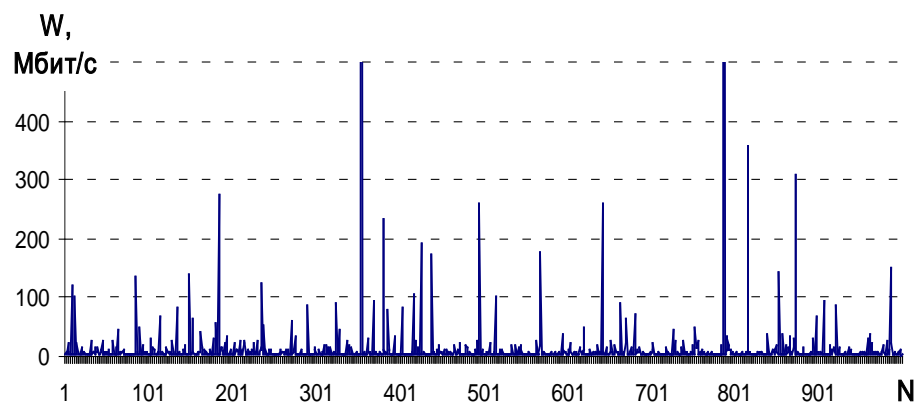


Рис.3.12. Графік інтенсивності високопріоритетного потоку $H=0,9$

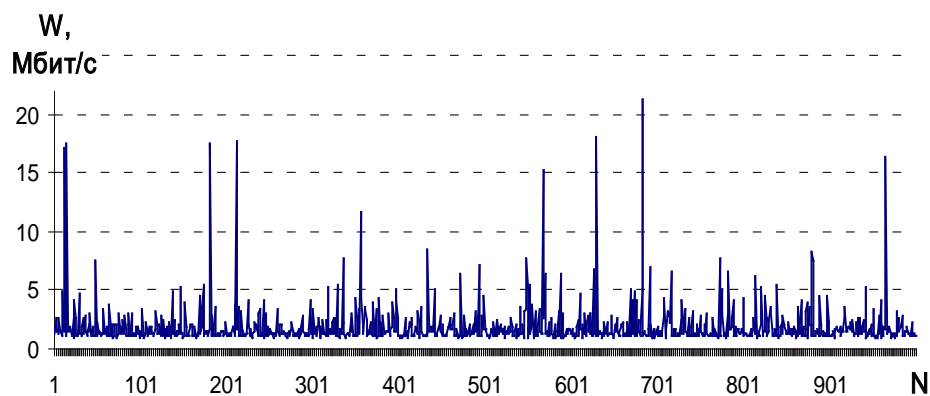


Рис.3.13. Графік інтенсивності низькопріоритетного потоку $H=0,5$

Розглянуті декілька варіантів розподілу часу обслуговування між високопріоритетним і іншими потоками: 80/20, 75/25, 60/40, 50/50, 40/60, 25/75, 20/80.

Гістограми сумарного маркованого потоку при різних співвідношеннях часу обслуговування, показані на рис.3.14. Візуально можна помітити, що характеристики сумарного маркованого потоку починають відрізнятися від

характеристик початкового високопріоритетного тільки при співвідношеннях 25/75 і 20/80.

Для підтвердження цієї гіпотези проведено дослідження сумарного маркованого потоку за допомогою методів непараметричної статистики. Результати перевірки узгодженості (за критерієм χ^2) характеристик сумарного маркованого і початкового високопріоритетного потоків, залежно від співвідношення часу, що виділяється на обробку, представлені в табл. 3.5. Графік кривої збіжності сумарного маркованого потоку до щільності початкового високопріоритетного залежно від співвідношення ресурсу, що виділяється, показаний на рис. 3.15.

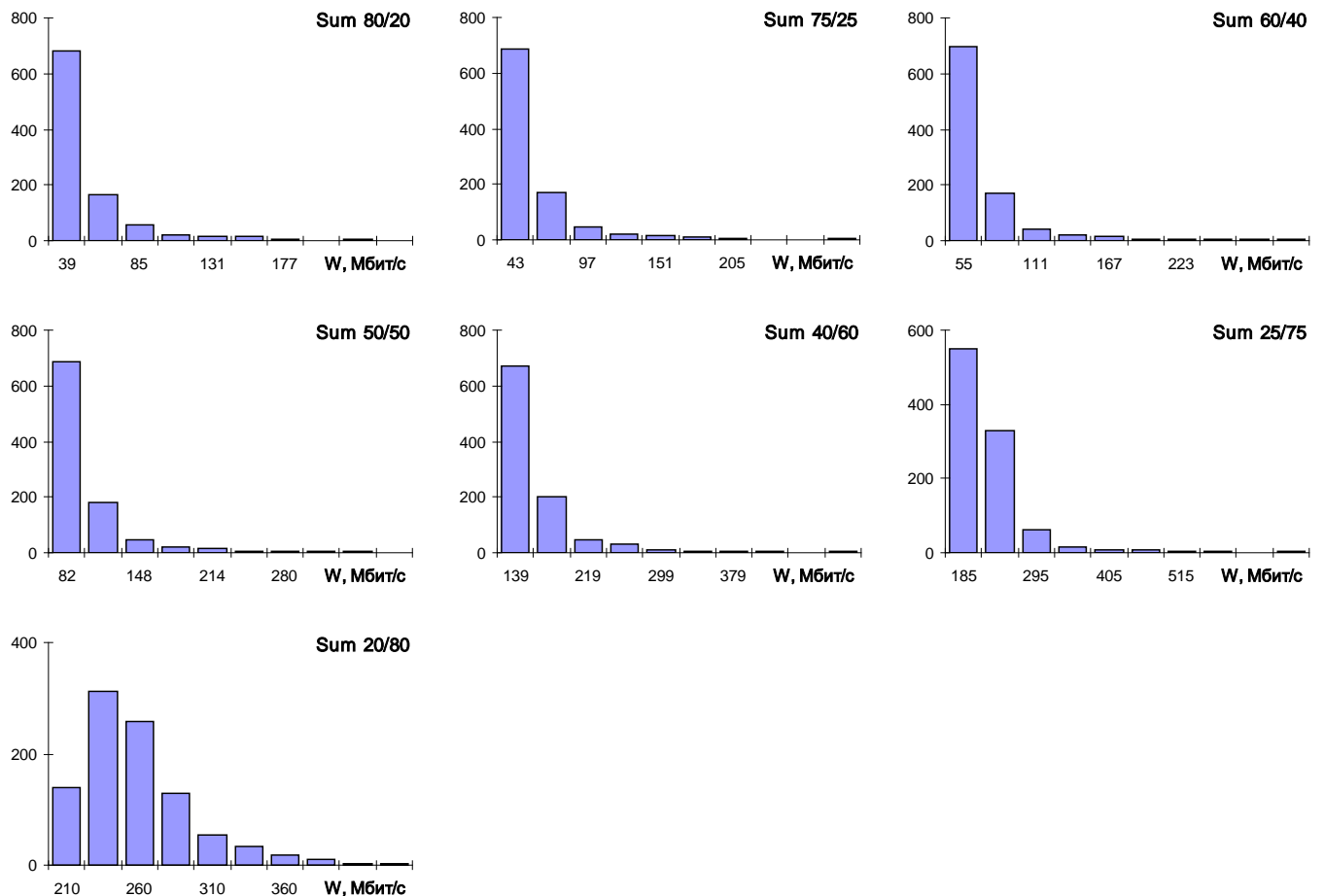


Рис. 3.14. Гістограми сумарного маркованого потоку

	Розподіл полоси пропускання між пріоритетним та іншими потоками						
	80/20	75/25	60/40	50/50	40/60	25/75	20/80
χ^2 тест	1	1	0,964	0,864	0,711	0,393	0,001
M_{sum}	68	72	82	107	163	217	274
σ_{sum}	305	305	305	305	305	305	305

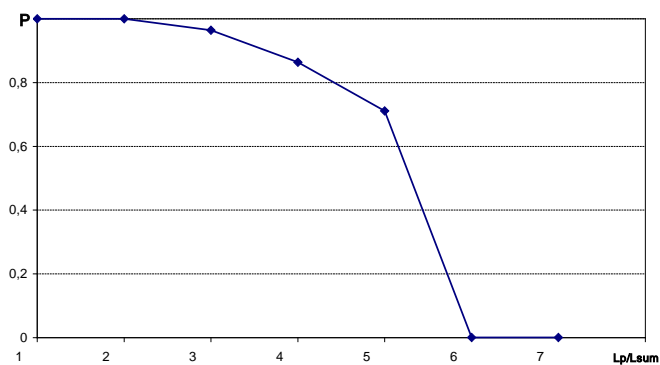


Рис. 3.15. Крива збіжності сумарного маркованого потоку до щільності початкового високопріоритетного λ_p – інтенсивність пріоритетного потоку; λ_{sum} – інтенсивність інших потоків

Таким чином, можна зробити висновок, що властивості сумарного маркованого потоку аналогічні властивостям високопріоритетного потоку з коефіцієнтом самоподібності $H \approx 0,9$ зберігаються для співвідношень 80/20, 75/25, 60/40, 50/50, 40/60. Властивості сумарного маркованого потоку при співвідношеннях 25/75 і 20/80 будуть аналогічні властивостям сумарних потоків з приблизно рівною інтенсивністю, тобто будуть сходиться до пуассонівського потоку.

3.4. Оцінка продуктивності мережі з урахуванням характеристик трафіку

За системного підходу до проблеми підвищення якості надання послуг у корпоративних інформаційних мережах неможливо обійтися без точних математичних методів аналізу систем розподілу інформації та оцінки якості обслуговування трафіка в реальних умовах формування його потоків. Деякі з задач можна сформулювати та розв'язати за допомогою теорії масового обслуговування. Однак більшість задач не вдається дослідити і розв'язати аналітично за допомогою класичних методів теорії масового обслуговування.

Математична модель системи в термінах ТМО містить такі основні елементи [19].

1. Вхідний потік заявок на обслуговування (трафік) – класифікується за ознаками стаціонарності, ординарності та післядії. Основними характеристиками потоку заявок є його параметр та інтенсивність.

2. Схема системи обслуговування – надає інформацію про кількість обслуговуючих пристроїв, їх взаємне з'єднання та доступність для вхідних заявок.

3. Дисципліна обслуговування потоку заявок – характеризує взаємодію потоку заявок із системою обслуговування. Дисципліна обслуговування описується такими характеристиками:

- способом обслуговування заявок (з втратами, з чергами);
- порядком обслуговування заявок (у порядку черги або випадково);
- режимами пошуку виходів схеми (довільний, груповий);
- законами розподілу часу обслуговування (експонентний, регулярний);
- наявністю переваг (пріоритетів) в обслуговуванні деяких заявок;
- наявністю обмежень при обслуговуванні (наприклад, час очікування);
- законами розподілу ймовірностей виходу з ладу елементів схеми.

Для кожної дисципліни обслуговування заявок властивий певний набір основних і допоміжних параметрів якості обслуговування (QoS).

Кількісна оцінка процесу обслуговування трафіка та якість обслуговування потоку заявок залежить від усіх елементів математичної моделі системи. Проте найскладнішим завданням є врахування математичної моделі вхідного потоку

заявок. Більшість відомих моделей розраховані для найпростішого випадку – пуассонівського потоку заявок. Для цієї моделі відомі усі аналітичні формули для розрахунку основних характеристик якості обслуговування в системах розподілу інформації [20].

Експериментальний аналіз параметрів потоків заявок, наведений у попередніх розділах, свідчить, що реальний трафік в мультисервісних корпоративних мережах не завжди відповідає моделі пуассонівського потоку. Такі потоки більш точно можна представити за допомогою моделей фрактального процесу [21, 22].

Однак дослідження основних параметрів продуктивності ККМ в цих умовах є складною математичною задачею, а вплив явища самоподібності трафіка на пропускну спроможність мережі ще не досліджено повною мірою. Причиною цього є слабка формалізованість моделі самоподібних потоків, внаслідок чого й неможливо отримати аналітично обґрунтовані результати для оцінки основних параметрів продуктивності мережі.

Випадковий процес (ВП) надходження пакетів на обслуговування, що утворює трафік, характеризується законом розподілу, який встановлює зв'язок між значенням випадкової величини (кількістю пакетів) і імовірністю появи цього значення.

Здебільшого для розрахунку параметрів продуктивності ККМ з пуассонівським розподілом трафіку досить було знати основні характеристики ВП – математичне сподівання M і дисперсію D . Однак у випадку само подібного трафіку такі характеристики хоча й досить важливі, але не є вичерпними. Деякі ВП характеризуються однаковими значеннями M і D , але внутрішня структура цих процесів різна – одні можуть мати плавно мінливі реалізації, а інші – яскраво виражену коливальну структуру за стрибкоподібної зміни окремих значень випадкової величини (наприклад, різке зростання кількості пакетів у мережі, що призводить до „пачковості” трафіка). Для «плавних» процесів характерна велика передбачуваність реалізацій, а для „пачкових” – дуже мала імовірнісна залежність між двома випадковими величинами ВП. У таких випадках закон розподілу

випадкової величини несе в собі невизначеність і уможливорює ефективне прогнозування.

Отже, для оцінювання характеристик продуктивності ККМ, в яких циркулює різнорідний самоподібний трафік, необхідно застосовувати непараметричні методи. В якості нижнього порогу продуктивності можна отримувати деякі асимптотичні порівняльні оцінки, наприклад, інформаційно-ентропійні міри імовірнісних розподілів

Числовою характеристикою розподілу, яка може служити його мірою невизначеності, є ентропія закону розподілу, яка пов'язана з поняттям кількості інформації, і є мірою невизначеності [22]. Отримання інформації супроводжується зменшенням невизначеності, тому кількість інформації можна вимірювати кількістю зниклої невизначеності, тобто ентропії. Зняття невизначеності дає можливість приймати обґрунтовані рішення при управлінні ККМ.

Оцінка невизначеності вибору для неперервного джерела інформації має свою специфіку. По-перше, значення, що реалізуються джерелом, математично відображаються неперервною випадковою величиною. По-друге, ймовірність значень цієї випадкової величини не може використовуватися для оцінки невизначеності, оскільки в даному випадку ймовірність будь-якого конкретного значення дорівнює нулю. Отже, диференційна ентропія неперервного джерела інформації визначається як

$$H(x) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \log f(x) dx,$$

де x – випадкова величина, а $f(x)$ – розподіл ймовірностей випадкової величини.

Як видно, ентропія не залежить від значень, випадкової величини, що приймається, а тільки від їх ймовірності. Її можна трактувати як середню невизначеність вибору випадкової величини з довільним законом розподілу в порівнянні з середньою невизначеністю вибору випадкової величини що змінюється в діапазоні, рівному одиниці, з рівномірним розподілом.

Диференціальна ентропія на відміну від ентропії дискретного джерела є відносною мірою невизначеності. Її значення залежить від масштабу випадкової величини, а отже, і від вибору одиниці її виміру.

Ентропія дискретного джерела завжди додатна. Диференціальна ентропія на відміну від ентропії джерел дискретних повідомлень може набувати додатних, від'ємних і нульових значень, тобто може бути негативною.

Інтерес представляє не абсолютне значення ентропії, а порівняння ентропій різних законів розподілу.

Проаналізуємо, які неперервні розподіли з «важкими хвостами» (Парето, Вейбула, логарифмічно нормальне) мають найбільшу диференційну ентропію.

Щільність розподілу Парето задається функцією [21]:

$$f(x) = \frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha+1},$$

де α – параметр форми; k – мінімальне значення випадкової величини x . При $\alpha \leq 2$ дисперсія нескінчена (що вимагається як умова само подібності). Параметр форми a і параметр Херста H знаходяться в такому співвідношенні: $H = \frac{3-\alpha}{2}$.

Тоді диференційна ентропія розподілу Парето розраховується так:

$$\begin{aligned} H_P(X) &= - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha+1} \log \left(\frac{\alpha}{k} \left(\frac{k}{x} \right)^{\alpha+1} \right) dx = \\ &= -\alpha k^\alpha \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{x^{\alpha+1}} \log \left(\frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}} \right) dx = \left| \begin{array}{l} u = \log \left(\frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}} \right); \quad du = -\frac{\alpha+1}{x} dx \\ dv = \frac{1}{x^{\alpha+1}} dx; \quad v = -\frac{1}{\alpha x^\alpha} \end{array} \right| = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -\alpha k^\alpha \left[\log\left(\frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}\right) \cdot \left(-\frac{1}{\alpha x^\alpha}\right) - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{\alpha x^\alpha} \cdot \left(-\frac{\alpha+1}{x}\right) dx \right] = \\
&= \alpha k^\alpha \left[\frac{1}{\alpha x^\alpha} \log\left(\frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}\right) + \frac{\alpha+1}{\alpha} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{x^{\alpha+1}} dx \right] = \\
&= \alpha k^\alpha \left[\frac{1}{\alpha x^\alpha} \log\left(\frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}\right) + \frac{\alpha+1}{\alpha} \left(-\frac{1}{\alpha x^\alpha}\right) \right] = \frac{k^\alpha}{x^\alpha} \log\left(\frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}\right) - \frac{(\alpha+1) k^\alpha}{\alpha x^\alpha}.
\end{aligned}$$

Оскільки диференційна ентропія не залежить від конкретного значення випадкової величини, розподіленої за законом Парето, то x можна замінити на мінімальне значення цієї величини, тобто k . $x \rightarrow x_{\min} \rightarrow k$.

Тоді отримаємо значення диференціальної ентропії, що визначає нижню межу кількості інформації, яка передається.

$$H_P(X) = \frac{k^\alpha}{x^\alpha} \log\left(\frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}\right) - \frac{(\alpha+1) k^\alpha}{\alpha x^\alpha} \Bigg|_{x \rightarrow k} = \frac{k^\alpha}{k^\alpha} \log\left(\frac{\alpha k^\alpha}{k^{\alpha+1}}\right) - \frac{(\alpha+1) k^\alpha}{\alpha k^\alpha} = \log \frac{\alpha}{k} - \frac{1}{\alpha} - 1.$$

Для інших розподілів (Вейбула, логарифмічно нормального) диференціальна ентропія розраховується аналогічно.

Щільність розподілу Вейбула:

$$f_W(x) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases}$$

де $\lambda > 0$ – параметр масштабу, $k > 0$ – параметр форми. Диференціальна ентропія розподілу Вейбула рівна

$$H_W(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} \log\left(\frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}\right) dx = \gamma \left(1 - \frac{1}{k}\right) + \left(\frac{\lambda}{k}\right)^k \log\left(\frac{\lambda}{k}\right).$$

Щільність логарифмічно нормального розподілу:

$$f_L(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, & x > 0; \\ 0, & x \leq 0, \end{cases}$$

де $\sigma > 0$ – середньоквадратичне відхилення, μ – математичне сподівання.
Диференціальна ентропія логарифмічно нормального розподілу рівна

$$H_L(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \log \left(\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \right) dx = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \log(2\pi\sigma^2) + \mu$$

Для порівняльного аналізу розрахована залежність диференціальної ентропії розподілу від різних параметрів (рис. 3.16).

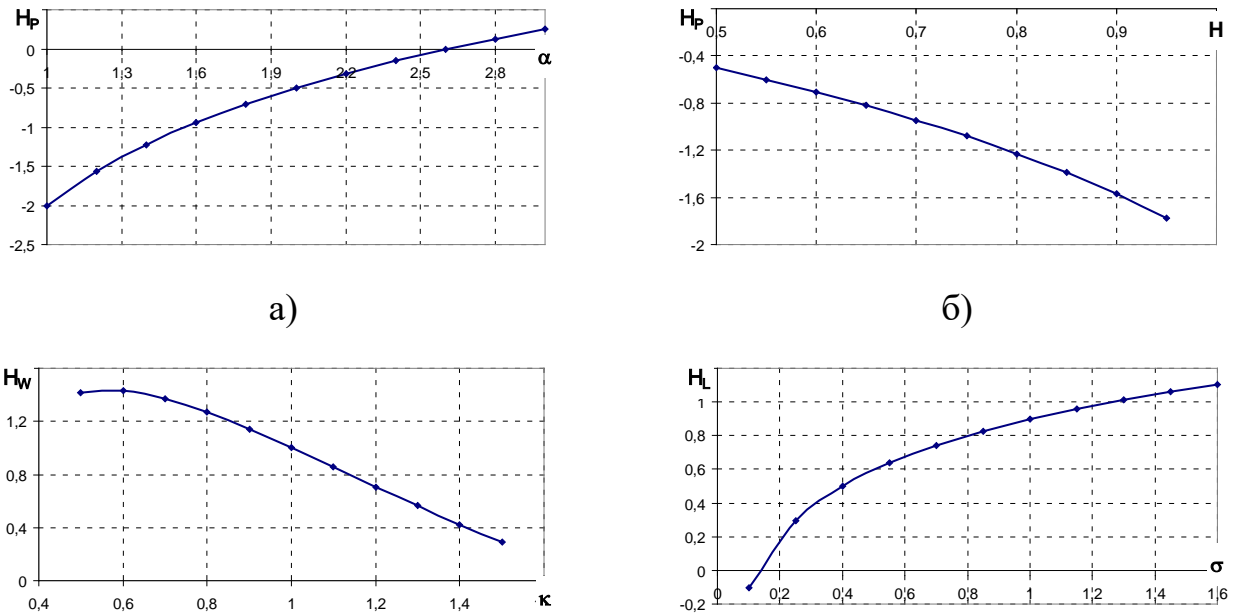


Рис. 3.16. Залежність диференціальної ентропії розподілу

а) Парето від параметра α ; б) Парето від параметра H ;

в) Вейбула від параметра форми k ;

г) логарифмічно нормального від середньоквадратичного відхилення

За результатами аналізу отриманих графіків можна зробити такі висновки:

- для розподілу Парето можна спостерігати монотонне зростання ентропії, отже, зростання необхідного ресурсу обміну даними при збільшенні параметра α ;
- для розподілу Парето з параметром H в межах $0,5 < H < 1$, що характеризує наявність самоподібних властивостей, також спостерігається монотонне зростання ентропії (по модулю). Тобто чим вища міра самоподібності, тим вище міра невизначеності, відповідно, знадобиться більший ресурс для обміну даними;
- для розподілу Вейбула при зростанні параметра форми k ступінь невизначеності зменшується;

– для логарифмічно нормального розподілу - чим більша дисперсія розподілу, тим вище міра невизначеність, тобто необхідний більший ресурс для обміну даними.

В роботі [22] запропоновано інформаційно-ентропійний підхід до оцінки показників продуктивності ККМ з різнорідним трафіком.

Основними параметрами продуктивності ККМ є: N - середня кількість заявок у системі, T - середня тривалість перебування заявок у системі, Q - середня довжина черги і W - тривалість очікування заявок. Для розрахунків можна застосовувати формулу Поллачека-Хінчина, призначену для моделі $M/G/1/r=\infty$:

$$N = \rho + \frac{\rho^2(1 + C^2)}{2(1 - \rho)}, \quad (3.1)$$

де N - середня кількість заявок у системі; C - коефіцієнт варіації тривалості обслуговування.

Визначивши цей параметр, інші характеристики розраховуються через відомі співвідношення та формулу Літтла:

$$Q = N - \rho, \quad T = \frac{N}{\rho}, \quad W = T - 1. \quad (3.2)$$

Інформаційно-ентропійний підхід до оцінки показників продуктивності передбачає, що:

- для встановленого закону розподілу станів системи визначається ентропія розподілу H_P, H_W, H_L (за відомими формулами);
- зміною коефіцієнта варіації C для моделі $M/H/1/r=\infty$ досягається збіг значень ентропії $H_{M/H/1}$ та H_P, H_W, H_L ;
- за допомогою знайденого коефіцієнта варіації C визначається середня кількість пакетів в системі N за формулою Поллачека-Хінчина (3.1);
- через відомі співвідношення (3.2) визначаються інші характеристики продуктивності.

3.5. Метод аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку ККМ

Для аналізу даних щодо трафіку ККМ пропонується метод, який враховує особливості потоків, що циркулюють у сучасних мультисервісних мережах.

Запропонований метод аналізу даних щодо трафіку ККМ передбачає послідовність дій, представлену на рис. 3.17.

На першому етапі відбувається збір та зберігання статистичних даних щодо трафіку у різних точках мережі. Дані збираються за допомогою протоколу SNMP і можуть характеризувати інтенсивність трафіку, кількість втрачених пакетів, завантаженість процесора комутаційного пристрою та інші характеристик.

На етапі аналізу відбувається визначення групи потоку вимог залежно від топології мережі, точки знання інформації та ідентифікація моделі розподілу і його характеристик за допомогою параметричної та непараметричної оцінки. Для потоків, які надходять на пограничні маршрутизатори від кінцевих користувачів слід застосовувати непараметричну оцінку, оскільки заздалегідь невідомий статистичний закон розподілу заявок, що надходять від незалежного джерела. Розглядаються, так звані, розподіли з «важкими хвостами». Для сумарних потоків притаманне згладжування і їх характеристик можуть визначатися як параметри пуасонівського розподілу залежно від наявності пріоритетного обслуговування. Для проріджених потоків, які формуються після відкидання деяких пакетів із черги через переповнення буферу, інтенсивність моделюється як $p = 1 - q$, де враховано відповідно інтенсивність відкидання пакетів. Модель сумарного маркованого потоку заявок моделюється за допомогою пуасонівського розподілу з провідною функцією близькою до найінтенсивнішого потоку.

На етапі моделювання будується модель потоку вимог із визначеними характеристиками, на основі яких на етапі прогнозування відбувається розрахунок показників продуктивності мережі з використанням диференціальної ентропії відповідних розподілів. В якості прогнозованих параметрів виступають миттєва та середня інтенсивність потоку, середня кількість заявок у системі, довжина черги, тривалість очікування заявок.

Збір даних

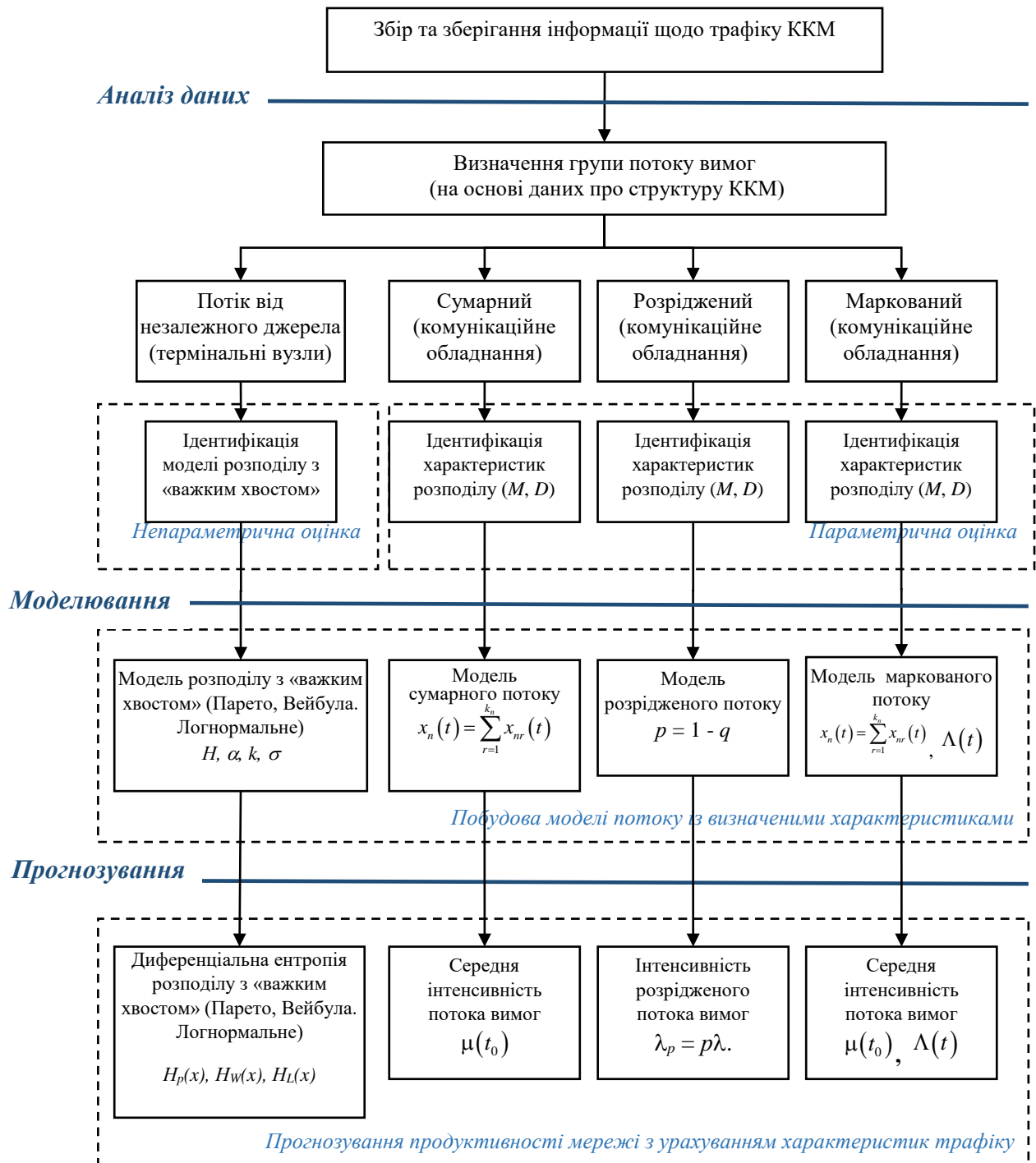


Рис. 3.17. Схема методу аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку ККМ

3.6. Висновки до розділу 3

1. В розділі представлено результати експериментального дослідження реального мережного трафіку, виявлено його характерні особливості і перевірено теоретичні передумови про наявність самоподібності в структурі процесу.

2. Дослідження трафіку корпоративних мереж різного масштабу: як великих мереж масштабу міста, так і мереж невеликого офісу, що налічують не більше 30 комп'ютерів дозволяє зробити висновок, що на швидкість збіжності сумарного потоку до пуассонівському більше впливають властивості початкових потоків (ступінь самоподібності), ніж їх кількість. Ця закономірність дозволяє більш точно проводити моделювання трафіку, що, в свою чергу, підвищує ефективність управління мережею в цілому.

3. Показано, що за умови приблизно рівної інтенсивності початкових потоків, сумарний буде близький до простого від 40 джерел при $H=0,5$, від 80 джерел при $H=0,7$ і 170 джерел при $H=0,9$.

4. Властивості сумарного маркованого потоку аналогічні властивостям високопріоритетного потоку з коефіцієнтом самоподібності $H \approx 0,9$ зберігаються для співвідношень 80/20, 75/25, 60/40, 50/50, 40/60.

5. Властивості сумарного маркованого потоку при співвідношеннях 25/75 і 20/80 будуть аналогічні властивостям сумарних потоків з приблизно рівною інтенсивністю, тобто будуть сходиться до пуассоновського потоку.

6. Запропонований інформаційно-ентропійний підхід до оцінки показників продуктивності ККМ з різномірним трафіком дозволяє для встановленого закону розподілу станів системи визначається ентропія розподілу H_P , H_W , H_L . Зміною коефіцієнта варіації C для моделі $M/H/1/r=\infty$ досягається збіг значень ентропії $H_{M/H/1}$ та H_P , H_W , H_L . За допомогою знайденого коефіцієнта варіації C визначається середня кількість пакетів в системі N за формулою Поллачека-Хінчина, зрештою визначаються інші характеристики продуктивності.

7. Запропоновано удосконалений метод аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різномірного мережного трафіку з маркуванням

(пріоритизацією) потоків, сумарних та проріджених потоків сучасних ККМ. Метод передбачає, що на першому етапі відбувається збір та зберігання статистичних даних щодо трафіку у різних точках мережі. На етапі аналізу відбувається визначення групи потоку вимог та ідентифікація моделі розподілу та його характеристик за допомогою параметричної та непараметричної оцінки. На етапі моделювання будується модель потоку вимог із визначеними характеристиками, на основі яких на етапі прогнозування відбувається розрахунок показників продуктивності мережі з використанням диференціальної ентропії відповідних розподілів.

Список використаних у третьому розділі джерел

1. Довженко Т.П., Сторчак К.П. Побудова математико-статистичних моделей передбачення кількості відкинутих та втрачених пакетів для мережі TCP/IP з використанням DSREM-алгоритма // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2016. – №2(42). С. 59-66.
2. Дронюк І. М., Федевич О. Ю. Аналіз трафіку комп'ютерної мережі на основі експериментальних даних середовища wireshark. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі.* 2015. № 814.
3. Головешко М.В., Северілов А.В., Лебеденко Т.М. Результати експериментального дослідження методу активного управління чергами на інтерфейсах телекомунікаційних мереж Харківський національний університет радіоелектроніки. *Проблеми телекомунікацій.* 2019. № 2 (25). С. 37-55.
4. Савченко А.С. Экспериментальное исследование свойств суммарных потоков в вычислительных сетях // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку: Наук-виробн. зб. – К.: УНДІЗ, 2010. – Вип. 4(16). – С.101-107.

5. Кучук Г.А., Можаяев О.О., Воробйов О.В. Анализ та моделі самоподібного трафіка. *Авиационно-космическая техника и технология*, 2006. С. 173–180.
6. Тсрdump <https://well-web.net/tcpdump> (дата звернення 20.04.2012)
7. Network Monitor. <https://docs.microsoft.com/en-us/troubleshoot/windows-server/networking/network-monitor-3> (дата звернення 20.04.2012)
8. MRTG(Multi Router Traffic Grapher) <https://stuff.mit.edu/afs/sipb/project/mrtg/build/mrtg-2.10.5/doc/> (дата звернення 20.04.2012)
9. Олифер В. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: уч. для вузов. 4-е изд. / В. Олифер, Н. Олифер. – СПб.: Питер, 2011. – 944 с. Столлингс В. Современные телекоммуникационные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с
10. Лившиц Б. С., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. Теория телетрафика. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Связь, 1979. – 224 с.
11. Кудрицкий В.Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание реализаций случайных функций. – К.: ФАДА ЛТД, 2001. – 176 с.
12. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Пер. с англ. И.Г. Журбенко, В.П. Носко; под ред. Ю.К. Беляева. – М.: Мир, 1976. – 755 с
13. Вентцель Е.С. Исследование операций. / Е.С.Вентцель– М.: Советское радио, 1972. – С. 239
14. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. В 2 т. – М.: Мир, 1984. – Т.2. – 738 с.
15. Афифи А., Эйзен С. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ. Пер с англ. В.В. Дубницкий. Л.И. Ланина; под ред. А.А. Первозванского.– М.: Мир, 1982. – 488 с

16. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. 1966. 432 с.

17. Теория массового обслуживания. Перевод с англ. /Пер. И. И. Грушко; ред. В. И. Нейман – М.: Машиностроение, 1979. – 432с.

18. Шелухин О. И., Тенякшев А. М., Осин А. В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях: монография. М.: Радиотехника, 2003. 480 с.;

19. Ложковский А.Г. Сравнительный анализ методов расчета характеристик качества обслуживания при самоподобных потоках в сети // Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – К., 2008. – Вип. 47. – С. 187–193.

20. Стратонович Р.Л. Теория информации. М.:Сов.радио, 1975.– 424с

21. Столлингс В. Современные телекоммуникационные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.

22. Савченко А.С. Информационно-энтропийный подход к оценке производительности компьютерных сетей с разнородным трафиком Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку: зб. наук. праць. – К.: УНДІЗ, 2014. – Вип. 1(29). – С. 44-50.

РОЗДІЛ 4. МЕТОД ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ КОМП'ЮТЕРНОЮ МЕРЕЖЕЮ

4.1. Метод управління корпоративною комп'ютерною мережею як великою системою

Сучасні ККМ характеризуються розподіленою структурою, що може включати вузли відділені на десятки кілометрів та здатні обслуговувати тисячі користувачів з різними типами сервісів. Відповідним чином формується і завантаженість мережної інфраструктури, отже таку систему можна віднести до класу великих систем, ніколи немає повної і достовірної інформації про стан її каналів та мережних елементів.

Основний вплив у завантаженість мережних вузлів вносять типи сервісів, які використовуються, кількість користувачів у сегменті, структура мережі, альтернативні маршрути між елементами тощо.

Різноманіття типів сервісів у ККМ та необхідність забезпечення заданого рівня QoS для кожного з них, а також обмеженість фізичних ресурсів мережі викликає необхідність оптимального перерозподілу наявних ресурсів.

Управління мережею зводиться до вирішення таких основних задач:

- управління структурою мережі;
- налагодженням мережного обладнання;
- управління потоками даних в мережі;
- управління маршрутизацією;
- досягнення оптимального розподілу смуги пропускання між сервісами.

Розглянувши існуючі методи управління комп'ютерними мережами (див. розділ 1), можна виділити три основні етапи при вирішенні задачі управління корпоративними комп'ютерними мережами (рис 4.1.):

- 1) ідентифікацію станів мережного обладнання;

- 2) вироблення управляючих впливів;
- 3) реалізацію управляючих впливів на об'єкт управління.

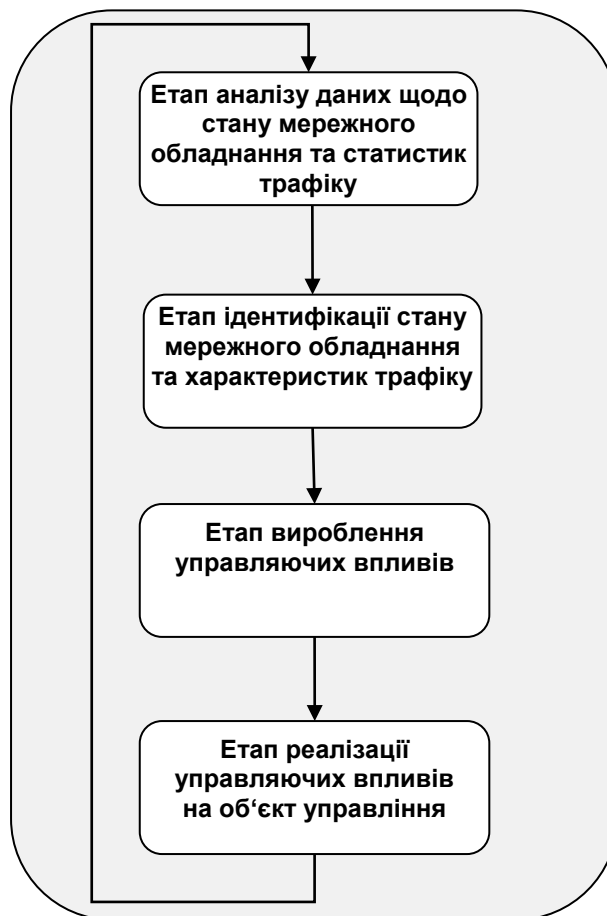


Рис. 4.1. Узагальнена схема методу управління комп'ютерною мережею

Методи управління мережами передбачають, необхідність представлення математичних моделей, алгоритмів і програм прогнозування зміни технічного стану вузлів обчислювальних і комунікаційних систем мережі.

У багатьох раніше розроблених системах управління в підсистемах ідентифікації стану керованого об'єкта і вироблення керуючих впливів використовувалися детерміновані математичні моделі. Такі системи управління є системами параметричного управління, тобто, системами, які керують не станами об'єкта, а параметрами. У підсумку ці системи управління практично не працюють зі складними динамічними багатопараметричними слабо детермінованими об'єктами управління.

Крім цього, для найбільш повного досягнення функцій та підфункцій організаційного та технологічного управління важливо, щоб в центри прийняття управлінських рішень в достатній кількості стікалася тільки релевантна інформація. Тому в вузлах управління повинна здійснюватися систематична обробка обліково-виміральної інформації з метою підвищення її семантичних і ціннісних характеристик. При цьому важливо врахувати, що управління ККС завжди ведеться в умовах нестачі і затримки інформації. Це обумовлено тим, що для вузлів управління, які є об'єднанням людей і програмно-машинних комплексів такі системи лише частково спостережувані, частково керовані. Дані положення виправдовують застосування в СУВС в якості істотних функціональних ланок підсистеми ідентифікації та прогнозування станів об'єкта управління, засновані на методах штучного інтелекту (насамперед розпізнавання образів) і методах підтримки прийняття рішень - ЕС [1].

Першим етапом в послідовності прийому, зберігання і обробки інформації в будь-якої технічної системі є етап визначення (розпізнавання) стану. На цьому етапі визначається, з об'єктами якого класу здійснюється робота.

До теперішнього часу розроблено та реалізовано на ЕОМ безліч алгоритмів розпізнають стану на основі попереднього навчання [2, 3]. У процесі такого навчання, машині пред'являється сукупність об'єктів з відомою класифікацією, за якими розпізнає програма виробляє правила класифікації. За цими правилами проводиться розпізнавання об'єктів з невідомої класифікацією.

Необхідність застосування інтелектуальних методів управління КС пов'язана з тим, що,

- по-перше, сучасні ККС представляють собою складну гетерогенну структуру, в якій застосовуються різні протоколи обміну даними;
- по-друге, недостатність апріорної інформації про функціонування мережного обладнання робить застосування алгоритмічних методів малоефективним засобом управління.

Якщо уявити стан мережного обладнання як точку в багатовимірному просторі, і при цьому класифікувати весь простір можливих станів обладнання

(виділити різні області чітко відповідають різним станам), то в такому випадку завдання управління ККС можна легко звести до задачі розпізнавання образів. Інформацію, по якій можна класифікувати стану мережного обладнання, можна отримати за допомогою спеціалізованого протоколу управління мережами SNMP з інформаційної бази керуючої інформації MIB відповідного активного телекомунікаційного пристрою.

Однак тут виникає інша проблема - проблема вибору найбільш інформативних параметрів з усього інформаційного простору бази MIB. Дана проблема може бути вирішена за допомогою алгоритмів навчання, заснованих на відборі статистично корисних ознак.

У табл. 1 проведено порівняльний аналіз процедур розпізнавання образів і управління інформаційними мережами, з якого видно, що основні етапи процесу управління мережами за своєю суттю ідентичні відповідним етапам процесу розпізнавання образів [4].

Таблиця 4.1

Порівняльний аналіз процедур розпізнавання образів і управління ВС

<i>Розпізнавання образів</i>	<i>Управління</i>
Збір даних	Збір статистики функціонування мережного обладнання
Формування навчальної вибірки	Формування еталонних значень параметрів функціонування мережі
Побудова вирішальних правил	
Класифікація пропонованих станів	Порівняння поточного стану мережі з еталонними і контроль відхилень
	Прийняття рішення

Класифікатор станів реалізує вирішальні правила за допомогою алгоритму адаптації розпізнавання станів. Він може функціонувати в двох режимах: навчання та розпізнавання. На першому етапі функціонування системи необхідно провести її навчання (за допомогою класифікаційних шкал повідомити системі до якого з класів станів належить той чи інший режим роботи). Набір навчальних

векторів повинен бути складений таким чином, щоб точно описати задачу і граничні умови навчання системи. Так само як і при навчанні людини, саме якість прикладів, на яких проводиться навчання, визначає подальшу працездатність системи. Після того, як було проведено навчання, будуються вирішальні правила, за допомогою яких в режимі розпізнавання автоматично класифікуються стану мережного обладнання.

Процедури ідентифікації, що використовують методи розпізнавання станів дозволяють усунути такі недоліки класичних процедур, як:

- можливість роботи з двома-трьома станами;
- ідентифікація по одному скалярному параметру;
- необхідність наявності повної апіорної інформації про можливі станах ККС.

Крім того, поліпшуються такі показники, як періодичність ідентифікації; регулярність процедури.

Одним з достоїнств застосування методів розпізнавання образів в управлінні ККС є їх легка адаптація до нових умов експлуатації (на основі існуючого класифікатора станів відбувається перебудова вирішальних правил), що є досить суттєвим фактором при управлінні. Запропонована інформаційна технологія дозволяє також підвищити якість прийнятого рішення з управління ККС, так як для ідентифікації стану ККМ і формуванні керуючого впливу на об'єкти ККС використовуються багатовимірні вектори, що описують стан кожного об'єкта.

Загальна схема функціонування методу ідентифікації стану ККМ подана на рис 4.2.

Основні складові етапу навчання, як складової методу ідентифікації стану ККМ:

- формування знань щодо стану мережі на основі визначених параметрів;
- формування вектору ознак щодо можливого стану мережі (працездатний, перевантаження, плаваюча відмова, повна відмова);
- формування меж можливих відхилень від вектору ознак для кожного стану ККМ;

–формування правил для визначення стану ККМ;

Ідентифікація стану мережі на основі теорії розпізнавання образів та інформаційно-ентропійних критеріїв включає наступні кроки:

- збір та зберігання інформації для визначення стану мережі (моніторинг мережного трафіку та основних параметрів мережного обладнання);
- здійснення ідентифікації стану мережі на основі розпізнавання образів та інформаційно-ентропійних критеріїв;
- здійснення урахування затримок сигнальної та управляючої інформації;
- результуюча оцінка стану мережі.

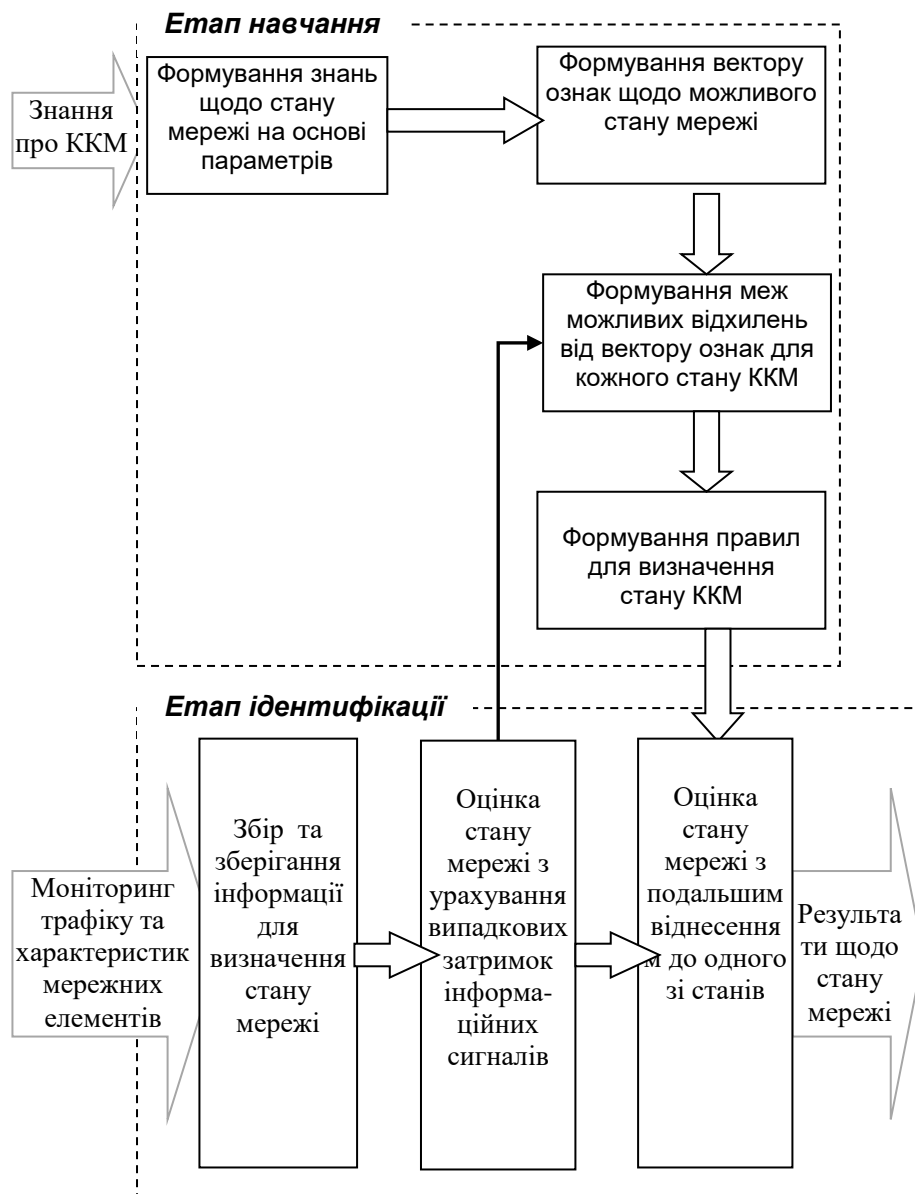


Рис.4.2. Загальна схема функціонування методу ідентифікації стану ККМ

Після етапу ідентифікації стану мережі інформаційна технологія управління ККС передбачає такі етапи (рис. 4.3):

- формування можливих стратегій управління;
- вибору оптимального управління;
- реалізації управляючих дій;
- аналіз управляючих впливів та відповідного результуючого стану мережі;

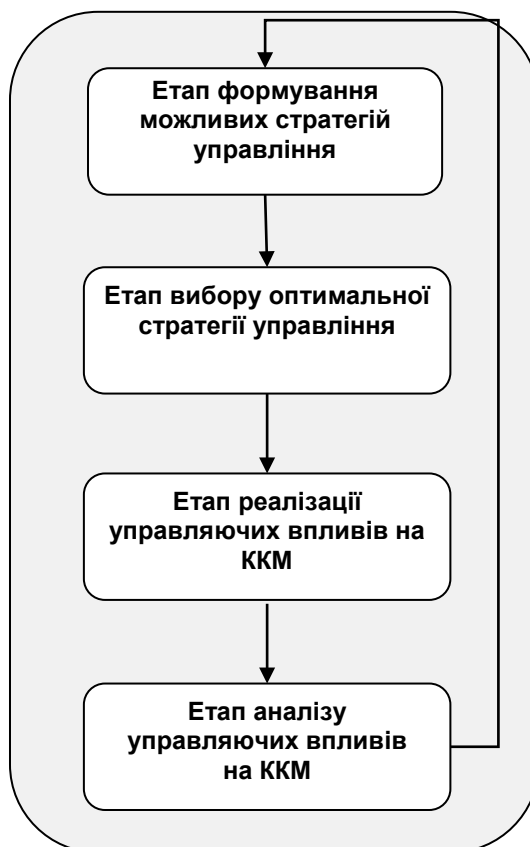


Рис. 4.3. Схема послідовності етапів формування управляючих дій

Етап формування можливих стратегій управління передбачає розрахунок області можливих управлінь на основі вектору параметрів стану мережі.

Етап вибору оптимальної стратегії управління передбачає знаходження оптимальних управлінь на основі апарату теорії оптимального управління.

Етап реалізації управляючих впливів передбачає переведення знайдених оптимальних управлінь у вигляд управляючих сигналів на основі існуючих мережних протоколів.

Етап аналізу управляючих впливів передбачає зберігання інформації щодо застосованих управляючих впливів та відповідного результуючого стану мережі для подальшої оцінки їх ефективності.

4.2. Критерії оптимального управління ККМ

Автоматизована система управління корпоративною інформаційною мережею (КІМ) повинна бути пов'язана з теорією процесів управління і перш за все з оптимальним управлінням, оскільки це є одним із важливих завдань при підвищенні ефективності таких систем. Якісні напрямки теорії оптимального автоматичного управління мають фундаментальне значення для теорії систем автоматизованого управління КС. *Оптимальним* вважається управління, здійснюване найкращим за певними показниками чином. Організація оптимального управління заснована на виявленні та реалізації граничних можливостей систем. [5, 6]

При розробці систем оптимального управління одним з найважливіших кроків є формулювання *критерію оптимальності*, під яким розуміється основний показник, що визначає завдання оптимізації. Саме за цим критерієм оптимальна система повинна функціонувати найкращим чином.

В якості критеріїв оптимальності можуть виступати виступають різноманітні технічні та техніко-економічні показники, які виражають техніко-економічну вигоду або, навпаки, втрати. У першому випадку оптимальне управління повинно забезпечувати максимум критерію оптимальності, наприклад продуктивності, коефіцієнта корисної дії, прибутку і тощо, при заданих реальних умовах роботи і обмеженнях. У другому випадку оптимальне управління повинно забезпечувати мінімум критерію оптимальності при заданих обмеженнях, наприклад витрати енергії, палива, фінансових ресурсів тощо.

В силу суперечливості вимог, що пред'являються до систем автоматичного управління, вибір критерію оптимальності є складним завданням, що має неоднозначне рішення. Слід також враховувати, що не всяке оптимальне рішення,

синтезоване теоретично, можна реалізувати практично на базі досягається рівня техніки.

Критерій оптимальності зазвичай представляється у вигляді деякого функціоналу. Функціонал в такому випадку можна визначити як функцію, аргументи якої пов'язані з критеріями оптимальності і самі є функціями змінних. Оптимізація системи за таким функціоналом практично неможлива, так як його значення визначається багатьма суперечливими факторами [5]. Тому в теорії управління використовуються функціонали, що характеризують окремі показники якості роботи систем управління. Стосовно до динамічних систем функціонал якості в загальному випадку включає в себе координати виходу $X \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, тобто бажаний стан об'єкт управління та координати управляючих дій $U \{u_1, u_2, \dots, u_r\}$ і координати збурень $F \{f_1, f_2, \dots, f_k\}$, n, r, k – число відповідних змінних. При цьому функціонал якості систем векторів має вигляд

$$J = \int_{t_1}^{t_2} \Psi(X, U, F) dt \quad (4.1)$$

$$\text{або } J = \int_{t_1}^{t_2} \Psi(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; f_1, f_2, \dots, f_k) dt \quad (4.2)$$

де t_1, t_2 — інтервали часу, в яких визначається функціонал. Для інформаційної системи задачу оптимізації необхідно вирішувати циклічно, тобто знаходити оптимальні управління на кожному кроці.

Оптимальний стан корпоративної інформаційної системи як об'єкту управління може бути досягнутий тоді, коли функціонал (4.1) або (4.2) досягає свого екстремуму $J = \text{extr}$, в даному випадку, мінімуму.

При розробці і дослідженні управління корпоративною інформаційною динамічною системою можна вирішувати два завдання: 1) синтез системи, оптимальної за швидкодією; 2) синтез системи, оптимальної по точності. У першому випадку необхідно забезпечити мінімум часу перехідного процесу $x_i(t)$, у другому - мінімум середньоквадратичної помилки (відхилення координати $x_i(t)$ від заданого значення) при заданих або випадкових впливах. Для ефективного функціонування інформаційних систем вчасно повернути систему до нормальної

роботи, доки вона не перейшла у непрацездатній стан. Тому доцільно оптимізувати управління за швидкодією, тобто забезпечувати мінімум перехідного процесу.

Критерій оптимальності системи, оптимальної за швидкодією

$$J = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt \rightarrow \min$$

при $f(t)=[1]$ буде $J = t_2 - t_1 = \min$.

Для багатовимірних об'єктів управління, тобто для об'єктів з кількома керованими змінними, якими є корпоративні інформаційні системи, необхідно забезпечити незалежність деякої змінної $x_i(t)$ від іншої змінної $x_k(t)$. Функціонал якості в таких системах

$$J = \int_0^T x_i^2(t + \tau) x_k^2(t) dt \rightarrow \min$$

Оскільки інформаційна мережа та система управління є складними об'єктами з багатьма змінними, і екстремальне значення функціоналу якості залежить від багатьох змінних $Q\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, то встановлюється одна, найбільш істотна з цих змінних, і оптимізація системи здійснюється за критерієм оптимальності

$$J = \int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial Q(x_1, x_2, \dots, x_n)}{\partial x_j} \Delta x_j(t) dt \rightarrow \min$$

Для управління інформаційними системами із застосуванням теорії управління доцільно використовувати так звані мінімаксні критерії оптимальності, що характеризують умови найкращої роботи системи в найгірших можливих умовах.

Таким чином, управління інформаційною мережею як великою системою, з використанням методів якісної теорії оптимального управління має наступні переваги:

- існування в переважній більшості випадків оптимального значення часу прогнозування вільного руху розімкненої системи (закон кінцевого часу прогнозу);

- обмежену практично необхідну точність прогнозуючої моделі (закон обмеженої точності прогнозу);
- зниження вимог до точності моделі і обчислювальних витрат при збільшенні критеріальної керованості (одна з форм «інформаційно-енергетичного балансу»);
- наявність критеріальної збіжності в оптимальній замкнутій системі при цільовій визначеності (згортка в нуль тільки в цілі);
- можливість при жорсткому управлінні критеріальної збіжності в малу околиця цілі за кінцевий час.

Однак теорія автоматичного оптимального управління в її традиційних формах не може становити єдину основу системи управління ККМ. Вона повинна бути інтегрована з іншими перспективними напрямками, наприклад, системами штучного інтелекту і методологією опису складних недостатньо формалізованих систем.

4.3. Синтез системи управління автономним сегментом ККМ

Сучасні комп'ютерні мережі є складними гетерогенними системами, що надають широкий спектр послуг кінцевим користувачам. Основним фактором, що впливає на якість обміну даними між прикладним програмним забезпеченням корпоративної системи, на гарантування якості різних типів сервісів для користувачів (в тому числі і «хмарних»), і, відповідно, на якість вирішення прикладних завдань, є ефективність управління наявними технічними ресурсами комп'ютерної мережі. Це обумовлює необхідність впровадження складних механізмів управління мережею, які дозволяють здійснювати контроль і управління кожним активним елементом мережі, а також станом мережі в цілому.

Аналіз сучасних систем управління інформаційними мережами, як безкоштовних систем з відкритим кодом (наприклад, *Zabbix* [7], *OpenNMS* [8]) так і комерційних продуктів платформного типу (наприклад, *Cisco Prime* [9], *HP*

OpenView [10], *IBM Tivoli* [11], *Naumen Network Manager* [12]) дозволив визначити основні їх недоліки. Насправді системи проводять моніторинг заданих параметрів, збір та найпростіший аналіз статистики. Системи платформного типу системи дозволяють також побудувати нескладний короткостроковий прогноз відносно деяких параметрів. Далі адміністратор (на власний розсуд) встановлює порогові значення для певних параметрів, а система слідкує щоб не відбувалося їх перевищення. Всі інші дії щодо запобігання перевантаженням маршрутів у мережі, виходу з ладу активних елементів тощо, адміністратор виконує самостійно базуючись на власному досвіді і кваліфікації. Отже ефективність такої системи напряму залежить від людського фактору, а про оптимальність управління мережними ресурсами не йдеться взагалі.

Для вирішення проблем формального синтезу необхідно застосовувати найефективніші методи теорії оптимального управління багатовимірними багатозв'язними системами, якою є комп'ютерна мережа. Теорія оптимального управління в її традиційних формах не може бути єдиною основою системи управління мережею. Вона має бути інтегрована з іншими напрямками, наприклад, системами штучного інтелекту і методологією опису складних не формалізованих систем.

Для синтезу системи управління складним технічним об'єктом – комп'ютерною мережею, – доцільно застосовувати методи оптимізації, засновані на мінімізації функціоналів якості управління [13, 14]. Оптимізація може проводитись за різними критеріями. Від виду цільового функціоналу залежить якість управління КМ: швидкодія, точність, обсяг додаткових управляючих дій (інформаційних сигналів) тощо [15].

Враховуючи викладене вище задача обґрунтованого вибору функціоналу оптимізації при аналітичному конструюванні системи оптимального управління комп'ютерною мережею є актуальною.

Оптимізацію можна проводити за класичним для теорії автоматичного управління функціоналом (наприклад, Льотова-Калмана) і некласичним, наприклад, функціоналом узагальненої роботи (ФУР) О.А. Красовського.

Далі наведено порівняльний аналіз систем оптимального управління при аналітичному конструюванні за критерієм Лєтова-Калмана та за критерієм узагальненої роботи О. А. Красовського.

Вважатимемо, що КМ є детермінованою системою, лінійним об'єктом управління і може бути описана векторним рівнянням [15]

$$\dot{x} + ax = bu, \quad (4.3)$$

де x – вектор стану об'єкту – вектор фазових координат; u – вектор управління, a , b – матриці коефіцієнтів.

Якщо (4.3) – лінійна математична модель функціонування КМ, то компонентами вектору управління u є не енергетичні, а інформаційні затрати, наприклад, на розширення смуги пропускання, управляючі команди (службовий трафік) тощо. Компонентами вектору x є параметри стану мережі. При синтезі законів або алгоритмів управління будемо припускати повну ступінь безпосередньої спостережуваності системи, тобто можливість використання в алгоритмах управління всіх компонент вектору x . Ця умова означає, що значення всіх необхідних параметрів КМ відомі (можуть бути виміряні за допомогою підсистеми моніторингу).

Порівняємо управління КМ, сконструйовану за функціоналом Лєтова-Калмана та узагальненої роботи (ФУР) О. А. Красовського, по критерію необхідної обчислювальної потужності.

Аналітичне конструювання управління КМ за критерієм Лєтова-Калмана. Синтез управління КМ за критерієм Лєтова-Калмана, заснований на мінімізації функціоналу виду [15]

$$I = x^T(t_2)\rho x(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} x^T \beta x dt + \int_{t_1}^{t_2} u^T k^{-2} u dt, \quad (4.4)$$

де ρ , β , k^{-2} – задані додатньо визначені або невід'ємні матриці; t_1 – початковий, t_2 – кінцевий момент часу інтервалу, що розглядається.

Матриця k^{-2} зазвичай задається діагональною

$$k^{-2} = \begin{vmatrix} \frac{1}{k_1^2} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1}{k_2^2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{1}{k_m^2} \end{vmatrix}.$$

Матриці ρ і β також мають діагональну форму. Матриця ρ – (термінальна складова) відповідає за введення параметрів КМ в кінцевий момент часу t_2 в околицю бажаного стану. Матриця β визначає якість перехідних процесів. Матриця k^{-2} оцінює затрати на управління.

Враховуючи діагональну форму, функціонал (4.4) у розгорнутій формі матиме вигляд

$$I = \sum_{i,j=1}^n \rho_{ij} x_i(t_2) x_j(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} x_i(t) x_j(t) dt + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^m \frac{u_i^2(t)}{k_i^2} dt. \quad (4.5)$$

Перша складова функціоналу

$$x^T(t_2) \rho x(t_2) = \sum_{i,j=1}^n \rho_{ij} x_i(t_2) x_j(t_2) \quad (4.6)$$

являє собою додатньо визначену або невід'ємну квадратичну форму значень параметрів КМ в кінцевий момент часу, тобто визначає стан системи в кінцевий момент часу. Це термінальна складова функціоналу, яка є мірою відхилення параметрів КМ від стану «рівноваги» $x=0$, в кінцевий момент часу.

При діагональній матриці ρ ця складова має вид

$$\sum_{i=1}^n \rho_{ii} x_i^2(t_2), \quad \rho_{ii} \geq 0.$$

Чим більші значення коефіцієнтів ρ_{ii} , тим жорсткіші вимоги до точності приведення комп'ютерної мережі до кінцевого стану $x=0$.

Друга складова

$$\int_{t_1}^{t_2} x^T \beta x dt = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} x_i x_j dt = \sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} \int_{t_1}^{t_2} x_i x_j dt$$

позначає узагальнену інтегральну квадратичну оцінку якості перехідних процесів, яка при діагональній матриці β набуває виду

$$\sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} \int_{t_1}^{t_2} x_i^2 dt, \quad \beta_{ii} \geq 0.$$

Третя складова функціоналу (4.4)

$$\int_{t_1}^{t_2} u^T k^{-2} u dt = \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^m \frac{u_i^2}{k_i^2} dt = \sum_{i=1}^m \frac{1}{k_i^2} \int_{t_1}^{t_2} u_i^2 dt \quad (4.7)$$

має сенс оцінки затрат на управління – інтегральної квадратичної оцінки управляючих команд і сигналів у комп'ютерній мережі. Ця величина може бути інтерпретована як зважена сума затрат на управління за час $t_2 - t_1$.

Таким чином, функціонал (4.4) враховує помилку приведення комп'ютерної мережі до кінцевого (бажаного) стану, якість перехідних процесів і затрати на управляючі дії (сигнали).

Задати функціонал, що мінімізується, означає не тільки визначити його форму, але і призначити коефіцієнти, тобто елементи матриць ρ , β , k^{-2} . Процес синтезу системи оптимального управління КМ проходить у декілька ітерацій. Алгоритм містить такі кроки:

Крок 1. Призначити орієнтовні значення коефіцієнтів матриць ρ , β , k^{-2} функціоналу Лєтова-Калмана (4.5).

Крок 2. Провести синтез оптимальних за визначеним на попередньому кроці функціоналом управлінь.

Крок 3. Проаналізувати процеси у замкнутій системі, виявити недоліки отриманих перехідних процесів.

Крок 4. Внести цілеспрямовані корективи в значення коефіцієнтів матриць ρ , β , k^{-2} функціоналу Лєтова-Калмана (4.5).

Виконувати кроки 2–4 до отримання задовільного результату.

Якщо початкові коефіцієнти обрано невдало, такий ітераційний (послідовних наближень) підхід дозволяє досягти бажаної якості управління за дві-три процедури синтезу.

Отже, якщо комп'ютерна мережа, як об'єкт управління, можна описати

$$\dot{x} + ax = bu,$$

то оптимальним управлінням, яке мінімізує функціонал (4.4) є управління

$$u = -k^2 b^T \mathbf{A}x, \quad (4.8)$$

де $\mathbf{A} = \mathbf{A}^T$ – розв'язок матричного рівняння Ріккати

$$\dot{\mathbf{A}} - \mathbf{A}a - a^T \mathbf{A} - \mathbf{A}bk^2b^T \mathbf{A} = -\beta \quad (4.9)$$

за виконання граничної умови

$$\mathbf{A}(t_2) = \rho \quad (4.10)$$

Отже, оптимальне (у сенсі мінімуму квадратичного функціонала) управління лінійним об'єктом є лінійним.

У скалярній формі оптимальне управління (4.8) і рівнянні (4.9) мають вид

$$u_i = -k_i^2 \sum_{q=1}^n \sum_{p=1}^n b_{pi} \mathbf{A}_{pq} x_q, \quad (4.11)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{\mathbf{A}}_{pq} - \sum_{v=1}^n \mathbf{A}_{pv} a_{vq} - \sum_{v=1}^n a_{vp} \mathbf{A}_{vq} - \\ - \sum_{\varepsilon}^n \sum_{\mu}^m \sum_{\nu}^n b_{v\mu} k_{\mu\mu}^2 b_{\varepsilon\mu} \mathbf{A}_{pv} \mathbf{A}_{vq} = -\beta_{pq}, \\ \mathbf{A}_{pq}(t_2) = \rho_{pq}, \\ p, q = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m. \end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

Зауважимо, що величини k_i^2 , які у функціоналі являють собою обернені вагові коефіцієнти при управляючих сигналах для КМ (див. (4.7)), в оптимальному управлінні є коефіцієнтами підсилення управляючих каналів (див. (4.11)).

Рівняння (4.9) та (4.12) розв'язуються в процесі проектування системи управління, а в закони управління (4.8) та (4.11), які реалізуються за допомогою програмного забезпечення ядра управління КМ, протоколів та засобів управління мережами (*SNMP, netflow, OID* тощо), закладається готова матриця коефіцієнтів \mathbf{A} , розрахована для чотирьох основних режимів роботи мережі (нормальний режим роботи – працездатна мережа, перевантаження, тимчасова (плаваюча) відмова мережі, повна відмова мережі).

Підсумовуючи вищезазначене можна відзначити, що аналітичне конструювання (синтез) управління КМ за критерієм Лєтова-Калмана зводиться в основному до розв'язання матричного рівняння Рікатті, еквівалентного системі $\frac{1}{2} n(n+1)$ (в силу симетричності $\mathbf{A}_{pq} = \mathbf{A}_{qp}$) нелінійних взаємопов'язаних звичайних диференціальних рівнянь (4.12).

Рівняння (4.12) або (4.9) слід інтегрувати у «зворотному часі» $t' = -t$, приймаючи кінцевий момент часу t_2 за початковий. Похідна по зворотному часу дорівнює похідній по реальному часу, взятій із протилежним знаком, і рівняння (4.9) і (4.11), записані у зворотному часі мають вид

$$\dot{\mathbf{A}} - \mathbf{A}a - a^T \mathbf{A} - \mathbf{A}bk^2b^T \mathbf{A} = -\beta, \quad \mathbf{A}(0) = \rho, \quad (4.12)$$

$$\left. \begin{aligned} & \dot{\mathbf{A}}_{pq} + \sum_{v=1}^n \mathbf{A}_{pv} a_{vq} + \sum_{v=1}^n a_{vp} \mathbf{A}_{vq} + \\ & + \sum_{\varepsilon}^n \sum_{\mu}^m \sum_{\nu}^n b_{\nu\mu} k_{\mu\mu}^2 b_{\varepsilon\mu} \mathbf{A}_{p\nu} \mathbf{A}_{\nu q} = \beta, \\ & \mathbf{A}_{pq}(0) = \rho_{pq}, \\ & (p, q = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m). \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

Для чисельного інтегрування системи рівнянь (4.12) необхідно приблизно операцій множення

$$N = n^4 N_1, \quad (4.14)$$

де N_1 – загальне число кроків інтегрування.

Внаслідок ітераційної процедури підбору коефіцієнтів функціоналу чисельне інтегрування рівнянь (4.14) повторюється декілька разів для кожного із чотирьох станів функціонування КМ.

Таким чином, при високих n (багатовимірний об'єкт – яким і являється КМ), необхідна для синтезу оптимального управління обчислювальна потужність ядра управління є занадто великою. Це головний недолік аналітичного конструювання за критерієм Лєтова-Калмана (4.4).

Зауважимо, що навіть для стаціонарного об'єкта ($a = \text{const}$, $b = \text{const}$) оптимальні управління в термінальних задачах виявляються нестаціонарними,

оскільки розв'язок рівняння (4.9) за умови (4.10) залежить від відносного часу $t_2 - t$.

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}(t_2 - t).$$

Для отримання стаціонарних оптимальних управлінь стаціонарним об'єктом слід визначити усталене рішення рівняння (4.9), яке задовольняє алгебраїчному матричному нелінійному рівнянню

$$\mathbf{A}a + a^T \mathbf{A} + \mathbf{A}bk^2 b^T \mathbf{A} = \beta.$$

Це зазвичай здійснюється також шляхом чисельного інтегрування рівняння (4.13), що виконується до тих пір, поки не вийдуть практично усталені (постійні) значення елементів матриці \mathbf{A} .

Труднощі методу аналітичного конструювання за критерієм Льютова-Калмана, пов'язані з великим обсягом необхідних обчислень, привели до створення іншого варіанту методу аналітичного конструювання, що отримав назву аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи.

Аналітичне конструювання управління КМ за критерієм узагальненої роботи. Функціонал, який мінімізується, в даному методі задається у такому вигляді [15]

$$I = x^T(t_2)\rho x(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} x^T \beta x dt + \int_{t_1}^{t_2} u^T k^2 u dt + \int_{t_1}^{t_2} x^T \mathbf{A}bk^{-2}b^T \mathbf{A}x dt, \quad (4.16)$$

де \mathbf{A} задовольняє лінійному матричному рівнянню

$$\dot{\mathbf{A}} - \mathbf{A}a - a^T \mathbf{A} = -\beta \quad (4.17)$$

при граничній умові (4.10).

Оптимальне управління, яке надає мінімум функціоналу (4.16) для об'єкту (4.3) має формально попередній вигляд (4.8), але матриця коефіцієнтів \mathbf{A} тепер визначається лінійним рівнянням (4.17).

При діагональних матрицях ρ , β , k^2 функціонал (4.16) у скалярній формі приймає вид

$$I = \sum_{i,j=1}^n \rho_{ij} x_i^2(t_2) + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i,j=1}^n \beta_{ij} x_i^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^m \frac{u_i^2}{k_i^2} dt + \int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^m \left(k_i \sum_{p,q=1}^n b_{pi} \mathbf{A}_{pq} x_q \right)^2 dt. \quad (4.18)$$

Рівняння коефіцієнтів оптимальних управлінь (4.17) і самі оптимальні управління (4.8) у скалярній формі мають вид

$$\dot{\mathbf{A}}_{pq} - \sum_{v=1}^n a_{vq} \mathbf{A}_{pv} - \sum_{v=1}^n a_{vp} \mathbf{A}_{vq} = -\beta_{pq}, \quad (4.19)$$

$$\mathbf{A}_{pq}(t_2) = \rho_{pq},$$

$$u_i = -k_i^2 \sum_{p,q=1}^n b_{pi} \mathbf{A}_{pq} x_q \quad (4.20)$$

($p, q = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m$).

Функціонал узагальненої роботи (4.16) і (4.18) А. О. Красовського відрізняється від функціонала Лєтова-Калмана (4.4) наявністю додаткової складової

$$\int_{t_1}^{t_2} x^T \mathbf{A} b k^2 b^T \mathbf{A} x dt = \int_{t_1}^{t_2} \left(k_i \sum_{p,q=1}^n b_{pi} \mathbf{A}_{pq} x_q \right)^2 dt. \quad (4.21)$$

По-перше, варто відзначити, що коефіцієнти цієї складової функціонала A_{pq} не призначаються, а вираховуються після вирішення задачі синтезу, тобто після розв'язання рівняння (4.17). Тому функціонал (4.18) є напіввизначеним. Однак квадратична форма

$$x^T \mathbf{A} b k^2 b^T \mathbf{A} x = \sum_{i=1}^m \left(k_i \sum_{p,q=1}^n b_{pi} \mathbf{A}_{pq} x_q \right)^2$$

не від'ємна, отже будь-яке відхилення $x \neq 0$ функціоналом (4.20) «штрафується» або, у особливому випадку $b^T \mathbf{A} x = 0, x \neq 0$ залишається без наслідків. Окрім того, функціонал (4.20) має певний фізичний «зміст». Вираз для оптимальних управлінь (4.20) можна подати у вигляді

$$u_i = -k_i^2 \mathcal{G}_i,$$

де

$$\mathcal{G}_i = \sum_{p,q=1}^n b_{pi} \mathbf{A}_{pq} x_q$$

можна розглядати як сигнали управління. Тоді функціонал (4.21) можна записати у виді

$$\int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^m k_i^2 g_i^2 dt = \sum_{i=1}^m k_i^2 \int_{t_1}^{t_2} g_i^2 dt \quad (4.22)$$

і розглядати як зважену суму сигналів управління у оптимальній системі. Якщо оптимальні управління позначити індексом «опт» ($u_i^{\text{опт}}$), то функціонал (4.21) можна записати у вигляді

$$\int_{t_1}^{t_2} \sum_{i=1}^m \frac{(u_i^{\text{опт}})^2}{k_i^2} dt$$

і трактувати як зважену суму (із зворотними по відношенню (4.22) коефіцієнтами) роботу сигналів управління u оптимальної системи. Тому для оптимальної системи останні два члена функціоналу узагальненої роботи (4.16) просто рівні.

Отже, основною перевагою аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи є істотно менший, ніж в попередньому методі, обсяг обчислень і можливість для ряду випадків отримання остаточного рішення в загальній аналітичній формі.

Задача аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи зводиться до розв'язання лінійного матричного рівняння (4.17) або (4.19), в той час, як аналітичне конструювання за критерієм Лєтова-Калмана (4.4) потребує розв'язання нелінійного матричного рівняння (4.9) або (4.12).

Чисельне інтегрування рівнянь (4.17) або (4.19), як і рівнянь (4.9) або (4.12), слід проводити у «зворотному часі», приймаючи кінцевий момент часу t_2 за початковий. За цих умов інтегровані рівняння перетворюються до виду

$$\dot{\mathbf{A}} + \mathbf{A}a + a^T \mathbf{A} = \beta, \quad \mathbf{A}(0) = \rho, \quad (4.23)$$

$$\dot{\mathbf{A}}_{pq} + \sum_{v=1}^n \mathbf{A}_{pv} a_{vq} + \sum_{v=1}^n a_{vp} \mathbf{A}_{vq} = \beta_{pq}, \quad \mathbf{A}_{pq}(0) = \rho_{pq}. \quad (4.24)$$

Неважко приблизно оцінити число множень, необхідних для чисельного інтегрування цих рівнянь. Це число має порядок

$$N = \alpha n^3 N_1, \quad (4.25)$$

де α - «коефіцієнт повноти» матриці α - відношення середнього числа ненульових елементів рядків або стовпців до загальної розмірності n ; N_1 - загальне число кроків.

Співставлення з аналогічною оцінкою, наведеною вище для матричного рівнянні Ріккати, показує, що трудомісткість рішення на основі критерію узагальненої роботи суттєво (приблизно в n/α раз) менше, ніж при синтезі за методом Лєтова-Калмана. Ця різниця особливо помітна для об'єктів високої розмірності (великих n). Крім того, для лінійних рівнянь справедливий принцип суперпозиції і, знайшовши вимушене рішення (4.23) або (4.24) при часткових визначеннях β , наприклад, $\beta_{pq} = 0$, крім одного $\beta_{ii} = 1$, легко визначити матрицю \mathbf{A} при будь-яких інших визначеннях β . Це важливо для згаданого вище процесу ітераційного уточнення коефіцієнтів функціонала.

Конструювання лінійних стаціонарних оптимальних управлінь стаціонарним об'єктом отримується у даному методі шляхом розв'язання лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\mathbf{A}a + a^T \mathbf{A} = \beta$$

або

$$\sum_{v=1}^n a_{vq} \mathbf{A}_{pv} + \sum_{v=1}^n a_{vp} \mathbf{A}_{vq} = \beta_{pa}$$

$$(p, q = 1, 2, \dots, n).$$

Ці системи лінійних алгебраїчних рівнянь можна вирішувати типовим способом (наприклад, способом почергового виключення змінних).

Крім того, як для загального випадку нестационарного об'єкту і нестационарного функціоналу, так і для більш вузького, але практично важливого випадку стійкого стаціонарного об'єкта коефіцієнти оптимальних управлінь виражаються через вагові функції керованого об'єкта.

Фундаментальна матриця вагових функцій, або просто фундаментальна матриця лінійного об'єкта, має вид

$$\varpi(t, t') = \|\varpi_{ik}(t, t')\|.$$

Задовольняє рівнянню

$$\dot{\varpi} + a\varpi = 0, \quad \varpi(t', t') = 1,$$

де $\dot{\varpi}$ – матрична похідна по першому аргументу. Для стаціонарного об'єкту вагові функції залежать від різниці аргументів

$$\varpi(t-t') = \|\varpi_{ik}(t-t')\|, \quad \dot{\varpi} + a\varpi = 0, \quad \varpi(0) = 1.$$

У скалярній формі відповідні рівняння мають вид

$$\dot{\varpi}_{ik} + \sum_{v=1}^n a_{iv} \varpi_{vk} = 0,$$

$$\varpi_{ik}(0) \begin{cases} 1 & \text{при } i = k \quad (i, k = 1, 2, \dots, n), \\ 0 & \text{при } i \neq k \end{cases} \quad (4.26)$$

і складають n груп по n рівнянь. Для стійкого стаціонарного лінійного об'єкту коефіцієнти оптимальних по стаціонарному критерію узагальненої роботи

$$I = \int_0^{\infty} x^T \beta x dt + \int_0^{\infty} u^T k^{-2} u dt + \int_0^{\infty} x^T \mathbf{A} b k^2 b^T \mathbf{A} x dt$$

управлінь визначаються через інтегральні квадратичні оцінки вагових функцій, відповідно до формул

$$\mathbf{A} = \int_0^{\infty} \varpi^T(t) \beta \varpi(t) dt, \quad (4.27)$$

$$\mathbf{A}_{pq} = + \sum_{v, \mu=1}^n \beta_{v\mu} \int_0^{\infty} \varpi_{vp}(t) \varpi_{\mu q}(t) dt. \quad (4.28)$$

Інтегральні квадратичні оцінки

$$\int_0^{\infty} \varpi_{vp}(t) \varpi_{\mu q}(t) dt. \quad (4.29)$$

Можуть визначатися безпосередньо в ході чисельного інтегрування рівнянь (4.26), що позбавляє від необхідності запам'ятовування $\varpi_{ik}(t)$. Для такого обчислення дві однакові системи n -го порядку (4.26) інтегруються одночасно з різними початковими умовами (для першої системи $\varpi_{pp}(0)=1$, для другої – $\varpi_{qq}(0)=1$). Обчислення (4.29) і оптимальних коефіцієнтів (4.27) ведеться кроками паралельно з чисельним інтегруванням. Загальне число операцій множення, необхідних для чисельного визначення \mathbf{A} , відповідно до цієї методики оцінюється

такою ж формулою (4.25), як і в попередньому випадку прямого чисельного інтегрування лінійних рівнянь (4.24).

Однак в даному варіанті методу доводиться інтегрувати одночасно лише n взаємопов'язаних рівнянь, тоді як система рівнянь (4.24) має порядок $\frac{1}{2} n(n+1)$. Це суттєво спрощує всю процедуру синтезу, особливо при високих порядках n .

Також слід відзначити, що вирази типу (4.27), (4.28) дозволяють в певних випадках отримати загальні аналітичні вирази для коефіцієнтів оптимальних управлінь.

Отже, метод аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи є більш економним, в обчислювальному сенсі – ефективним методом синтезу оптимальних управлінь для комп'ютерної мережі.

Порівняльний аналіз обчислювальної складності при класичному та некласичному функціоналах оптимізації. Для комп'ютерних мереж великого масштабу (десятки і сотні активних вузлів) вибір параметрів для моніторингу та їх кількості є непростою задачею, яка потребує окремого дослідження.

Відстежувати всі параметри, які закладені у дерево бази *MIB* кожного маршрутизатора або комутатора (і відповідно, кожного порту цього пристрою) не має особливого сенсу з трьох основних причин. По-перше, не всі параметри змінюються настільки часто, щоб відстежувати їх постійно. По-друге, з одного боку аналіз всіх параметрів дає можливість більш детально вивчити стан мережі, але з іншого боку перевантажує адміністратора мережі і змушує відволікатися на дрібниці. По-третє, необхідна не виправдано висока продуктивність системи управління мережею. Крім того, слід враховувати, що моніторинг можна проводити з інтервалом від 1 до 9999 секунд. Враховуючи вищевикладене, доцільно використовувати обмежений набір основних параметрів для постійного моніторингу.

У деяких платформних системах пропонується проводити моніторинг 27 змінних для кожного порту та 4 інтегральних показники для мультимедійного трафіку [9]. Варто враховувати, що деякі показники розраховуються за допомогою двох

параметрів (наприклад, швидкість передачі даних на порту).

Зазначимо декілька найбільш інформативних параметрів для моніторингу КМ:

- *статус порту* (ввімкнений/вимкнений);
- *пропускна здатність* (швидкість) портів дозволяє оцінити завантаженість каналів і, відповідно, планувати трафік та управляти потужностями активного мережного обладнання. Швидкість передачі розраховується з двох показників – кількості прийнятих та кількості відправлених пакетів. Потім порівнюється з попереднім значенням швидкості для цього порту;
- *відсоток пакетів з помилками* розраховується з параметрів кількості отриманих пакетів з помилками та кількості не відправлених через помилки пакетів;
- *широкомовний трафік* дозволить оцінити кількість переданих пакетів *broadcast, multicast, unicast*;
- *стан процесора* - рівень завантаження CPU, зайнята пам'ять, стан температури дозволить оцінити завантаженість пристрою і запобігти його повній відмові.

Стан активного мережного обладнання можна відслідковувати через запити по протоколу SNMP. Для цього необхідно вказувати ідентифікатор об'єкта (OID) в МІВ-базі. Як правило, використовують стандартні ідентифікатор об'єкта із RFC1213 і RFC2233 [16, 17]. Рекомендується моніторити такі основні параметри [18, 19, 20]:

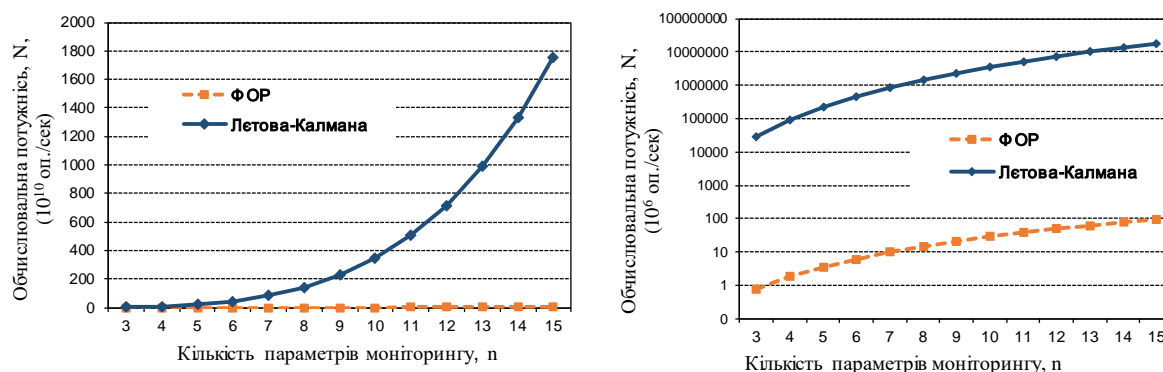
- .1.3.6.1.2.1.1.3.0 – Uptime – час безперервної роботи;
- .1.3.6.1.2.1.2.2.1.8.X – статус порту: 1(up) / 2(down);
- .1.3.6.1.2.1.2.2.1.16.X – відправлено байт;
- .1.3.6.1.2.1.2.2.1.10.X – прийнято байт;
- .1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.5.X – відправлено broadcast пакетів;
- .1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.3.X – прийнято broadcast пакетів;
- .1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.4.X – відправлено multicast пакетів;
- .1.3.6.1.2.1.31.1.1.1.2.X – прийнято multicast пакетів;
- .1.3.6.1.2.1.2.2.1.17.X – відправлено unicast пакетів;
- .1.3.6.1.2.1.2.2.1.11.X – прийнято unicast пакетів;
- .1.3.6.1.2.1.2.2.1.20.X – помилок при відправці;

- .1.3.6.1.2.1.2.2.1.14.X – помилка при отриманні;
- .1.3.6.1.4.1.9.9.109.1.1.1.5.1 – відсоток завантаження процесора (CPU);
- .1.3.6.1.4.1.9.9.48.1.1.1.5.1 – зайнята пам'ять (в байтах);
- .1.3.6.1.4.1.9.5.1.2.13.0 – статус температури (1 — нормальна, 2 — підвищена, 3 — критична).

Отже можна використовувати від 3 до 15 основних параметрів.

Використовуючи (5.13) і (5.23) розраховано необхідну обчислювальну потужність управління КМ при знаходженні оптимального управління за критеріями Лєтова-Калмана та узагальненої роботи А. О. Красовського. При розрахунках використані такі умови: кількість параметрів для моніторингу від 3 до 15; кількість активного мережного обладнання 50; кількість портів у кожному пристрої – 24; інтервал перевірки параметрів 60 секунд, точність розрахунків при інтегруванні 0,1.

Отримані залежності необхідної обчислювальної потужності від кількості параметрів моніторингу у звичайному та логарифмічному масштабі показано на рис. 4.4.



а) звичайний масштаб

б) логарифмічний масштаб

Рис. 4.4. Графік залежності обчислювальної складності від кількості параметрів моніторингу

Очевидно, що знаходження оптимального управління за критерієм Лєтова-Калмана необхідно забезпечити обчислювальну потужність на декілька порядків більшу ніж при знаходженні оптимального управління за критерієм узагальненої роботи А.О. Красовського.

Розраховано також необхідну обчислювальну потужність при оптимізації за

функціоналом узагальненої роботи при різних ступенях розрідженості матриці (рис. 4.5).

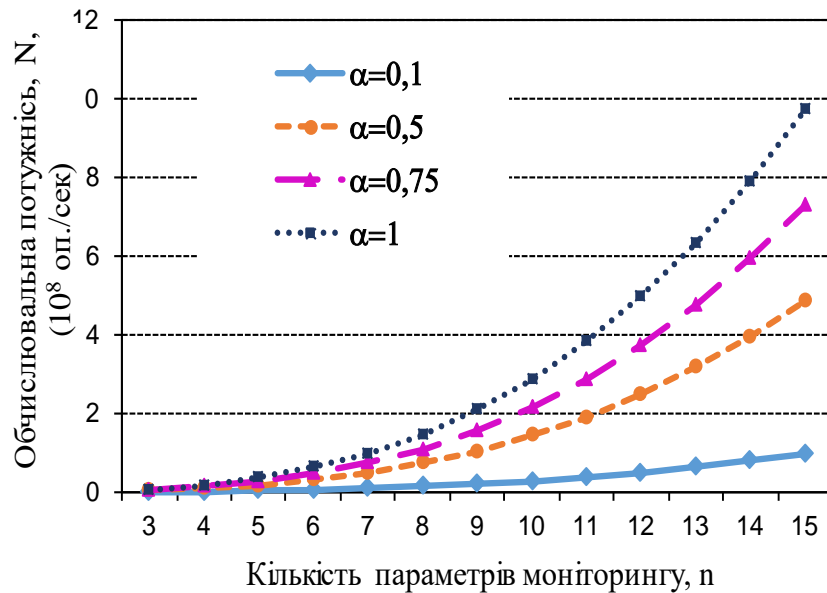


Рис. 4.5. Графік залежності необхідної обчислювальної потужності N від ступеня розрідженості матриці α (для різних режимів роботи мережі)

Для різних режимів роботи комп'ютерної мережі: нормальний режим роботи – працездатна мережа ($\alpha=0,1$), перевантаження ($\alpha=0,5$), тимчасова (плаваюча) відмова мережі ($\alpha=0,75$), повна відмова мережі ($\alpha=1$) прослідковується закономірність, що при збільшенні ненульових елементів у матриці затрати на знаходження оптимального управління за функціоналом узагальненої роботи збільшуються.

Отже, якість надання послуг кінцевому користувачу комп'ютерних мереж напряму залежить від ефективності управління наявною мережною інфраструктурою. Ефективність існуючих систем управління КМ напряму залежить від людського фактору – досвіду та кваліфікації адміністратора мережі. Автоматизація роботи СУ КМ дозволить зменшити вплив людського фактору на якість наданні послуг користувачам.

Для синтезу системи управління складним технічний об'єктом – комп'ютерною мережею, – доцільно застосовувати методи оптимізації, засновані на мінімізації функціоналів якості управління. Оптимізація може проводитись за різними

критеріями. Від виду цільового функціоналу залежить якість СУ КМ: швидкодія, точність, обсяг додаткових управляючих дій (інформаційних сигналів) тощо.

Аналітичне конструювання СУ КМ, оптимальної за критерієм Лєтова-Калмана та узагальненої роботи А. О. Красовського показало переваги останнього методу. Труднощі методу аналітичного конструювання за критерієм Лєтова-Калмана, пов'язані з великим обсягом необхідних обчислень. Задача аналітичного конструювання за критерієм узагальненої роботи зводиться до розв'язання лінійного матричного рівняння, в той час, як аналітичне конструювання за критерієм Лєтова-Калмана потребує розв'язання нелінійного матричного рівняння. Трудомісткість рішення на основі критерію узагальненої роботи суттєво (приблизно в n/α раз) менше, ніж при синтезі за методом Лєтова-Калмана. Ця різниця особливо помітна для об'єктів високої розмірності, якими є комп'ютерні мережі.

За результатами порівняльного аналізу необхідної обчислювальної потужності можна зробити висновок, що для СУ, сконструйованої за критерієм узагальненої роботи при кількості параметрів моніторингу рівній 7 знадобиться на приблизно на 10^4 оп/сек менше ніж для такої ж системи за критерієм Лєтова-Калмана.

4.4. Функціонал для задачі оптимального управління ККМ

Система управління ККС відноситься до класу складних систем людина-машина. Для вирішення проблем формалізованого синтезу необхідно застосовувати найбільш ефективні методи теорії оптимального управління багатовимірними багатозв'язними нелінійними системами.

Принципи оптимального автоматичного управління застосовуються в системі з «оптимальним адміністратором», при побудові моделей професійної діяльності адміністратора, розробці вимог до еталонних моделей автономних сегментів мережі [14].

Вид цільового функціонала має безпосередньо враховувати особливості інформаційно-обчислювальних систем, зокрема, те, що втрати на управління є

витратами додаткового інформаційного ресурсу (команди, що управляють), тобто втрати не енергетичні, а інформаційні. Тому доцільно використовувати інформаційно-ентропійні функції втрат.

Функція втрат на неоптимальність управління має бути мало чутлива до зміни апріорної ймовірності стану. Наприклад, інформаційна функція втрат при апріорній ймовірності Гауса є квадратичною, при Парето розподілі – функція модуля, а при розподілі самоподібному в широкому сенсі – проміжна між квадратичною і модульною функцією.

Враховуючи вищевикладене, обґрунтований вибір функціонала оптимального управління ККС, як складною багатовимірною динамічною системою, є актуальним завданням.

Розглянемо узагальнену детерміновану модель процесу управління ККМ в диференціально-операторній формі [14]

$$\dot{x}(t) = F[x(t), x(t_1), y(t), t]; \quad \dot{y}(t) = u(t), \quad (4.30)$$

де $(x(t), y(t))$ – вектор стану у момент часу $t \in [t_1, t_2]$, $t_2 > t_1$ (x може розглядатися і як вихідна величина); $u(t)$ – вектор управління; $F[*]$ – оператор загального вигляду.

Відповідно до припущення про детерміновану, при $u = 0$ і заданих значеннях $x(t_1)$, $y(t_1)$ єдиним рішенням (реакцією) моделі (4.30) буде

$$x(t) = X(x(t_1), y(t_1), t, t_1); \quad y(t) = y(t_1), \quad (4.31)$$

де функція X диференційована (або кусково-диференційована) по y . Вільним буде рух, що отримується при $u \triangleq 0$ (чинник, що управляє, фіксований).

Для побудови моделей діяльності адміністратора ККС і оптимізації їх в умовах багатоекстримальності і неповної визначеності потрібне подальше узагальнення у вигляді залежності вихідної величини системи (4.30) при $u \triangleq 0$ ще від одного додаткового векторного аргументу v :

$$x(t, v) = X(x(t_1), y(t_1), v, t, t_1); \quad y(t) = y(t_1), \quad (4.32)$$

де v – векторний параметр (ціле число).

У такому разі, класичний цільовий функціонал Больца стосовно моделі (4.30)

і при $t_1 = t$ в загальному вигляді

$$I = V_3[x(t_k), y(t_k), t_2] + \int_t^{t_2} L[x(\theta), y(\theta), u(\theta), \theta] d\theta, \quad (4.33)$$

де V_3 , L – задані скалярні, як правило, невід’ємні функції. Функція V_3 (термінальний член) відповідає за виведення керованого об’єкту у момент часу t_k в околицю бажаного стану. Функція L описує якість перехідних процесів, дотримання обмежень (через функції «штрафу»), а також витрати на управління.

Проте зважаючи на складність алгоритмів класичного оптимального управління і їх комп’ютерної нездійсненності в реальному часі для багатовимірних нелінійних об’єктів управління, яким є ККС, застосування даного методу є практично неможливим. У такому разі виправдано використання критерію іншого типу функціонала узагальненої роботи (ФУР).

Хоча ФУР є напіввизначеними, вони відіграють фундаментальну роль у вирішенні основної проблеми системи автоматизованого управління корпоративною ККС – оптимізації управління «у великому» в реальному часі. Напіввизначеність ФУР полягає в тому, що він містить невідоме до виконання синтезу оптимальне управління u_{opt} , що приводить до мінімуму даного функціонала.

Оптимізація на основі мінімізації ФУР адекватна отриманню прогнозно-оптимізаційного управління з прогнозуванням процесів в розімкненому контурі при фіксованих чинниках, що управляють. Саме така структура дій властива людині-операторові згідно фундаментальним психофізіологічним моделям [21, 22].

Здійснення оптимального в сенсі мінімуму ФУР, управління складними нелінійними об’єктами вимагає на два-три порядки менше обчислювальних витрат, ніж при класичних функціоналах, і здійснено в реальному часі на існуючих комп’ютерах [14]. Це дозволяє побудувати цілком автоматичні аналоги управління адміністратора і застосувати їх при вирішенні наступних важливих завдань:

- імітації дій оператора на ранній стадії проектування системи управління ККМ, коли випробування з адміністратором ще неможливі;
- імітації адміністратора в процесі управління і навчання («оптимальний адміністратор»);
- автоматизації контролю дій адміністратора;
- інтелектуальної підтримки адміністратора в реальних умовах.

Некласичний цільовий функціонал

Для тієї ж моделі керованого процесу (4.30) некласичним цільовим функціоналом є ФУР вигляду [14]

$$I = V_3[x(t_k), y(t_k), t_k] + \int_t^{t_2} Q_3[x(\theta), y(\theta), \theta]d\theta + \int_t^{t_2} L_3[x(\theta), y(\theta), u(\theta), u_{\text{opt}}(\theta), \theta]d\theta. \quad (4.34)$$

де u_{opt} – невідоме до рішення задачі синтезу оптимальне (що доставляє мінімум даному функціоналу) управління; V_3, Q_3 — задані невід’ємні функції; L_3 — задана функція вказаних аргументів, що визначає векторну функцію-стовпець $\pi(x, y, u_{\text{opt}}, t)$ при якій

$$L_3(x, y, u, u_{\text{opt}}, t) - \pi^T(x, y, u_{\text{opt}}, t) = \begin{cases} 0, & \forall u = u_{\text{opt}} \\ > 0, & \forall u \neq u_{\text{opt}}. \end{cases} \quad (4.35)$$

Цю умову можна записати в наступному вигляді: повинна існувати векторна функція $\pi(x, y, u_{\text{opt}}, t)$, скалярний добуток якої на величину u тотожно дорівнює $L_3(x, y, u, u_{\text{opt}}, t)$ при $u = u_{\text{opt}}$ і менше L_3 при $u \neq u_{\text{opt}}$.

Сума перших двох членів в правій частини виразу (4.34) — головна частина ФУР:

$$I_\Gamma = V_3[x(t_k), y(t_k), t_k] + \int_t^{t_2} Q_3[x(\theta), y(\theta), \theta]d\theta. \quad (4.36)$$

Останній член функціонала (4.34) трактується як сума робіт, що здійснюються управліннями і сигналами, що управляють, що відповідає назві

ФУР. У (4.34), (4.34) складова $\int_t^{t_2} L_3 d\theta$ може виражати не енергетичні, а інформаційні витрати, або і те і інше разом. Особливо важливим є дане зауваження для оптимального управління в ККМ. При деяких формах функції L_3 ці витрати обчислюються в суто умовній перетвореній формі. Тому обґрунтований вибір функції штрафу важливий етап синтезу автоматизованої системи управління. В цілому член $\int_t^{t_2} L_3 d\theta$ у виразі (4.34) при вирішенні завдань синтезу системи, що управляє, впливає, перш за все, на структуру і параметри інтерфейсу, що синтезується, пов'язує систему, що управляє, з об'єктом.

При розгляді виразу (4.34) як цільового функціонала моделі системи управління мережею цей інтеграл може відображати кількісну характеристику інформаційних витрат на управління (співвідношення інформації, що управляє і корисної).

Принцип мінімуму ФУР

Головна частина ФУР (4.36), обчислена на вільному русі (4.31) (при $t_1 = t$):

$$I_r(X, y, t) = V_3[X(x(t), y(t), t_k, t), y(t), t_k] + \int_t^{t_2} Q_3[X(x(t), y(t), \theta, t), y(t), \theta] d\theta, \quad (4.37)$$

задовольняє операторному рівнянню з частковими похідними – аналогу рівняння Ляпунова:

$$\frac{\partial}{\partial t} I_r(X, y, t) + \frac{\partial}{\partial X} I_r(X, y, t) F(X, y, t) = Q_3(X, y, t). \quad (4.38)$$

Тут в лівій частині повна похідна за часом $I_r(X, y, t)$ обчислюється через рівняння (4.30) при $u \triangleq 0$. У правій частині ця похідна виходить прямим диференціюванням рівняння (4.37) по t з урахуванням того, що згідно виразам (4.31)

$$X(x(t), y(t), t_k, t) = x(t_k); \quad X(x(t), y(t), t, t) = x(t). \quad (4.39)$$

З урахуванням останньої рівності (4.37) з виразу (4.38) отримуємо

$$\frac{\partial}{\partial t} I_r(x, y, t) + \frac{\partial}{\partial X} I_r(x, y, t) F(x, y, t) = Q_3(x, y, t). \quad (4.39)$$

Повна похідна за часом на керованому русі (4.28)

$$\dot{I}_r(X, y, t) = -Q_3(X, y, t) + \frac{\partial}{\partial y} I_r(X, y, t) u.$$

Принцип мінімуму ФУР, або основна теорема оптимізації, по критерію узагальненої роботи полягає в наступному: оптимальне управління, що доставляє мінімум ФУР (4.34), (4.35) на рішеннях рівнянь (4.30) для випадку єдності вільного руху (4.31), визначається виразами

$$u = u_{\text{opt}}; \quad \pi(x, y, u_{\text{opt}}, t) = -\frac{\partial^T}{\partial y} I_r(X, y, t), \quad (4.41)$$

де $I_r(X, y, t)$ – рішення рівнянь (4.39) або (4.38) за граничної умови

$$I_r(x(t_2), y(t_2), t_2) = V_3(x(t_2), y(t_2), t_2);$$

або головна частина ФУР, обчислена на вільному русі керованої системи (4.31).

Доказ цього та інших, в основному менш загальних, формулювань принципу мінімуму ФУР будується на підставі методів класичного варіаційного числення, динамічного програмування (функціонального рівняння Беллмана), методу прямих перетворень [14].

За однакових умов всі ці методи дають однакові результати, але останній відрізняється простотою і наочністю. Зауважимо, що при оптимальному управлінні

$$I(x, y, t) = I_r(X, y, t),$$

тобто ФУР, обчислений на русі оптимальної замкнутою системи, дорівнює головній частині ФУР, обчислений на вільному русі розімкненої системи.

Основна теорема допускає узагальнення у напрямі неєдності вільного руху керованого об'єкту. Якщо за інших рівних умов головна частина ФУР, обчислена на всіх рішеннях (4.30), має глобальний мінімум при $v = \mu$,

$$\mu = \arg \min_v I_r[X(x(t), y(t), v, \theta, t), y(t), t],$$

то

$$u_{(\mu)} = u_{(\mu)\text{opt}}; \quad \pi(x, y, u_{(\mu)\text{opt}}, t) = -\frac{\partial^T}{\partial y} I_r(X_{v=\mu}, y, t). \quad (4.42)$$

Перевага оптимізації на основі принципу мінімуму ФУР. Головною перевагою оптимізації управління ККМ на основі мінімуму ФУР є алгоритмічна і обчислювальна простота [14]. Це означає, що, як видно із загального неявного виразу (4.41), оптимальні в сенсі мінімуму ФУР управління будуються на основі обчислення головної його частини на вільному ($u \triangleq 0$) прогнозованому русі керованого об'єкту. Саме тому відповідні алгоритми носять назву алгоритмів оптимального управління з прогнозуючою моделлю (вільного руху).

З іншого боку, якщо мінімізується класичний функціонал, наприклад, з адитивними квадратичними витратами на управління,

$$I = V_3[x(t_k), y(t_k), t_k] + \int_t^{t_2} Q_3[x(\Theta), y(\Theta), \Theta]d\Theta + 0,5 \int_t^{t_2} u^T(\Theta)k^{-1}u(\Theta)d\Theta,$$

то для об'єкта в формі (4.28) оптимальне управління має вигляд

$$u_{\text{opt}} = -k \frac{\partial^T I}{\partial y},$$

де I — функціонал, обчислений через рівняння замкнутої системи (на оптимальному прогнозованому русі).

Проте оптимальне управління ще треба визначити, воно апіорі невідоме по самій постановці завдання. Це дає підстави чекати труднощі при класичному підході. Наприклад, при вирішенні методом динамічного програмування завдання на вирішеннях системи

$$\dot{x}(t) = f(x(t), y(t), t); \quad \dot{y}(t) = u(t) \quad (4.43)$$

(де f на відміну від F в системі (4.28) для простоти вважається функцією, а не оператором) отримуємо рівняння Беллмана

$$\frac{\partial}{\partial t} I(x, y, t) + \frac{\partial}{\partial x} I(x, y, t) f(x, y, t) - 0,5 \frac{\partial}{\partial y} I(x, y, t) k \frac{\partial^T}{\partial y} I(x, y, t) = -Q_3(x, y, t); \quad (4.44)$$

$$I(x, y, t_2) = V_3(x, y, t_2).$$

Вирішення цього нелінійного рівняння (4.44) з частковими похідними, наприклад, методом характеристик приводить до двох точкової крайової задачі, складнощі вирішення якої добре відомі. Аналогічні проблеми виникають і при використанні інших методів мінімізації класичного функціонала (4.34).

При мінімізації ФУР (4.34) на рішеннях системи (4.43) згідно виразу (4.40) отримуємо рівняння Ляпунова

$$\frac{\partial}{\partial t} I_r(x, y, t) + \frac{\partial}{\partial x} I_r(x, y, t) f(x, y, t) = -Q_3(x, y, t);$$

Вирішення цього лінійного рівняння еквівалентне рішенням задачі Коші для системи (4.43) при $u \triangleq 0$. Труднощі, пов'язані з двосторонніми граничними умовами, в цьому випадку відпадають, оскільки застосування ФУР для складних багатовимірних нелінійних задач оптимізації дозволяє на два-три і більш порядків скоротити обчислювальні витрати на стадії проектування і необхідну обчислювальну продуктивність в режимі реального часу (суміщений синтез).

Відносна простота прогнозування вільного руху керованого об'єкту (або відносна простота вирішення відповідного рівняння Ляпунова) дозволяє встановити фундаментальні якісні закономірності оптимального управління отримати аналітичні вирази ряду алгоритмів. Це, звичайно є важливою додатковою перевагою.

Вибір ФУР для задачі оптимального управління ККМ. Для побудови моделі системи управління ККМ зручне більш загальне формулювання принципу мінімуму ФУР [14, 24]:

$$\min_{y, v} \left\{ V_3[X(x, y, v, t_k, t), y, t_k] + \int_t^{t_2} Q_3[X(x, y, v, \theta, t), y, \theta] d\theta \right\}.$$

Вирази (4.41) і (4.42) для оптимальних управлінь мають неявну форму. При конкретних видах функції L_3 (витрат на управління) оптимальні управління приймають явні форми. Наприклад, для квадратичної функції

$$L_3 = 0,5(u^T k^{-1} u + u_{\text{opt}}^T k^{-1} u_{\text{opt}}),$$

де k – додатньо визначена симетрична матриця заданих коефіцієнтів (постійних або залежних від часу) або заданих $(x, y, t), k = k(x, y, t)$, оптимальне управління приймає вигляд

$$u = u_{\text{opt}} = -k \frac{\partial^T}{\partial v} I_r(X, y, t);$$

Як і в класичному функціоналі (3), моменти t_2, t_k в ФУР, можуть задаватися різним способом.

1. Моменти t_2, t_k , фіксовані (термінальні задачі).
2. Моменти t_2, t_k зсунуті щодо теперішнього моменту на постійний інтервал прогнозування (оптимізації) $t_2 = t_k = t + T_{\text{opt}}, T_{\text{opt}} = \text{const} > 0$.
3. Ті ж умови, що і в другому варіанті, але при $t_2 = t_k = t + T_{\text{opt}}, T_{\text{opt}} = 0$. В цьому випадку ФУР, як і функціонал Больца, вироджується у функцію Ляпунова $V_3(x, y, t)$ і задача оптимізації буде локальною (в часовій області).
4. Момент t_k фіксований, а інтервал t_2 – ковзаючий: $t_2 = t_k = t + T_{\text{opt}}, T_{\text{opt}} = \text{const} > 0$.
5. Кінцевий момент часу t_k фіксований, а $t_2 = t_k = t + T_{\text{opt}}$ при $T_{\text{opt}} = \text{const}$, $t < t_2 - T_{\text{opt}}$ і $t_2 = t_k$ при $t \in [t_k - T_{\text{opt}}, t_k]$, що відповідає ковзаючому інтервалу в інтегральній частині функціонала з переходом до термінальної задачі на останньому етапі

Управління ККМ припускає досягнення бажаних станів мережі (наприклад, необхідного рівня затримок доставки пакетів, відсотка втрат і так далі), шляхом інформаційних витрат на управління. Тому часові параметри t_k, T_{opt} можуть не призначатися, а визначатися, «настроюватися» в процесі функціонування алгоритму управління, що відповідає адаптивному оптимальному управлінню.

При функціонуванні системи управління, імітаційні моделі ККМ, в загальному випадку, описуються диференціально-операторним векторним рівнянням з лінійно вхідним управлінням:

$$\dot{y} = F[y, a, t] + Bu, \quad (4.45)$$

де $F[*]$ – узагальнений векторний дискретний оператор; $y(t)$ – векторна функція, що описує поточний стан імітаційних моделей; B – матриця з постійними (одичними) коефіцієнтами; a – вектор параметрів відмов. Вибір узагальненого векторного дискретного оператора $F[*]$ є достатньо складним завданням і вимагає додаткових досліджень, а також обліку характерних особливостей ККМ.

При цифровому моделюванні можна вважати, що модель (4.45) точно повторює імітаційну модель, а вектори y і a безпосередньо цілком спостережувані (тобто спостерігається окремо кожна компонента векторів).

Модель вільного руху ($u \equiv 0$):

$$\dot{y} = F[y, a, t]. \quad (4.46)$$

При заданій початковій умові $y(t) = y_0$ рівняння має єдине рішення (вектор відмов a вважається незмінним):

$$y = Y[y_0, a, t, t_0] \quad (4.47)$$

Таким чином, якщо вважати ККМ за детерміновану систему з дискретним часом, а витрати на управління автономним сегментом (витрата інформаційних і енергетичних ресурсів) що змінюються по квадратичній залежності, то, відповідно до методу О.А. Красовського, для досягнення оптимального рішення в кожен теперішній момент часу необхідно мінімізувати ФУР вигляду [5]

$$I = V_3(y(t_k), t_k) + \int_t^{t_k} Q_3(y(\theta), \theta) d\theta + 0,5 \int_t^{t_k} (u^T(\theta) D^{-1} u(\theta) + u_{\text{opt}}^T(\theta) D^{-1} u_{\text{opt}}(\theta)) d\theta, \quad (4.48)$$

де V_3 – термінальна складова, Q_3 – затрати на управління; $y = Y(y_0, a, t, t_0)$ – вектор-функція стану ККМ, додатньо-визначена, диференційована або кусково-диференційована (з кінцевим або хоч би рахунковим числом розривів першого роду часткових похідних); $y(t) = y_0$ – вектор початкових умов на кожному черговому етапі пошуку оптимального рішення; t – поточний момент часу; t_k – кінцевий момент часу для даної задачі (момент переходу системи в черговий бажаний стан). V_3, Q_3 – матриці кінцевого стану та затрат на управління, коефіцієнти яких повністю визначаються параметрами мережі; a – вектор відмов, збоїв, відхилень параметрів управління від стандартних, який формується на підставі даних моніторингу ККМ, може приймати значення від 0 до 1; $u(\theta)$ – вектор поточних управлінь; $u_{\text{opt}}(\theta)$ – вектор оптимальних управлінь, невідомих до початку рішення задачі; $D = \text{diag}(d_1, \dots, d_r)$ – задана діагональна матриця відхилень параметрів системи управління. Визначення V_3, Q_3, D для всіх станів

(етапів і режимів) в опорних точках складає нормальне забезпечення управління ККМ.

Якщо t_k не фіксується, але потрібне виведення системи в околицю заданого різноманіття, то за незалежну змінну приймають деякий компонент вектора y . Тоді рівняння процесу і вираз функціонала відповідним чином трансформуються.

Управління, що мінімізує функціонал (4.48) на вирішеннях рівняння (4.45), має вигляд

$$u = u_{opt} = -DB^T \frac{\partial^T}{\partial y} \left[V_3(Y(y, a, t_k, t), t_k) + \int_t^{t_k} Q_3(Y(y, a, \theta, t), \theta) d\theta \right], \quad (4.49)$$

де V_3, Q_3, B – матриці, коефіцієнти яких повністю визначаються параметрами мережі; $\frac{\partial^T}{\partial y}[*]$ – позначає транспоновану матрицю Якобі (матрицю-стовпець).

При конкретних видах функції L_3 (затрат на управління) оптимальні управління приймають явні форми.

4.5. Метод оптимального управління ККМ

Задача оптимального управління по критерію узагальненої роботи дуже складна навіть для одноразового вирішення за наявності повної апріорної інформації про параметри і стан складної системи, якою є ККМ або її автономний сегмент. Тому вищевикладений метод вимагає удосконалення.

Остання складова ФУР (4.36) трактується як сума робіт, що здійснюються управліннями і сигналами, що управляють, і може виражати не енергетичні, а інформаційні витрати, або і те, і інше разом [22, 23]. Наприклад, вищезгадана складова може враховувати інформаційні витрати на розширення смуги пропускання, резервування ресурсів, передачу додаткової інформації, що управляє, тощо.

При виборі виду ФУР слід враховувати, що будь-який реальний процес зобов'язаний задовольняти численним обмеженням, які залежать від самої природи процесу, витрати ресурсів і так далі [14]. Обмеження зазвичай виражаються у вигляді областей простору станів і простору управлінь $x \in X_s$, $u \in U_s$, де X_s , U_s – області, умовно іменуються експлуатаційними. Для цих цілей використовують метод функцій штрафу. Суть даного методу зводиться до введення у функціонал (у його останню частину) додатної функції (функції втрат), яка мала або дорівнює нулю усередині експлуатаційних областей і швидко наростає при виході за їх межі.

Найчастіше [24] використовуються наступні функції втрат (ФВ) $C(\lambda, s)$ (рис. 4.6):

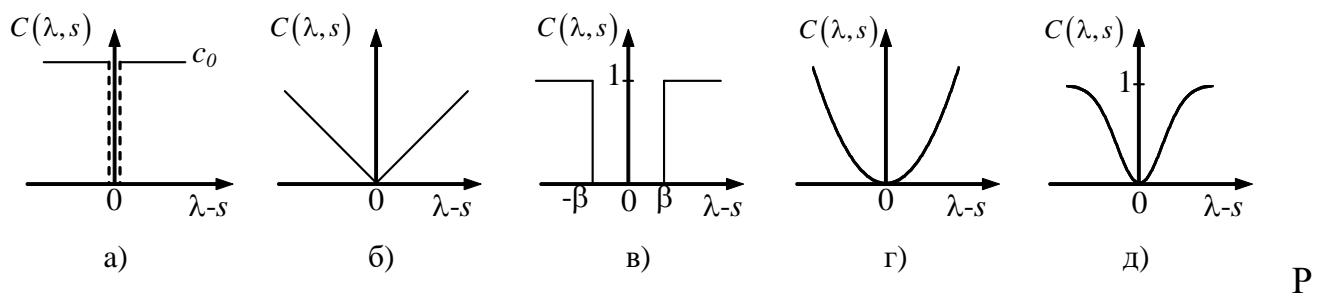


Рис. 4.6. Функції втрат: а) проста; б) лінійна; в) прямокутна; г) квадратична; д) Гауссівська (функція втрат з насиченням)

а) проста $c(\lambda, s) = c_0 - \delta(\lambda - s)$, $c_0 > 0$, де $\delta(y)$ – дельта-функція Дірака;

б) «лінійна» по модулю $c(\lambda - s) = |\lambda - s|$;

в) прямокутна $c(\lambda - s) = \begin{cases} 0 & \text{при } |\lambda - s| < \beta, \beta > 0, \\ 1 & \text{при } |\lambda - s| \geq \beta; \end{cases}$

г) квадратична $C(\lambda - s) = (\lambda - s)^2$;

д) Гауссівська (функція втрат з насиченням) $C(\lambda - s) = 1 - \exp\left[-\frac{(\lambda - s)^2}{2\sigma^2}\right]$;

е) інформаційні функція втрат $C(\lambda, s) = -\ln w(s | \lambda)$, (4.50)

де $w(s | \lambda)$ – умовна щільність вірогідності параметра s , якщо ухвалено рішення з оцінкою λ .

Функції втрат вигляду (1–5) є симетричними функціями різниці $|\lambda - s|$. При цьому відхилення оцінки параметра в одну і в іншу сторони щодо загального значення оцінюваного параметра однаково небажані. Разом з тим не виключені задачі, де для специфічних прикладних питань можуть зустрітися випадки, в яких відношення спостерігача до знаку помилки різне. Для таких ситуацій функції втрат будуть несиметричними. Прикладом несиметричної функції втрат може служити інформаційна функція втрат. Слід відзначити, що в окремому випадку і ця функція втрат може бути симетричною, якщо, наприклад, умовна щільність вірогідності описується кривою гауса або іншою парною функцією щодо деякої фіксованої точки s^* .

ККМ мережу можна вважати детермінованою системою з дискретним часом, а витрати на управління автономним сегментом (витрата інформаційних і енергетичних ресурсів) змінюються по квадратичній залежності. Тоді відповідно до методу О.А.Красовського, для досягнення оптимального рішення в кожен поточний момент часу необхідно мінімізувати класичний ФУР з адитивними квадратичними функціями витрат на управління і дискретним часом.

Оскільки витрати на управління ККМ є інформаційним (ентропійним) критерієм, то доцільно для спрощення завдання використовувати саме інформаційну функцію втрат.

Інформаційний критерій (4.50) можна інтерпретувати як міру невизначеності щодо параметра s , якщо відома оцінка λ . Невизначеність розуміється в сенсі, прийнятому в теорії інформації [24-29]. Інформаційні функція втрат на відміну від інших залежить не тільки від оцінки λ і значення параметра s , але і від прийнятого правила вибору рішення.

Через випадковий характер оцінок λ і параметра s втрати при будь-якому правилі вибору рішення є випадковими і не можуть бути використані для характеристики якості оцінки (правила вибору рішення). Для характеристики якості оцінки можна використати середнє значення функції втрат, яке враховуватиме всі можливі типи поведінки системи оцінки, всі види помилок і відносні частоти їх появи. Вибір для характеристик якості оцінки середнього

значення (а не іншої статистичної характеристики) функції втрат хоча і довільний, але раціональний [27]. Відомо, що чим вище момент розподілу, тим нижче точність його оцінки при фіксованому об'ємі вибірки. При вирівнюванні статистичних рядів нераціонально користуватися моментами порядку вище четвертого, оскільки точність обчислення моментів різко падає із збільшенням порядку.

Інформаційному критерію притаманні достатньо загальні властивості, тому можна по даному критерію порівнювати між собою різні вирішальні правила. Проте інформаційна функція втрат залежить не тільки від прийнятої оцінки і дійсного значення параметра, але і від правила вибору рішення. Тому завдання визначення байесівської оцінки при інформаційній функції втрат є вельми складним і не має загального рішення [23].

Умовний ризик – це умовне математичне очікування функції втрат. Він знаходиться шляхом усереднювання функцій втрат по всіх значеннях багатовимірної вибірки спостережуваних даних, що характеризується умовною щільністю ймовірності $w(X | s)$:

$$R(\lambda | s) = \int C(\lambda, s) w(X | s) dX ,$$

де $X = x_1, x_2, \dots, x_n$ – вибірка спостережуваних даних, отримана з прийнятої безперервної реалізації $x(t)$.

Необхідно знайти такі оцінки, при яких умовний ризик буде мінімальний. Проте при різних значеннях оцінюваного параметра s умовний ризик матиме різні значення. Тому і найбільш переважні вирішальні правила (оцінки) можуть бути різними. Найкращим з цих правил буде те, для якого безумовний середній ризик мінімальний:

$$R(x) = \iint C(\lambda, s) w(X | s) w_{apr}(s) ds dX = \int w(X) \left[\int C(\lambda, s) w_{aps}(\lambda) \right] dX ,$$

де $w(X)$ – щільність ймовірності вибірки спостережуваних даних.

Безумовна байесовська оцінка (або просто байесовська оцінка) λ_b параметра s отримується шляхом мінімізації безумовного середнього ризику при заданій

функції втрат $C(\lambda, s)$. Мінімальне значення безумовного середнього ризику, отримане при байєсовському оцінюванні, називається байєсовським ризиком

$$R_b = \left\langle \int C(\lambda_b, s) w_{aps}(s) ds \right\rangle.$$

Безумовний середній ризик (8) теоретично можна обчислити для будь-якого заданого правила рішення (отримання оцінки). Для байєсовських оцінок ризик завжди менший, ніж для оцінок будь-якого іншого вигляду (наприклад, оцінок по критеріях максимуму апостеріорної ймовірності або максимальної правдоподібності):

$$R_b \leq R(s).$$

Порівнюючи обчислені середні ризики для оцінок по різних критеріях, можна судити, наскільки одна оцінка краща за іншу, наскільки яка-небудь оцінка близька до оптимальної байєсовської оцінки, і, відповідно, прийнятна для застосування в конкретній задачі.

У поняття ризику для різних задач також вкладається різний і цілком конкретний фізичний сенс, який пов'язаний з виглядом і фізичною інтерпретацією функції втрат $C(x, s)$. Від виду функції втрат залежить і сенс критерію оптимальності.

Щільність ймовірності $w(X)$ – невід'ємна функція. Тому мінімізація виразу по λ зводиться до мінімізації внутрішнього інтеграла, званого апостеріорним ризиком

$$R_{aps}(\lambda) = \int C(\lambda, s) w_{aps}(s) ds,$$

по вибірці (реалізації) спостережуваних даних фіксованого об'єму. Якщо $R_{aps}(\lambda)$ є диференційованою функцією (або хоч би має кінцеве число точок розриву першого роду), то байєсовську оцінку λ_b можна знайти, розв'язавши рівняння

$$\left[dR_{aps}(\lambda)/dx \right]_{\lambda_b} = 0.$$

Апостеріорний ризик для інформаційної функції втрат отримаємо, підставивши ІФВ в загальний вираз для апостеріорного ризику:

$$R_{aps}(\lambda) = -\int w_{aps}(s) \ln w(s|\lambda) ds.$$

Цей вираз характеризує апостеріорну невизначеність рішення λ відносно істинного значення параметра після того, як прийнята реалізація $x(t)$, з якої при дискретній обробці отримана вибірка X . Відповідно, апостеріорна невизначеність власне реалізації $x(t)$ (тобто до ухвалення рішення) визначається виразом

$$H = -\int w_{aps}(s) \ln w_{aps}(s) ds.$$

Найбільша кількість інформації міститься в апостеріорному розподілі. Відповідно, в результаті отримання апостеріорного розподілу відбувається найбільше зниження невизначеності (ентропії). При будь-якому способі обробки апостеріорного розподілу кількість інформації, природно, не збільшується. Воно може тільки зменшитися через помилки і завади, що вносяться пристроєм обробки. Тому для будь-якого вирішального правила справедлива нерівність

$$R_{aps}(\lambda) \geq H.$$

Таким чином, величиною H визначається точна нижня межа апостеріорного ризику при використанні інформаційної функції втрат.

Умовна щільність ймовірності $w(X|s) = w(x_1, x_2, \dots, x_n | s)$ вибірки спостережуваних даних X (за умови, що оцінюваний параметр має значення s), що є функцією s , розглядається як функція правдоподібності. Відповідно до даного раніше визначення достатньої статистики апостеріорна щільність ймовірності завжди є достатньою статистикою. Припустимо є деяка функція $g[x(t)]$ спостережуваних даних, що теж є достатньою статистикою. Тоді, якщо функцію правдоподібності можна представити у вигляді добутку [27]

$$w(X|s) = g[x(t)] f(\lambda|s),$$

де $g[x(t)]$ – довільна функція реалізації $x(t)$, яка вибирається з міркувань зручності і однозначності відображення і не залежить від оцінюваного параметра s , оцінка параметра є достатньою. У свою чергу, залежність функції $f(\lambda|s)$ від

$x(t)$ побічно визначається через оцінку $\lambda[x(t)]$, отже, в $\lambda[x(t)]$ міститься вся доступна інформація про оцінюваний параметр. Звідси можна зробити висновок, що і апостеріорна щільність ймовірності

$$w_{aps}(s) = w_{apr}(s)w(X|s) / \int w_{apr}(s)w(X|s)ds$$

залежить від вибірки X . Тому нерівність переходить в рівність, якщо оцінка параметра є достатньою. Якщо існує деяка достатня оцінка $\lambda = \lambda(X)$, то апостеріорну щільність ймовірності можна записати у вигляді

$$w_{aps}(s) = w(s|X) = w(s|\lambda),$$

і співвідношення (4.13), (4.14) збігаються, тобто $R_{aps}(\lambda) = H$.

Отже, будь-яка достатня оцінка при інформаційній функції втрат є байесовскою оцінкою, і різні правила вибору рішення, що приводять до достатніх оцінок, характеризуються однаковим середнім ризиком.

Середнє значення апостеріорної ентропії і середній ризик визначаються виразами

$$\langle H \rangle = - \iint w(X, s) \ln w_{aps}(s) ds dX,$$

$$R(\lambda) = - \iint w(X, s) \ln w(s|\lambda) dldX.$$

Тут $w(X, s)$ – сумісна щільність ймовірності оцінюваного параметра і вибірки спостережуваних даних. Середня кількість інформації ΔI , яка втрачається при оцінюванні, визначається як

$$\Delta I = \langle H \rangle - R(\lambda),$$

причому $\Delta I \leq 0$. Для байесовської оцінки при інформаційній функції втрат $\Delta I \rightarrow \min$ при винесенні рішення, а якщо оцінка є достатньою, втрати інформації відсутні ($\Delta I = 0$).

У завданні управління ККМ, інформаційна функція втрат $C(\lambda, s)$ що вводиться, має бути мінімальна або дорівнює нулю при поточному стані системи рівному оптимальному, і бути більше нуля в іншому випадку [14], тобто має виконуватись умова

$$C(\lambda, s) = C\{y, y(t_k)\} = \begin{cases} 0, & \forall y(t_k) = y; \\ > 0, & \forall y(t_k) \neq y, \end{cases} \quad (4.50)$$

де $y = Y(y_0, a, t, t_{k-1})$ – вектор-функція оптимальних рішень, диференційована або частково-диференційована (з кінцевим або хоч би рахунковим числом розривів першого роду приватних похідних); $y(t_k)$ – поточний стан системи.

Вид інформаційної ФВ безпосередньо залежить від умовної щільності ймовірності оцінюваного параметра. Відомо [30], що при необмеженому збільшенні відношення сигнал/шум при прийомі відомого сигналу на тлі адитивних нормальних перешкод апостеріорний розподіл оцінюваного параметра сходиться до нормального. У разі «великого параметра» (відношення сигнал/шум або відношення тривалості інтервалу спостереження до набутих значень) в малій околиці точки оптимуму помилка спостереження може бути апроксимована кривою Гауса [29, 30]. Крім того, чим складніше система масового обслуговування, чим більше в ній каналів, тим точніше виявляються наближені формули, отримані за допомогою марківської теорії [30]. А використання Гаусового наближення практично може бути виправдане ефектом нормалізації законів розподілу в складних системах. Тому використання як умовної щільності ймовірності для виразу ІФВ кривої Гауса є цілком виправданим. Таким чином, отримуємо наступний вираз інформаційної ФВ:

$$C(\lambda, s) = -\ln w(s | \lambda) = -\ln\left(e^{-\frac{(\lambda-s)^2}{2\sigma^2}}\right) = \frac{(\lambda-s)^2}{2\sigma^2}.$$

Враховуючи вищенаведене інформаційний критерій для задачі управління ККМ матиме вигляд

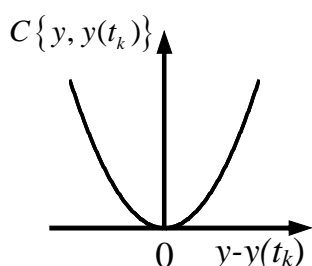


Рис. 4.7. Інформаційна

функція втрат

$$C(\lambda, s) = \frac{(\lambda - s)^2}{2\sigma^2} = C\{y, y(t_k)\} = \frac{(y(t) - y(t_k))^2}{2\sigma^2},$$

де $y(t_k)$ – оптимальний (бажаний) стан системи; $y(t)$ – поточний стан системи; σ^2 – дисперсія апостеріорного розподілу $y(t_k)$.

Вид інформаційної ФВ для оптимального управління мережею, при описі умовної щільності ймовірності кривою Гауса, представлений на рис 4.7.

Для спрощення задачі знаходження оптимального управління по критерію узагальненої роботи у виразі необхідно замінити $D = \text{diag}(d_1, \dots, d_r)$ – діагональну матрицю відхилень параметрів системи управління на вказану інформаційну функцію втрат:

$$\begin{aligned} u_{opt} &= -C\{y, y(t_k)\} B^T \frac{\partial^T}{\partial y} \left[V_3(Y(y, a, t_k, t)) + \sum_{t=t_{k-1}}^{t_k-1} Q_3(Y(y, a, t, t_k), t) \right] = \\ &= -\frac{(y(t) - y(t_k))^2}{2\sigma^2} B^T \frac{\partial^T}{\partial y} \left[V_3(Y(y, a, t_k, t)) + \sum_{t=t_{k-1}}^{t_k-1} Q_3(Y(y, a, t, t_k), t) \right]. \end{aligned} \quad (4.51)$$

Вираз (4.51) є модифікований алгоритм «оптимального адміністратора» в дискретній формі. При реалізації його для складного завдання управління ККМ прогноз визначається чисельними методами в прискореному часі (за допомогою імітаційної прогнозуючої моделі), і чисельним шляхом реалізується алгоритм (4.51). Для визначення компонентів градієнта (часткових похідних), може бути використаний так званий метод синхронного диференціювання [14], який вважається найбільш економічним методом в сенсі обчислювальних витрат при чисельному диференціюванні функціонала по багатьом змінним.

Оцінка обчислювальної складності для реалізації методу. Диференціально-операторні рівняння (4.45) і (4.46) можуть бути перетворені в системи звичайних диференціальних і алгебраїчних рівнянь, а потім (на основі тих або інших чисельних методів) до різницевих (рекурентних) рівнянь.

Як початкові, так і перетворені різницеві рівняння зазвичай містять функції багатьох змінних. Частина цих функцій апроксимує експериментальні характеристики об'єкту (комп'ютерної мережі). Їх обчислення вимагає найбільшої

кількості арифметичних операцій. Для одноразового обчислення таких функцій багатьох змінних потрібно багато тисяч і навіть десятки тисяч операцій.

Обчислювальна продуктивність, необхідна для реалізації двоканального методу стосовно чисельного рішення (4.46) в реальному часі складає приблизно [14]

$$D_{\Sigma} = N_a \left[15 \sum_{i=1}^q r_i + 2(H_n n^2 + n)q_{\text{ш}} \right] h_a^{-1}, \text{ оп./сек}$$

де $q_{\text{ш}}$ – загальне число інтерпольованих функцій; r_i ($i=1,2,\dots,q_{\text{ш}}$) – число аргументів i -ї інтерпольованої функції; N_a – кількість арифметичних операцій, необхідних для одноразового обчислення аналітично заданих функцій; n – розмірність системи диференціальних рівнянь лінійно наближених; H_n – коефіцієнт розрідженості матриці лінійного наближення; h_a – крок (точність розрахунків).

Для скорочення необхідної обчислювальної продуктивності як алгоритм «оптимального адміністратора» (ОА) доцільно використовувати версію ФУР з синхронним диференціюванням. Ця версія (модифікація) алгоритму заснована на введенні вектора пробних дій $\delta_{\text{пр}}(t)$, що додається до вектора $y(t)$ і якому притаманна властивість ортогональності

$$\overline{\delta_{\text{пр}}(t)\delta_{\text{пр}}^T(t)} = d,$$

де d – діагональна матриця з позитивними коефіцієнтами; риска зверху – ковзне усереднювання по інтервалу часу.

Алгоритм ОА реалізується в цифровій формі. Як компоненти вектора пробного сигналу зручно вибирати функції Уолша або інші ортогональні функції.

Тоді, враховуючи вищенаведене версія алгоритму ОА з синхронним диференціюванням в дискретній формі має вигляд

$$u_{\text{opt}} = -DB^T d^{-1} \left[\overline{V_3 \left(Y \left(y(t) + \delta_{\text{пр}}(t), a, t_k, t \right), t_k \right) \delta_{\text{пр}}^T(t)} + \sum_{t=t_{k-1}}^{t_k-1} Q_3 \left(Y \left(y(t) + \delta_{\text{пр}}(t), a, t, t_{k-1} \right), t \right) \delta_{\text{пр}}^T(t) \right]$$

або для інформаційної функції втрат

$$u_{opt} = -\frac{(y(t) - y(t_k))^2}{2\sigma^2} B^T D^{-1} \left[\begin{array}{l} V_3 \left(Y \left(y(t) + \delta_{np}(t), a, t_k, t \right), t_k \right) \delta_{np}^T(t) + \\ + \int_t^{t_k} Q_3 \left(Y \left(y(\theta) + \delta_{np}(\theta), a, \theta, t \right) \right) \delta_{np}^T(\theta) d\theta \end{array} \right].$$

Необхідна для реалізації цього алгоритму обчислювальна продуктивність виражається наближеною формулою

$$D_{\Sigma} = h \cdot N_a \left[15 \sum_{i=1}^q r_i + 2(H_n n^2 + n) q_{ш} \right] h_a^{-1}, \text{ оп./сек}$$

де h – коефіцієнт прискорення часу.

Для порівняльного аналізу обчислювальної продуктивності необхідної при оптимізації на основі класичного функціонала і ФУР побудований графік залежності необхідної продуктивності від числа інтерпольованих функцій $q_{ш}$ при прогнозуванні на 1хв. ($h=1$) і 10 хв. ($h=10$) (рис. 4.8, рис. 4.9).

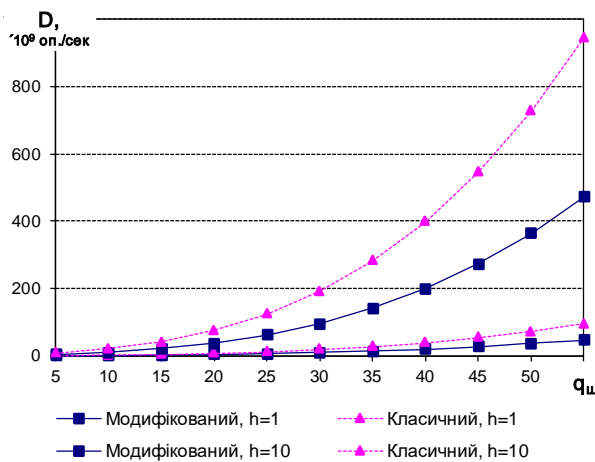


Рис.4.8. Графік залежності необхідної обчислювальної продуктивності від числа інтерпольованих функцій.

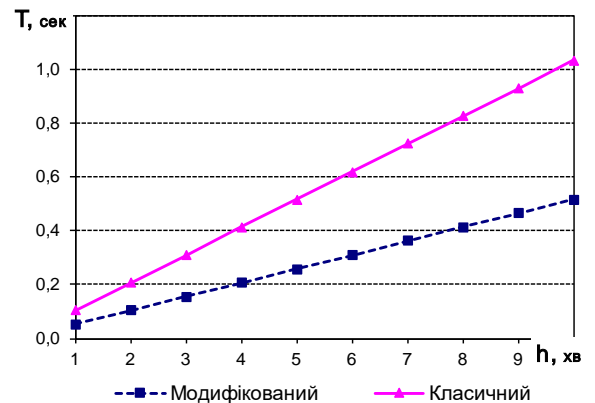


Рис.4.9. Залежність часу розрахунку від періоду прогнозування.

При продуктивності сучасних персональних комп'ютерів від $105 \cdot 10^9$ оп./с до $118 \cdot 10^9$ оп./с [3] реалізація алгоритму на основі ФУР з інформаційною функцією втрат в реальному часі не складає труднощів.

Залежність часу розрахунку оптимального управління від періоду прогнозування при використанні класичного функціонала і ФУР показана на рис.

2. Розрахунки проводилися для середньої продуктивності $120 \cdot 10^9$ оп/с, при загальному числі інтерпольованих функцій рівному 25.

Як видно з графіка, для розрахунку оптимального управління при прогнозі на 1 хв. за допомогою ФУР потрібний всього 0,05 с, а для класичного функціонала – 0,1 с. Не дивлячись на те, що необхідний час розрахунків збільшується лінійно, при прогнозуванні на 10 хв. по ФУР потрібно 0,52 с, а для класичного функціонала необхідна майже 1,03 с. Оскільки ККМ є складними системами з випадковими затримками при доставці сигнальної та управляючої інформації, то при зростанні часу обчислення оптимального управління по класичному функціоналу, ризик втрати оптимальності управління збільшується. Тому проблема скорочення часу розрахунків вельми актуальна.

Автоматизована система управління ККМ дозволяє забезпечувати необхідну якість обміну даними між прикладним програмним забезпеченням корпоративної системи, і, відповідно, якість вирішення прикладних завдань.

Оптимальність управління залежить від виду цільового функціонала. Зважаючи на складність алгоритмів класичного оптимального управління і їх комп'ютерної нездійсненності в реальному часі для багатовимірних нелінійних об'єктів управління, яким є ККМ, застосування даного методу є практично неможливим.

У роботі для автоматизованої системи управління ККМ вибраний і обґрунтований вид некласичного функціонала узагальненої роботи з інформаційною функцією витрат на управління.

При оптимальному, в сенсі мінімуму ФУР, управлінні ККМ як складним нелінійним об'єктом потрібно значно менше обчислювальних витрат, чим при управлінні по класичних функціоналах. Оптимум досягається в реальному часі на існуючих обчислювальних пристроях, що вбудовуються в мережеві вузли.

4.6. Висновки до розділу 4

1. На основі аналізу методів управління комп'ютерними мережами виділено три основні етапи при вирішенні задачі управління корпоративними

комп'ютерними мережами: ідентифікацію станів мережного обладнання; вироблення управляючих впливів; реалізацію управляючих впливів на об'єкт управління.

2. Інформаційна технологія управління ККМ, як складним багатовимірним об'єктом має включати методи оптимізації, засновані на мінімізації функціоналів якості управління.

3. Розроблено структурну схему функціонування ідентифікації стану ККМ, яка передбачає етап навчання та ідентифікації. За рахунок наявності етапів формування вектору ознак щодо можливого стану мережі та меж можливих відхилень дозволяє більш точно ідентифікувати поточний стан ККМ.

4. Визначено методи оптимального управління ККМ як великою складною системою.

5. Показано, що при оптимальному, в сенсі мінімуму ФУР, управлінні корпоративною інформаційною мережею як складним нелінійним об'єктом потрібно значно менше обчислювальних витрат, ніж при управлінні по класичних функціоналах. Оптимум досягається в реальному часі на існуючих обчислювальних пристроях, що вбудовуються в мережеві вузли, що підтверджено розрахунками, приведеними в дисертаційній роботі.

6. Показано, що випадку використання ФУР необхідно значно менша обчислювальна потужність для знаходження оптимального управління в реальному часі.

7. Обґрунтовано, використання ФУР на основі інформаційної функції витрат для оптимізації, оскільки затрати на управління мережею є інформаційними, а не енергетичними.

8. Запропоновано метод оптимального управління комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню критерію узагальненої роботи О. А. Красовського та концепції «оптимального адміністратора», який надає можливість контролю та вдосконалення процесів прийняття управлінських рішень адміністратором мережі.

Список використаних у четвертому розділі джерел

1. Кравченко В.П. Новая информационная технология поддержки процессов принятия решений // Проблемы информатизации. - 1997. - №4. С. 44.
2. Глущенко В.В. Информационные сетевые системы принятия решений в условиях неопределенности. - СПб.: СПГУВК, 1998. -14 с.
3. Вапник В.Н., Червоненкис А .Я. Теория распознавания образов (статистические проблемы обучения). М.: «Наука», 1974. - 416 с.
4. Леохин Ю.Л. Прогнозирование состояний корпоративной сети центра Управления полетами в нейросетевом логическом базисе. // Качество. Инновации. Образование. №12, 2011. С. 75-82
5. Красовский А.А. Основы теории авиационных тренажеров / А.А. Красовский. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
6. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
7. Solutions for any kind of IT infrastructure. URL: <https://www.zabbix.com> (access date 12.11.2019)
8. Enterprise class open source network management. <https://www.opennms.com> (access date 25.09.2019)
9. Cisco Prime Infrastructure. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/cloud-systems-management/prime-infrastructure/index.html> (access date 01.11.2019)
10. Network monitoring with granular visibility. URL: <https://www.hpe.com/ru/ru/networking/management.html> (access date 12.10.2019)
11. IBM Tivoli Monitoring. URL: https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SS3JRN_7.2.1/com.ibm.itm.doc_6.3fp2/welcome.htm (access date 06.11.2019)
12. Naumen Network Manager. URL: https://www.naumen.ru/products/network_manager/ (access date 12.09.2019)

13. Савченко А. С. Концептуальная модель системы управления крупной корпоративной сетью. Проблемы інформатизації та управління. 2011. Вип.2(34). С. 120-128.
14. Красовский А. А. Основы теории авиационных тренажеров. М.: Машиностроение, 1995. 304 с.
15. Красовский А. А. Пилотажно-навигационные комплексы. Изд-во.: ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1975. 183 с.
16. RFC1213. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc1213> (access date 24.10.2019)
17. RFC2233. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2233> (access date 24.10.2019)
18. Cisco Community. Networking Documents – OID List. URL: <https://community.cisco.com/t5/net-working-documents/oid-list/ta-p/3117547> (access date 12.11.2019)
19. List of SNMP OID and MIB for Cisco. URL: <https://ixnfo.com/cisco-snmp-oid-mib.html> (access date 11.11.2019)
20. SNMP OID and MIB for interfaces. URL: <https://ixnfo.com/spisok-snmp-oid-i-mib-dlya-interfeysov.html> (access date 12.09.2019)
21. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем / П.К. Анохин. – М.: Медицина, 1975. – 447 с.
22. Савченко А.С. Концептуальная модель системы управления крупной корпоративной сетью // Проблемы інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 2(34). – С. 120-128.
23. Nick A. Vinogradov, Alina S. Savchenko Comparative analysis of the functionals of optimal control corporate computer network Journal of Qafqaz University Mathematics and Computer Science. – 2013. –V.1.– № 2. –С. 156-167.
24. Казаков И.Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
25. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.

26. Ососков Г.А. Одна предельная теорема для потоков однородных событий. // Теория вероятностей и ее применения. – 1956. – Т. 1, № 2. – С. 274 – 282.

27. Григелионис Б.И. О точности приближения композиции процессов восстановления пуассоновским процессом // Литов. мат. Сб. – 1962. – Т. 2, № 2. – С. 135 – 143.

28. Погожев И.Б. Оценка отклонений потока отказов в аппаратуре многоразового использования от пуассоновского потока // Кибернетику – на службу коммунизму. – Т. 2. – М.: Энергия, 1964. – С. 228 – 245.

29. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания. 1966. 432 с.

РОЗДІЛ 5. УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ КОМП'ЮТЕРНОЮ МЕРЕЖЕЮ В УМОВАХ ЗАТРИМОК СИГНАЛЬНОЇ І КЕРУЮЧОЇ ІНФОРМАЦІЇ

5.1. Методи обліку та компенсації затримок сигнальної і управляючої інформації

Причиною появи затримок у великій корпоративній мережі є перевантаження окремих ділянок або всієї мережі в цілому. Розглянемо основні фактори появи перевантаження.

Якщо потоки пакетів починають прибувати на маршрутизатор відразу по трьох або чотирьох вхідним лініям і всім їм потрібна одна і та ж вихідна лінія, то утвориться черга. Коли у маршрутизатора закінчиться вільна пам'ять для буферизації всіх, хто прибуває пакетів, їх ніде буде зберігати і вони почнуть губитися. Збільшення обсягу пам'яті маршрутизаторів може в якійсь мірі допомогти, але Негл (Nagle) в 1987 [1] році показав, що навіть якщо у маршрутизаторів буде нескінченна кількість пам'яті, ситуація з перевантаженням не покращиться, а, навпаки, погіршиться, так як до того часу, коли пакети доберуться до початку черги, вони вже запізняться настільки, що джерелом будуть вислані їх дублікати. Всі ці пакети будуть послані наступного маршрутизатора, ще більш збільшуючи навантаження на всьому протязі маршруту до одержувача.

Повільні процесори також можуть служити причиною заторів. Якщо центральні процесори маршрутизаторів занадто повільно виконують свої завдання, пов'язані з урахуванням, управлінням чергами, оновленням таблиць тощо. То черги будуть з'являтися навіть при досить високій пропускну здатності ліній. Аналогічно, лінії з низькою пропускну здатністю також можуть викликати затори в мережі. Якщо замінити лінії більш досконалыми, але залишити старі процесори, або навпаки, такі дії зазвичай трохи допомагають, але часто просто призводять до зсуву вузького місця, викликаного невідповідністю продуктивності

різних частин системи. Проблема вузького місця зберігається до тих пір, поки компоненти системи не будуть належним чином збалансовані.

Необхідно пояснити, в чому полягає різниця між боротьбою з перевантаженням і управлінням потоком. Запобігання перевантаження гарантує, що підмережа впорається із запропонованим їй трафіком. Це глобальне питання, що включає поведінку всіх хостів і маршрутизаторів, процесів зберігання та пересилання на маршрутизаторах, а також безліч інших чинників, що знижують пропускну здатність підмережі.

Управління потоком, навпаки, відноситься до трафіку між двома конкретними станціями - відправником і отримувачем. Завдання управління потоком полягає в узгодженні швидкості передачі відправника зі швидкістю, з якою одержувач здатний приймати потік пакетів. Управління потоком зазвичай реалізується за допомогою зворотного зв'язку між одержувачем і відправником.

Алгоритми боротьби з перевантаженням також використовують зворотний зв'язок у вигляді спеціальних повідомлень, що посилаються різними відправникам, з проханням передавати дані повільніше, коли в мережі з'являються затори. Таким чином, хост може отримати прохання уповільнити передачу в двох випадках: коли з переданим потоком не справляється одержувач або коли з ним не справляється вся мережа.

Всі системи зі зворотним зв'язком припускають, що отримали інформацію про перевантаження в мережі хости і маршрутизатори зроблять якісь дії для усунення перевантаження. Щоб дана схема працювала, необхідно ретельно налаштувати часові параметри. Для правильної роботи потрібен певний усереднення, однак правильний вибір значення постійної часу є нетривіальною завданням.

Метод з неадаптивною прогнозуючою моделлю. Важливим елементом в системі управління є прогнозуюча модель, яка відтворює стан ККМ при $t > t_0$ і фіксованих в момент t_0 управліннях. Основним параметром імітаційної прогнозуючої моделі є час прогнозу $T_{пр}$. [2, 3].

Інтервал прогнозування може служити компенсатором випадкових затримок сигнальної і керуючої інформації в ККМ. Чим більше корпоративна інформаційна система, тим більший розкид затримок доставки сигнальної і керуючої інформації.

Вибір періоду прогнозування для управління, як складною стохастичною системою з випадковими затримками доставки інформації, - нетривіальне завдання і вимагає експериментування і детального аналізу.

Оптимальне значення часу прогнозування залежить від поточних векторів стану і часу. Тому природно вести настройку $T_{оп}$ автоматично в реальному часі в процесі функціонування системи.

Реалізація самого алгоритму з прогнозуючою моделлю здійснюється зазвичай в цифровій системі. При цьому застосовуються метод безперервного аналога [2, 3] або (значно рідше) оператора з дискретним часом для безперервного об'єкта і відповідний дискретний алгоритм оптимального управління.

Метод безперервного аналога полягає в тому, що для безперервного керованого об'єкта спочатку синтезується безперервний алгоритм управління, а потім будується його різницева схема - модель з дискретним часом.

У будь-якому випадку чисельний алгоритм з прогнозуючою моделлю вимагає рахунки в прискореному часі, розділеному на цикли, а цикли - на кроки.

Структурна схема неадаптивного алгоритму з прогнозуючою моделлю представлена на рис. 5.1 разом з керованим об'єктом. Блок 1 тут відповідає керованому процесу з додаванням вектора параметрів, який в даному варіанті вважається відомим, а в наступних адаптивних варіантах - невизначеним.

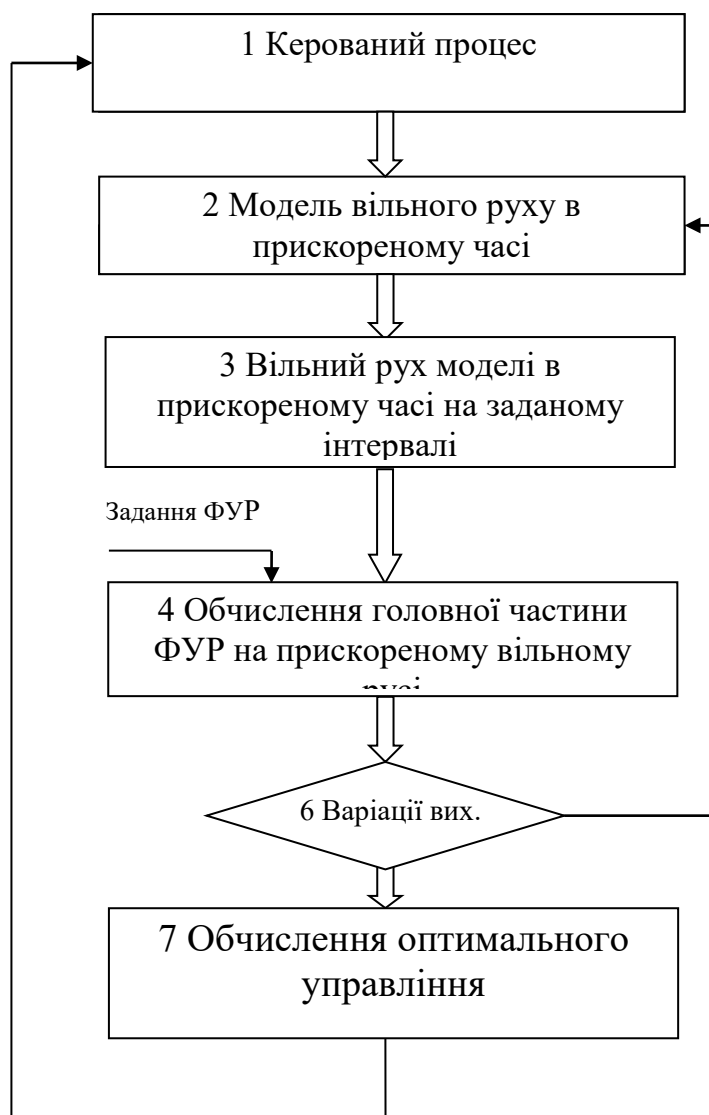


Рис. 5.1. Схема функціонування методу з неадаптивною прогнозуючою моделлю

Метод з адаптацією часу прогнозування (оптимізації). До скорочення обчислювальних витрат в порівнянні з попереднім методом приблизно в $r + 1$ раз може привести метод з адаптацією часу прогнозування [3]. Різке додаткове скорочення необхідної швидкодії досягається за рахунок переходу до алгоритму з адаптацією часу прогнозування. Відповідна структурна схема представлена на рис. 5.2.



Рис. 5.2. Схема функціонування методу з адаптацією часу прогнозування (оптимізації)

Блоки 1 та 2 тут аналогічні відповідним блокам на рис. 5.1. У блоці 3 вільний рух в прискореному часі визначається для поточного інтервалу прогнозу $T_{пр}/k$, що змінюється від 0 до $T_{оп}/k$, де $T_{оп}$ — значення змінного інтервалу прогнозування, при якому значення оптимального управління, обчислене на вільному русі (блок 4), мінімальне (блок 5). Кожен цикл складається з двох частин. У першій частині циклу виконується чисельне визначення головної частини функціонала

оптимізації на поточному ковзному інтервалі прогнозування вільного руху до моменту досягнення \min функціоналу оптимізації. Визначене $T_{\text{оп}}$ фіксується до наступного циклу. У другій частині циклу методом синхронного диференціювання (може використовуватися і інший метод) визначаються компоненти градієнта. Оптимальне керування на черговий цикл (крок) формується в блоці 7. Ефект адаптації в описаному алгоритмі, виявляється в скороченні часу прогнозування і можливості спрощення внаслідок цього прогнозуючої моделі.

Метод з прогнозуючою моделлю і ідентифікатором. Структурна схема алгоритму з ідентифікацією, координатним оцінюванням і адаптацією часу прогнозування представлена на рис. 5.3. Вона відрізняється від структурної схеми, наведеної на рис. 5.2., наявністю блоку ідентифікації та фільтрації 2 [3].

Алгоритмічне забезпечення цього блоку може бути різним. Так, можливе застосування оптимального (субоптимального) оцінювання типу узагальненої калмановської фільтрації [2,3]. Однак подібне оцінювання не є адаптивним, так як вимагає знання рівнів і, взагалі кажучи, спектрів шумів. Крім того, для багатовимірних фільтрів Калмана обчислювальні витрати значні.

Інший клас алгоритмів ідентифікації складають широко відомі алгоритми з налаштованим моделями, в тому числі налаштованим за принципом мінімізації заданої функції Ляпунова або ФУР сигналу нев'язки $x(t) - x_M(t)$. Ці алгоритми не вимагають детального знання характеристик перешкод. І все ж реалізація системи управління типу наведеної на рис. 4.6 для складних, слабо вивчених процесів може бути складною.

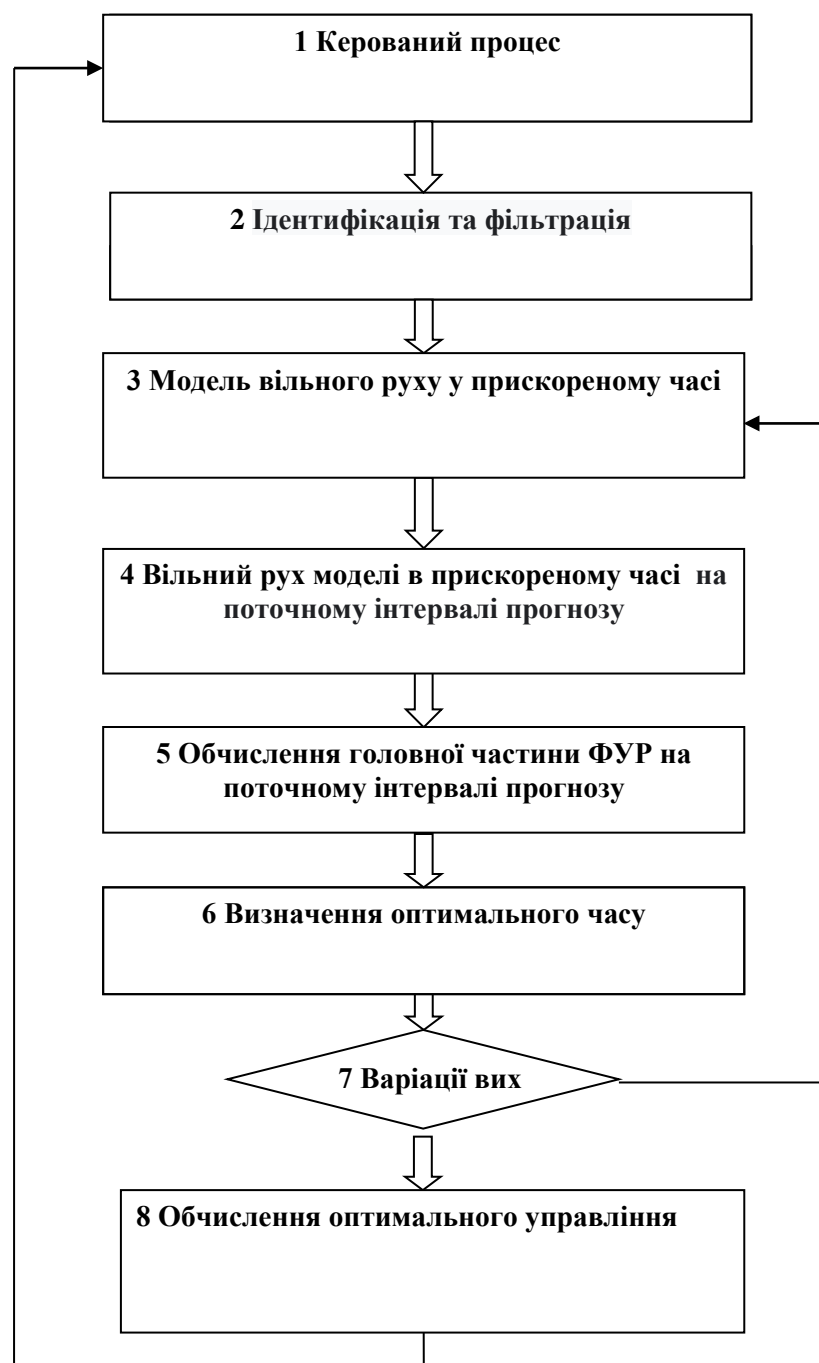


Рис. 5.3. Схема функціонування методу з ідентифікацією, фільтрацією та адаптацією часу прогнозування (оптимізації)

Метод на основі диференційно-різницевих рівнянь з аргументом, що відхиляється. У відповідності до загальної теорії управління [4, 5], процеси обміну інформацією між керованими об'єктами (наприклад, АС мережі) s_i і системою управління можуть бути описані (векторними) диференційно-різницеvими рівняннями або рівняннями з аргументом, що відхиляється. Це

допущення цілком справедливо для дискретних систем із затримками, якими є корпоративні комп'ютерні мережі. У загальному випадку

$$y'_{as_i}(t) = f\left(t, y_{as_i}(t), \dots, y_{as_i}(t - \tau_i), u_{opt_i}(t - \nu_i), \xi_i(t)\right), \quad (5.1)$$

де $y_{as_i}(t)$ – вектор стану об'єкта S_i (інформаційний сигнал);

$u_{opt_i}(t)$ – вектор управління (сигнал, що управляє);

$\xi_i(t)$ – вектор випадкових збурень, що діють на S_i ;

τ_i и ν_i – затримки $y_{as_i}(t)$ та $u_{opt_i}(t)$ відповідно.

Мета функціонування системи управління – досягти максимальної ефективності управління шляхом підвищення ефективності обміну даними між сторонами. Однак результат докладених зусиль стане відомий лише в момент часу T . На інтервалі спостереження $0 \leq t \leq T$ можна виробляти найкращі управляючі дії $u_{opt_i}(t)$ та прогнозувати кінцевий результат, лише спираючись на дані про поточний стан $y_{as_i}(t)$.

Наявність запізнювань τ_i та ν_i призводить до якісних змін в постановці завдання і в методах пошуку рішень. Як початкову умову (набір початкових умов) слід зазначати не тільки значення функцій $y_{as_i}(t_0)$, $u_{opt_i}(t_0)$, але і всі значення шуканих функцій на відрізках $t_0 - \tau_i \leq t \leq t_0$, $t_0 - \nu_i \leq t \leq t_0$ відповідно. Крім того, запізнювання в рівняннях (5.1) може істотно впливати на стійкість рішення (навіть якщо початкова система без запізнювання стійка) і призводити до появи періодичних рішень, до злипання рішень тощо. Для розв'язку рівнянь вигляду (5.1) зазвичай застосовують метод послідовної інтеграції (метод кроків) [6-8]. Проте аналіз рішень на стійкість є складним завданням, загальний розв'язок якого в усій області існування, як правило, отримати не вдається.

Для спрощення завдання і отримання асимптотичних оцінок припустимо, що система управління може бути описана з прийнятною для даного випадку точністю лінійними диференціальними рівняннями з коефіцієнтами b_i , постійними на інтервалі спостереження:

$$y'_{as_i}(t) = b_i y_{as_i}(t - \tau_i) + u_{opt_i}(t - \nu_i) + \xi_i(t). \quad (5.2)$$

Основними методами розв'язку рівнянь типу (5.2) є:

- 1) розкладання в ряд за основними розв'язками;
- 2) застосування інтегральних перетворень, для яких відомі обернення;
- 3) використання різницевого схем.

Проаналізуємо ці методи. Перший метод, розкладання в ряд за основними розв'язками дає однорідне рівняння, що випливає з (5.2):

$$y'_{as_i}(t) = b_i y_{as_i}(t - \tau_i). \quad (5.3)$$

Часткові рішення (5.3) слід шукати у вигляді

$$y_{as_i}(t) = \exp(\alpha t). \quad (5.4)$$

Підставляючи (5.4) в (5.3) і скорочуючи на $\exp(\alpha t)$, отримаємо для визначення α_i так зване характеристичне рівняння:

$$b_i \alpha_i \exp(-\alpha_i \tau_i) = 0 \quad (5.5)$$

з характеристичним квазіполіномом вигляду

$$\Phi(\alpha_i) = b_i \alpha_i \exp(-\alpha_i \tau_i).$$

Використання цього методу для отримання узагальнених асимптотичних оцінок пов'язано зі значними математичними труднощами, оскільки рівняння (5.5) має нескінченну множину коренів і рішення в замкнутій формі отримати не вдається.

Другий метод, застосування інтегральних перетворень, для яких відомі обернення. Запишемо зображення рівняння (5.2) по Лапласу:

$$pY_{as_i}(p) = b_i Y_{as_i}(p) \exp(-p\tau_i) + U_i(p) \exp(-p\nu_i) + \Xi(p). \quad (5.6)$$

Якщо відсутні збурення, то рівняння (5.6) матиме вигляд

$$pY_{as_i}(p) = b_i Y_{as_i}(p) \exp(-p\tau_i) + U_i(p) \exp(-p\nu_i), \quad (5.7)$$

а його передаточна функція

$$H(p) = \frac{\exp(-p\nu_i)}{1 - b_i \exp(-p\tau_i)}. \quad (5.8)$$

Таким чином, при використанні другого методу одержати асимптотичні оцінки поведінки системи при змінах відхилень або коефіцієнтів також

неможливо, оскільки рівняння (5.8) є трансцендентним і для пошуку особливих точок доводиться застосовувати чисельні методи.

Вважається [5], що для рівнянь з аргументом, що відхиляється, третій метод, тобто апроксимація диференціальних рівнянь різницевиими рівняннями, є особливо ефективним.

Різницеве (5.1) рівняння з різницями першого порядку для початкового рівняння (5.2) без адитивного шуму в спостереженнях має вигляд :

$$\frac{y_{as_i}(t) - y_{as_i}(t - \Delta t)}{\Delta t} \approx b_i y_{as_i}(t - k\Delta t) + u_{opt_i}(t - m\Delta t), \quad (5.9)$$

де Δt – елементарний інтервал;

$k\Delta t = \tau_i$ – затримка інформації про стан об'єкту;

$m\Delta t = v_i$ – затримка сигналу, що управляє.

Елементарний інтервал Δt у цій задачі логічно обирати рівним періоду надходження пакетів T_p на вхід системи управління. Пакети, що надходять, містять інформацію про параметри і стан мережі. Затримка сигналів, що управляють, в загальному випадку не дорівнює затримці інформаційних сигналів.

Без втрати загальності результатів можна розглянути задачу для нормованого елементарного інтервалу $\frac{\Delta t}{T_p} = 1$. Тоді рівняння (5.9) виглядатиме

$$y_{as_i}(n) \approx y_{as_i}(n-1) + b_i y_{as_i}(n-k) + u_{opt_i}(n-m), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5.10)$$

де $y_{as}(n)$ – функція стану об'єкту;

$u_{opt}(n-m)$ – сигнал, що управляє;

b_i – коефіцієнт зворотного зв'язку;

k та m є затримками сигналів стану системи і управління відповідно. У загальному випадку $n \neq m$.

Після z -перетворення (5.10), отримаємо вираз для системної функції:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - b_i z^{-k}}. \quad (5.11)$$

Як відомо [7], умовою стійкості функції $H(z)$, що описується виразом (5.11), є розташування полюсів всередині одиничного кола z -площини. Аналіз динаміки переміщення полюсів $H(z)$ при змінах ступенів змінної z і коефіцієнтів b_i , тобто аналіз стійкості системи, не викликає труднощів.

Таким чином, даний підхід дозволяє легко дослідити систему на стійкість, що особливо важливо для систем управління корпоративною або телекомунікаційною мережею.

В подальшому планується провести аналіз асимптотичної стійкості системи управління корпоративною мережею, математична модель якої описується диференціальним рівнянням з аргументом, що відхиляється, за наявності затримок сигнальної та управляючої інформації.

Здатність сучасних корпоративних комп'ютерних мереж надавати якісні послуги користувачам в значній мірі визначається розвиненістю механізму управління мережею.

Функції ефективної системи управління не обмежуються моніторингом та прогнозом стану мережі. Необхідно в реальному часі генерувати управляючі впливи. Для спрощення задачі знаходження оптимального управління в кожний поточний момент часу, запропоновано використовувати модифікований функціонал узагальненої роботи.

Складність управління обчислювальною мережею великого масштабу полягає в тому, що ніколи немає повної інформації про параметри і стан мережі, про відмови і / або перевантаження окремих мережних вузлів, маршрутів, сегментів мережі. Інформація про стан мережі надходить на центр управління з затримкою, яка носить випадковий характер, відповідно і сигнали (команди) управління надходять із запізненням.

У роботі запропоновано метод урахування випадкових затримок управляючої та сигнальної інформації за допомогою диференціальних рівнянь з аргументом, що відхиляється. Цей метод дозволяє легко отримувати асимптотичні оцінки стійкості системи при різних значеннях затримки сигналів і коефіцієнтів зворотного зв'язку.

5.2. Дослідження характеристик стійкості системи в умовах нестационарних потоків

Складність управління великою корпоративною мережею полягає в тому, що мережа є складною стохастичною системою. Ніколи не немає повної інформації про параметри і стан мережі, про відмови і/або перевантаження окремих мережевих вузлів, маршрутів, сегментів мережі. Крім того, інформація про стан мережі надходить на центр управління із затримкою, яка носить випадковий характер, відповідно і сигнали (команди) управління надходять із запізненням. У таких умовах особливо актуальним є питання про стійкість системи управління корпоративною мережею або її АС.

Лінійна система вважається асимптотично стійкою [7-9], якщо при виведенні її зовнішніми діями із стану рівноваги (спокою) вона повертається в нього після припинення цих дій. Якщо після зникнення зовнішньої дії система не повертається до стану рівноваги, то вона або є нестійкою, або знаходиться на межі стійкості. Іншими словами система буде асимптотично стійкою, якщо виконується умова $\lim_{t \rightarrow \infty} y_n(t) = 0$, тобто система є такою, що сходиться.

Для нормального функціонування системи необхідно, щоб вона була стійкою, оскільки інакше помилки в ній стають неприпустимими.

Оскільки обчислювальні мережі є дискретними системами, розглянемо умови, при яких такі системи залишаються стійкими.

У загальному випадку, якщо математична модель ККМ описується різницеvim рівнянням вигляду

$$x[k+n] + a_1 \cdot x[k+n-1] + \dots + a_n \cdot x[k] = b_1 \cdot u[k+n-1] + \dots + b_n \cdot u[k], \quad (5.12)$$

то власний рух задається системною функцією

$$\varphi[k] = c_1 \cdot z_1^k + c_2 \cdot z_2^k + \dots + c_n \cdot z_n^k, \quad (5.13)$$

де z_1, z_2, \dots, z_n , – корені характеристичного рівняння (для простих коренів)

$$a_0 z^n + a_1 \cdot z^{n-1} + \dots + a_n = 0 \quad (5.14)$$

різницевого рівняння (5.12); c_1, c_2, \dots, c_n - постійні величини, залежні від початкових умов.

Тоді очевидно, що системна функція прямує до нуля, якщо всі корені характеристичного рівняння (5.14) лежать усередині кола одиничного радіусу (рис. 5.4), тобто якщо

$$|z_v| < 1, v=1, 2, \dots, n.$$

Іншими словами, щоб дискретна система була асимптотично стійкою, необхідно і достатньо, щоб корені її характеристичного рівняння мали модуль менше одиниці. Система знаходитиметься на аперіодичній межі стійкості, якщо в її характеристичному рівнянні є корінь $z_v = 1$, а решта коренів розташовується всередині кола одиничного радіусу.

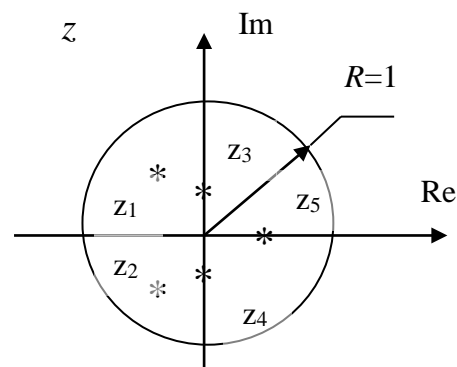


Рис.5.4

Оскільки у великих корпоративних мережах наявні затримки сигнальної та керуючої інформації, такі системи можна віднести до класу дискретних систем із запізнюванням. Системи із затриманим зворотним зв'язком адекватно описуються диференціальними рівняннями з аргументом, що відхиляється. Тоді, відповідно до загальної теорії управління [9], процеси обміну інформацією між керованими об'єктами і системою управління можуть бути описані диференційно-різницевиими рівняннями або рівняннями з аргументами, що відхиляються вигляду

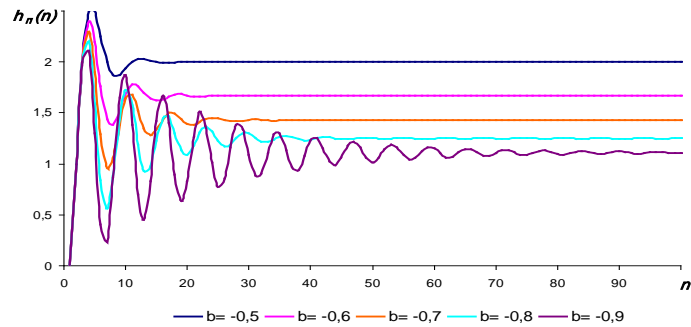
$$y_{asi}(n) \approx y_{asi}(n-1) + b_i y_{asi}(n-k) + u_i(n-m), \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (5.15)$$

де $y_{as}(n)$ - функція стану об'єкту; $u(n-m)$ - сигнал, що управляє; k і m - затримками сигналів стану і управління відповідно. У загальному випадку $n \neq m$.

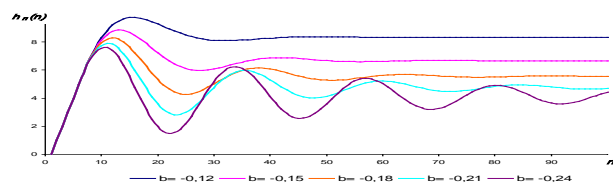
Дослідження асимптотичної стійкості системи управління по перехідній характеристиці. Щоб оцінити асимптотичну стійкість системи управління мережею необхідно проаналізувати її перехідну характеристику при різних

значеннях затримки сигнальної k інформації і коефіцієнта зворотного зв'язку (b_i).

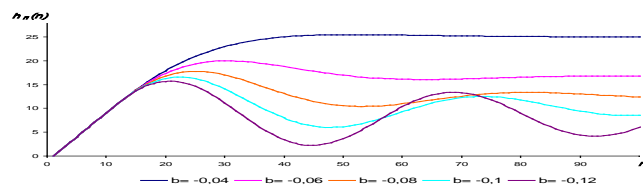
На рис. 5.5 зображені графіки перехідних характеристик системи із затримкою інформаційного сигналу на 2, 6 і 12 елементарних інтервалів. Коефіцієнти b_i змінювались в широких межах від $-0,04$ до $-0,9$.



а) затримка сигналу $k=2$



б) затримка сигналу $k=6$



в) затримка сигналу $k=12$

Рис. 5.5. Перехідні характеристики системи з постійним запізненням інформаційного сигналу і різних коефіцієнтах зворотного зв'язку

Як видно з графіків, при незначній затримці інформаційного сигналу ($k=2$) система залишається стійкою в широкому діапазоні значень коефіцієнта зворотного зв'язку до значення $|b_i| \leq 0,8$. При збільшенні затримки сигналу (рис. 1 б, в) стійкість системи спостерігається тільки при малих значеннях коефіцієнта зворотного зв'язку $|b_i| \leq 0,2$ і $|b_i| \leq 0,1$ відповідно. Таким чином, спостерігається обернено-пропорційна залежність між величиною затримки сигналу і значенням

коефіцієнта зворотного зв'язку. Слід зазначити, що при позитивних і негативних значеннях коефіцієнта b_i мають місце схожі закономірності зміни перехідних характеристик.

На рис. 5.6. представлені перехідні характеристики системи управління з постійним коефіцієнтом зворотного зв'язку $b = -0,1$ і запізненням інформаційного сигналу на 4, 8, 12, 16 і 20 елементарних періодів.

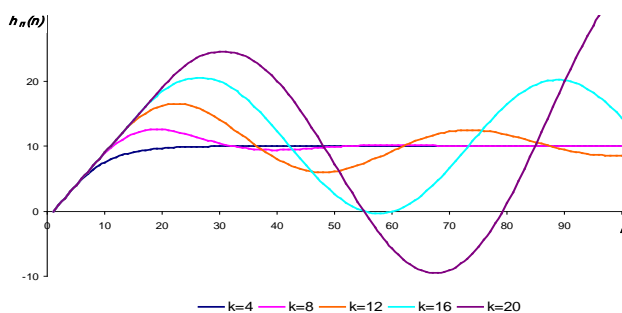


Рис. 5.6. Перехідні характеристики системи з постійним коефіцієнтом зворотного зв'язку ($b = -0,1$) і різним запізненням інформаційного сигналу

Отже, можна зробити висновок, що чим більше затримка в ланцюзі зворотного зв'язку (відповідно, чим вище ступінь полінома знаменника системної функції), тим при менших абсолютних значеннях коефіцієнта в ланцюзі зворотною перехідна характеристика стає такою, що розходиться, тобто система нестійка.

Оцінка запасу стійкості і швидкодії системи управління по перехідній характеристиці. Оцінку запасу стійкості і швидкодії можна провести за виглядом кривої перехідного процесу в системі автоматичного управління при входній дії, у вигляді одиничного стрибка [9].

Схильність системи до коливань, а, отже, і запас стійкості можуть бути охарактеризовані максимальним значенням керованої величини u_{\max} або так званим перерегулюванням, де u_{\max} і $u_{\text{ст}}$ – максимальне і стає значення вихідної характеристики відповідно.

При малому запасі стійкості системи управління її власні коливання затухають поволі, і перерегулювання в перехідному режимі виходить значним.

Допустиме значення перерегулювання для системи зазвичай встановлюється на підставі досвіду експлуатації подібних систем. В більшості випадків вважається, що запас стійкості є достатнім, якщо величина перерегулювання не

перевищує 10% - 30%. Проте в деяких випадках необхідно, щоб перехідний процес протікав взагалі без перерегулювання, тобто був монотонним; у ряді інших випадків може допускатися перерегулювання 50-70%.

Швидкодія системи може визначатися за тривалістю перехідного процесу. Тривалість перехідного процесу є часом з моменту подачі на вхід одиничного стрибка до моменту переходу системи в сталий режим з вихідним значенням $u_{ст.}$.

У табл. 5.1 представлені значення величини перерегулювання і швидкодії системи управління при різних коефіцієнтах зворотного зв'язку b_i і значеннях затримки інформаційного сигналу k . Як видно, задовільний запас стійкості і швидкодія системи спостерігається при невеликих затримках інформації в широкому діапазоні значень коефіцієнтів зворотного зв'язку, і навпаки, збільшення часу затримки інформації дозволяє забезпечити запас стійкості і необхідну швидкодію тільки при невеликих коефіцієнтах $|b_i| \leq 0,1$.

Таблиця 5.1

Запізнення інформаційного сигналу		Коефіцієнт зворотного зв'язку b_i				
		-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
$k=2$	Величина перерегулювання δ , %	25%	44%	61%	76%	89%
	Тривалість перехідного процесу, п	10	20	30	40	80
		-0,12	-0,15	-0,18	-0,21	-0,24
$k=6$	Величина перерегулювання δ , %	17%	33%	50%	68%	83%
	Тривалість перехідного процесу, п	27	45	63	80	150
		-0,04	-0,06	-0,08	-0,1	-0,12
$k=12$	Величина перерегулювання δ , %	2%	19%	44%	93%	98%
	Тривалість перехідного процесу, п	40	68	100	150	265

Оцінка асимптотичної стійкості системи на основі інформації про положення полюсів . Дослідження лише передавальних характеристик для оцінки асимптотичної стійкості системи недостатньо. Асимптотична стійкість дискретних систем визначається розташуванням полюсів системної функції усередині одиничного кола z -площини. Тому необхідно досліджувати поведінку полюсів системної функції, тобто корені полінома її знаменника.

Виконавши z -перетворення для рівняння (4), отримаємо вираз для системної функції:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - b_i z^{-k}}. \quad (5.16)$$

Полюсами системної функції $H(z)$ є корені полінома знаменника. Оскільки параметр m знаходиться в чисельнику системної функції, то, очевидно, на стійкість системи управління він не впливає. Тому розглядатимемо тільки вплив затримки сигнальної інформації і коефіцієнта зворотного зв'язку на стійкість системи управління.

Помноживши обидві частини полінома знаменника

$$1 - z^{-1} - b_i z^{-k} = 0 \quad (5.17)$$

на z^k , отримаємо рівняння

$$z^k - z^{k-1} - b_i = 0, \quad (5.18)$$

яке є характеристичним поліномом рівняння (5.15).

Відповідно до основної теореми вищої алгебри поліном k -го порядку з дійсними коефіцієнтами має рівно k коренів, які можуть бути дійсними або бути комплексно-зв'язаними парами. Тому вичерпну інформацію про стійкість можуть дати модулі цього коренів.

Для цього були розраховані значення коефіцієнта зворотного зв'язку b_i , при якому система залишається на межі стійкості, тобто один з полюсів системної функції (5.16) лежить на одиничному колі ($z_v = 1$). При цьому змінювалися значення запізнювання інформаційного сигналу k . За розрахунками був

побудований графік області стійкості системи із запізнюванням сигналу при різних коефіцієнтах зворотного зв'язку, представлений на рис. 5.7.

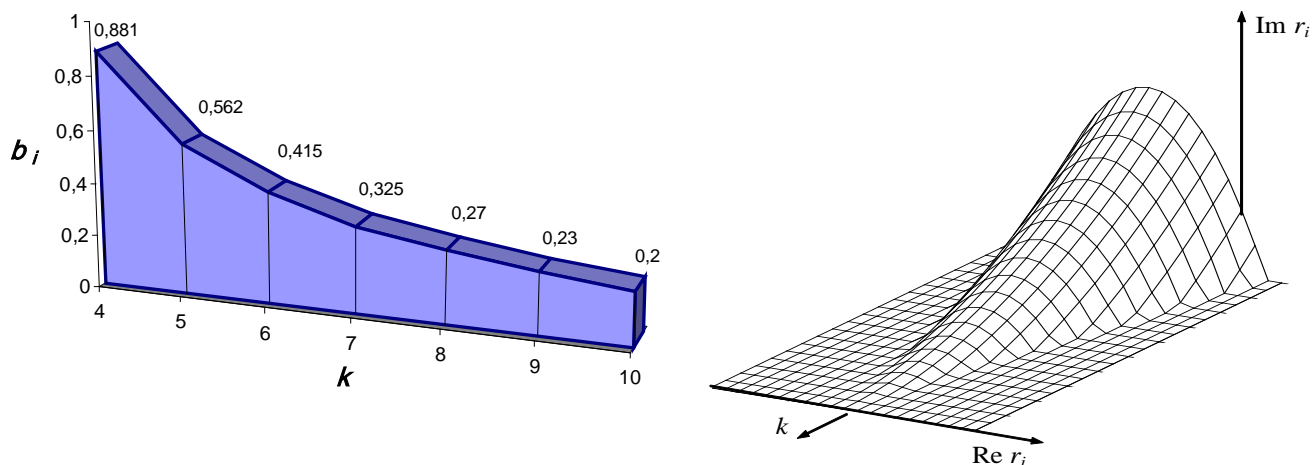


Рис. 5.7. Область стійкості системи управління із затримками інформаційного сигналу

Проаналізувавши графік можна зробити висновок, що стійкість системи управління, яка описується рівнянням (5.15) при збільшенні затримки інформаційного сигналу зберігається тільки при зниженні коефіцієнта зворотного зв'язку. Наприклад, у разі затримки сигналу менш ніж на 4 елементарних інтервалу система залишається стійкою в широкому діапазоні значень b_i . Проте, для підтримки стійкості системи при затримці сигналу більш ніж на 10 інтервалів необхідно дотримуватись умови $|b_i| \ll 0,2$, тобто система стає слабо керованою. Тому необхідно контролювати затримки доставки службової інформації і приймати заходи для їх зменшення.

Щодо завдання управління мережею особливістю функції (5.16) є те, що ступінь полінома знаменника i , відповідно, рівняння (5.18) визначається затримкою інформаційного сигналу k . У реальній мережі затримка доставки даних є випадковою величиною, а її середньоквадратичне відхилення змінюється в досить широких межах.

У складних системах має місце ефект нормалізації випадкових параметрів процесів, причому імовірнісний розподіл тим ближче до гаусівського, чим більший масштаб системи. Тому можна стверджувати, що розподіл затримок доставки даних з достатньою точністю описується законом Гауса.

Одним з методів забезпечення глобальної стійкості системи управління є поточний контроль і примусове введення системи в область стійкості шляхом цілеспрямованої зміни її коефіцієнтів зворотнього зв'язку. При цьому в процесі регулювання стійкості необхідно забезпечувати збереження динамічних характеристик системи.

Отже, складність управління крупними корпоративними мережами полягає в наявності випадкових затримок інформації, що управляє і сигнальної, неповної апіорної інформації про параметри і стан мережного устаткування. Це може приводити до осциляцій навантаження на мережеві вузли і втрати стійкості системи управління.

Для ефективного управління такими мережами необхідно контролювати стійкість системи управління при різному значенні затримки інформації шляхом зміни коефіцієнтів зворотному зв'язку.

Проведений аналіз асимптотичної стійкості системи по її перехідних характеристиках при різному запізнюванні сигналу і коефіцієнті зворотного зв'язку. Також представлені результати дослідження запасу стійкості і швидкодії системи.

Проведено дослідження поведінки полюсів системної функції. За наслідками розрахунків побудований графік області стійкості системи при різних значеннях запізнювання сигналу і коефіцієнтах зворотного зв'язку. Для підтримки стійкості системи при запізнюванні сигналу більш ніж на 10 інтервалів рекомендується вибирати коефіцієнт зворотного зв'язку виходячи з умови $|b_i| \ll 0,2$.

5.3. Метод управління сталістю системи із випадковими затримками інформації

Сформульоване завдання управління комп'ютерною мережею як розподіленою системою із затримками сигнальної і управляючої інформації, необхідно конкретизувати для отримання умов стійкої роботи. При цьому повинна

підтримуватися необхідна якість управління, яка залежить від динамічних характеристик системи управління.

Для забезпечення стійкої роботи системи управління мережею необхідно постійно контролювати її стан, насамперед – стан завантаженості окремих маршрутів і мережевих комутаційних вузлів. Завдання ускладнюється тим, що затримки доставки сигнальної і управляючої інформації, носять випадковий характер і можуть мінятися в широких межах. Навіть для простої динамічної системи, що описується диференціальним рівнянням першого порядку з постійними коефіцієнтами, поява запізнювання аргументу приводить до появи післядії (формально – до довільної зміни порядку рівняння). При цьому якщо початкове рівняння стійке, то стійкість рівняння з аргументом, що запізнюється, не гарантується.

Процеси обміну інформацією між керованими об'єктами (автономними сегментами) S_i мережі і системою управління можуть бути описані диференціально-різницевиими рівняннями або рівняннями з аргументами, що відхиляються [4, 5]:

$$y_{asi}(n) \approx y_{asi}(n-1) + b_i y_{asi}(n-k) + u_i(n-m), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (5.19)$$

де $y_{as}(n)$ - функція стану об'єкту; $u(n-m)$ - сигнал, що управляє; k і m затримками сигналів стану і управління відповідно. У загальному випадку $n \neq m$.

Системна функція об'єкту, що описується рівнянням (5.19), має вигляд:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - b_i z^{-k}}. \quad (5.20)$$

Характеристичний поліном системної функції (5.20) в результаті затримок інформації набуває специфічного вигляду:

$$z^k - z^{k-1} - b_i = 0. \quad (5.21)$$

Обмеженням запропонованої моделі є ризик втрати стійкості при випадкових змінах затримок, тобто порядку рівняння (5.21), а також при спробі досягнення потрібної якості управління шляхом простого збільшення коефіцієнта посилення

в контурі зворотного зв'язку. Тому необхідний постійний контроль стійкості системи управління і приведення її до стійкого стану при необхідності.

У роботі [10-12] показано, що існує цілком очевидний шлях примусового приведення нестійкої дискретної системи до стійкого стану: визначення положення полюсів системної функції (5.20) на z -площині і дзеркальне відображення всередину одиничного кола, полюсів, які знаходяться поза ним.

Якщо модуль кореня рівняння r_i , $i = \overline{1, k}$ $r_{\text{mod}} > 1$, знаходимо відображений корінь r_f :

– для дійсного кореня $r_{fi} = 1/r$;

– для комплексного кореня $r_i = a_i \pm jd_i$: $r_{fi} = \frac{a_i}{a_i^2 + d_i^2} \pm j \frac{d_i}{a_i^2 + d_i^2}$. (5.23)

При виконанні умов (5.22) або (5.23) частотна характеристика системи не змінюється. Відповідно, зберігаються динамічні властивості системи, тобто форма і кількісні параметри перехідних процесів, якими визначається якість управління.

Рівняння (5.19) для стійкої системи набуває вигляду:

$$y_{as}(n) \approx b_{k-1}y_{as}(n-1) + b_{k-2}y_{as}(n-2) + \dots + b_1y(n-k+1) + b_0y(n-k) + u(n-m),$$

а системна функція і характеристичний поліном після віддзеркалення нестійкого кореня всередину одиничного круга z -площини – відповідно:

$$H_{st}(z) = \frac{z^{-m}}{1 + b_{k-1}z^{-1} + b_{k-2}z^{-2} + \dots + b_1z^{-k+1} + b_0z^{-k}},$$

$$z^k + b_{k-1}z^{k-1} + b_{k-2}z^{k-2} + \dots + b_1z + b_0 = 0.$$

Значення $y(n-2), y(n-3), \dots, y(n-k+1)$ визначаються за рівняннями еталонної моделі, якими описується бажана поведінка об'єкта управління.

Представимо структуру системи управління у вигляді послідовного з'єднання ланок другого порядку, до яких у разі потреби (непарний порядок характеристичного полінома) додається ланка першого порядку. Зручність такого представлення полягає в тому, що ми отримуємо ланку з дійсними коефіцієнтами

як у разі дійсного, так і у разі комплексно-зв'язаного кореня характеристичного полінома:

– поліном $1 - z^{-1}(x_1 + x_2) + z^{-2}x_1x_2$, корені x_1, x_2 ;

– поліном $1 - 2z^{-1}x_1 + z^{-2}(x_1^2x_2^2)$, корені $x_1 \pm jx_2$.

Різницеві рівняння для i -ї біквдратної ланки мають вигляд:

$$y_{mi}(n) = b_{i1}y_{mi}(n-1) + b_{i2}y_{mi}(n-2),$$

де коефіцієнти b_{i1}, b_{i2} визначаються згідно відношень.

Завдяки десенсибілізації моделі згідно зі спрощеним представленням вдається знизити чутливість системи управління до нестационарності об'єкту управління і варіації параметрів процесів передачі даних управління. Для широкого класу нестационарностей можна забезпечити робастне управління, що особливо важливо для таких специфічних об'єктів з розподіленими параметрами, як корпоративні мережі. Умовою робастності управління є структурне узгодження між еталоном і об'єктом управління:

$$y_m(n-l) = \tilde{b}_{n-l+1}y_m(n-l+1), l = 2, 3, \dots, k-2,$$

$$\tilde{b}_{n-l+1} = b_{n-l+1} + c_m(n-l+1)\xi(n-l+1),$$

$$c_m(n-l+1) = c_{m0}(1 + \zeta(n-l+1)),$$

де $\xi(n-l+1)$, $\zeta(n-l+1)$ – функції з обмеженою варіацією, які підбираються з урахуванням фізичного змісту задачі. Наприклад, можна взяти функції у вигляді суми постійної складової і гармонійного тренда. Для рівняння високого порядку хороші результати дає представлення функцій у вигляді суми постійної складової і поліноміального тренду.

Нев'язка станів об'єкта управління та етalonної моделі визначається як

$$\varepsilon(n) \approx y(n) - y_m(n),$$

а її динаміка описується рівнянням:

$$\varepsilon(n) = \tilde{b}_n\varepsilon(n-1) + c_m(n)\eta(n),$$

де $\eta(n) \approx u_m(n) - \xi(n)y(n) - (1 + \zeta(n))u(n) - \chi(n)$;

$u_m(n)$ – управляючий вплив на еталонну модель;

$\chi(n)$ – випадкові збурення, що діють на об'єкт управління.

Задача управління по еталонній моделі полягає у приведенні нев'язки рішення рівняння до нуля з використанням результатів аналізу та прогнозу стану об'єкта управління та збурюючих впливів (в даному випадку – характеристик трафіку). У роботі для вирішення задачі прогнозу стану мережі запропоновано застосувати стандартний метод оцінки параметрів за критерієм мінімуму середньоквадратичної помилки (МСКП). Однак метод МСКП дає оптимальні результати тільки для стаціонарних (хоча б у широкому сенсі) процесів на інтервалі спостереження. У той же час сплески інтенсивності самоподібного трафіку являють собою порушення стаціонарності. З іншого боку, можна очікувати, що оцінювання параметрів самоподібного трафіку як процесу зі статистичними характеристиками, які убивають повільно, буде більш ефективним, ніж процесів без післядії.

Метод примусового повернення системи в області стійкості. Корені полінома (5.21) - полюси системної функції (5.20) на z -площині. Вони повинні розташовуватися усередині одиничного кола z -площини для підтримки стійкості. Необхідно постійно контролювати положення полюсів при змінах коефіцієнтів зворотному зв'язку і/або затримки даних.

Сучасний рівень розвиток обчислювальної техніки та впровадження спеціалізованих обчислювачів в мережеве устаткування дозволяє рекомендувати пряме обчислення кореня.

Для знаходження відповіді на принципове питання вибору місцеположення нового коріння полінома усередині одиничного кола z -площини розглянемо ілюстративний приклад рівняння в кінцевих різницях

$$y(n) = b_1 y(n-1) + b_2 y(n-2) + u(n) \quad (5.26)$$

з коефіцієнтами $b_{11} = -0,2$, $b_{12} = -0,8$ або $b_{21} = -0,3125$, $b_{22} = -1,25$. Коефіцієнт b_{22} у другому наборі дорівнює $1/b_{12}$. Системна функція

$$H(z) = \frac{1}{1 - b_1 z^{-1} - b_2 z^{-2}}.$$

Коренями характеристичного полінома є:

– у першому наборі $r_{1,2} \approx 0,1 \pm j0,89$; модуль $r_{\text{mod}} = 0,8$;

– у другому наборі $r_{1,2} \approx 0,15625 \pm j1,11$; модуль $r_{\text{mod}} = 1,25$.

Іншими словами, у першому випадку полюси системної функції лежать усередині одиничного кола z -площини, а в другому випадку вони лежать за межами одиничного кола (див. рис. 5.8).

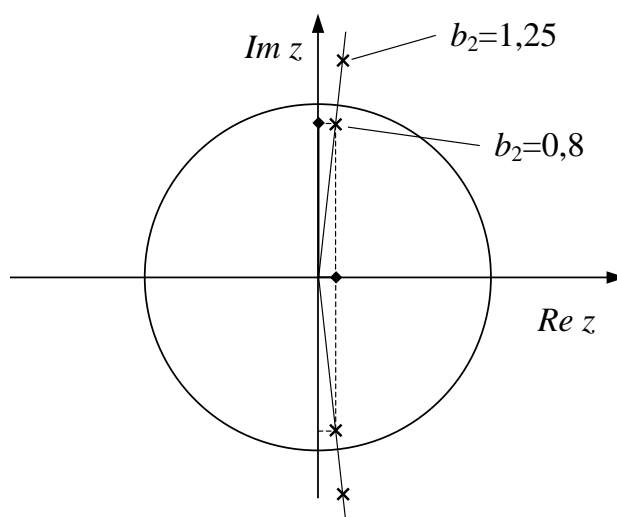


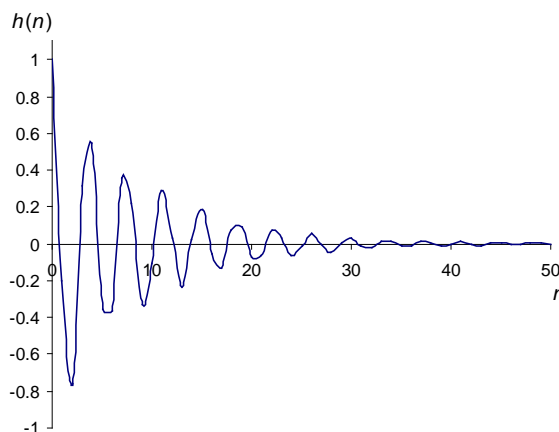
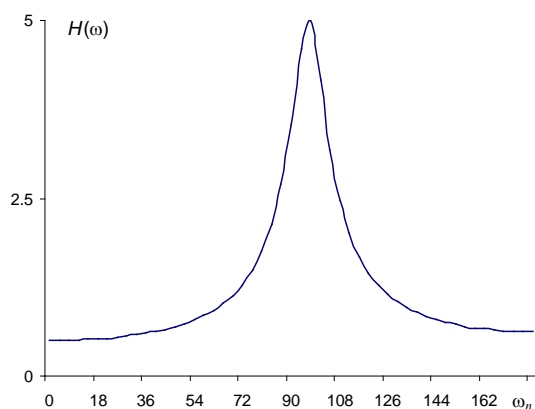
Рис. 5.8.. Конфігурація полюсів.

Амплітудно-частотна характеристика цієї системи

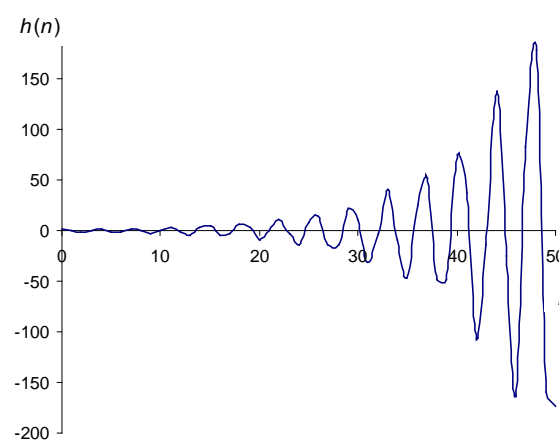
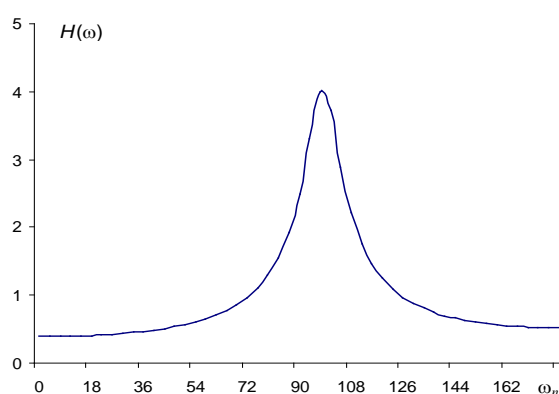
$$H(\omega_n) = 1 / \sqrt{(1 - b_1 \cos \omega_n - b_2 \cos 2\omega_n)^2 + (b_1 \sin \omega_n + b_2 \sin 2\omega_n)^2},$$

де $\omega_n = \omega T_d$ – нормалізована кутова частота; T_d – період дискретизації.

Амплітудно-частотні і імпульсні характеристики для обох наборів коефіцієнтів показані на рис. 5.9.



а) $b_{11} = -0,2$, $b_{12} = -0,8$



б) $b_{21} = -0,3125$, $b_{22} = -1,25$

Рис. 5.9. Амплітудно-частотні і імпульсні характеристики: а) система стійка; б) система нестійка.

Має місце ідентичність амплітудно-частотних характеристик як стійкої, так і нестійкої систем, отже, динамічні властивості даних систем також будуть ідентичними. Іншими словами, вигляд, якість і параметри перехідних процесів в обох системах однакові, тобто стійка система сходиться з тією ж швидкістю, з якою нестійка розходиться. Вид перехідних процесів також один і той же: у обох систем процес є або коливальним, або аперіодичним.

Використовуючи цю властивість цифрових динамічних систем, можна реалізувати примусове дзеркальне відображення полюсів, що знаходяться за межами одиничного кола z-площини, всередину її. Алгоритм наступний.

1. Задається порядок рівняння.
2. Задається коефіцієнт зворотного зв'язку.

3. Обчислюється корені рівняння $r_i, i = \overline{1, k}$.
4. Знаходяться модулі кореня.
5. Якщо модуль $r_{\text{mod}} > 1$, знаходиться відображений корінь r_f :
 - для дійсного кореня $r_{fi} = 1/r_i$;
 - для комплексного кореня $r_i = a_i \pm jd_i$: $r_{fi} = \frac{a_i}{a_i^2 + d_i^2} \pm j \frac{d_i}{a_i^2 + d_i^2}$.
6. Якщо модуль $r_{\text{mod}} = 1$, зменшуємо $r_{fi} = 1 - \varepsilon, \varepsilon \ll 1$.
7. Обчислюються коефіцієнти нового полінома з полюсами, віддзеркаленими всередину одиничного кола z-площини.

5.4. Метод монотонно-повільного повернення системи в область стійкості

Проте при стрибкоподібній зміні коефіцієнтів цифрової системи в моменти стрибків виникають розриви сигналу помилки, що приводить до пульсацій Гоббса і, як наслідок, до перерегулювання в системі управління. Для зменшення ефекту Гоббса запропоновано змінювати коефіцієнти і, відповідно, переводити систему в стійкий стан плавно на кінцевому інтервалі.

Вибір функції плавного переведення системи в область стійкості є важливим, оскільки безпосередньо впливає на вигляд, якість і параметри перехідних процесів в системі управління.

Імовірно, найбільш прийнятними функціями для плавного введення полюсів всередину одиничного кола є гармонійні (або комбінація гармонійних), лінійні, експоненціальні. Розглянемо насамперед гармонійні функції вигляду

$$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \left(\cos \frac{2\pi n}{N} + 1 \right) + k_{\min}, \quad (5.27)$$

$$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \cos \frac{2\pi n}{N} + k_{\min}, \quad (5.28)$$

$$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \sin \frac{2\pi n}{N} + k_{\min}, \quad (5.29)$$

$$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \left(\sin \frac{2\pi n}{N} + \sin \frac{8\pi n}{N} \right) + k_{\min}, \quad (5.30)$$

$$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \left(\sin \frac{2\pi n}{N} + \sin \frac{8\pi n}{N} + 1 \right) + k_{\min}, \quad (5.31)$$

$$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \cos \left[\frac{2\pi n}{N} \right] + k_{\min}, \quad (5.32)$$

$$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \left(\cos \frac{2\pi n}{N} + s(n) \right) + k_{\min}, \quad s(n) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } n \text{ парне} \\ 1, & \text{якщо } n \text{ непарне} \end{cases}, \quad (5.33)$$

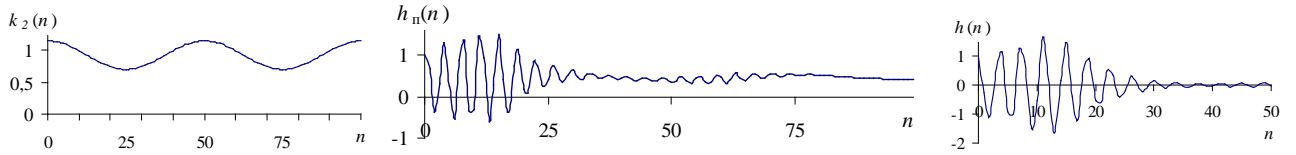
оскільки вони є диференційованими нескінченне число разів, і при будь-яких видах збурень (стрибок, лінійно наростаюче збурення тощо) не спостерігатиметься розрив неперервності у функції управління.

Також розглянемо характеристики системи за умови використання для плавного введення полюсів всередину одиничного кола експоненціальної функції вигляду

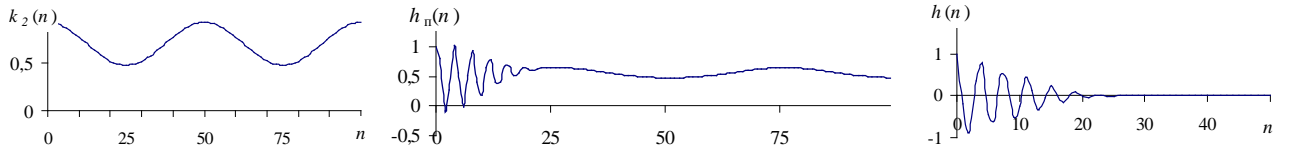
$$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) e^{-n} + k_{\min}. \quad (5.34)$$

Вибір параметрів функції зміни коефіцієнтів залежить від характеристик керованого об'єкту (мережного сегменту, окремого маршруту доставки даних тощо). Як ілюстративний приклад розглянемо характеристики системи управління (графік зміни коефіцієнта b_{22} , перехідну і імпульсну характеристики), що описується диференціальним рівнянням другого порядку з початковими коефіцієнтами $b_{21} = -0,3125$, $b_{22} = -1,25$, які зменшуються по формулі $k(n)$ до значень $b_{11} = -0,2$, $b_{12} = -0,8$.

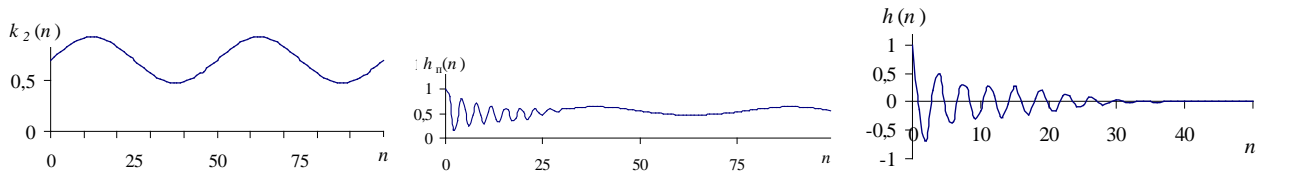
На рис. 5.10 показані перехідна і імпульсна характеристики системи, а також графіки зміни коефіцієнта b_{22} залежно від виду функції плавного введення полюсів. Для всіх випадків прийнято, що $k(n)$ – коефіцієнт, що змінюється від початкового значення $k_0 > 1$ до зворотного (мінімального) значення $k_{\min} \leq 1/k_0$ з періодом $N=50$; $n=0,1,2,\dots$.



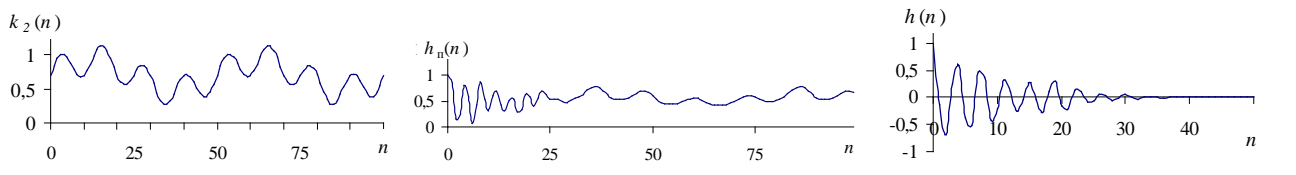
а) застосування функції вигляду (5.27)



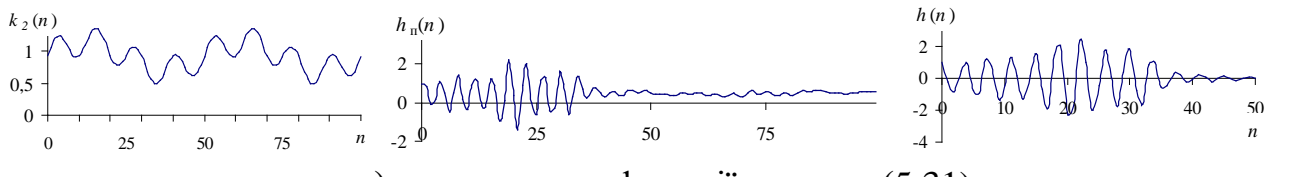
б) застосування функції вигляду (5.28)



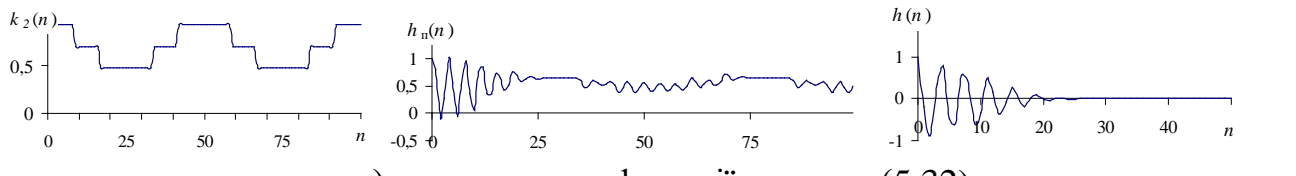
в) застосування функції вигляду (5.29)



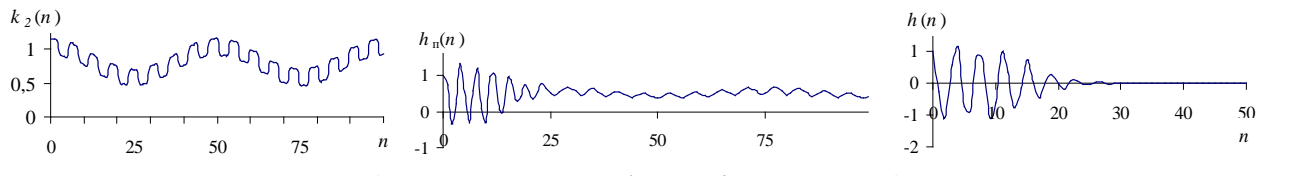
г) застосування функції вигляду (5.30)



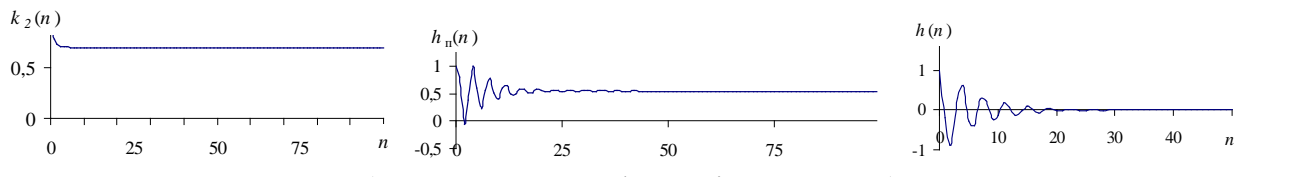
д) застосування функції вигляду (5.31)



е) застосування функції вигляду (5.32)



ж) застосування функції вигляду (5.33)



з) застосування функції вигляду (5.34)

Рис. 5.10. Графіки зміни коефіцієнта b_{22} , перехідні та імпульсні характеристики

Інтегральні показники якості системи визначаються безпосередньо по кривій перехідного процесу.

Залежність $q(n) = y(n) - y_{уст.}$, де $y(n)$ – значення вихідної характеристики у момент n , $y_{уст.}$ – стале значення є динамічною помилкою, а її дисперсія ($\sigma^2_{дин.}$) – інтегральним квадратичним критерієм якості.

При малому запасі стійкості системи управління її власні коливання затухають поволі, і перерегулювання в перехідному режимі виходить значним. Тому величина перерегулювання, визначувана співвідношенням $\delta = \frac{y_{max} - y_{уст.}}{y_{уст.}}$, де $y_{уст.}$ і $y_{max.}$ – стале і максимальне значення вихідної характеристики відповідно, може служити мірою запасу стійкості системи.

У таблиці. 1 приведені основні динамічні характеристики перехідного процесу залежно від вибраної функції плавного введення полюсів всередину одиничного кола.

Чим менше оцінка значень коефіцієнта перерегулювання і критерію якості, тим краще якість перехідного процесу системи управління. Тому пропонується вибирати такі оптимальні криві введення системи управління в область стійкості, щоб $\sigma^2_{дин.}$ і δ були мінімальними.

Судячи з графіків, показаних на рис. 1, при необмеженому зростанні n імпульсна характеристика системи асимптотично наближається до нуля, а перехідна характеристика – до стаціонарного значення, отже, на інтервалі спостереження система є глобально стійкою.

Проте в сталому режимі, при використанні для плавного введення полюсів всередину одиничного кола функцій вигляду (5.27), (5.31), (5.32), (5.33) спостерігаються коливання, що впливає на динамічні характеристики системи. Це підтверджено результатами розрахунків основних характеристик (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Функція зміни коефіцієнтів	Дисперсія динам. помилки, $\sigma_{\text{дин.}}^2$	Величина перерегулювання, δ	Тривалість перехідного процесу, n	$k_{2 \text{ min}}$
$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\text{min}}}{2}\right) \left(\cos \frac{2\pi n}{N} + 1\right) + k_{\text{min}}$	0,104	1,992	35	0,7
$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\text{min}}}{2}\right) \cos \frac{2\pi n}{N} + k_{\text{min}}$	0,020	0,838	22	0,475
$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\text{min}}}{2}\right) \sin \frac{2\pi n}{N} + k_{\text{min}}$	0,012	0,786	35	0,475
$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\text{min}}}{2}\right) \left(\sin \frac{2\pi n}{N} + \sin \frac{8\pi n}{N}\right) + k_{\text{min}}$	0,019	0,672	30	0,271
$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\text{min}}}{2}\right) \left(\sin \frac{2\pi n}{N} + \sin \frac{8\pi n}{N} + 1\right) + k_{\text{min}}$	0,243	3,59	35	0,496
$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\text{min}}}{2}\right) \cos \left[\frac{2\pi n}{N}\right] + k_{\text{min}}$	0,026	0,895	25	0,475
$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\text{min}}}{2}\right) \left(\cos \frac{2\pi n}{N} + s(n)\right) + k_{\text{min}}$, де $s(n) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } n \text{ парне} \\ 1, & \text{якщо } n \text{ непарне} \end{cases}$	0,055	1,501	30	0,475
$k(n) = \left(\frac{k_0 - k_{\text{min}}}{2}\right) e^{-n} + k_{\text{min}}$	0,010	0,840	20	0,7

Застосування функції вигляду (5.30) приводить до віддзеркалення полюса не суворо дзеркально, а до значно меншого значення, чим зворотне. Це дозволяє гарантувати стійкість системи.

При використанні функцій вигляду (5.28) і (5.29) також можливо відобразити полюси до меншого значення ніж зворотне, проте показники якості системи загалом гірші, ніж у попередньому випадку.

Використання функції вигляду (5.34) дозволяє привести систему в стійкий стан швидше і з меншою динамічною помилкою. Крім того дана функція, на відміну від попередніх, достатньо проста в обчисленні.

Таким чином, для плавного введення полюсів всередину одиничного кола і приведення тим самим системи управління мережею в область стійкості рекомендується вибирати функції вигляду (5.30) або (5.34).

Отже складність управління великими корпоративними мережами полягає в наявності випадкових затримок інформації, що управляє і сигнальної, неповної апіорної інформації про параметри і стан мережного устаткування. Це може приводити до осциляцій навантаження на мережеві вузли і втрати стійкості системи управління.

Для ефективного управління такими мережами необхідно забезпечити стійкість системи управління при зміні коефіцієнтів зворотного зв'язку.

Стійкість системи може бути забезпечена шляхом віддзеркалення полюсів, що знаходяться поза одиничним колом z -площини, всередину одиничного кола.

При стрибкоподібній зміні коефіцієнтів цифрової системи в моменти стрибків виникають розриви сигналу помилки, що приводить до пульсацій Гоббса і, як наслідок, до перерегулювання в системі управління.

Вид функції плавного введення полюсів всередину одиничного кола є важливим, оскільки безпосередньо впливає на вигляд, якість і параметри перехідних процесів в системі управління.

5.6. Висновки до розділу 5

1. Запропоновано метод урахування затримок сигнальної та управляючої інформації на основі різницевих рівнянь з аргументом, що відхиляється. Метод дозволяє адекватно описувати процеси передачі інформації у ККМ.

2. На основі аналізу методів обліку та компенсації затримок керуючої і сигнальної інформації запропоновано алгоритм з прогнозуючою моделлю та ідентифікатором, який відрізняється наявністю блоків ідентифікації та фільтрації, що дозволяє більш ефективно враховувати затримки інформації.

3. Розроблено метод управління сталістю системи з випадковими затримками сигнальної та управляючої інформації, який завдяки плавному

введенню особливих точок передатної функції в область сталості дозволяє знизити викиди у процесі регулювання та підвищити якість перехідних процесів у системі управління.

4. Визначено функції для плавного введення полюсів всередину одиничного кола які забезпечують необхідне віддзеркалення полюсів та дозволяють отримувати необхідні якість і параметри перехідних процесів в системі управління.

5. Для урахування затримок сигнальної та управляючої інформації у ККМ використано метод на основі різницевих рівнянь з аргументом, що відхиляється. Асимптотичну стійкість об'єкту управління досліджено через перехідні характеристики за різних значень затримки сигнальної, управляючої інформації, та коефіцієнтах зворотного зв'язку. При незначній затримці інформаційного сигналу ($k=2$) система залишається стійкою в широкому діапазоні значень коефіцієнта зворотного зв'язку до значення $|b_i| \leq 0,8$. При збільшенні затримки сигналу ($k=6, 12$) стійкість системи спостерігається тільки при малих значеннях коефіцієнта зворотного зв'язку $|b_i| \leq 0,2$ і $|b_i| \leq 0,1$ відповідно.

Список використаних у п'ятому розділі джерел

1. Столлингс В. Современные телекоммуникационные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
2. Красовский А.А. Концепция оптимального инструктора и автоматизация обучения на тренажерах / А.А. Красовский // Изв. АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. – 1989. – № 6. – С. 139-144.
3. Красовский А.А. Математическое моделирование и компьютерные системы обучения и тренажа / А.А. Красовский. – М.:ВВИА им. Н.Е. Жуковского. – 1989. – 255 с.

4. Эльсгольц Л.Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом / Л.Э. Эльсгольц, С.Б. Норкин. – М.: Наука, 1971. – 296 с.
5. Беллман Р. Дифференциально-разностные уравнения / Р. Беллман, К. Кук. – М.: Мир, 1967. – 548 с.
6. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Интеллектуальные сети. – М.: Радио и связь, 2000. – 500 с.
7. Казаков И.Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
8. Шеридан Т.Б., Феррел У.Р. Системы человек машина. Пер. с англ. / Под ред. К.В. Фролова. – М.: «Машиностроение», 1980. – 400 с.
9. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
10. Савченко А. С. Метод принудительного ввода системы управления в области устойчивости. *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку: зб. наук. праць*. 2012. Вип. 2(22). С. 100-105.
11. Савченко А. С. Исследование характеристик устойчивости системы управления корпоративной сетью. *Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій*. 2013. № 1. С. 79-85.
12. Савченко А. С. Модель системи управління корпоративною мережею із затримками сигнальної та управляючої інформації. *Проблеми інформатизації та управління: зб. наук. праць*. 2013. Вип. 2(42). С. 99-103.
13. Клир Дж. Системология: автоматизация решения системных задач. - М.: Радио и связь, 1990. - 538 с.
14. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем / П.К. Анохин. – М.: Медицина, 1975. – 447 с.
15. Н.А. Виноградов, А.С. Савченко Концепция управления корпоративной сетью на основе психофизиологических механизмов профессиональной деятельности человека

16. Красовский А.А. Концепция оптимального инструктора и автоматизация обучения на тренажерах / А.А. Красовский // Изв. АН СССР. Сер. Техническая кибернетика. – 1989. – № 6. – С. 139-144.

17. Красовский А.А. Математическое моделирование и компьютерные системы обучения и тренажа / А.А. Красовский. – М.:ВВИА им. Н.Е. Жуковского. – 1989. – 255 с.

18. Журавлев Ю.И., Гуревич И.Б. Распознавание образов и анализ изображений // Искусственный интеллект в 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / под ред. Д.А. Поспелова. - М.: Радио и связь, 1990. - С. 149-190.

19. Колесникова С.И., Букреев В.Г. Распознавание состояний динамической системы // Цифровая обработка сигналов и ее применение: Сб. докл. XI Междунар. научно-техн. конф. - М., 2009. - С. 619-622.

20. Васильев В.А., Добровидов А.В., Кошкин Г.М. Непараметрическое оценивание функционалов от распределений стационарных последовательностей. - М.: Наука, 2004. - 508 с.

РОЗДІЛ 6. МЕТОДИ ПЕРЕДАЧІ УПРАВЛЯЮЧОЇ ІНФОРМАЦІЇ В КОРПОРАТИВНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

6.1. Модель мережного вузла як керованого об'єкта

Для управління корпоративними комп'ютерними мережами, що включають велику кількість активного обладнання, необхідні складні системи управління, які відстежують, контролюють і управляють кожним елементом і станом комп'ютерної мережі в цілому.

Одним з фундаментальних вимог до системи управління мережею (СУ) будь-якого розміру є простота впровадження, експлуатації і модернізації. Отже, СУ слід розробляти на основі існуючих і перевірених технологій і протоколів керування мережею.

Найпростішим рішенням для забезпечення високої якості обслуговування є створення мережі з пропускнуою спроможністю, яка дозволяє передавати будь-який обсяг трафіку. Така мережа буде передавати трафік додатків без значних втрат, і при хорошій схемою маршрутизації пакети будуть доставлятися з низькою затримкою. Це обмежує переваги такого алгоритму з точки зору продуктивності. Однак таке рішення дуже дороге.

Для забезпечення якості обслуговування необхідно звернути увагу на наступні питання.

1. Які сервіси потрібні з мережі?
2. Як регулювати вхідний в мережу трафік.
3. Як зарезервувати ресурси на маршрутизаторах, необхідних для продуктивності.
4. Чи може мережа приймати більше трафіку?

Жоден метод не може ефективно вирішити всі ці проблеми. Тому було розроблено багато різних методів для мережного (і транспортного) рівня. На практиці їх комбінації використовуються для забезпечення якості обслуговування (QoS).

Завдання системи управління можуть виконуватися в автоматичному, ручному або напівавтоматичному режимах. У моделі управління OSI не робиться відмінностей між керованими об'єктами - каналами, сегментами локальних мереж, мостами, комутаторами і маршрутизаторами, модемами і мультиплексорами, апаратним та програмним забезпеченням комп'ютерів, СУБД. Всі ці об'єкти управління входять у загальне поняття «система», і керована система взаємодіє з керуючою системою за відкритими протоколами OSI.

Як для боротьби з перевантаженням, так і для управління потоком використовується зворотний зв'язок. Всі системи зі зворотним зв'язком припускають, що отримали інформацію про перевантаження в мережі хости і маршрутизатори зроблять якісь дії для усунення перевантаження. Для ефективної роботи системи управління необхідно деякий усереднення, однак правильний вибір значення постійної часу є нетривіальною завданням.

Розглянемо структуру і параметри мережевих вузлів з позицій теорії масового обслуговування і теорії управління. На рис. 6.1 зображена структура типового комутаційного пристрою (маршрутизатора або комутатора третього рівня). Такі комутаційні пристрої є найбільш поширеними і найбільш відповідальними вузлами комп'ютерної мережі [1, 2].

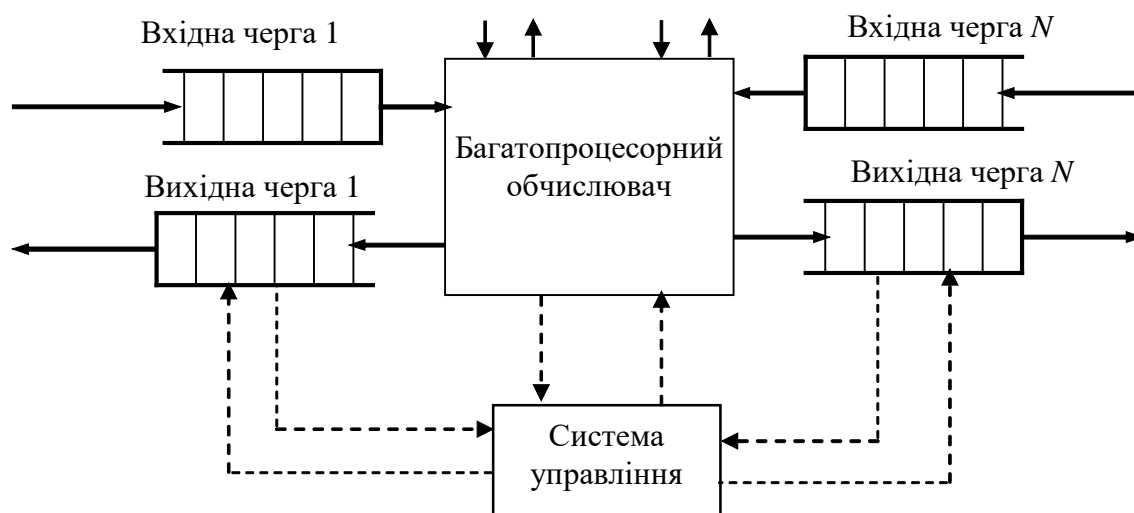


Рис. 6.1. Типова структура мережного комутаційного вузла

Дисципліни обслуговування (FIFO, WFQ і ін.) і боротьби з перевантаженнями в мережевих вузлах (Drop Tail, RED, Weighted RED) визначаються в залежності від вибору адміністратора мережі.

Система управління являє найбільший інтерес, оскільки саме в ній реалізуються закони управління чергами, напрямками потоків даних від джерел до приймачів різними шляхами для балансування навантаження на канал з метою досягнення заданих параметрів: мінімізації вартості передачі, максимізації швидкості передачі, мінімізації затримок при передачі сигналу.

На рис. 6.2 зображена структура комп'ютерної моделі найпростішого маршрутизатора з одним входом і одним виходом. По суті, вона являє собою систему управління першого порядку з явною зворотним зв'язком.

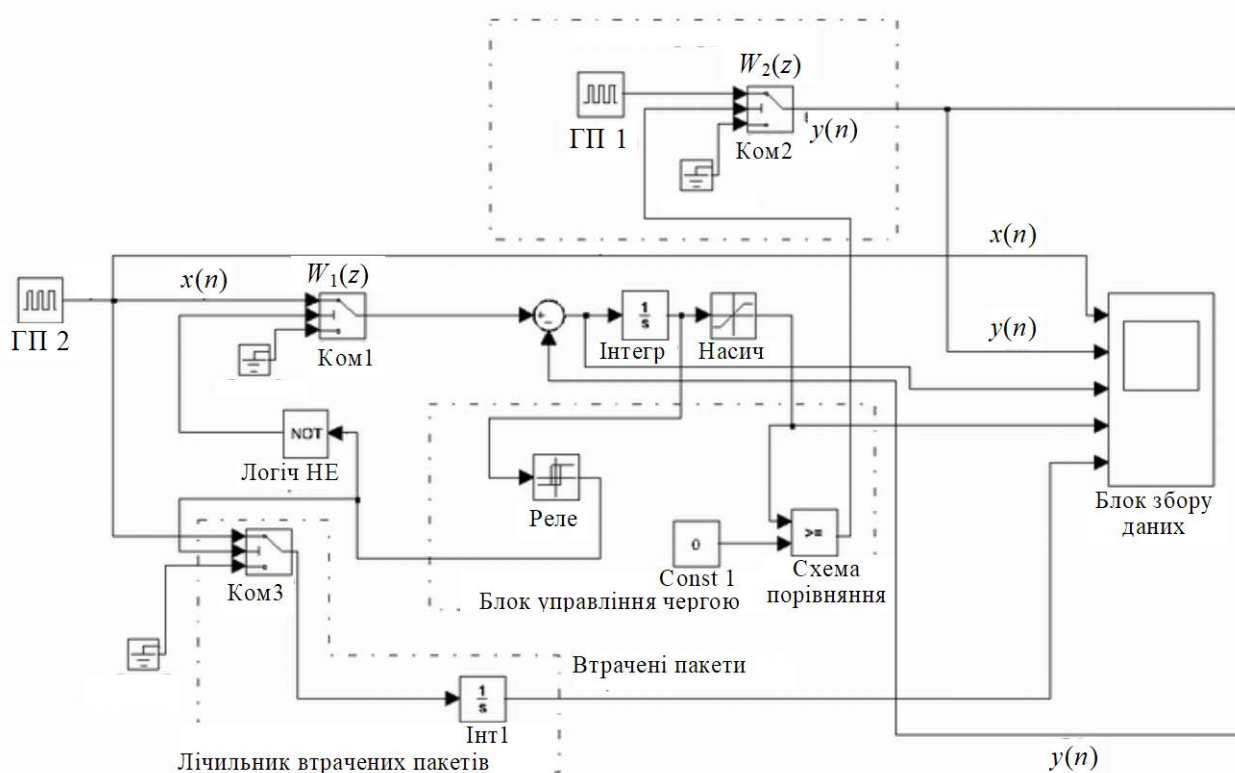


Рис. 6.2. Структура комп'ютерної моделі маршрутизатора. ГП1 і ГП2 – генератори пакетів

Завдання управління виконує блок керування чергою, а інформація про параметри і стан маршрутизатора накопичується в блоці збору даних. Такі моделі дають можливість оцінити статистичні характеристики потоків даних, середнє число втрат і повторних передач тощо.

Для вирішення завдань аналізу працездатності мережного вузла, виникнення і розвитку відмов (на відміну від перевантажень) необхідно розробляти більш специфічні моделі, в яких враховується як параметри обслуговування, так і експлуатаційні параметри пристрою.

На рис. 6.3 зображена структура маршрутизатора як системи масового обслуговування. Статистичні характеристики вхідного потоку залежать від різновидів трафіку (мова, відео, дані). Як відомо, сучасний трафік має виражений самоподібний характер. Дисципліна обслуговування вибирається, виходячи зі статистичних характеристик і пріоритетності потоків даних.

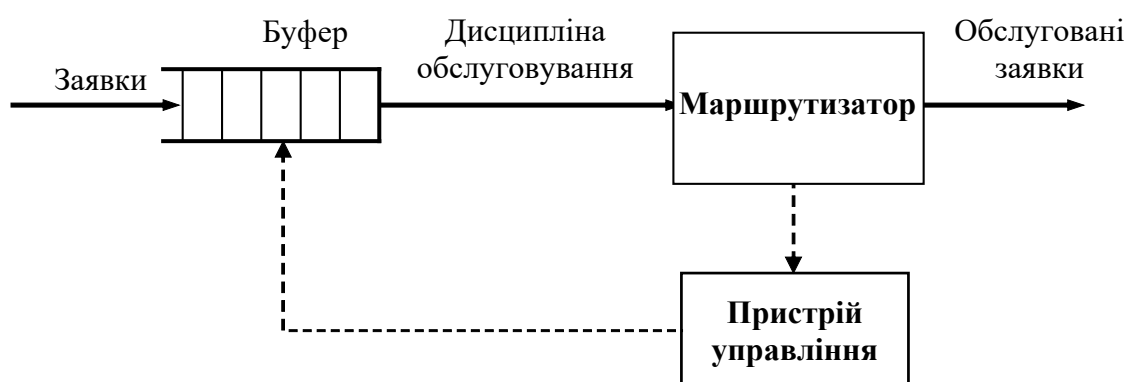


Рис. 6.3. Маршрутизатор як система масового обслуговування

На рис. 6. 4 зображена модель комутаційного вузла як об'єкта управління при наявності затримок сигнальної і керуючої інформації. ВК - вузол комутації (маршрутизатор) з функцією передачі $H_{OK}(z)$; СУ – система управління з функцією передачі $H_{CO}(z)$; $x(n)$, $y(n)$ вхідний і вихідний потоки даних; $\eta(n)$ – зовнішня перешкода; z^{-m} , z^{-k} – елементи затримки, яка має місце при обміні інформацією; в загальному випадку значення затримки інформації по висхідному і низхідному каналах обміну не збігаються ($k \neq m$); z^{-n} – затримка обробки пакета в маршрутизаторі..

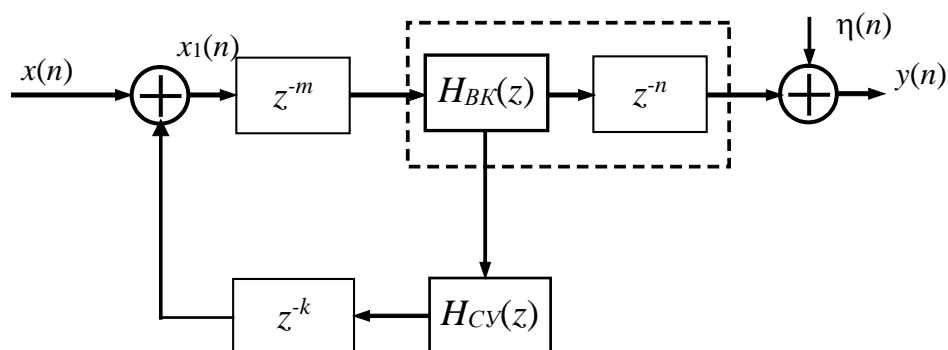


Рис. 6.4. Структурна модель контролю та управління мережним вузлом тут $x(n)$ - інформаційний сигнал, $u(n)$ - керуючий сигнал; z^{-m} , z^{-k} - елементи затримки, яка має місце при доставці інформації; в загальному випадку значення затримки інформації про висхідному і низхідному каналах обміну даними не збігаються ($k \neq m$); z^{-l} - елемент затримки реакції вузла мережі на варіації його стану; z^{-r} - затримка обробки пакета в об'єкті управління; $\eta(n)$ - зовнішній шум та інтерференція, що зумовлюють викривлення і втрати пакетів.

Запишемо вираз для передавальної функції $H_1(z) = x_1(z)/x(z)$ маршрутизатора р СУ:

$$H_1(z) = \frac{1}{1 - H_{\text{оє}}(z)H_{\text{нó}}(z)z^{-(m+k)}}. \quad (6.1)$$

Відповідний вираз для передавальної функції $H_y(z)$ системи в цілому має такий вигляд:

$$H_y(z) = \frac{z^{-n}}{1 - H_{BK}(z)H_{CY}(z)z^{-(m+k)}} + \left\{ \frac{[X_1(z)H_{BK}(z)][X_z^*(z^{-1})H_{BK}^*(z^{-1})]}{\eta(z)\eta^*(z^{-1})} \right\}^{1/2}. \quad (6.2)$$

Другий доданок у виразі (6.2) являє собою відношення кореня квадратного енергії сигналу до середньоквадратичного напрузі зовнішньої перешкоди. При великих відносинах сигнал / перешкода вираз (6.2) зводиться до стандартної передавальної функції системи з затримками сигнальної і керуючої інформації.

Як зазначалося вище, правильний вибір значення постійної часу - часу реакції керованого об'єкта на зміни вхідного впливу - дуже складне завдання. Однак в якості асимптотичної оцінки часу реакції в умовах наявності деякого «великого параметра» [3, 4], роль якого в даному випадку грає велике відношення сигнал / перешкода або тривалий інтервал спостереження за умови локальної стаціонарності процесу, можна вибирати середній час затримки сигнальної інформації. Іншими словами, час реакції маршрутизатора на зміну стану мережі повинно бути одного порядку з середньою затримкою сигнальної інформації.

Запропоновано математичні моделі мережевих комутаційних вузлів третього рівня як об'єктів управління мережею. Для оптимального вибору такої важливої характеристики системи управління, як постійна часу реакції керованого об'єкта, необхідно постійно аналізувати затримки сигнальної і керуючої інформації і підлаштовувати під них параметри комутаційного вузла. Запропоновані моделі і методи управління мережевими вузлами доцільно використовувати при розробці та аналізі методів контролю, діагностики, пошуку несправностей в мережі.

При управлінні потоками і процесами в інформаційно-комунікаційних мережах мають місце затримки отримання сигнальної (користувацької) інформації про стан і параметри мережі, які носять випадковий характер і можуть змінюватися в широких межах. Також мають місце затримки керуючої інформації, використовуваної для зміни параметрів мережевих вузлів, маршрутів і автономних сегментів. Тому в якості моделі сегмента мережі розглядається дискретна динамічна система з затримками сигнальної (τ_k) та управляючої (τ_m) інформації, причому в загальному випадку $\tau_k \neq \tau_m$. Такі системи описуються диференціальними рівняннями з аргументом, що відхиляється [13]. Неоднорідне диференціальне рівняння з постійними коефіцієнтами і відхиляється аргументом має такий вигляд:

$$\frac{dy_{as}(t)}{dt} = by_{as}(t - \tau_k) + u(t - \tau_m), \quad (6.3)$$

де $y_{as}(t)$ - шукана функція; $u(t)$ - збурення; b - коефіцієнт зворотного зв'язку; τ_k, τ_m - затримки сигнальної і керуючої інформації відповідно.

Вважається [14], що для рівнянь з відхиляється аргументом метод апроксимації диференціальних рівнянь різницевиими рівняннями є найбільш ефективним.

В умовах порівнянної малості інтервалів тактової синхронізації мережі в порівнянні зі змінами її параметрів і стану дискретизуємо рівняння (6.3) у такий спосіб. Апроксимуємо його рівнянням в кінцевих різницях виду

$$y_{as}(n) \approx y_{as}(n-1) + by_{as}(n-k) + u(n-m) \quad (6.4)$$

де $y_{as}(n)$ - функція стану об'єкта; $u(n-m)$ - управляючий сигнал; k і m є затримками сигналів стану і управління відповідно. У загальному випадку $n \neq m$.

Системна функція об'єкта, яка описується рівнянням (6.4), має такий вигляд:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - bz^{-k}} \quad (6.5)$$

характеристичний поліном якої є досить специфічним:

$$z^k - z^{k-1} - b = 0. \quad (6.6)$$

Системна функція (6.5) має нуль m -го порядку, який розташований в нескінченно віддаленій точці z -площини, и k полюсів, розташованих на рівних кутових відстанях $\Delta\varphi = 2\pi/k$ один від одного.

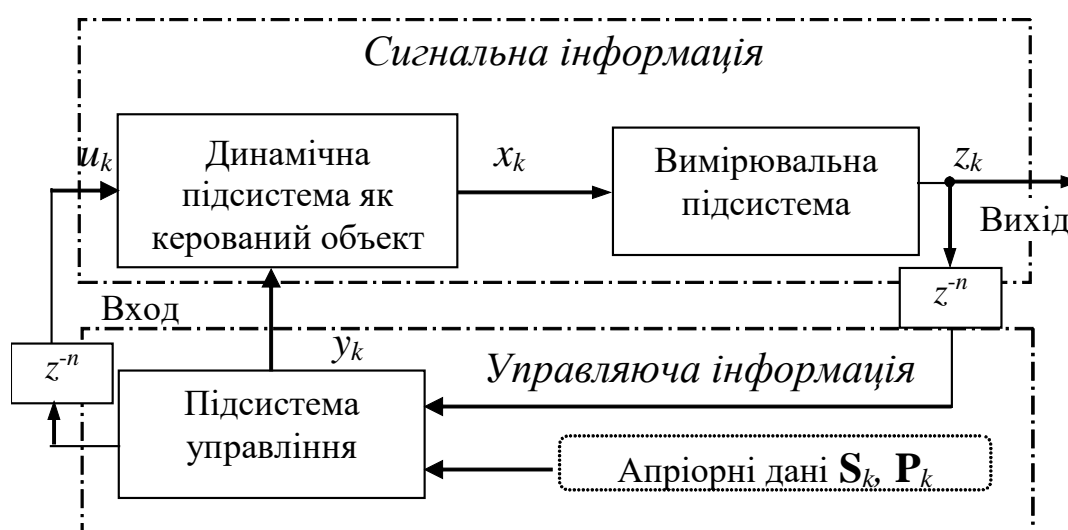


Рис. 6.5. Структура детермінованою системи, що включає підсистему управління і інформаційну підсистему

У попередніх розділах обчислені асимптотичні оцінки стійкості систем з характеристичним поліномом виду (6.6) і області стійкості. Показано, що для підтримки стійкості системи управління необхідно зменшувати абсолютну величину коефіцієнта зворотного зв'язку в контурі управління при збільшенні затримок сигналів управління. Однак проблема пошуку залежності між коефіцієнтом зворотного зв'язку і затримкою не має однозначного вирішення в замкнутій формі. Крім того, мають місце неконтрольовані відхилення динамічних характеристик і погіршення якості управління, в тому числі з-за шумів вимірювань, внутрішніх і зовнішніх шумів.

Можна зробити припущення про можливість статистичної лінеаризації системи в умовах гауссових шумів і високою апостеріорної точності [9]. Розглядаючи керований мережевий сегмент як дискретну динамічну систему зі стохастичними складовими, опишемо її різницевиими рівняннями

$$\begin{cases} x_k = a_k x_{k-1} + b_k u_k + \eta_k + \xi_k, \\ z_k = h_k y_k, \\ k = 1, 2, \dots, \end{cases}$$

де a_k, b_k, h_k - змінні коефіцієнти системних блоків; ξ_k, η_k - шуми системи і шуми вимірювань.

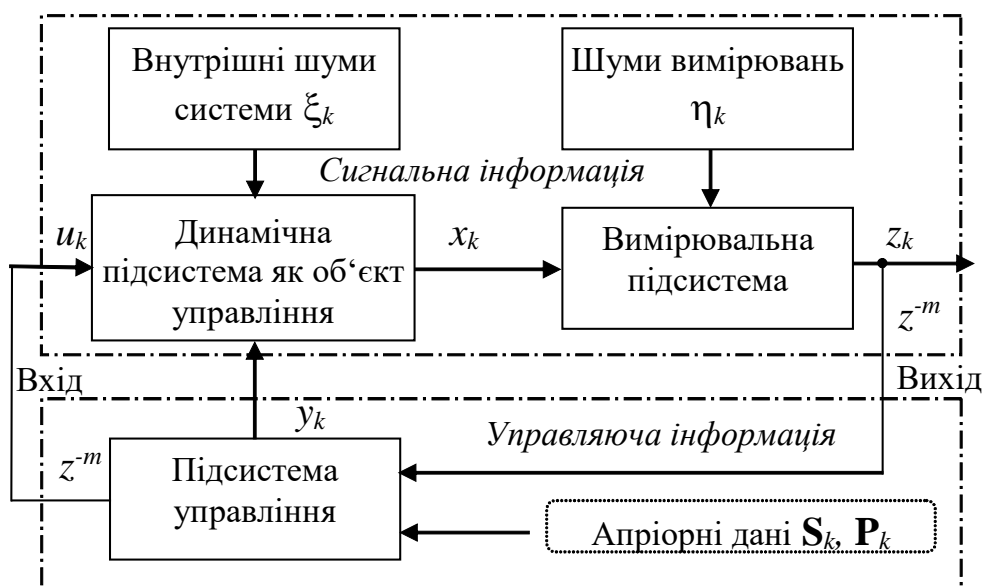


Рис.6.6. Загальна структура системи, що включає підсистему управління з затримкою z^{-k} і інформаційну підсистему з затримкою z^{-m}

Рівняння (6.4) можна розглядати як стандартне рівняння управління зосередженим об'єктом із затримками сигналів стану і управління.

Фактично вузол мережі як об'єкт управління - це система зворотного зв'язку, яка повинна надавати певний відгук на варіації його стану, наприклад, громад перевантаження, затор прийому, зменшення пропускної здатності, спустошення буфера, неналежне функціонування, повна або часткова відмова тощо. Для забезпечення коректної роботи систем управління надійністю та ефективністю мережі час відгуку має бути налаштоване дуже ретельно [4]. При дуже короткому періоді реакції мережного вузла система управління буде отримувати послідовність суперечливих інформаційних сигналів. Система буде перебувати в стані незатухаючих коливань і не прийде в стабільний стан. З іншого боку, якщо період реакції буде занадто довгим, механізм управління станом реагуватиме занадто повільно, щоб взагалі принести якусь користь. Щоб мати відповідну якість процесу управління, потрібно застосовувати певний спосіб адаптації, але правильний вибір постійних часу - це нетривіальне питання. Розглянемо цю проблему більш детально.

Рівняння системи в кінцевих різницях для керуючих даних має таку форму:

$$u_1(n) = u(n-m)h_{NN}(n) + u_1(n-k-l)h_{CS}(n). \quad (6.7)$$

Запишемо вираз для передавальної функції $H_1(z) = X_1(z)/X(z)$ об'єкта, яким керує система управління:

$$H_1(z) = \frac{1}{1 - H_{NN}(z)z^{-m}H_{CS}(z)z^{-(k+l)}}. \quad (6.8)$$

Відповідний вираз для передавальної функції $H_y(z)$ системи в цілому має такий вигляд:

$$H_y(z) = \frac{z^{-r}}{1 - H_{NN}(z)H_{CS}(z)z^{-(m+k+l)}} + \Xi(z) \quad (6.9)$$

де співвідношення енергії сигналу до модуля комплексної спектральної щільності зовнішньої перешкоди $\xi(n)$

$$|Q_{\xi}(z)| = \frac{\left| \left[X_1(z^{-(m+r)}) H_{NN}(z^{-r}) \right] \left[X_1^*(z^{m+r}) H_{NN}^*(z^r) \right] \right|}{\left| \Xi(z) \Xi^*(z^{-1}) \right|} \quad (6.10)$$

Вираз (6.9) в разі великих відносин сигнал / шум сходиться до загальної передавальної функції (6.8) системи із затримками сигнальної і керуючої інформації.

Результати чисельного аналізу отримані з використанням виразів (6.7-6.10). Було проведено цифрове моделювання системи управління параметрами комутаційного вузла. Були досліджені параметри системи управління для різних параметрів мережевого трафіку (зокрема, трафіку Triple / Quadruple Play з самоподібними властивостями) і з різними випадковими похибками і спотвореннями. Для забезпечення глобальної стабільності системи управління були спеціально підібрані коефіцієнти зворотного зв'язку.

Головний результат моделювання - це залежність варіацій довжини черги від часу реакції мережевого вузла (число періодів l , якому відповідав би затримка z^{-l}) в порівнянні з часом затримки обробки і доставки даних (число періодів відповідає ступеням z^{-m} , z^{-k}). Деякі результати представлені на рис. 6.7. і 6.8.

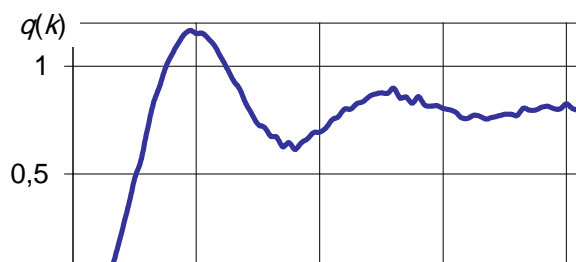


Рис. 6.7. Варіація нормалізованої поточної довжини черг в буфері мережного вузла.

Відносна затримка реакції мережного вузла $l = 5$, повна затримка обробки даних і доставки $m + k = 10$. Локальне перерегулювання системи управління за критерієм перевантаження буфера

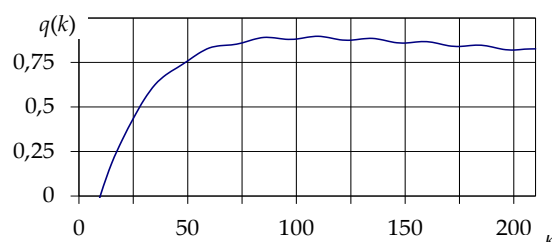


Рис. 6.8. Варіація нормалізованої поточної довжини черги в буфері мережного вузла.

Відносна затримка реакції мережного вузла $l = 10$, повна затримка обробки даних і доставки $m + k = 10$. Є достатній ресурс стійкості управління за критерієм перевантаження буфера

Треба відзначити, що затримки у виявленні і розпізнаванні корисних сигналів і перешкод або фактів відмов обладнання мають місце не тільки при описі статистичних характеристик, але і при оцінці різних часових параметрів сигналів, застосування принципів накопичення сигналів тощо. Для оптимального вибору таких важливих характеристик систем управління, як поточний час реакції об'єкта контролю, необхідно постійно аналізувати затримки сигнальної і керуючої інформації і налаштовувати під них параметри комутаційних вузлів. Цілком логічно вибирати величину поточного часу реакції об'єкта контролю близькою до величини згаданих затримок. Про це ж свідчать і результати цифрового моделювання.

6.3. Методи забезпечення якості обслуговування у ККМ

Сучасні корпоративні комп'ютерні мережі є складними гетерогенними системами, що надають широкий спектр послуг кінцевим користувачам. Основним фактором, що впливає на якість обміну даними між прикладним програмним забезпеченням корпоративної системи, і, відповідно, на якість вирішення прикладних завдань, є ефективність управління наявний технічними ресурсами. Це обумовлює необхідність впровадження складних механізмів управління мережею, які дозволяють здійснювати контроль і управління кожним елементом, а також станом мережі в цілому.

Відповідно до рекомендацій ITU-T X.700 і стандартом ISO 7498-4 можна виділити п'ять функціональних груп завдань управління мережею [1, 2]:

- управління конфігурацією мережі і ім'ям,
- обробка помилок,
- аналіз продуктивності і надійності,
- управління безпекою,
- облік роботи мережі.

Управління конфігурацією мережі і ім'ям - полягає в конфігурації компонентів мережі, включаючи їх місце розташування, мережеві адреси і

ідентифікатори, управління параметрами мережевих операційних систем, підтримання схеми мережі: також ці функції використовуються для іменування об'єктів.

Обробка помилок - це виявлення, визначення і усунення наслідків збоїв і відмов в роботі мережі.

Аналіз продуктивності - допомагає на основі накопиченої статистичної інформації оцінювати час відповіді системи і величину трафіку, а також планувати розвиток мережі.

Управління безпекою - включає в себе контроль доступу і збереження цілісності даних. У функції входить процедура автентифікації, перевірки привілеїв, підтримка ключів шифрування, управління повноваженнями. До цієї ж групи можна віднести важливі механізми управління паролями, зовнішнім доступом, з'єднання з іншими мережами.

Облік роботи мережі - включає реєстрацію і управління використовуваними ресурсами і пристроями. Ця функція оперує такими поняттями як час використання і плата за ресурси.

З наведеного списку видно, що системи управління виконують не тільки функції моніторингу та аналізу роботи мережі, необхідні для отримання вихідних даних для настройки мережі, але і включають функції активного впливу на мережу - управління конфігурацією і безпекою, які потрібні для відпрацювання виробленого плану настройки і оптимізації мережі. Сам етап створення плану настройки мережі зазвичай залишається за межами функцій системи управління, хоча деякі системи управління мають в своєму складі експертні підсистеми, що допомагають адміністратору або інтегратора визначити необхідні заходи по налаштуванню мережі.

Системи управління інформаційними ресурсами мають чотири рівні функціональних можливостей. Кожен рівень вирішує завдання, визначені так, щоб забезпечити підготовку даних (збір, обробка, подання), необхідних для управління елементами.

Керовані об'єкти. Об'єктами управління є пристрої, системи та сервіси, що потребують контролю та управління, наприклад, маршрутизатори, комутатори, сервери і додатки.

Агент управління. Для організації взаємодії з об'єктом управління використовують посередника – агент управління, який переводить команди системи управління на мову, зрозумілу керованому об'єкту, і навпаки.

Менеджер управління. Агенти управління породжують інформацію про стан керованих об'єктів. Менеджер управління збирає, обробляє фактичну інформацію від окремих керованих елементів, при необхідності виробляючи спеціальні види обробок (кореляцію подій тощо) і певним чином зберігає її для подальшого використання.

Інтерфейс користувача. Найпростіше використання зібраної інформації - це її відображення та надання інструментарію для роботи адміністратора з нею (інтерфейс користувача). Завдання цього інтерфейсу - забезпечити доступ до накопиченої актуальної інформації (сигнали тривоги реального часу, важливі події, графіки стану системи і її елементів, аналіз тенденцій, звіти тощо) адміністратору ККМ.

Завдання управління ККМ по суті є задачею управління наданням сервісів за допомогою узгодженого управління безліччю компонентів, що належать різним структурним рівням і рівнями функціональних завдань.

Політика управління є набором методів і стандартів, спрямованих на надання сервісу і підтримку його якості на заданому рівні. Основою для реалізації політики є дисципліна управління, призначена для підтримки надання заданого сервісу.

Дисципліни реалізуються через сервіси і протоколи, для передачі управляючої інформації та абстрактний синтаксис і семантику інформації, переданої управляючими протоколами.

Об'єкт управління характеризується атрибутами об'єкта, припустимими операціями, повідомлення, які об'єкт може генерувати, зв'язки з іншими керованими об'єктами.

Найбільш поширеним для розподілених систем управління є протокол SNMP (Simple Network Management Protocol - простий протокол управління мережами), в якому реалізована концепція «менеджер - агент» [3]. SNMP - протокол прикладного рівня, простота якого визначається простотою бази даних керуючої інформації (MIB - Management Information Base) і мінімальні вимоги до стандартизації систем моніторингу, побудованих на основі цього протоколу.

У протоколі визначається формат даних, а їх обробка та інтерпретація залишаються на розсуд керуючих станцій або менеджера мережі. SNMP-повідомлення не мають фіксованого формату і фіксованих полів.

Основні компоненти архітектури SNMPv3 на верхньому рівні включають:

1. SNMP машину;
2. управляючі сервіси.

SNMP машина присутня у всіх керованих і управляючих компонентах. Вона включає чотири компоненти:

1. менеджер;
2. підсистему обробки повідомлень;
3. підсистему безпеки;
4. підсистему розмежування доступу.

Менеджер агенту може послати три типи повідомлення: GetRequest, GetNextRequest і SetRequest. Перші два служать для запиту у агента значень конкретних змінних (моніторинг). Перше з них містить ім'я змінної в явному вигляді. Друге запитує значення наступної змінної в алфавітному порядку. Третє дозволяє менеджеру змінювати значення змінних, якщо визначення об'єкта це дозволяє, тобто здійснюється управління пристроєм за допомогою настроювання його параметрів.

Команда SnmpSet використовується для запису значення в OID, тобто для зміни даних на хості. Базовий синтаксис:

```
snmpset authentication_info host OID_to_modify data_type new_value.
```

Кожен тип представлений одним символом. Доступні наступні типи даних:

- i (Integer): ціле число.

- u (Unsigned integer): ціле число без знака.
- s (String): рядок.
- x (Hexadecimal string): шістнадцятиричний рядок.
- d (Decimal string): десятковий рядок.
- n (Null object): об'єкт Null.
- (Object ID): ID об'єкта.
- t (Time ticks): позначка часу.
- a (IP Address): IP-адреса.
- b (Bits): біти.

Агент повинен «розуміти» сенс значень змінної, яка використовується для управління пристроєм, і на підставі цих значень виконувати реальне керуючий вплив: відключити порт, приписати порт певної лінії VLAN, розширити смугу пропускання, зарезервувати ресурси і т.д.

Наприклад, стан мережевого обладнання можна відстежувати через SNMP-запити сервер-агент: `GetRequest` і агент-сервер: `Trap`, вказавши потрібний ідентифікатор об'єкта (OID) в MIB-базі.

Протоколом SNMPv2 вводиться ще два типи повідомлень. `GetBulkRequest` дозволяє запросити цілий масив змінних, наприклад, таблицю. Це особливо важливо для великих мереж, оскільки дозволяє значно скоротити кількість службового трафіку і час на збір інформації про всі пристроях. Команда `InformRequest` в версії SNMPv2 дозволяє одному менеджеру повідомити іншому, якими змінними він керує.

Керований об'єкт - це одна з будь-якого числа характеристик, специфічних для керованого пристрою. Керований об'єкт включає в себе один або більше примірників об'єкта (ідентифікованих по OID), які насправді змінні. Ідентифікатор об'єкта (OID) унікально ідентифікує керований об'єкт в ієрархії MIB.

Оптимальне управління реалізується шляхом застосування методів управління мережами з явним та неявним зворотнім зв'язком на базі існуючих мережних протоколів. Проаналізуємо можливості та доцільність їх застосування.

Перш ніж почати розгляд даного питання, дамо деякі визначення і пояснення.

1. У даній роботі трафік розглядається виключно як послідовність або потік пакетів (кадрів, комірок, повідомлень) з випадковими характеристиками, тобто як дискретний випадковий процес. Саме статистичні характеристики потоку пакетів як заявок на обслуговування в мережевому або термінальному вузлі представляють інтерес для вирішення завдань управління і оптимізації мереж.

2. Поняття “трафік”, “потік трафіку”, “потік пакетів”, “потік заявок” трактуватимуться як синоніми. Необхідні пояснення даватимуться тільки у разі можливості неоднозначного тлумачення.

3. Як “користувачів” розглядаємо повідомлення для відправки.

4. Управління мережевими ресурсами має на увазі боротьбу з перевантаженням – тобто забезпечення транспорту потоку трафіку відповідно до заявленої якості сервісу QoS, тобто без збільшення затримок, числа помилково переданих біт, числа повторних передач тощо. Задача вирішується на всіх ділянках мережі, термінальних і мережевих комутаційних вузлах. Аналізуються і коректуються процеси зберігання і пересилки, враховуються інші чинники, через які знижується пропускна спроможність мережі в цілому або окремого сегменту.

5. Управління потоком – задача передачі даних між двома термінальними вузлами – відправником і одержувачем. Вона полягає в узгодженні швидкості передачі відправника з швидкістю, з якою одержувач в змозі приймати і обробляти потік трафіку.

Зворотний зв'язок (ЗЗ) між учасниками процесу використовується як при управлінні потоком, так і у разі боротьби з перевантаженням [4]. При управлінні потоком є ЗЗ між відправником і одержувачем, при боротьбі з перевантаженням – ЗЗ у вигляді спеціальних повідомлень, що посилаються різним відправникам з метою регулювання швидкості передачі щоб уникнути заторів. Таким чином, термінальний вузол може отримати сигнал регулювання швидкості передачі як у разі, коли з передаваним потоком не справляється одержувач, так і у тому випадку, коли з потоком не справляється мережа в цілому.

Методи управління мережевими ресурсами або боротьби з перевантаженням використовують різні механізми ЗЗ, які відрізняються інформацією, що передається, типом вузла, який генерує цю інформацію, і кому призначена інформація — кінцевому вузлу (комп'ютеру) або проміжному (комутатору або маршрутизатору) [2, 4].

Методи управління зі ЗЗ можна розділити на наступні класи (рис. 7.1). У методах з явним ЗЗ від точки виникнення перевантаження у зворотному напрямі посилаються повідомлення – попередження про затор. У методах з неявним ЗЗ джерело приходить до висновку про затор самостійно, ґрунтуючись на результатах локального аналізу (наприклад, по зростанню затримок отримання квитанцій про доставку або по зростанню числа вимог про повторну передачу пакетів).

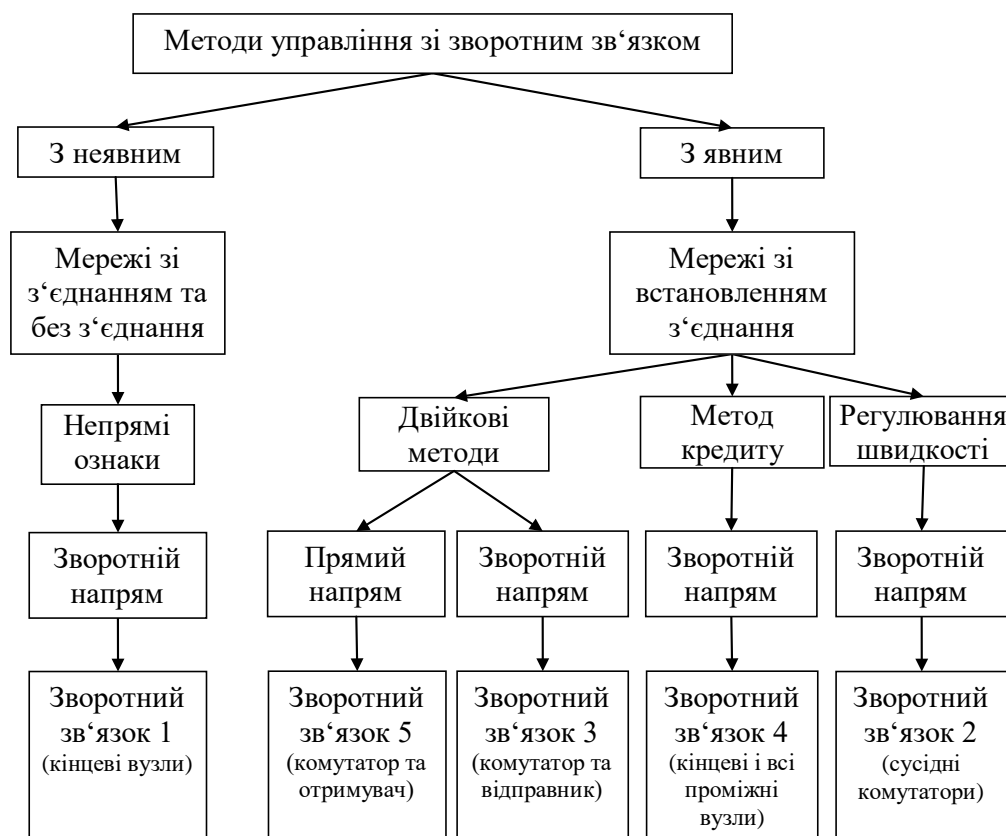


Рис. 6.9. Методи управління за допомогою зворотного зв'язку

Зворотний зв'язок 1 між двома кінцевими вузлами мережі – це найбільш радикальне зниження навантаження на мережу. Його не відносять до методів

управління перевантаженням, оскільки основна задача — боротьба з перевантаженнями вузла призначення, а не з перевантаженнями мережевих пристроїв.

При організації ЗЗ важливо враховувати час передачі інформації по мережі. У високошвидкісних глобальних мережах за час передачі повідомлення про перевантаження вузла призначення вузол-джерело може встигнути передати через мережу тисячі пакетів, так що перевантаження не буде ліквідовано вчасно. З теорії автоматичного управління відомо, що затримки в контурі ЗЗ можуть приводити до багатьох небажаних ефектів, прямо протилежним первинним цілям. В системі можуть початися коливальні процеси, і вона ніколи не зможе прийти в сталий режим. Причина такої проблеми — затримка в контурі ЗЗ приводить до того, що регулюючий елемент отримує застарілу інформацію про стан регульованого елемента. В даному випадку вузол-джерело отримує інформацію про стан черги вузла-одержувача із затримкою. Тому можливі ситуації, коли вузол-джерело починає знижувати швидкість передачі інформації, хоча насправді черги у вузлі-одержувачі вже немає, і, навпаки, підвищувати швидкість передачі інформації в той момент, коли вузол-одержувач починає не встигати обробляти пакети.

Для боротьби з такими явищами в контур ЗЗ зазвичай вводиться інтегруючий елемент, який на кожному кроці обробляє не тільки поточне повідомлення зворотного зв'язку, але і декілька попередніх повідомлень, що дозволяє врахувати динаміку зміни ситуації і реагувати адекватно.

Зворотний зв'язок 2 організований між двома сусідніми комутаторами. Комутатор повідомляє сусіда, що знаходиться вище за течією потоку, що він перевантажений і його буфер заповнився до критичної величини. Отримавши таке повідомлення, сусід, розташований вище за течією, повинен знизити на деякий час швидкість передачі даних у напрямі перевантаженого комутатора і тим самим вирішити проблему.

Це менш ефективне для мережі в цілому рішення, оскільки потік продовжуватиме текти від вузла-джерела з тією ж швидкістю, що і раніше. Проте

для перевантаженого комутатора, це є хорошим виходом, оскільки він отримує час для того, щоб розвантажити чергу, що переповнилася. В такому разі проблема переноситься в комутатор, розташований вище за течією, в якому тепер може виникнути перевантаження, оскільки він починає передавати дані зі свого буфера з меншою швидкістю. Перевага описаного методу є низька затримка зворотного зв'язку, оскільки вузли є сусідами (якщо вони, звичайно, не сполучені супутниковим каналом).

Зворотний зв'язок 3 організований між проміжним комутатором і вузлом-джерелом. Повідомлення зворотного зв'язку хоча і передаються декількома комутаторами мережі у напрямі вузла-джерела, але вони на нього не реагують.

У *зворотному зв'язку 4*, як і в зворотному зв'язку 1, повідомлення про перевантаження породжується вузлом одержувачем і передається вузлу-джерелу. Проте є і важлива відмінність: в даному випадку кожен проміжний комутатор реагує на це повідомлення. По-перше, він знижує швидкість передачі даних у напрямі вузла призначення, по-друге, він може змінити зміст повідомлення. Наприклад, якщо вузол призначення просить понизити швидкість 30 Мбіт/с, то проміжний комутатор може понизити цю величину 20 Мбіт/с, оцінивши стан свого буфера. Крім того, породити повідомлення ЗЗ може будь-який комутатор мережі, а не тільки вузол призначення.

Зворотний зв'язок 5. Розглянуті вище варіанти ЗЗ розраховані так, що повідомлення про перевантаження йде в напрямі, зворотному напрямі передачі призначеній для користувача інформації. Проте деякі комунікаційні протоколи не передбачають можливості генерації подібних повідомлень проміжними вузлами. У таких умовах часто застосовують штучний прийом — передача повідомлення про перевантаження вузлу призначення, який перетворить його в повідомлення ЗЗ і відправляє в потрібному напрямі, тобто у напрямі джерела.

Методи явного ЗЗ розділяють на три загальні категорії залежно від інформації, що передається:

- двійкові методи (ознака перевантаження);
- методи регулювання швидкості (максимальна швидкість передачі);

- методи кредиту.

Двійкові методи використовують службовий біт, який не вказує на ступінь перевантаженості мережі або вузла, він тільки фіксує факт перевантаження. Реакція вузла, що отримав таке повідомлення, може бути різною. У деяких протоколах вузол зобов'язаний припинити передачу інформації в певному напрямі до тих пір, поки не буде отримано інше повідомлення ЗЗ, що дозволяє продовження передачі. У інших протоколах вузол поводить себе адаптивно, він знижує швидкість на деяку величину і чекає реакції мережі. Якщо повідомлення з ознакою перевантаження продовжують надходити, то він продовжує зниження швидкості.

Методи регулювання швидкості засновані на визначенні явної межі швидкості передачі, тобто порогу швидкості, якого повинно дотримуватися джерело або проміжний вузол, розташований вище за течією потоку. В цьому випадку обов'язково потрібно враховувати час передачі повідомлення по мережі, щоб виключити коливальні процеси і забезпечити потрібну швидкість реакції на перевантаження. Тому в територіальних мережах такий спосіб зазвичай реалізується силами всіх комутаторів мережі (зворотний зв'язок 4).

Методи кредиту використовує повідомлення про максимальний об'єм даних, який може передати джерело, і застосовуються в пакетних мережах в алгоритмі ковзаючого вікна. Цей алгоритм дозволяє не тільки забезпечувати надійну передачу даних, але і реалізувати ЗЗ для контролю потоку між кінцевими вузлами. Параметром, що несе інформацію ЗЗ, є «вікно» — число, тісно пов'язане з поточним розміром вільного простору в буфері приймаючого вузла. Вікно також називають кредитом, який дає отримувач джерелу повідомлення. Вузол-джерело може з будь-якою швидкістю передати об'єм інформації (або певну кількість пакетів, якщо вікно вимірюється в пакетах), що відповідає кредиту. Але якщо кредит вичерпаний, то джерело не має права передавати інформацію, поки не отримає наступний кредит. При перевантаженнях приймаючий вузол зменшує розмір вікна, тим самим знижуючи навантаження. Якщо ефект перевантаження

зникає, то приймаючий вузол збільшує розмір вікна. Недоліком цього алгоритму є те, що він працює тільки в протоколах зі встановленням з'єднання.

У методах неявного ЗЗ вузол-джерело визначає, що приймаючий вузол (або вузли) перевантажений за деякими непрямими ознаками, без отримання повідомлення ЗЗ. Такими непрямими ознаками можуть бути факти втрати пакетів. Для того, щоб протокол міг виявляти факти втрат пакетів, це має бути протокол зі встановленням з'єднання. Тоді закінчення тайм-ауту або прихід дублікату позитивної квитанції побічно свідчить, що пакет втрачений. Проте втрата пакету не завжди свідчить про перевантаження мережі. Перевантаження мережі — це тільки одна з можливих причин втрати пакету, іншою причиною може бути ненадійна робота комунікаційних пристроїв (відмови устаткування, спотворення даних через перешкоди). Проте, оскільки реакція на перевантаження і ненадійну роботу мережі має бути однаковою і полягати в зниженні швидкості передачі, то неоднозначність причини втрати пакету не є проблемою. Прикладом протоколу, що використовує неявну інформацію про перевантаження, є протокол TCP. Цей протокол за допомогою явної інформації ЗЗ (про розмір вікна) здійснює контроль потоку, а за допомогою неявної (втрати пакетів, дублікати квитанцій) — управляє перевантаженням.

Використання принципів адаптивної маршрутизації потоків даних у ККС є одним з методів оптимального управління мережею і дозволяє підвищити ефективність її роботи. Для цього необхідний зворотний зв'язок про поточний стану вузла та каналів зв'язку. Балансування навантаження за допомогою локального зворотного зв'язку від одного вузла полягає в тому, що пакет даних передається в канал зв'язку з найкоротшою чергою або з найбільшою ймовірністю переваги каналу. Таким чином може відбуватися локальне вирівнювання навантаження у вихідних каналах. Однак при цьому можливе відхилення від оптимального маршруту. Більш ефективні принципи адаптивної маршрутизації засновані на передачі локальної інформації (наприклад, величини затримок у вузлах та каналах, процент відмов тощо) від сусідніх вузлів або глобальної інформації від усіх вузлів.

Наявність перевантаження означає, що інтенсивність потоку перевищує ресурси даної ділянки маршруту або сегменту мережі. Очевидно, з цієї ситуації є тільки два виходи: понизити навантаження або збільшити ресурси.

У ККМ є набір ресурсів, які можуть використовуватися конкуруючими користувачами (повідомленнями). Ресурси таких мереж підрозділяються на два основні класи:

- основні: розмір буфера, пропускна спроможність мережі, час обробки даних.
- другорядні: простір для імені, таблиці входів, логічні канали тощо.

Набір ресурсів завжди обмежений, що є причиною конфлікту між користувачами системи. Конфлікти можуть привести до зниження продуктивності системи, унаслідок чого виникають певні ускладнення в роботі, і пропускна спроможність падатиме, що є типовою поведінкою “конкуруючих” систем. Навіть за наявності найкращої процедури маршрутизації під час перевантаження в мережі неминуче зниження пропускної спроможності (продуктивності). Мережі не обслуговують трафік із стрибкоподібними змінами інтенсивності без попереднього контролю. Існують правила, за допомогою яких відбувається управління прийомом трафіку ззовні і координація потоку в мережі.

Більшість мереж добре працюють при невеликому навантаженні, а проблеми виникають при зростанні завантаження мережі [5]. Перевантаження може викликати втрату інформації, затримки при передачі даних і дисперсію затримок. Тому запобігання перевантаженням і управління ними є основною проблемою при розробці і експлуатації мереж.

В результаті ранніх досліджень в комп'ютерних мережах були розроблені мережі передачі даних з проміжним накопиченням без резервування ресурсів. Запропонована модель обміну даними без попередньої установки прямого з'єднання. Ці мережі схильні до перевантажень, оскільки ні кількість користувачів, ні їх робочі навантаження не регулюються.

По суті, ефективність при передачі із статистичним мультиплексуванням і сумісному використанні ресурсів мережі зменшується через можливості

виникнення перевантажень. Запропоновані ряд схем управління перевантаженням [2].

Перевантаження – це втрата ефективності у зв'язку із збільшенням мережного завантаження. Отже, управління перевантаженням є набором механізмів, які запобігають або зменшують таке погіршення. Тобто, для управління перевантаженням кожному користувачеві надаються механізми для визначення ефективності роботи мережі.

У схемі з прогнозуванням механізм управління перевантаженнями повинен резервувати ресурси мережі так, щоб доступність ресурсу ясно гарантувала передачу даних. У активній схемі джерела даних повинні контролювати і реагувати на зміни в стані мережі, щоб запобігти перевантаженню. У обох типів управління є свої переваги і недоліки.

З управлінням і прогнозуванням користувачам можна гарантувати, що втрати ефективності не матимуть місця. З іншого боку, щоб гарантувати це, кількість користувачів має бути обмеженою або керованою, і якщо механізм управління джерелами даних не розроблений належним чином, це може привести до зниження ефективності використання і іноді до перевантаження мережі.

Активне управління з прогнозуванням дозволяє гнучкіше розподіляти ресурси. Оскільки користувачам зазвичай не дають гарантій, рівень ефективності ресурсів мережі може бути динамічно розподілений. Проте завжди є шанс, що через сплеск інтенсивності трафіку відбудеться перевантаження мережі, що приведе до погіршення робочих характеристик.

У більшості мереж співіснують управління з прогнозуванням і пасивне управління зі ЗЗ. Мережа може підтримувати, наприклад, два типи користувачів: гарантований (або високий пріоритет) і сервіс типу “Best effort” з максимальною ефективністю (або низький пріоритет) [6]. Гарантійні призначені для користувача служби дають гарантію якості обслуговування, і ресурсів, зарезервованих для них.

Користувачі, яким надається сервіс типу “Best effort”, не мають встановлених гарантій і отримують ресурси, які залишаються від привілейованих користувачів. Під час перевантаження мережі користувачі змагаються за ресурси,

збережені в загальному фонді. Крім того, мережа може резервувати деяку мінімальну величину ресурсів для кожного користувача з сервісу типу “Best effort”.

Найбільш істотними причинами, виникнення перевантаження в інформаційних мережах є наступні.

1. Обмежений об'єм каналу передачі або добутку затримки на смугу: швидкість лінії зв'язку, помножена на час розповсюдження пакету до адресата і назад, визначає об'єм даних, при якому мережа використовується повністю. Час розповсюдження пакету до адресата і назад обмежується швидкістю розповсюдження через мережу. Отже, від початкової пропускної спроможності і швидкості з'єднання залежить кількість втрат даних для кожного підключення. Якщо воно перевищує розмір буфера, можлива втрата інформації, що, відповідно, приводить до втрати ефективності. Таким чином, великі затримки і недостатня пропускна спроможність викликають проблеми при активному контролі і можуть привести до перевантаження.

2. Невідповідність швидкодії: якщо комутатор сполучає високошвидкісну лінію з низькошвидкісною, то при пульсуючому трафіку і відправці даних на максимальній швидкості ресурс буфера може бути вичерпаний, що веде до втрат пакетів при передачі. Це створює перевантаження для додатків, чутливих до затримок і/або втрат пакетів.

3. Недоліки топології: якщо декілька вхідних ліній одночасно відправляють дані через комутатор до єдиного шляху відправлення, лінія на виході може бути перевантажена, що приводить до великої черги, затримок, і можливого перевантаження чутливого до затримки трафіку. Це є особливим випадком проблеми невідповідності швидкості.

4. Неправильне функціонування. Перевантаження може бути викликана неконтрольованими джерелами, які посилають потоки пакетів з нерегульованою інтенсивністю в мережу. Комп'ютерна мережа повинна здійснювати захист від такої неправомірної поведінки.

5. Відсутність контролю динаміки: із збільшенням швидкодії мережі також змінюється динаміка завантаженості мережі. Якщо черги ростуть швидше, перевантаження виникатиме все частіше. Наслідки можуть бути катастрофічними, оскільки мережа повністю зупиняється, а відновлення працездатності йде набагато повільніше, ніж падіння.

У комп'ютерних мережах, де джерела не резервують ресурси, управління там, де це необхідно, має бути активним. Активна схема управління перевантаженнями може бути реалізована в двох точках: у комутаторах, де відбувається перевантаження, і в джерелах, які управляють відправкою пакетів в мережу. Як правило, комутатор використовує деякий показник (наприклад, переповнювання буферів), щоб визначити початок перевантаження, і неявно або явно повідомляє цю проблему джерелам, які зменшують вхідний трафік. Сценарії управління включають наступні очевидні завдання.

1. Виявлення/запобігання перевантаженням: вибір оптимального методу по критеріях швидкодії і достовірності, які, очевидно, є суперечливими.

2. Повідомлення про перевантаження: передача інформації джерелам з мінімальними затримками.

3. Боротьба з перевантаженням: вибір алгоритмів роботи мережевих вузлів.

4. Виявлення джерел перевантаження.

5. Управління потоком даних джерел.

6. Примушення, якщо деякі джерела ігнорують сигнали управління.

Ці питання повинні вирішуватися в кожній активній схемі управління перевантаженнями. Залежно від зробленого вибору при відповіді на кожне питання застосовується та або інша схема управління перевантаженнями.

6.4. Метод передачі сигнальної та управляючої інформації

6.4.1. Рекомендації по оптимальному розподілу елементів системи управління

Системи інтелектуального управління можуть стати основою для побудови нового покоління інформаційних програм, функціонування яких здійснюється за допомогою взаємодії щодо великого числа автономних мережових компонент. Кожен такий компонент, або мережовий агент, забезпечує локальне управління доступними для нього мережевими ресурсами, використовуючи для цього набір власних цільових умов і зовнішніх задають впливів. Використання концепції мережових агентів додає в механізм управління принципово нові можливості впливу на стан мережного об'єкту. В результаті УУ передає на ОУ не саме сигнал управління, а деякий програмний модуль у формі виконуваного коду, який реалізує алгоритм управління вже безпосередньо в точці локалізації необхідного керуючого впливу. При цьому така мобільна мережева компонента може отримувати оперативні дані про стан ОУ, а також інші координуючі дії, що забезпечують узгодженість цілей управління. Фактично за допомогою мережових агентів реалізується нова парадигма: консолідація цілей при розподілі функцій управління.

В основі такого агентного підходу лежить концепція активної взаємодії всіх компонент складної системи за допомогою обміну інформацією, яка передається з використанням стандартних протоколів через інтерфейси мережових пристроїв. З появою глобальної мережі Інтернет включення таких активних компонент в структуру систем управління інформаційними додатками ставав дуже привабливим способом розширення їх функціональних можливостей.

Локалізація керуючих компонент в тих вузлах мережі, де забезпечується найбільш ефективний доступ до необхідних для прийняття оперативних рішень даними, дозволяє істотно обмежити затримки на поширення сигналів по мережових каналах зв'язку.

Одна з технічних проблем на шляху реалізації такого підходу полягає в розробці форми опису мереж і параметрів управління, тобто побудови адекватної математичної моделі мережевих процесів.

Специфікація плану функціонування агента може бути задана за допомогою лінгвістичних аргументів або набору цілей у вигляді продукційних правил, які інтерпретуються в міру надходження даних про ОУ. В результаті сам механізм планування може носити ієрархічний характер, що дозволяє розділити процедуру планування на кілька рівнів. Так, на верхньому рівні управління використовується об'єктно-інтерактивний протокол, що забезпечує доступ до ресурсів шляхом модифікації засобів синтаксичного розбору вхідних запитів, тоді як на оперативному рівні управління формується послідовність процедур, що забезпечують безпосередню взаємодію з мережевими ресурсами. Таким чином, мобільні інтелектуальні агенти стають засобом реалізації нової універсальної моделі взаємодії розподілених мережевих систем.

Нижній рівень такої системи є інтерфейсом до транспортного механізму передачі даних. Наступний рівень реалізує сервер, що бере участь в міжмережній взаємодії додатків за допомогою механізму обробки запитів і передачі повідомлень в потоці даних з одночасною їх аутентифікацією. Третій рівень включає в себе середовище виконання керуючих команд, що підтримує різні мови взаємодії агентів. Останній рівень містить віртуальний образ самого агента, який реалізується алгоритмом його функціонування.

З метою захисту від несанкціонованого використання мережевих ресурсів в системі управління використовується стаціонарний інтелектуальний агент, який функціонує як менеджер процесів взаємодії ресурсу.

На відміну від традиційної мережної архітектури, в якій існує чітка регламентація правил взаємодії між рівнями, в новій архітектурі управління структура зворотного зв'язку формується в процесі взаємодії інтелектуальних агентів в залежності від поточного стану мережевих ресурсів. Характер процесів взаємодії визначається цілою низкою чинників:

- неструктурованих характером розташування інформаційних ресурсів в мережі;
- використанням технології пакетної комутації спільно з методами статистичного мультиплексування даних;
- необхідністю підтримувати різні класи сервісу (дейтаграмний і ізохронні) в рамках єдиної транспортної мережевої інфраструктури.

Якісне обслуговування всіх типів трафіку є обов'язковим вимога для комп'ютерної мережі будь-якого масштабу і призначення. Одним з факторів у забезпеченні цієї вимоги є ефективне управління ресурсами. В даний час методи моніторингу і управління комп'ютерними мережами слабо відпрацьовані. Особливо актуальна задача для мереж великого масштабу.

Управління великої і складної розподіленою структурою великої корпоративної комп'ютерної мережі (КС) або центру обробки даних є нетривіальним завданням навіть для досвідченого системного адміністратора. Системи моніторингу та управління дозволяють автоматизувати цей процес і підвищити ефективність роботи КС в цілому [2].

Такі системи існують і вдосконалюються вже багато років, проте для управління неоднорідними мережами вони поки оснащені явно недостатньо. Такі системи або мають недостатній функціоналом і вимагають значного доопрацювання під конкретну інфраструктуру, або дороги у впровадженні та експлуатації, громіздкі та складні в налаштуванні [2, 3].

Крім того, наявність поряд зі стандартними базами керуючої інформації, типу MIB-I, MIB-II або RMON MIB, тисячі фірмових баз MIB зі своєю структурою об'єктів, що відбиває деякі нестандартні особливості обладнання, ускладнює процес впровадження систем моніторингу. А безперервний випуск на ринок нових моделей і навіть нових сімейств моделей комунікаційного обладнання та відсутність єдиних стандартів для протоколів моніторингу та управління не дозволяє розробити універсальну систему моніторингу.

Оптимальна система моніторингу / управління КС повинна забезпечувати простоту впровадження, експлуатації і модернізації.

Простота експлуатації забезпечується завдяки максимальному ступені автоматизації процесів, наявності дружнього інтерфейсу "людина - машина», толерантності системи до помилок, які може допускати адміністратор мережі [7]. Толерантність до помилок адміністратора може бути забезпечена шляхом використання експертної системи, що виробляє оптимальні за заданим критерієм керуючі впливу з подальшим аналізом їх ефективності.

Не менш важливим фундаментальним вимогою до системи моніторингу та управління мережею будь-якого масштабу є простота впровадження і модернізації.

Простота впровадження досягається за умови організації управління з мінімальним втручанням в існуючу інфраструктуру мережі. Отже, системи моніторингу та управління повинні розроблятися на базі існуючих і добре апробованих технологій і протоколів управління мережами. Очевидний вихід з такої ситуації - модульна структура. Кожен модуль повинен вирішувати свої завдання для конкретної технології і відповідного протоколу управління, мати можливість адаптуватися при встановленні в систему. Повинна забезпечуватися взаємозамінність з іншими модулями.

Таким чином, розробка оптимального методу моніторингу сучасних комп'ютерних мереж є актуальним завданням.

Завдання моніторингу КС. Завданнями моніторингу та управління комп'ютерними мережами у відповідності зі стандартами якості зв'язку є забезпечення якості обслуговування трафіку QOS (Quality of Services) як сумарного ефекту робочих характеристик обслуговування, який визначає ступень задоволеності Користувачів цією службою.

Ключовими Показники якості обслуговування, Які підлягають моніторингу, є наступні:

- продуктивність мережі або швидкість передачі (біт / с);
- величина втрат пакетів, що передаються (%);
- затримки й джитер (випадкові варіації) затримки (мс);

- надійність мережних елементів (імовірність відмов, середній час наробітку на відмову);

- живучість мережі - можливість Збереження експлуатаційних характеристик при вході з ладу окремих елементів (Резервування обладнання за схемами холодної або гарячої заміні).

Перші три показники характеризують параметри трафіку (тобто логічний рівень з'єднання), а останні два стосуються мережного обладнання (тобто фізичного рівня мережі), тому необхідний як моніторинг параметрів трафіку, так і моніторинг стану мережних елементів.

Серед параметрів мережного обладнання найбільш доцільно проводити моніторинг доступності та стану завантаженості портів, стану процесора та пам'яті пристрою.

Моніторинг сам по собі не здатен забезпечити необхідний рівень QoS. Для цього Використовують методи та інструменти управління мережами, серед яких:

- Збільшення пропускну здатності мережі за рахунок апаратних можливий;
- методи зменшення навантаження на ятір (призначення пріоритетів трафіку та організація черг, балансування навантаження, резервування ресурсом тощо).

Децентралізований моніторинг і управління комп'ютерною мережею. Класичні розподілені системи моніторингу та управління комп'ютерною мережею реалізуються відповідно концепції «менеджер-агент» [2, 3, 4]. Така архітектура є децентралізованою, оскільки менеджерів може бути кілька. На керованих об'єктах встановлюються агенти, і створюється модель об'єкта. Вона представляє всі характеристики об'єкта, які потрібні для його контролю. Наприклад, модель маршрутизатора зазвичай включає такі характеристики, як кількість портів, їх тип, таблицю маршрутизації, кількість кадрів і пакетів протоколів каналного, мережного і транспортного рівнів, які пройшли через ці порти. Моделі об'єктів мережі використовуються менеджером як джерело знань про те, який набір характеристик має той чи інший об'єкт.

Модель об'єкта збігається з логічною схемою бази даних (БД) об'єкта, що зберігає значення його характеристик. Ця БД зберігається на пристрої та постійно поповнюється результатами вимірювань характеристик, які проводить агент.

Агент може виконувати наступні функції:

- зберігати, витягати і передавати за запитами інформацію про технічні та конфігураційних параметрах пристрою, включаючи модель пристрою, число портів, тип портів, тип ОС, зв'язку з іншими пристроями тощо;

- виконувати, зберігати і передавати за запитом вимірювання (підрахунки) характеристик функціонування пристрою, таких як кількість прийнятих пакетів, число відкинутих пакетів, ступінь заповнення буфера, стан порту (робочий чи неробочий);

- змінювати по командам, отриманим ззовні, конфігураційні параметри.

Менеджер не має безпосереднього доступу до бази даних, для отримання конкретних значень характеристик об'єкта він повинен по мережі звернутися до його агенту. Таким чином, агент є посередником між керованим об'єктом і менеджером. Менеджер і агент взаємодіють по стандартному протоколу. Цей протокол дозволяє менеджеру запитувати значення параметрів, що зберігаються в БД, а агенту - передавати інформацію, на основі якої менеджер повинен керувати об'єктом.

Менеджер з певною частотою виробляє опорос агентів на керованих пристроях і отримує інформацію про їх поточних характеристиках. Менеджер консолідує і візуалізує отриману інформацію у вигляді таблиць або графіків. У комплексних системах управління КС проводиться також аналіз отриманої інформації і прогнозування стану для виявлення аномальної роботи мережевих елементів. Система забезпечує оповіщення про критичний стан ресурсів, що дозволяє негайно вжити заходів для підтримки роботи цих ресурсів.

Обмін інформацією для моніторингу та управлінні може здійснюватися по тому ж каналу, по якому йде передача призначеного для користувача трафіку - внутріполосне (In-band). Такий підхід більш економічний, так як не вимагає створення окремої інфраструктури передачі керуючих даних і надійніший,

оскільки для користувача трафіку протоколами рівнів 2 і 3 створюються резервні шляхи при відмові основного. Внеполосное (Out-band) управління по окремому каналу, тобто здійснюване поза каналу передачі призначених для користувача даних, також має високу надійність за рахунок того, що відповідне обладнання може виконувати свої функції навіть тоді, коли деякі мережеві елементи виходять з ладу і основні канали передачі даних виявляються недоступними. Часто використовуються змішані підходи.

Найбільш поширеним для розподілених систем моніторингу є протокол SNMP (SimpleNetworkManagementProtocol - простий протокол управління мережами). SNMP - протокол прикладного рівня, простота якого визначається простотою бази даних керуючої інформації (MIB - Management Information Base) і мінімальні вимоги до стандартизації систем моніторингу, побудованих на основі цього протоколу. Стандартизуються протокол взаємодії агента і менеджера, мова опису моделей MIB і повідомлень SNMP, кілька конкретних моделей MIB, імена об'єктів яких реєструються в дереві стандартів ISO.

У протоколі визначається формат даних, а їх обробка та інтерпретація залишаються на розсуд керуючих станцій або менеджера мережі. SNMP-повідомлення не мають фіксованого формату і фіксованих полів.

За допомогою команди Set Request і відбувається власне моніторинг і управління пристроєм. Агент повинен «розуміти» сенс значень змінної, яка використовується для управління пристроєм, і на підставі цих значень виконувати реальне керуючий вплив: відключити порт, приписати порт певної лінії VLAN, розширити смугу пропускання, зарезервувати ресурси тощо.

Наприклад, стан мережного обладнання можна відстежувати через SNMP-запити сервер-агент: Get Request і агент-сервер: Trap, вказавши потрібний ідентифікатор об'єкта (OID) в MIB-базі.

Централізований моніторинг і управління КС. В сучасних комп'ютерних мережах застосовується також системи моніторингу та управління, засновані на централізованій архітектурі. Прикладом можуть служити програмно-конфігуровані мережі SDN (Software Defined Networks) - технологія побудови

архітектури мереж зв'язку, заснована на централізації функцій моніторингу та управління в єдиній точці [9]. Централізація досягається шляхом поділу функцій управління мережею (control plane) і функцій передачі даних (forwarding plane) в мережевому обладнанні [10].

У традиційних маршрутизаторах і комутаторах ці функції невіддільні одна від одної, і кожен елемент приймає рішення самостійно і відносно незалежно (рис. 6.10).



Рис. 6.10. Управління в традиційній інформаційній мережі

Відповідно до концепції SDN [10] функції управління виносяться в окремий пристрій - контролер, а комутатори виконують тільки функцію передачі трафіку. Вся логіка моніторингу та управління мережевими пристроями в SDN реалізується програмним способом, що дозволяють розробникам створювати власні додатки для моніторингу та управління мережею через програмні інтерфейси (API) контролера.

У разі абстрактного уявлення топології мережі в SDN (рис. 6.11), адміністратору слід лише прописати правило «маршрут від А до В = скидання пакета» в керуючій програмній платформі, і воно буде діяти завжди, а зміни топології мережі буде автоматично відслідковуватися в мережевій операційній системі (Network Operating System - NOS)

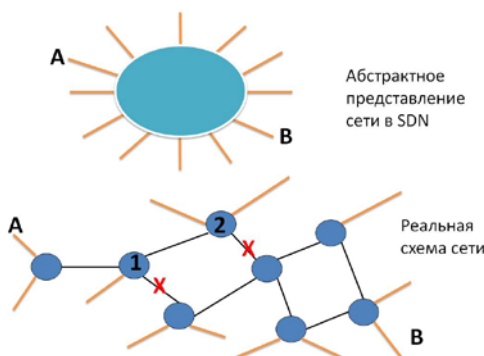


Рис. 6.11. Централізоване управління мережею в SDN

Взаємодія між контролером і комутаторами здійснюється за допомогою протоколів: для моніторингу стандартизований протокол NetFlow, для управління мережею - OpenFlow. В такому випадку моніторинг і управління здійснюються на рівні потоків, а не окремих пакетів. Правила в комутаторі встановлюються за участю контролера тільки для першого пакету, потім всі наступні пакети потоку його використовують.

Архітектура SDN включає [10, 11]: додатки SDN, SDN контролер, керуючі агенти, функції яких закладені в OpenFlow комутатори, FlowVisor або інтерфейс, який відповідає за передачу інформації, що управляє, компоненти управління та адміністрування (рис. 6.12).



Рис. 6.12. Архітектура SDN [5, 6].

Додатки містять вимоги до стану і поведінки мережевої інфраструктури, які враховуються при моніторингу та управлінні. Контролер є єдиною централізованою точкою управління, яка виконує моніторинг і управління фізичними пристроями мережі за допомогою відкритого інтерфейсу - протоколу OpenFlow. Комутатори OpenFlow забезпечують безпосередню взаємодію мережевої інфраструктури з рівнем управління. Комутатор містить одну або кілька таблиць переадресації (flowtable), які містять всі дані про потоках інформації, що передається. Записи в таблицях переадресації містять набір полів з інформацією про кожному пакеті (номер вхідного вихідного порту, пріоритет переданих даних, лічильник і види дій, які необхідно виконати після обробки пакета (перенаправлення, модифікація або скидання). FlowVisor є відповідальним за розподіл керуючої інформації між потоками даних. За своєю природою FlowVisor це прозорий проксі-сервер між комутаторами і контролером. При цьому FlowVisor визначає, які безлічі потоків відносяться до тієї чи іншої мережі

(комутатора) і, отже, передають керуючу інформацію певного контролеру. FlowVisor забезпечує віртуалізацію потоків керуючих пакетів в окремі зрізи мережі (slices), кожен з таких потоків має свою логіку управління і передачі.

Компонентами управління і адміністрування є набори статичних даних, які включають зовнішні завдання: координацію політик і правил, встановлених при проектуванні архітектури SDN, початкова конфігурація обладнання та правила розподіл мережевих ресурсів.

Виходячи з наведеного вище опису, SDN є комплексною системою взаємодії елементів як логічної, так і фізичної природи, з єдиною інтелектуальною точкою управління. Архітектура контролера OpenFlow складається з декількох рівнів, кожен з яких відповідає заряд необхідних функціональних можливостей. Контролер виступає в ролі елемента реагування: отримує повідомлення від комутаторів по каналах управління і виробляє відгуки, які змінюють вміст таблиць комутації. Комутатор збирає статистичні дані про структуру, стан і характеристики рівня передачі даних, створює мітки в таблицях переадресації і перенаправляє їх контролеру для прийняття подальших рішень.

Взаємодія між рівнем управління і рівнем передачі даних здійснюється на основі двох протоколів: OF-CONFIG, який дозволяє конфігурувати окремі для створення якісного каналу передачі керуючої інформації і безпосередньо протоколу OpenFlow, який дозволяє керувати переадресацією і модифікацією пакетів.

Вибір оптимальної структури системи моніторингу та управління КС. Перевагою централізації моніторингу та управління є можливість сформулювати цілісне уявлення про стан мережі, відповідно розрахувати глобальний оптимум управління і проводити балансування навантаження.

До недоліків такої архітектури можна віднести наступні.

1. Низька живучість мережі, оскільки в разі виходу з ладу центрального контролера мережу припиняє функціонувати. При резервуванні контролерів немає чітких приписів про те, як здійснюється їх зв'язок і прийняття рішення про верховенство / передачі функцій.

2. Не вказується, по яких каналах зв'язку здійснюється взаємодія контролера (контролерів) і комутаторів, по основній структурі передачі даних або паралельної і що відбувається при проблемах на лінії зв'язку.

3. Централізована система моніторингу та управління є складною системою, для оптимального управління якої недостатньо інформації і ресурсів. У такій системі, по суті, необхідно вирішувати квадратичне завдання про призначення (Quadratic Assignment Problem, QAP) - це відома задача дискретної оптимізації, яка є однією з найбільш важких завдань в цій області [12].

Обчислювальна навантаження на центральний контролер буде дорівнює K^m , де m – кількість вузлів и K – кількість комутаційних вузлів в обслуговується сегменті.

Рішеннями завдання управління такою складною системою можуть бути:

1. Децентралізація (тобто управління автономним сегментом мережі, що відповідає роздільного підходу за схемою «менеджер-агент»).

2. Створення ієрархічної структури. При цьому знижується обчислювальна навантаження на центральний вузол, і буде зміняться відповідно залежності $\log_2(K + m)$. Однак в такому випадку розмивається глобальний оптимум управління [13]. Вищий ступінь відповідності обраних моделей характеризується $i, j \quad 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq m$ матрицею коефіцієнтів поліпшення $\mathbf{R}=\mathbf{r}$.

3. Застосування евристичних або метаевристичних методів оптимізації великих систем [14], зокрема методів табу-пошуку. В такому випадку, процедура оптимізації розпадається на кілька етапів.

На першому етапі - попереднього планування - визначаються найбільш загальні властивості мережі, зокрема, число і специфіка мобільних сервісів, параметри конфігурації мережі та ін.

На другому етапі робиться огляд зони можливого розміщення комутаторів, прив'язка до реальної мережі, вибір методики розрахунку втрат при передачі, розрахунок мережного ресурсу. На підставі цих даних і обраної моделі передачі плануються параметри комутаторів - величина зони покриття і ресурс пропускної здатності. Деякі важливі параметри значно впливають на реквізит ресурс каналу,

наприклад, чутливість і посилення передавальних пристроїв SDN-комутатора і SDN-контролера, втрати в кабелях і середовищі розповсюдження, поріг завмирання тощо. Грунтуючись на географії мережі і ресурсі каналу, можна оцінити різні можливості створення мережного сегмента при використанні алгоритму оптимізації. Цільова функція являє собою комбінацію досяжною площі функціонування при QoS не менше заданого, оптимальної пропускної здатності при обмеженнях на витрати. Геометричні характеристики і планування пропускної здатності відіграють велику роль в плануванні мережі. При плануванні геометричних характеристик визначається розмір мережі, в той час як за результатами планування пропускної спроможності визначається число використовуваних в майбутньому SDN-комутаторів і, відповідно, їх ємності.

На третьому етапі проводиться настройка і узгодження параметрів і структури мережі за результатами тестування кожного комутатора. За результатами експериментальних досліджень проводиться (при необхідності) корекція попередніх етапів плану.

При виборі оптимальної структури системи моніторингу та управління метою є мінімізація витрат таким чином, щоб значення QoS, виражені через максимально дозволені втрати P_0^* , і показники класу сервісу GoS (GoS - Grade of Service), позначені як P_b^* і P_d^* , відповідали встановленим вимогам. Формалізуємо цільову функцію в наступному вигляді:

$$\max_S R, P_0 \leq P_0^*, P_b \leq P_b^*, P_d \leq P_d^*, \quad (6.1)$$

де $S = \{RRR, CAC, R\}$ – множина параметрів оптимізації.

Основою моделі цілочисельного комбінаторного програмування, яка застосовується для висхідного каналу, є класична задача мінімізації

$$\min \left(\sum_{j=1}^m c_j y_j + \mu \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_i \frac{1}{r_{ij}} x_{ij} \right) \quad (6.2)$$

за умови нормування

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad i \in I \quad (6.3)$$

та додаткових обмежень

$$x_{ij} \leq y_j; \quad x_{ij}, y_j \in \{0;1\}; \quad i \in I, \quad j \in M. \quad (6.4)$$

Перший доданок в цільовій функції відповідає загальній нормалізованій вартості, де c_j – витрати ресурсу j -го комутатора. Оскільки $1/r_{ij}$ пропорційна потужності сигналу від i -ї контрольної точки (КТ), пов'язаної з j -м комутатором, другим доданком описується шукана КТ, для якої загальна витрата ресурсу мінімальні. Оскільки критерії пошуку мінімуму за обома складовими суперечливі, вводиться деякий коефіцієнт компромісу $\mu \geq 0$. Умова (6.3) є гарантією, що кожна i -та КТ асоціюється з єдиним комутаційним вузлом. Обмежувальна умова (6.4) означає, що КТ задані тільки для тих точок, де встановлені комутатори. Відзначимо, що, оскільки змінні x_{ij} є бінарними, в кожному допустимому всі активні з'єднання можуть бути віднесені тільки до одного комутатора.

Для вирішення поставленого завдання запропонований алгоритм зі ковзної апостеріорної оптимізацією. Реалізована концепція балансу між детальним пошуком в області перспективних рішень і відходом в сусідні області для знаходження рішень ще кращої якості (меншим значенням цільової функції). Однак такий пошук може зажадати великого часу обчислень. Проводячи пошук у деякій перспективній галузі простору рішень, можна упустити інші, можливо, навіть більш перспективні галузі. З іншого боку, без поглибленого дослідження околиць хороших рішень будемо знаходити тільки рішення невисокої якості. Баланс між поглибленим пошуком в околицях хороших рішень і дослідженням всього простору рішень для знаходження інших перспективних областей зсувається в ту чи іншу сторону за результатами попереднього аналізу. У другому випадку з розгляду практично повністю виключаються локальні екстремуми.

На рис. 6.13. зображені графіки зміни інтегрального компонента цільової функції - загальної затримки маршрутизації для забезпечення доставки даних з необхідною якістю сервісу - при пошуку оптимального розміщення одного з комутаційних вузлів (SDN-комутаторів). Функція 1 розрахована без урахування

додаткових складових затримки, розривами з'єднань. Функція 2 розрахована з урахуванням цих складових. Негладку кривої 1 пояснюється підключенням і відключенням користувачів в режимі незалежної передачі. Крива 2 гладша завдяки підсумовування складових сигналу, що передається, які мають випадковий характер і не залежать один від одного. При обліку цих складових результуюча потрібна потужність комутаційних вузлів в середньому зменшується приблизно на 4% - 5%.

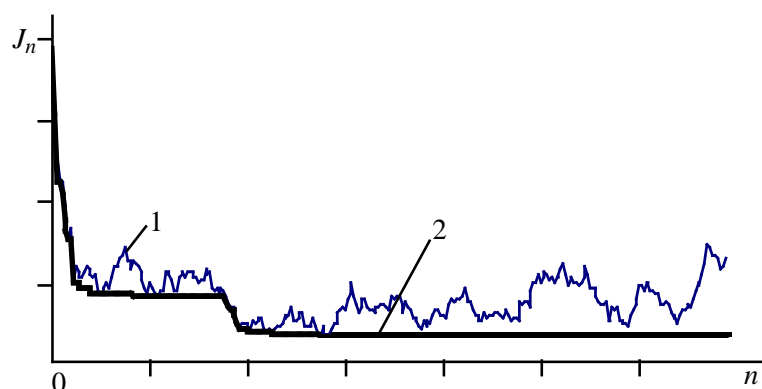


Рис. 6.13. Зміна модуля результуючої цільової функції в процесі оптимізації. 1 – класичний табу-пошук; 2 – табу-пошук з ковзною апостеріорною оптимізацією

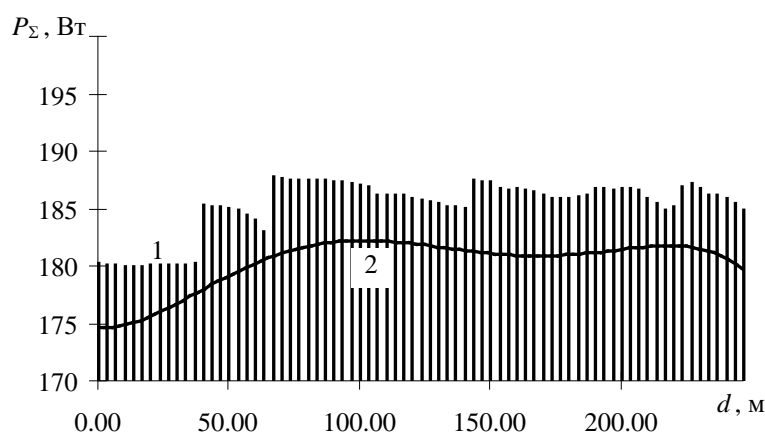


Рис. 6.14. зміна параметра S_{IR} цільової функції при переміщенні комутаційного вузла вздовж горизонтальної координати. 1 – класичний табу-пошук; 2 – табу-пошук з ковзною апостеріорною оптимізацією

Після оптимізації розміщення (рис. 6.14) економія ресурсу комутаційних вузлів при обліку складових пакетів при розпаралелювання є більш помітною. Таким чином, при досягненні оптимальної кількості рівнів ієрархії і оптимальної

кількості пристроїв (кінцевих і проміжних) на одному рівні має місце поліпшення якості сервісу в програмно-конфігурується мережі.

Отже, сучасні комп'ютерні мережі повинні обслуговувати ресурсомісткі програми, такі як голос і відео, САД і хмарні сервіси, які генерують величезні обсяги трафіку з заданою якістю за умови обмеженості ресурсів.

Класичні розподілені системи моніторингу та управління комп'ютерною мережею реалізуються відповідно концепції «менеджер-агент», використовують бази МІВ і передають повідомлення по протоколу SNMP. Перевагою таких систем є їх розподіленість і простота реалізації, апробована десятиліттями. Недоліком можна вважати управління кожним пристроєм окремо. Це вносить додаткове навантаження на ресурси мережі й не дозволяє ефективно проводити балансування навантаження, оскільки немає цілісної картини про стан.

Централізована архітектура системи, що застосовується в мережах SDN, дозволяє зосередити в єдиному центральному пристрої - контролері - всі функції моніторингу та управління. Це дозволяє розрахувати глобальний оптимум управління і проводити балансування навантаження. Недоліком можна вважати низьку живучості мережі, високу необхідну обчислювальну потужність центральної точки, складність управління через нестачу інформації і ресурсів.

Рішення завдання управління складною системою можливо із застосуванням евристичних або метоевристичних методів оптимізації великих систем. Запропоновано алгоритм зі ковзної апостеріорної оптимізацією. При досягненні оптимальної кількості рівнів ієрархії і оптимальної кількості пристроїв (кінцевих і проміжних) на одному рівні має місце поліпшення якості сервісу в КС.

На завершення слід зазначити, що, крім архітектури, для будь-якої системи моніторингу та управління, важливим є питання про розробку політик і правил, балансуванню навантаження, тобто виробленні управляючих впливів на мережу. Доцільним є використання концепції «оптимального адміністратора» [1], яка дозволяє реалізувати управління найбільш ефективно, не залежно від архітектури системи і кваліфікації персоналу.

6.4.2. Вибір і обґрунтування ефективних методів транспорту управляючої інформації

При управлінні ККМ як розподіленою системою використовується велика кількість управляючих протоколів. Отже відбувається додаткове навантаження на мережу і зниження корисної пропускнуої здатності сегменту. Проаналізовано обсяг службової інформації необхідний для передачі однієї управляючої команди. Загальна схема взаємодії системи управління через SNMP-запити з об'єктом управління показана на рис. 6.15.

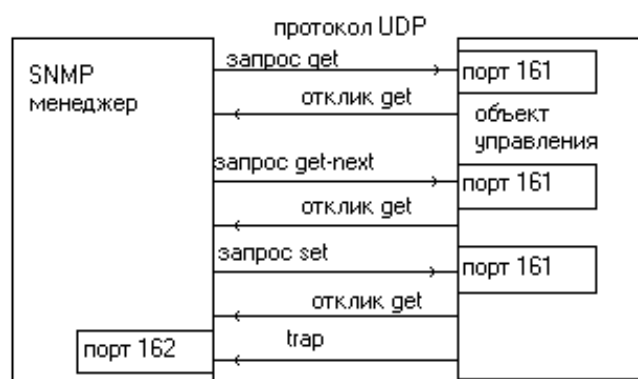


Рис. 6.15. Взаємодія системи управління з керованим об'єктом

У стандартних випадках система управління впливає на мережу по ланцюжку: SNMP→UDP→IP→фізична_мережа (наприклад, Ethernet).

Формат UDP-повідомлення передбачає додавання до даних 4-х двобайтових службових полів: номер порту джерела, номер порту призначення, довжина повідомлення, контрольна сума. IP-протокол додає до UDP-повідомленням ще 14 службових полів загальною довжиною 20 байт. Далі IP-пакет інкапсулюються в кадри канального рівня (наприклад, Ethernet DIX (II)), де додається ще 4 службових поля, загальною довжиною 18 байт: MAC-адресу вузла призначення, MAC-адресу вузла відправника, код протоколу верхнього рівня і контрольна сума (рис. 6.16, рис. 6.17).

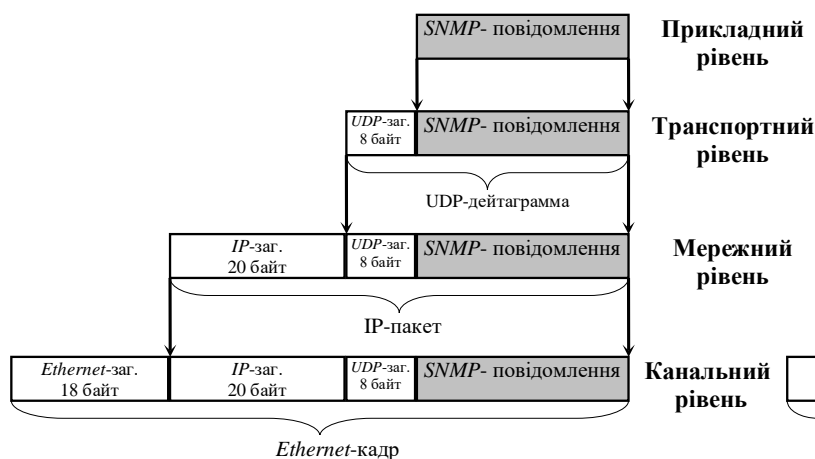


Рис. 6.16. Етапи передачі SNMP-повідомлення при централізованому управлінні



Рис. 6.17. Етапи передачі SNMP-повідомлення управління на рівні автономного сегменту

Таким чином, при відправці одного SNMP-повідомлення додатково необхідно передати 46 байт службової інформації. При швидкості передачі 10 Мбіт / с мінімальна затримка складе - 36,8 мкс. Слід враховувати, що канали, що з'єднують географічно віддалені сегменти мережі, найчастіше, не такі швидкісні. Крім того, затримка може значно збільшуватися, коли мережа знаходиться в стані пікового завантаження і без керуючого трафіку. Як результат, керуючі впливу, засновані на застарілій інформації, можуть тільки нашкодити загальному стану мережі.

Іншою перевагою запропонованого підходу на автономних сегментах є можливість значного скорочення службової інформації, передавався з SNMP-запитом. Канальний рівень АС корпоративної мережі підтримує вельми могутній і закінчений набір функцій з пересилання повідомлень між вузлами мережі. Якщо немає необхідності передавати запити через складену мережу, то SNMP-протокол може працювати поверх протоколів канального MAC-рівня без залучення мережного і транспортного рівнів [3]. Це дозволить передавати SNMP-повідомлення з 18 байтами службової інформації і скоротити затримку до 14,4 мкс при швидкості передачі 10 Мбіт / с.

Управління на каналному рівні може бути реалізоване за допомогою абстрактного модуля, який виконує команди системи управління на каналному рівні шляхом зазначення ідентифікатора об'єкта (OID) в MIB-базі та відповідних

дій, які необхідно виконати (наприклад, змінити ширину смуги пропускання, збільшити обсяг буферної пам'яті для порту, вимкнути порт, накласти обмеження для певних IP-адрес шляхом класифікації трафіка тощо).

Проведено дослідження часу доставки службової інформації для сегменту зі швидкістю передачі до 100 Мбіт/с із застосуванням удосконаленого методу формування оптимальної структури управління та передачі команд на каналному рівні та класичного методу передачі управляючої інформації.

Результати представлено на графіку (рис. 6.18)

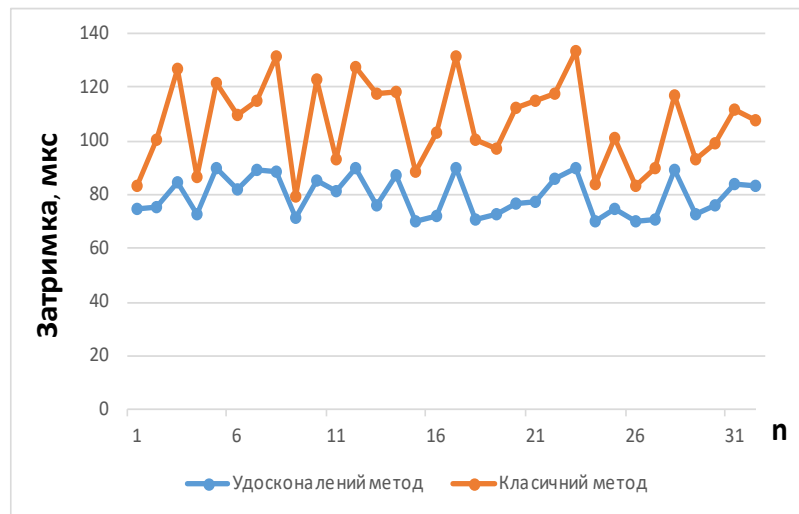


Рис. 6.18. Графік залежності часу затримки від часу спостереження

6.6. Висновки до розділу 6

1. Централізоване управління всією мережею може виявитися малоефективним (або навіть мати негативну дію), оскільки будуть спостерігатися значні затримки сигнальної і керуючої інформації. Крім того, додатковий службовий трафік може завантажувати значну частину пропускну здатності низькошвидкісних каналів, що з'єднують окремі сегменти. Обґрунтовано, що використання стратегії управління на рівні автономних сегментів приведе до скорочення затримки сигнальної і керуючої інформації.

2. Розроблено модель мережних вузлів третього рівня як керованого об'єкту, яка на відміну від інших враховує наявність затримок сигнальної та

управляючої інформації, що забезпечує оптимальний вибір важливої характеристики системи управління - постійної часу реакції керованого об'єкта.

3. Розроблено модель автономного сегмента мережі, як об'єкту управління, що враховує затримки сигнальної та управляючої інформації. Розроблені вирази для передатної функції системи в цілому дозволяють отримати числові характеристики щодо стану автономного сегмента мережі.

4. Результати чисельного аналізу показують залежність варіацій довжини черги від часу реакції мережного вузла в порівнянні з часом затримки та обробки і доставляння даних.

5. Рішення завдання по оптимальному розподілу елементів системи управління між мережевими елементами пропонується із застосуванням евристичних або метаевристичних методів оптимізації великих систем.

6. Запропоновано алгоритм зі ковзною апостеріорної оптимізацією. При досягненні оптимальної кількості рівнів ієрархії в системі управління і оптимальної кількості пристроїв (кінцевих і проміжних) на одному рівні має місце поліпшення якості сервісу в КС.

7. Оптимальне управління реалізується шляхом застосування методів управління мережами з явним та неявним зворотнім зв'язком на базі існуючих мережних протоколів.

8. Запропоновано метод управління автономним сегментом ККМ, на базі протоколу SNMP. Передача повідомлень за допомогою кадрів каналного рівня, минаючи мережевий і транспортний, дозволить скоротити затримки сигнальної і керуючої інформації в 2,5 рази.

Список використаних у шостому розділі джерел

1. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети: 5-е изд. – СПб: Питер, 2012. – 960 С.

2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.

3. Батыр С.С., Суков С.Ф. Анализ возможности применения теории автоматического управления для исследования телекоммуникационных систем // 2-й международный молодежный форум и выставка "Информационные технологии В XXI веке", – Днепропетровск, 27-28 апреля 2004 г. <http://masters.donntu.edu.ua/2004/kita/batyr/library/statya1.htm>
4. Виноградов Н.А., Дрововозов В.И., Лесная Н.Н., Зембицкая А.С. Анализ нагрузки на сети передачи данных в системах критичного применения // «Зв'язок». – 2006. – №1. – С.9 – 12.
5. Столлингс В. Современные компьютерные сети. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
6. Стратонович Р.Л. Принципы адаптивного приема. – М.: Сов. радио, 1973. – 144 с.
7. Tanenbaum, A.S. Computer Networks, 5th Ed. / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 pp.
8. Kurose J. Computer Networking: A Top-Down Approach, Sixth Ed. / J. Kurose, K. Ross. – Pearson Education, Inc., 2013. – 882 pp.
9. Wescott B. Every Computer Performance Book Paperback / Create Space Independent Publishing Platform; 1 edition – March 29, 2013. – 222 pp.
10. Osterhage W.W. Computer Performance Optimization: Systems – Applications – Processes / Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. - 165 pp.
11. Medhi D. Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures. - 2nd Ed. / Deep Medhi, Karthik Ramasamy. - 2018 Elsevier Inc. Cambridge, MA,US. 982pp.
12. Tanenbaum, A.S. Computer Networks, 5th Ed. / Andrew S. Tanenbaum, David J. Wetherall. – Prentice Hall, Cloth, 2011. – 960 pp.
13. Kurose J. Computer Networking: A Top-Down Approach, Sixth Ed. / J. Kurose, K. Ross. – Pearson Education, Inc., 2013. – 882 pp.
14. Wescott B. Every Computer Performance Book Paperback / Create Space Independent Publishing Platform; 1 edition – March 29, 2013. – 222 pp.
15. Osterhage W.W. Computer Performance Optimization: Systems – Applications – Processes / Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. - 165 pp.

16. 5. Medhi D. Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures. - 2nd Ed. / Deep Medhi, Karthik Ramasamy. - 2018 Elsevier Inc. Cambridge, MA, US. – 982 pp.
17. D. Harel and Y. Feldman Algorithmics: The Spirit of Computing, 3rd Ed, Addison-Wesley, 2004.
18. J. Heaton, “Artificial Intelligence for Humans”, vol. 1: Fundamental Algorithms, Create Space Independent Publishing Platform, 2013, 222 pp.
19. J. F. Kurose and K. W. Ross, Computer Networking: A Top-Down Approach, 7th Ed, Pearson Education, Inc., 2017, 864 pp.
20. A.S. Tanenbaum and D.J. Wetherall, Computer Networks, 5th Ed., Prentice Hall, Cloth, 2011, 960 pp.
21. W. Stallings, Foundations of Modern Networking: SDN, NFV, QoE, IoT, and Cloud, Pearson Education, Inc., Old Tappan, New Jersey, 2016, 538 pp.
22. O. Bonaventure, Computer Networking: Principles, Protocols and Practices, cnp3book, 2018, 272 pp.
23. G. Mao, Connectivity of Communication Networks, Springer International Publishing AG, 2017, 435 pp.
24. W. Stallings, High-Speed Networks and Internets: Performance and Quality of Service, 2nd Ed., Pearson Education, 2002, 744 pp.
25. M. H. Kutner, C. J. Nachtsheim, J. Neter and W. Li, Applied linear statistical models, 5th ed., McGraw-Hill/Irwin, USA, 2005, 1415 pp.
26. C. Forbes, M. Evans, N. Hastings, B. Peacock, Statistical Distributions, 4th Ed., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA, 2010, 230 pp.
27. Statistical Modeling and Analysis for Complex Data Problems, Pierre Dushesne, Bruno Remillard (Eds.), Springer Science+Business Media, Inc., 2005, 323 pp.
28. Control and Dynamic Systems, Vol. 12, 1st Ed. Advances in Theory and Applications / Editors: C. T. Leondes, Academic Press, New York, 1976, 648 pp.

РОЗДІЛ 7. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНОЮ КОМП'ЮТЕРНОЮ МЕРЕЖЕЮ

7.1. Модель процесів управління автономним сегментом ККМ

Мережні інформаційні системи (ІС) займають одне з ключових місць в інфраструктурі сучасного інформаційно-індустріального суспільства. Це пов'язано зі зростаючою роллю інформації в високотехнологічному промисловому виробництві. Інформація в сучасних умовах виступає в якості ресурсу для мінімізації витрат на інші ресурси (сировину, матеріали, енергію, працю, фінанси і тощо). Вимоги до якості інформації в сучасних умовах зросли настільки, що важко уявити нормальне функціонування суспільства без адекватної інформаційної підтримки. Наприклад, в ринковій економіці особливе значення має точність і повнота інформації. З іншого боку, в області телекомунікацій, енергетики, водопостачання та санітарії великих промислових підприємств або мегаполісів проводиться аналіз існуючих (або знову спроектованих) мережевих структур з точки зору живучості при роботі в режимі екстрених навантажень або швидкого зростання кількості абонентів-споживачів того чи іншого виду продукції, переданих цими мережами.

Типовими завданнями, що стоять перед аналітиками і інженерами-проектувальниками, є розрахунок розподілу потоків всередині інформаційної мережі (або транспортної мережі зв'язку, так звана мережа передачі даних) при впливі на мережну структуру несприятливих зовнішніх факторів (наприклад, стихійних лих), які виявлятимуть «вузькі місця» ІС (канали, схильні до перевантаження, відмови вузлів на обслуговування зі збільшенням навантаження і тощо).

З огляду на те, що завдання аналізу і синтезу середньо- і багатовимірних мережевих структур є NP-комплексними [1], і для їх вирішення часто необхідно побудувати окрему модель, кількість часу, що витрачається на обчислення, різних

фізичних ресурсів може бути великий. Дослідження в цій області проводяться з середини 20-го століття, і було розроблено багато підходів для вирішення вищевказаних проблем, основними з яких є наступні.

1) Імовірнісні поліноміальні процедурні розрахункові моделі, запропоновані в [1].

2) Процедурні моделі, побудовані з використанням елементів штучного інтелекту (так звані штучні нейронні мережі, ІНС), розглянуті в [2].

3) Потокові моделі, засновані на критеріях допустимості СІС [3].

4) Методи організації трафіку, що виконують різні види інтернет-вимірювань, що покращують продуктивність протоколів маршрутизації [4 - 6].

5) Теорія масового обслуговування та застосування в комп'ютерних мережах [7].

6) Статистика мережного трафіку [8] та інші.

Однак проблеми ефективного управління інформаційно-обчислювальними мережами як складними, так і великими системами розглядаються недостатньо.

Ефективність є найбільш важливою узагальненою характеристикою складних технічних систем. Ефективність інформаційно-обчислювальної підсистеми (підсистеми управління мережею) слід оцінювати за її впливом на ефективність відповідної системи (складної або складовою мережі), якій вона є. Абстрактна схема такої мережі показана на рис. 7.1.

Сукупність станів елементів системи в деякий момент часу характеризує загальний стан системи в цей момент часу. Зміна станів елементів у часі визначає динаміку станів системи.

В якості математичних моделей, якими описується процес зміни станів мережі, застосовують моделі марковського ланцюга або дискретного марковського випадкового процесу. Мережа може знаходитись в одному з M станів: $\{H_1, H_2, \dots, H_M\}$. Переходи з одного випадкового стану інший можливі у відомі моменти часу $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k, \dots\}$ з відповідними ймовірностями $\{p_{ij}\}$, $i, j = \overline{1, M}$.

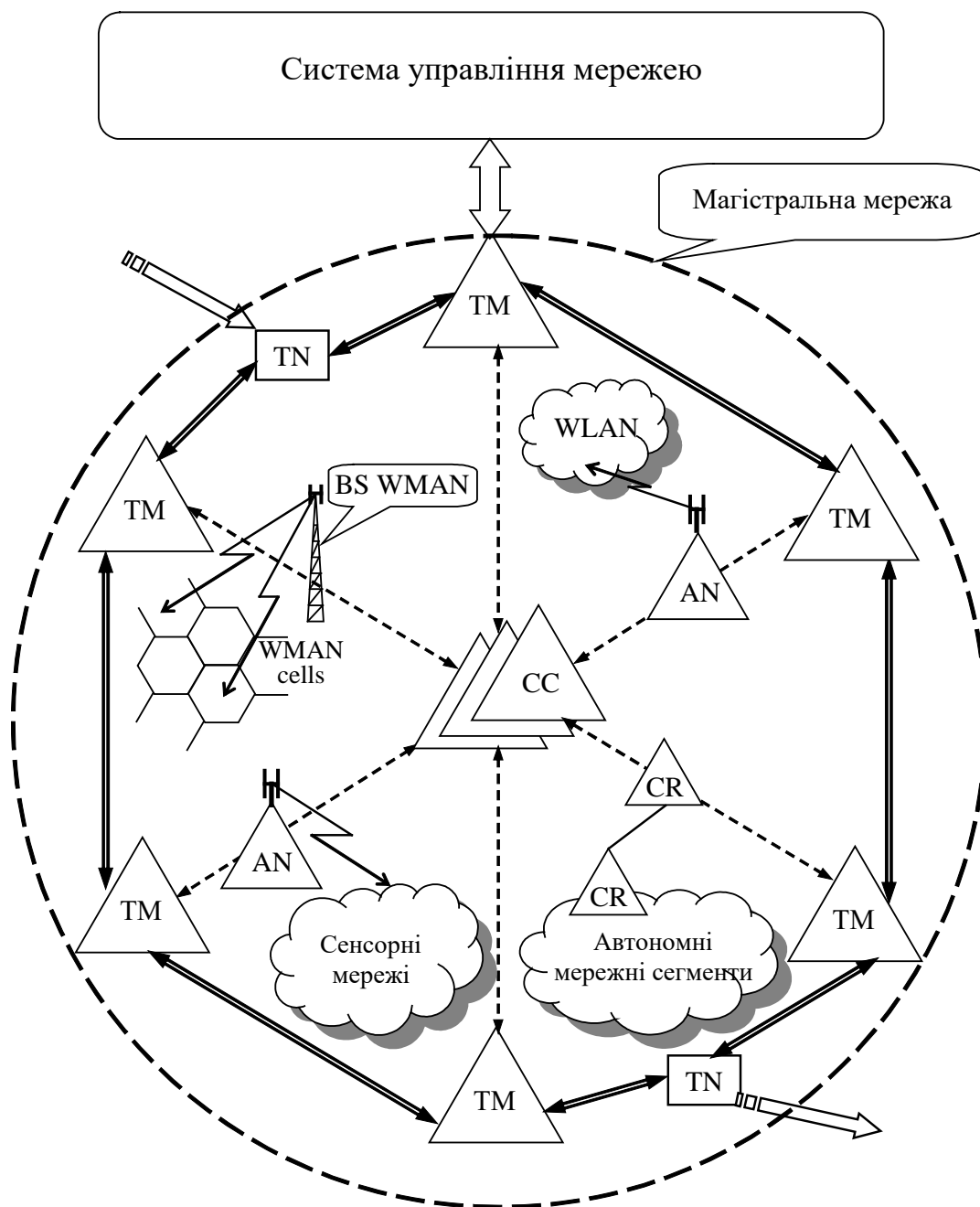


Рис. 7.1. Абстрактна модель корпоративної мережі. AN - вузол доступу; CC - комутаційний центр; CR - магістральний маршрутизатор; TN - транзитний вузол; TM - транзитний мультиплексор

Сукупність станів елементів системи в деякий момент часу характеризує загальний стан системи в цей момент часу. Зміна станів елементів у часі визначає динаміку станів системи. Випадкові події (зміни в стані мережі) можуть бути викликані зовнішніми і внутрішніми факторами, зокрема, перевантаженнями

мережі, повними або частковими (тимчасовими, плаваючими) збоями мережевих вузлів і елементів. Припустимо $g_m^{(k)}$ – подія, що полягає в тому, що після k кроків мережа знаходиться в стані g_m . Опишемо процес зміни станів марковської ланцюгом з безумовними можливостями станів $p_1(k), p_2(k), \dots, p_M(k)$ і умовними ймовірностями переходу.

Ймовірності станів на k -му кроці можна представити у вигляді вектора $\mathbf{P}_k^T = \{p_1(k), p_2(k), p_M(k)\}$.

В процесі роботи корпоративної мережі (КМ) переходи зі стану в стан відбуваються в випадкові або детерміновані моменти часу. Випадкові зміни в стані КМ можуть бути викликані зовнішніми і внутрішніми факторами, зокрема, перевантаженнями мережі, повними або частковими (тимчасовими, плаваючими) збоями мережевих вузлів і елементів. Це означає, що стани системи можуть бути різними, а кількість можливих станів того чи іншого вузла (елемента) може бути більше двох.

Це означає, що стану системи можуть бути різними, а кількість можливих станів того чи іншого вузла (елемента) може бути більше двох.

У мережі розглядається математична модель з 4 станами: g_1 - працездатна; g_2 - перевантаження; g_3 - тимчасова (плаваюча) відмова; g_4 - повна відмова. Розмічений граф станів мережі показано на рис. 7.

Ймовірності станів $p_{ij}, \overline{i, j} = 1, 4$: інтенсивності переходу λ_{ij} (μ_{ji}) з стану i у стані j (або навпаки).

Припустимо:

– події складають повну групу несумісних подій, тому сума згаданих

ймовірностей при будь-яких значеннях k дорівнює одиниці: $\sum_{i=1}^M p_i(k) = 1$;

– стан g_4 – поглинаючий з такими можливостями: $p_{44} = 1$; $p_{41} = p_{42} = p_{43} = 0$;

- в початковому стані перед початком роботи мережі перевантажень немає, всі елементи працездатні. Відповідно, вектор ймовірностей початкових станів $\mathbf{P}_0^T = \{1 \ 0 \ 0 \ 0\}$;

процес переходу з одного стану в інший є однорідним.

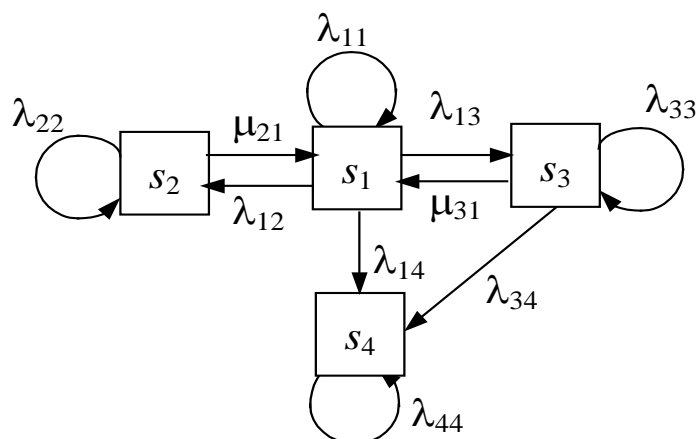


Рис. 7.2. Розмічений граф станів мережі. λ_{ij} – інтенсивність відмов; μ_{ji} – "інтенсивність" відновлень

Ймовірності станів p_{ij} , $i, j = 1, 4$: інтенсивності переходу λ_{ij} (μ_{ji}) з стану i в стан j (або навпаки). Припустимо: події складають повну групу, тому сума згаданих ймовірностей дорівнює одиниці за визначенням; стан s_4 – поглинаючий з такими ймовірностями: $p_{44} = 1$; $p_{41} = p_{42} = p_{43} = 0$; процес переходу з одного стану в інший є однорідним.

Відзначимо, що стан повної відмови означає, що відновлення системи під час поточної роботи неможливо через фізичний збій. Мережева система може бути відновлена після повної зупинки і перенастроювання.

З огляду на те, що плаваючі збої відбуваються частіше, ніж повні збої, а перевантаження не пов'язані з фізичними збоями, спочатку розглянемо спрощену модель мережі з двома станами: s_1 – працездатне; s_3 – тимчасова (плаваюча) відмова.

Тут $p_3 = 1 - p_1$ і відповідне диференціальне рівняння Колмогорова має вигляд:

$$\frac{dp_1}{dt} = -\lambda_{13}p_1 + \mu_{31}(1 - p_1), \text{ або } \frac{dp_1(t)}{dt} = -(\lambda_{13} + \mu_{31})p_1(t) + \mu_{31}, \quad p_1(0) = 1. \quad (7.11)$$

Рівняння (7.11) для випадку $\lambda_{13}(t) = \lambda_{13} = \text{const}$, $\mu_{31}(t) = \mu_{31} = \text{const}$, має просте рішення

$$p_1(t) = \frac{\mu_{31}}{\lambda_{13} + \mu_{31}} + \frac{\lambda_{13}}{\lambda_{13} + \mu_{31}} \exp[-(\lambda_{13} + \mu_{31})t], \quad (7.12)$$

Чисельні значення λ_{13} , μ_{31} і їх асимптотична поведінка є предметом деяких експериментальних досліджень. Ґрунтуючись на цих результатах, перевіримо граничні відношення $\lambda < \mu$, $\lambda \approx \mu$, $\lambda \gg \mu$.

Незважаючи на простоту, рівняння (7.11 – 6.12) мають велике значення, оскільки $p_1(t)$ – це відносна пропускна спроможність мережі C_{rel} . Якщо канал зв'язку вільний в момент t з ймовірністю $p_1(t)$, то відношення об'ємів обслугованих/прийнятих даних чисельно дорівнює відносній пропускній здатності мережі. Асимптотично, при $t \rightarrow \infty$ граничне значення дорівнює

$$C_{rel} = \frac{\mu_{31}}{\lambda_{13} + \mu_{31}},$$

Абсолютна пропускна спроможність дорівнює

$$C_{abs} = \lambda_{13} C_{rel}; \quad \lim_{t \rightarrow \infty} C_{abs} = \lambda_{13} \frac{\mu_{31}}{\lambda_{13} + \mu_{31}}$$

Якщо необхідно оцінити параметри продуктивності всієї мережі, необхідно скласти загальну систему диференціальних рівнянь Колмогорова. Використовуючи стандартні правила побудови диференціальних рівнянь Колмогорова, отримуємо загальну систему (аргумент t справа опущено):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= -(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}) p_1(t) + \mu_{21} p_2(t) + \mu_{31} p_3(t) \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= \lambda_{12} p_1(t) - \mu_{21} p_2(t) \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= \lambda_{13} p_1(t) - \mu_{31} p_3(t) \\ p_4(t) &= 1 - p_1(t) - p_2(t) - p_3(t) \end{aligned} \right\} \quad (7.13)$$

Тепер, застосувавши до системи рівнянь (7.13), наприклад, метод перетворення Лапласа, і визначивши фундаментальну матрицю рішення $\Phi_p(\tau)$, отримаємо при $t_0 = 0$ і $\mathbf{P}_0^T = \{1 \ 0 \ 0 \ 0\}$ вираження для безумовних ймовірностей станів розглянутої мережі:

$$\begin{cases} p_1(t) = \frac{\lambda_{21}}{\lambda_{12} + \lambda_{21}} e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{14})t} + \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{12} + \lambda_{21}} e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{14} + \mu_{21} + \mu_{31})t}; \\ p_2(t) = \frac{\lambda_{21}}{\lambda_{12} + \lambda_{21}} e^{-(\lambda_{12} + \lambda_{21})t} - \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{12} + \lambda_{21}} e^{-(\lambda_{12} + \lambda_{21} + \mu_{21})t}; \\ p_3(t) = e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{14})t} - e^{-(\lambda_{12} + \lambda_{21} + \mu_{31})t}; \\ p_4(t) = e^{-(\lambda_{13} + \lambda_{34})t} + e^{-(\lambda_{12} + \lambda_{21} + \lambda_{34})t}. \end{cases} \quad (7.14)$$

При цьому вираз для $p_4(t)$ можна отримати з умови нормування:

$$p_4(t) = 1 - \sum_{i=1}^3 p_i(t), \quad (7.15)$$

Більш детальна модель системи (пристрої), яка враховує не тільки повні, але і тимчасові (плаваючі) відмови, являє собою модель з трьома станами: s_j , \bar{s}_j , \tilde{s}_j – відповідно, справний стан, повний і тимчасовий (плаваючий) відмова. Тут стан \tilde{g}_j (Тимчасова відмова) розглядається як перевантаження.

На рис. 7.3 зображені графіки ймовірностей $p_1(t), p_2(t), p_3(t), p_4(t)$, побудовані відповідно до виразами (7.14 - 6.15). Вихідні дані такі:

- число мережних вузлів $N_{net} = 50$;
- інтервал спостереження $T_{search} = 8$ годин;
- сумарна інтенсивність повних (фізичних) відмов мережних вузлів $\lambda_{12} = 0,07$ 1/год;
- сумарна інтенсивність виникнення перевантажень маршрутів $\lambda_{12} = 0,6$ 1/год;
- середня інтенсивність відновлення маршрутів $\lambda_{21} = 0,1$ 1/год.

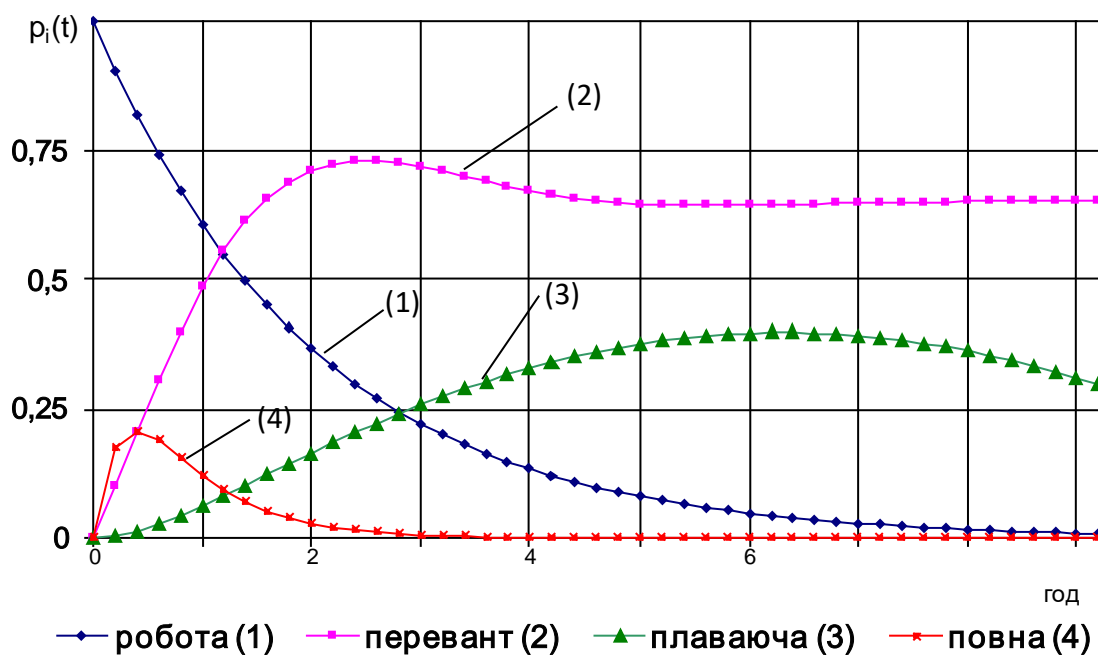


Рис. 7.3. Графіки ймовірностей станів "робота" (1), "перевантаження" (2), "плаваюча відмова" (3), "повна відмова" (4)

При вирішенні кожної конкретної проблеми в довільний момент часу мережа характеризується кінцевим набором M несумісних станів $\mathbf{G}^T = [g_1, g_2, \dots, g_M]$. Розглядаючи події $g_1^{(k)}, g_2^{(k)}, \dots, g_M^{(k)}$, можна стверджувати, що перехідні ймовірності $p_{ij}^{(k)}$, по суті, являють собою умовні ймовірності

$$p_{ij}^{(k)} = p \left[g_i^{(k)} \mid g_j^{(k-1)} \right]$$

Якщо кожен елемент мережі може перебувати в одному з трьох (чотирьох) станів, то загальна кількість несумісних станів мережі $M = 3^N$ або, відповідно, $M = 4^N$.

Коли частина елементів (N_1) може знаходитися в одному з двох станів, інша (N_2) знаходиться в одному з трьох станів, третя (N_3) знаходиться в одному з чотирьох станів, загальне число несумісних станів системи дорівнює $M = 2^{N_1} \cdot 3^{N_2} \cdot 4^{N_3}$, і нехай

$N = N_1 + N_2 + N_3$, У цьому випадку вектор і відповідна матриця станів такої системи мають вигляд

$$G = \begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ g_3 \\ g_4 \\ \vdots \\ g_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1 & g_2 & g_3 & g_4 \\ \sim & & & \\ g_1 & g_2 & g_3 & g_4 \\ - & & & \\ g_1 & g_2 & g_3 & g_4 \\ \wedge & & & \\ g_1 & g_2 & g_3 & g_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \wedge & \wedge & \wedge & \wedge \\ g_1 & g_2 & g_3 & g_4 \end{bmatrix}.$$

Випадковий процес, що характеризує зміну стану системи в часі, в розглянутому прикладі може приймати в будь-який час тільки одне значення з кінцевого безлічі g_1, g_2, \dots, g_M .

Процес $g(t)$ – це дискретний випадковий процес з дискретним набором значень, тобто ланцюг Маркова [9]. З огляду на велику кількість станів g_M , розділимо всю систему на ряд підсистем, які можна вважати слабо залежними один від одного. При цьому для збереження спільності моделі необхідно застосовувати дискретні марковських процеси з випадковими моментами переходу зі стану в стан i з відповідними локальними характеристиками - інтенсивностями переходу. Якщо інтервали часу $\delta\tau$ між моментами переходу є величини вище першого порядку малості, то, розкладаючи ймовірності переходу як функції часу в ряд Тейлора і утримуючи члени не вище першого порядку [9], отримаємо наступні наближені вирази:

$$p_{ij}(t, t + \delta\tau) \approx \lambda_{ij}(t)\delta\tau + o(\delta\tau), \quad i \neq j,$$

де λ_{ij} – середня на інтервалі спостереження інтенсивність переходів зі стану g_i в стан g_j , $o(\delta\tau)$ – члени вище першого порядку малості щодо $\delta\tau$, тобто

$$\lim_{\delta\tau \rightarrow 0} [o(\delta\tau)/\delta\tau] = 0.$$

Аналіз умов застосування мережі показує, що процес переходу з стану в стан є складним і неоднозначним, що обумовлено згаданими особливостями функціонування. Наприклад, мережа може перебувати в таких альтернативних станах: перевантаження або нормальна робота; перевантаження або тимчасова відмова і т. д. Таким чином, найбільш перспективний підхід до кількісного

аналізу ефективності великої корпоративної мережі - чисельне комп'ютерне моделювання.

Тому більш докладна модель системи (пристрою), яка враховує не тільки повні, але і тимчасові (плаваючі) відмови, являє собою модель з трьома станами: x_j , \bar{x}_j and \tilde{x}_j – відповідно, справний стан, повна і тимчасова (плаваюча) відмова. Стан \tilde{x}_j розглядається як перевантаження.

При вирішенні кожної конкретної проблеми в довільний момент часу мережа характеризується кінцевим набором M несумісних станів $\bar{\mathbf{H}}^T = [H_1, H_2, \dots, H_M]$.

Якщо кожен елемент мережі може перебувати в одному з трьох (чотирьох) станів, то загальна кількість несумісних станів мережі $M = 3^N$ або, відповідно, $M = 4^N$.

Частина елементів (N_1) може знаходитись в одному з двох станів, інша (N_2) знаходиться в одному з трьох станів, третя (N_3) знаходиться в одному з чотирьох станів, загальне число несумісних станів системи дорівнює $M = 2^{N_1} \cdot 3^{N_2} \cdot 4^{N_3}$, припустимо $N = N_1 + N_2 + N_3$, У цьому випадку вектор і відповідна матриця станів такої системи мають вигляд

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ \vdots \\ H_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ \tilde{x}_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ \bar{x}_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ \hat{x}_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \hat{x}_1 & \hat{x}_2 & \hat{x}_3 & \hat{x}_4 \end{bmatrix}.$$

Випадковий процес $\Psi(t)$, що характеризує зміну станів системи в часі, в розглянутому прикладі може приймати в будь-який момент часу тільки якесь одне значення з кінцевої множини.

Процес $\Psi(t)$ являє собою дискретний випадковий процес з дискретною множиною значень, тобто ланцюг Маркова (рис. 7.4).

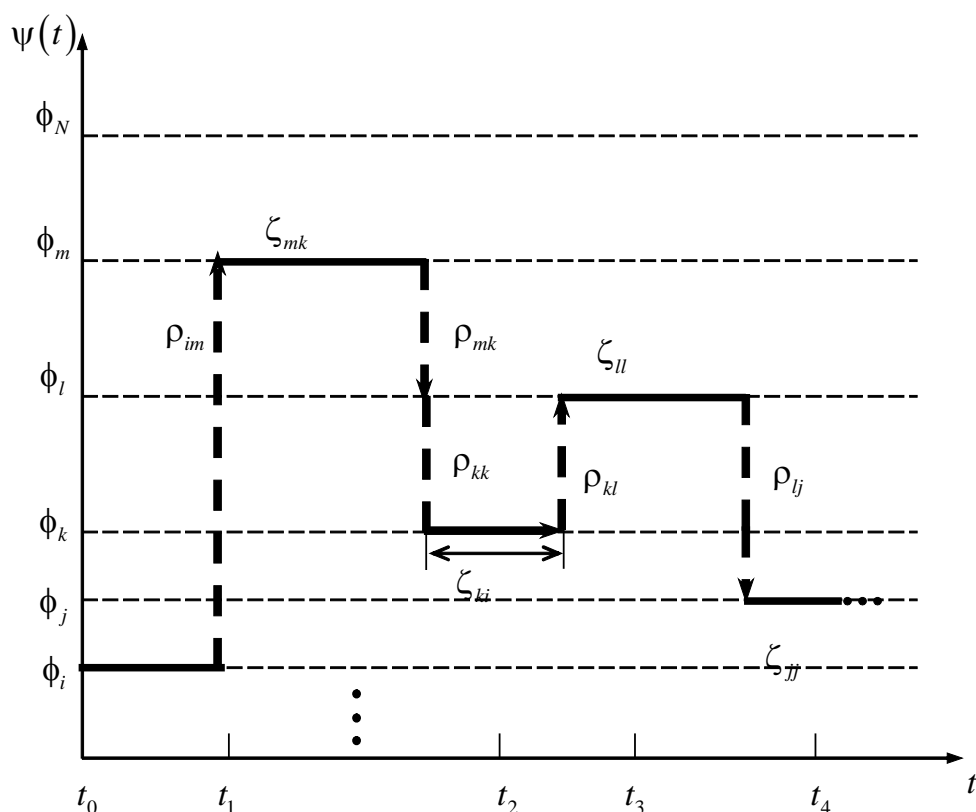


Рис. 7.4. Умовна графічна схема переходів системи від стану ϕ_i до стану ϕ_k , $i, k = 1, 2, \dots, N$. p_{jk} - перехід від стану j у стан k ; ζ_{jk} - нормалізована довжина знаходження у стані j до переходу в стан k

Кожний стан $\psi(t_i)$ в момент часу t_i характеризується ймовірністю $p_i(t)$. При вирішенні СУМ певної задачі на відрізку часу $[t_0, t_i]$, $i = 1, 2, 3, 4, \dots$ стану в момент t_i можна поставити у відповідність значення деякого функціоналу $\Theta_i(t)$, що характеризує якість рішення даної задачі системою, що знаходиться в $\psi(t_i)$ -му стані. Функціонал $\Theta_i(t)$ можна трактувати як умовний критерій ефективності СУМ. Відповідно, загальний (безумовний) критерій ефективності СУМ розраховується згідно з формулою повної ймовірності

$$\Theta(t) = \sum_{i=1}^M p_i(t) \Theta_i(t) \quad (7.16)$$

Зауважимо, що функціонал $\Theta(t)$, обчислений за формулою (7.16), не є повною кількісною характеристикою ефективності СУМ, так як в ньому в явному вигляді

не враховуються: статистичні зв'язки між черговістю зміни станів, характер залежності умовного критерію ефективності від динаміки процесу переходів в системі і т. ін. Однак, незважаючи на перераховані недоліки, формула (7.16) знаходить широке застосування, так як вона дозволяє виконувати практичні розрахунки ефективності СУМ при вирішенні різних завдань.

Зазвичай при вирішенні завдання в СУМ є кілька працездатних станів, що забезпечують різну якість рішення. Кількість працездатних станів системи визначається числом резервних елементів і характером зв'язків між ними.

Решта станів є непрацездатними і не забезпечують вирішення даного завдання, тобто значення умовного критерію (показника) ефективності для таких станів СУМ можна вважати рівними нулю. З урахуванням сказаного формулу (7.16) можна представити у вигляді

$$\Theta(t) = \sum_{i=1}^L p_i(t) \Theta_i(t)$$

де L - число працездатних станів системи управління мережею при вирішенні даного завдання.

Розглянемо критерії ефективності СУМ при вирішенні типового завдання маршрутизації у мережному сегменті.

Маршрут доставки повідомлення зазвичай задається послідовністю комутаційних вузлів, через які повинна пройти послідовність пакетів. Ефективність оцінюється загальною затримкою доставки, а при необхідності – числом втрачених та/або спотворених пакетів. Основне завдання СУМ і адміністратора мережі - забезпечити найбільш точний збіг фактичного маршруту доставки із заданим і, крім того, суворе дотримання часу проходження транзитних вузлів [2].

Для аналізу виду маршруту і точності його дотримання необхідно мати в будь-який момент часу дані про наступні похибки маршрутизації: відхилення $\varepsilon(r) = |r - \tilde{r}|$ реального маршруту \tilde{r} від заданого маршруту r ; число втрачених пакетів на кожній транзитній ділянці N_{loss} ; загальне число спотворених пакетів на маршруті N_{dist} . Розрахункова точка переміщається по заданій траєкторії відповідно

до запланованого часом злету, проходу призначених проміжних пунктів маршруту (ППМ), виходу в кінцевий пункт маршруту (КПМ) і посадки.

Величини $\varepsilon(r), N_{loss}, N_{dist}$ в загальному випадку носять випадковий характер. Допустимі значення зазначених похибок $\varepsilon(r)$ визначають припустиму область, в центрі якої знаходиться розрахунковий маршрут.

На практиці при визначенні допустимих значень похибок виходять з гранично допустимих норм затримок доставки, втрат та спотворень, які встановлюються вимогами якості сервісу QoS . Як умовний критерій ефективності СУМ при вирішенні даного завдання доставки повідомлень по заданому маршруту доцільно вибрати ймовірність того, що в заданий момент часу t QoS знаходиться в допустимій області. Умовний критерій ефективності СУМ в цьому випадку представляється у вигляді [4]:

$$\min_{\substack{\varepsilon(r) \\ N_{loss} \\ N_{dist}}} \Theta_i(t) = \int_{r_1}^{r_2} \int_0^{N_{loss\ max}} \int_0^{N_{dist\ max}} \theta_i(r, N_{loss}, N_{dist}) dr d(N_{loss}) d(N_{dist}) \quad (7.18)$$

(інтеграл розуміється у сенсі Стільтьєса [4]).

Із загального критерію (7.18) може бути отриманий ряд часткових критеріїв. Наприклад, для характеристики ефективності СУМ при прокладанні маршруту доставки по смузі заданої ширини в якості умовного критерію може бути прийнята ймовірність невиходу повідомлення за межі відведеної смуги щодо найкоротшого маршруту. З огляду на те, що поперечне ухилення від найкоротшого маршруту є функцією багатьох випадкових параметрів, щільність ймовірностей параметра z можна вважати підпорядкованою гауссовському закону з нульовим математичним очікуванням та дисперсією розсіювання, відповідною і-му стану СУМ [5].

Отже, розроблено математичну модель процесів управління мережею. Розглянуто модель зі станами нормальної працездатності, з перевантаженням мережі, з тимчасовою або повною відмовою елементів. Процес зміни станів представлений випадковим процесом з дискретною множиною значень, тобто ланцюгом Маркова. Виведений вираз для умовного критерію ефективності

системи управління мережею. Показано, що зміни станів СУМ є випадковими або детермінованими. Випадкові зміни можуть бути викликані дією зовнішніх і внутрішніх факторів, детерміновані - діями людини, що приймає рішення, наприклад, адміністратора мережі. Тому ефективність інформаційно-обчислювальної підсистеми (підсистеми управління мережею) доцільно оцінювати по її впливу на ефективність відповідної системи (мережі), складовою частиною якою вона є.

7.2. Метод оцінки ефективності системи управління ККМ

При оцінці ефективності СУМ як складних систем в якості моделей, що описують процес зміни станів системи, застосовуються моделі у вигляді марковського ланцюга або дискретного марковського випадкового процесу.

Процес $H(t)$ – це дискретний випадковий процес з дискретним набором значень, тобто ланцюг Маркова. З огляду на велику кількість станів H_m , розділимо всю систему на ряд підсистем, які можна вважати слабо залежними одна від одної.

Наприклад, при аналізі станів маршруту можна розбити їх на сегменти, що містять 4 ... 5 транзитних вузлів, оскільки будь-які алгоритми розрахунку маршруту (Дейкстра і інші) ефективно працюють на 4 ... 5 вузлах, а потім використовують так звану маршрутизацію за замовчуванням. При більшій кількості транзитних вузлів час рахунку стає неприпустимо великим. У цей час стан мережі може різко змінитися.

Кожен стан H_i системи в момент t характеризується ймовірністю $p_i(t)$. Коли система вирішує конкретну задачу на інтервалі $[t_0, t]$ в певний момент часу t_i , можна зв'язати значення деякого функціоналу $\Psi_i(t)$, що характеризує якість рішення проблеми системою в H_i -ом стані. Функціонал $\Psi_i(t)$ можна інтерпретувати як умовний критерій ефективності інформаційної системи.

Відповідно, загальний (безумовний) критерій ефективності розраховується за формулою повної ймовірності

$$\Psi(t) = \sum_{i=1}^M p_i(t) \Psi_i(t),$$

У ньому не враховуються явно статистичні залежності між порядком зміни станів системи, характером залежності умовного функціоналу від динаміки перехідного процесу в системі і тощо. У цьому сенсі рівняння (7.11) може розглядатися як підстава для отримання певних граничних (асимптотичних) оцінок. Однак, незважаючи на вищевказані обмеження, вираз (7.11) можна використовувати для попередніх практичних розрахунків ефективності систем управління мережею при вирішенні різних завдань.

Зазвичай при роботі мережі або автономного сегмента враховується кілька працездатних станів, які забезпечують рішення різної якості. Кількість робочих станів системи визначається кількістю резервних елементів (вузлів, маршрутизаторів) і характером з'єднань між ними. Решта стану системи вважаються непрацездатними і не забезпечують вирішення проблеми обміну даними з прийнятною якістю. Для таких станів значення умовного критерію (функціоналу) ефективності системи можуть бути встановлені рівними нулю. Нехай число робочих станів системи для вирішення конкретного j -й завдання буде рівним L_j . Тоді вираз для критерію безумовної ефективності набуде вигляду

$$\Psi_j(t) = \sum_{i=1}^{L_j} p_{ij}(t) \Psi_{ij}(t),$$

де $\Psi_j(t)$ – узагальнений критерій ефективності для L_j робочих станів; $\Psi_{ij}(t)$ є умовним критерієм ефективності при стані мережі, що дорівнює H_i .

Як умовний критерій ефективності системи управління мережею (СУ) при вирішенні даної проблеми доставки трафіку на заданому маршруті доцільно вибрати ймовірність того, що в заданому інтервалі часу ΔT_d мережу як об'єкт управління і власне система управління виявляться в області стійкості. Умовний критерій ефективності СУ в цьому випадку представляється як

$$\Psi_j(t) = \int_0^{BER_1} \int_{T_{d \min}}^{T_{d \max}} \int_{P_{T \min}}^{P_{T \max}} \Psi_{ij}(BER, T_d, P_T, t) d(BER) d(T_d) d(P_T) \tag{7.19}$$

де BER – коефіцієнт бітових помилок; T_d – інтервал часу доставки; P_T – ступінь захисту мережі; в загальному випадку інтеграл (7.19) розуміється в сенсі Стільтьєса.

Використовуючи загальний критерій (7.19), можна отримати часткові критерії. Наприклад, для показника ефективності мережі, по якій доставляються повідомлення довільної довжини, можна встановити в якості умовного критерію ймовірність передачі без втрат. Беручи до уваги співвідношення між загальною кількістю біт і числом помилкових біт в переданому повідомленні, правомірно прийняти геометричний розподіл $G^{[p,n]}$ з цілим числом $n=1,2,\dots$, параметром Бернуллі $p, 0 < p < 1$ (ймовірність успіху) і $q=1-p$. Тоді ймовірність передачі без втрат повідомлення довжиною K біт дорівнює

$$\Psi_j(K) = 1 - q^K = 1 - (1 - p)^K$$

Розмічений граф послідовності випробувань Бернуллі показаний на рис. 7.5.

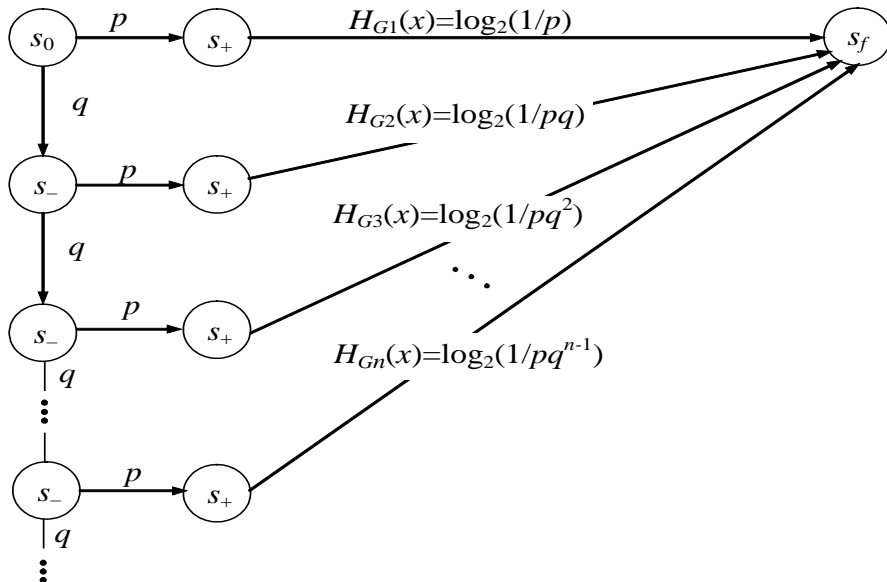


Рис. 7.5. Направлений граф випробувань Бернуллі. s_0 – вихідний стан; s^- – негативний результат (немає успіху); s^+ – успіх; s_f – кінцевий стан; $H_{Gi}, i=1,2,\dots,n$ – i -е стан системи з відповідною ентропією $H_{Gi}(x)$.

Мережева інформаційна система може перебувати в одному з станів H_1, H_2, \dots, H_n . Комп'ютерна мережа або цифрова телекомунікаційна мережа з комутацією пакетів можуть переходити з одного стану в інший тільки в фіксований час $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i, \dots$. Всі інтервали $\tau_{k+1} - \tau_k = \delta\tau = \text{const}$.

При оцінці ефективності інформаційних мереж (ІМ) як складних інформаційно-технічних систем для опису процесу зміни станів використовуються моделі ланцюгів Маркова або дискретних марковських випадкових процесів. Проаналізуємо еволюцію перехідних і кінцевих ймовірностей станів. Ланцюг Маркова для ІС описується за допомогою ймовірностей безумовного стану і ймовірностей умовного переходу.

Припустимо $H_{G_n}^L$ - це подія переходу системи в стану H_{G_n} після L кроків.

Оскільки всі такі події утворюють повну групу несумісних подій, $\sum_{i=1}^n p_{G_i}^L = 1$ для будь-якого числа кроків. Позначимо вектор станів системи через $\mathbf{H}_G = [H_{G_1} \ H_{G_2} \ \dots \ H_{G_n}]$ и відповідний вектор поточних ймовірностей системи через $\mathbf{P}_i^T = [p_1(i) \ p_2(i) \ \dots \ p_n(i)]$. Вектор ймовірностей початкового стану $\mathbf{P}_0^T = [p_1(0) \ p_2(0) \ \dots \ p_n(0)]$. Зокрема, для стану 1 (без збоїв та без перевантажень) вектор $\mathbf{P}_0^T = [1 \ | \ 0 \ | \ 0 \ | \ 0]$.

Беручи до уваги затримки будь-якого походження, наприклад, затримку передачі від одного вузла до іншого, і час реакції вузла $\tau_{ri} = l\delta\tau$ (в загальному випадку $k \neq l$), можна записати ймовірності переходу як

$$p_{i,i+k} = p \left[H_{G_i} \mid H_{G,i+k} \right], \quad (7.20)$$

Фактично перехідні ймовірності (7.20) є умовними ймовірностями. У будь-який момент часу існують ймовірності переходу системи за один крок з цього стану в будь-який інший. Деякі з цих ймовірностей можуть бути нульовими, якщо прямий перехід за один крок неможливий.

Послідовність переходів з стану H_{Gi} в стан H_{Gj} можна розглядати як дискретний марковський процес з малими інтервалами $\delta\tau \ll |\tau_j - \tau_i|$. При таких умовах ймовірності переходу можуть бути виражені як:

$$p_{ii}(\tau_i, \tau_i + i\delta\tau) = 1 + \lambda_{ii}(\tau_i)(i\delta\tau) + o(i\delta\tau);$$

$$p_{ij}(\tau_i, \tau_i + j\delta\tau) = \lambda_{ij} \left(\frac{\tau_j - \tau_i}{2} \right) (j\delta\tau) + o(j\delta\tau), \quad i < j,$$

де λ_{ij} – інтенсивність переходу з стану H_{Gi} в стан H_{Gj} ; $o(i\delta\tau)$, $o(j\delta\tau)$ є величинами другого порядку малості відносно $\delta\tau$; тоді $\lim_{\delta\tau \rightarrow 0} [o(\delta\tau)/\delta\tau] \rightarrow 0$, і можна прирівняти кінцеву різницю до похідної та інтерпретувати інтеграли Стільтєса як інтеграли Рімана.

Використовуючи інтенсивності переходу з одного стану в інше, можна визначити ймовірності стану мережі в будь-який довільний час, вирішуючи векторно-матричне Рівняння:

$$\frac{d}{d\tau} \mathbf{P}(\tau) = \mathbf{\Lambda}^T \mathbf{P}(\tau), \quad \mathbf{P}(\tau_0) = \mathbf{P}_0, \quad (7.21)$$

де $\mathbf{P}^T(\tau) = [p_1(\tau), p_2(\tau), \dots, p_n(\tau)]$ – вектор ймовірностей стану мережної системи в поточний час τ ; τ_0 – початковий час; T – символ транспонування.

$$\mathbf{\Lambda}^T = \begin{pmatrix} \lambda_{11}(\tau) & \lambda_{12}(\tau) & \dots & \lambda_{1n}(\tau) \\ \lambda_{21}(\tau) & \lambda_{22}(\tau) & \dots & \lambda_{2n}(\tau) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \lambda_{n1}(\tau) & \lambda_{n2}(\tau) & \dots & \lambda_{nn}(\tau) \end{pmatrix} \text{ – матриця інтенсивностей переходів;}$$

Рівнянням (24) описується система зі змінними параметрами (параметрична система). Для однорідного марковського процесу, тобто. $\mathbf{\Lambda}(\tau) = \mathbf{\Lambda} = \text{const}$ рішення рівняння (7.21) є: $\mathbf{P}(\tau) = \exp(\mathbf{\Lambda}^T \tau) \mathbf{P}_0$. Розкладаючи показник ступеня в рядах Тейлора, отримуємо матричну експонентну функцію.

Тепер можна визначити перехідні ймовірності за невеликий проміжок часу. Використовуючи матрицю перехідних ймовірностей, складаємо матрицю перехідних інтенсивностей.

Ефективність системи управління ККМ оцінюється по її впливу на продуктивність мережі. Ми вводимо поточний коефіцієнт ефективності R_{eff} :

$$R_{eff} = E_{cs} / E_0,$$

де E_{cs} – ефективність мережі з робото здатною СУ ККМ, а E_0 – ефективність мережі без СУ.

При вирішенні інших завдань з доставки даних (передача, обмін і тощо) необхідно застосовувати інші критерії ефективності.

Для оцінки впливу системи управління мережею на ефективність мережі як об'єкта функціонування управління необхідно знати ймовірності станів СУ.

Засоби систем моніторингу та управління мережею сприяють підвищенню ефективності мережевих інформаційних систем. При введенні системи управління в структуру ІС поліпшуються її ключові параметри і якість роботи з доставки даних. Інформація, отримана від системи управління мережею, дозволяє визначити діапазон готовності мережі до виконання певного кола завдань, оперативне управління в нестандартних ситуаціях і змінити структуру мережі при наявності збоїв, несправностей, вірусів і хакерських атак. Це забезпечує стабільну роботу мережі в умовах повільної деградації параметрів.

В майбутньому планується, використовуючи дані результати, досліджувати зв'язок між інтенсивністю мережного трафіку і абсолютної пропускнуою спроможністю (випадок $\lambda < \mu$, $\lambda \approx \mu$, $\lambda \gg \mu$).

При вирішенні інших завдань з доставки даних (передача, обмін і тощо) необхідно застосовувати інші критерії ефективності. Для оцінки впливу системи управління мережею на ефективність мережі як об'єкта функціонування управління необхідно знати ймовірності станів СУ.

7.3. Інформаційна технологія управління ККМ із застосуванням методу оптимального адміністратора

Основним принципом побудови як існуючих, так і перспективних (інтегрованих) інформаційних мереж об'єктивно є модульний принцип. Це обумовлено безліччю історичних, організаційних, технічних, виробничих і інших чинників. Характеристики кожного модуля, параметри систем управління і сигналізації узгоджуються між собою, і модулі об'єднуються в регіональні і загальнонаціональні мережі.

Корпоративна мережа або будь-яка інша мережа передачі інформації є великою системою – складною автоматизованою людино-машинною структурою. Загальна архітектура модуля інтелектуальної мережі показано на рис. 1. Розвиток і зміна такої структури відбувається постійно, з моменту її вводу в дію і до моменту припинення роботи і демонтажу. При внесенні змін інформація часто не надходить усім споживачам, може бути не повною і не точною. Отже спроби опису мережі у рамках детерміністської теорії будуть малоефективними. Тому для опису фрагментів мережі навіть мінімального об'єму доцільно використати стохастичні моделі [9].

На рис. 7.6 представлена структурна схема модуля мережі з інтелектуальною надстройкою. Позначення: ВУП – вузол управління послугами, ВКП – вузол комутації послуг, ВІП – вузли інтелектуальної периферії.

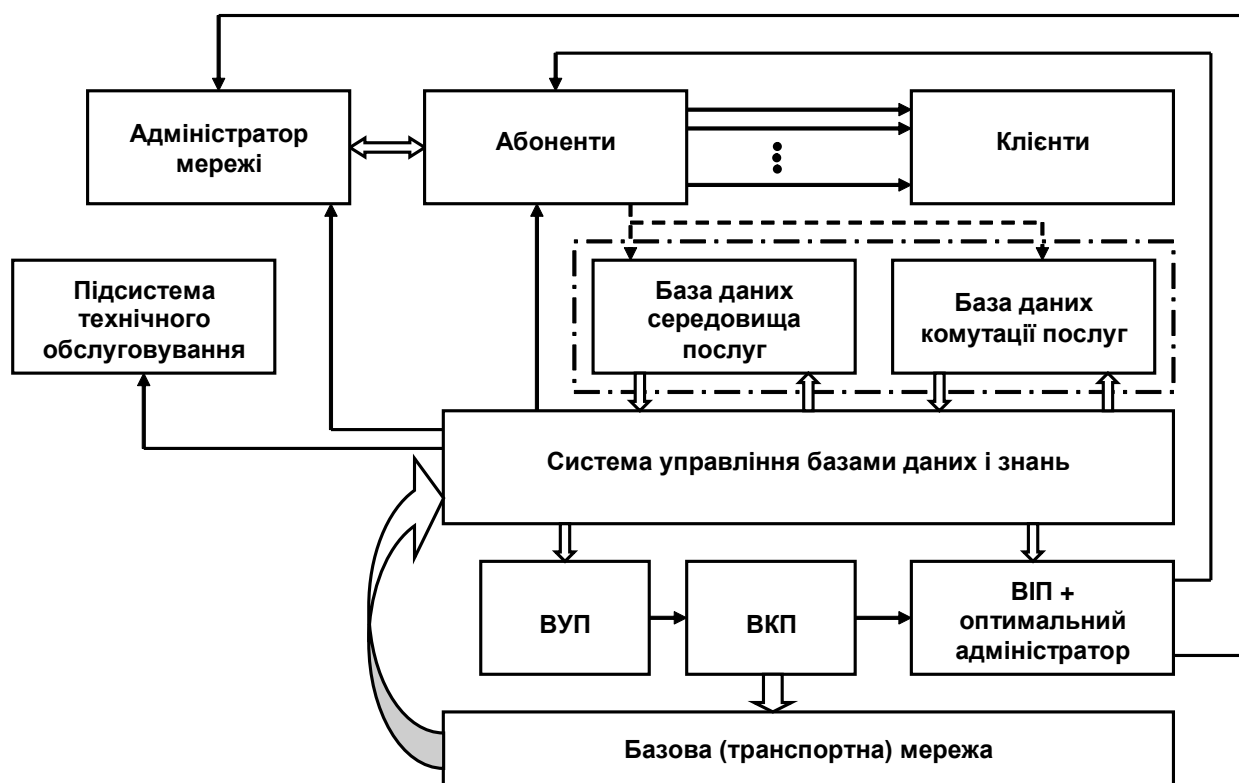


Рис. 7.6. Загальна модель інтелектуальної ККМ

Окремі модулі (фрагменти) мережі можуть значно відрізнятися один від одного за об'ємом, складом, характеристикам вузлів і елементів – іншими словами, мережа є істотно неоднорідною (гетерогенною) структурою. Неоднорідності мережі можна описати методами теорії систем зі змінною структурою [10].

Для врахування помилок, збоїв, затримок, відмов устаткування традиційно застосовують теорію надійності, теорію масового обслуговування, теорію дослідження операцій [9]. Для інтегральної оцінки цих чинників використовують показник гарантованої якості обслуговування QoS .

Проте причинами зниження характеристик мережі може бути не лише техніка, але і людський чинник: помилки персоналу, що управляє і обслуговує, обмеження фізіологічного характеру по точності і швидкості реакції, навмисне внесення помилок і відмов тощо. Для прогнозу і корекції дій людини-оператора

(адміністратора мережі, абонента, клієнта) доцільно використати ті ж підходи, що і при синтезі технічної системи [11].

Тому при розробці оптимального алгоритму управління ККМ необхідно враховувати не лише технічні параметри устаткування, але й психофізіологічні характеристики та лояльність обслуговуючого персоналу [12].

7.3.1. Структура професійної діяльності адміністратора ККМ

Щодо загальної структури професійної діяльності людини, у психології, нейрофізіології та ергономіці накопичений багатий матеріал, показано активне прагнення людини до доцільності своїх дій, їх прогнозно-оптимізаційний характер [13]. У людино-машинній системі управління корпоративною КМ необхідно забезпечувати якомога більш повну єдність з природними структурами діяльності людини, її внутрішніми психофізіологічними механізмами і мотивацією [14-16].

Імітаційні і функціональні моделі професійної діяльності людини-оператора є однією з найважливіших складових ефективних систем людина-машина (зокрема, автоматизованої системи управління КМ) як на початковій стадії їх розробки, так і при оптимізації в цілому.

Структура будь-якої професійної діяльності людини відрізняється багаторівневістю, багатовимірністю і адаптивністю [15]. Найбільш універсальні чисто описові моделі структури діяльності людини, створені, наприклад, П.К. Анохіним [13], в якості фундаментальних понять визначають мотивацію, мету, прогнозування та адаптацію. Однак вони не пристосовані для формалізації, а тому не можуть безпосередньо використовуватися і потребують доопрацювання і адаптації для конкретного завдання.

Відповідно до моделі професійної діяльності людини П.К. Анохіна, структура роботи адміністратора КМ може бути представлена у вигляді схеми рівнів (рис. 7.7). По горизонталі рівні діяльності розділені на рівень сприйняття, рівень уявлень і мовно-мисленнєвий рівень.

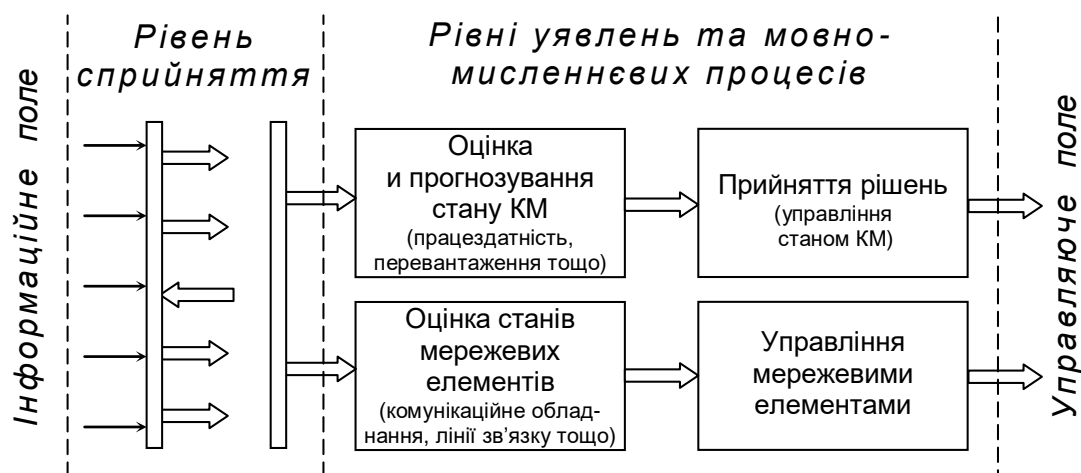


Рис. 7.7. Схема рівнів обробки інформації та професійної діяльності адміністратора КМ

У сучасних складних системах людина-машина, таких як адміністратор–система_управління–КМ, інформація про технічний стан надходить через систему відображення інформації (наприклад, у вигляді відображення стану мережних елементів, статистичних звітів тощо), тобто інформаційне поле. Ця інформація становить *інформаційну модель*, тобто організоване у відповідності з певною системою правил відображення об'єкта управління, системи людина-машина, зовнішнього середовища і способів впливу на них.

Інформаційну модель для роботи адміністратора КМ доцільно реалізовувати за допомогою програмних засобів, які представляють об'єктивну реальність, яка відобразатиме поточний стан системи.

Найважливішими характеристиками інформаційної моделі є:

- ступінь адекватності (точність) відображення стану системи;
- узгодженість з психофізіологічними можливостями людини-оператора;
- ступінь придатності для формування у адміністратора правильних оцінок стану, правильної оперативної концептуальної моделі.

Від ступеня адекватності інформаційної моделі багато в чому залежить ефективність роботи адміністратора.

У професійній діяльності, сприймаючи сигнали інформаційної моделі, адміністратор прагне їх усвідомити, виробити своє уявлення про ситуацію, співвіднести з отриманим раніше досвідом. Концептуальна модель – це розумова

модель ситуації, тобто відображення реальної дійсності (в частині розв'язуваної задачі) у свідомості людини. Іншими словами *концептуальна модель* – це сукупність уявлень адміністратора про цілі управління і стани КМ, системи управління КМ (системи людина-машина), збурюючі впливи у КМ і способи дії на них.

З наведеного визначення випливає, що концептуальна модель складається з двох основних частин:

- відносно постійної частини, утвореною знаннями, вміннями, отриманими в ході попередньої професійної діяльності (тобто досвід), і
- оперативної частини, яка швидко змінюється. Це уявлення про поточний стан мережі та прогноз на найближчий період, черговий цільовий стан, що утворюються як за рахунок інформаційної моделі, так і за рахунок постійної концептуальної моделі, тобто знань, досвіду, суті розв'язуваної задачі.

У сучасних автоматизованих системах управління також широко використовуються моделі керованих процесів, алгоритми управління, цільові функціонали. Можна вбачати аналогії цих понять і концептуальної моделі людини-оператора. Такий підхід застосовується при розробці формалізованих моделей професійної діяльності операторів в автоматизованих системах навчання. Однак між концептуальною моделлю людини і її аналогами в автоматизованих системах є принципова відмінність. Наприклад, навіть в системах штучного інтелекту множина передбачених станів скінчена. У концептуальній моделі людини-оператора, як і в реальному світі, вона відкрита (континуум). Невичерпність концептуальних моделей оператора, з одного боку, є одним з вагомих аргументів його присутності в людино-машинних системах, а з іншого боку – джерелом несподіваної нестандартної поведінки, в тому числі помилкової.

Концептуальна модель, будучи відображенням об'єктивної реальності у свідомості людини, має відносну істинність. Чим досконаліша інформаційна модель, більший досвід адміністратора, тим ближче ця відносна істина до абсолютної.

7.3.2. Загальна психофізіологічна неформалізована та прогнозно-оптимізаційна модель діяльності адміністратора ККМ

Незважаючи на те, що структура діяльності людини і загальні описові моделі цієї структури відомі, багато психофізіологічних механізми цієї діяльності залишаються нерозгаданими і невідтворні у формалізованому вигляді. Тому доцільно використовувати напівформалізовані моделі, в яких формалізовані лише деякі структури і механізми професійної діяльності.

Ще в 30-х роках минулого століття психологи та нейрофізіологи розробили загальні описові (неформалізовані) моделі, що відображають основні закономірності діяльності оператора. Зокрема, був встановлений факт наявності аферентації¹ – складного і високодосконалого виду зворотного зв'язку, що дозволило розглядати функціональну систему як замкнуте фізіологічне утворення з неперервною зворотною інформацією про успішність даної дії [15]. Схема такої функціональної системи показана на рис. 7.8.

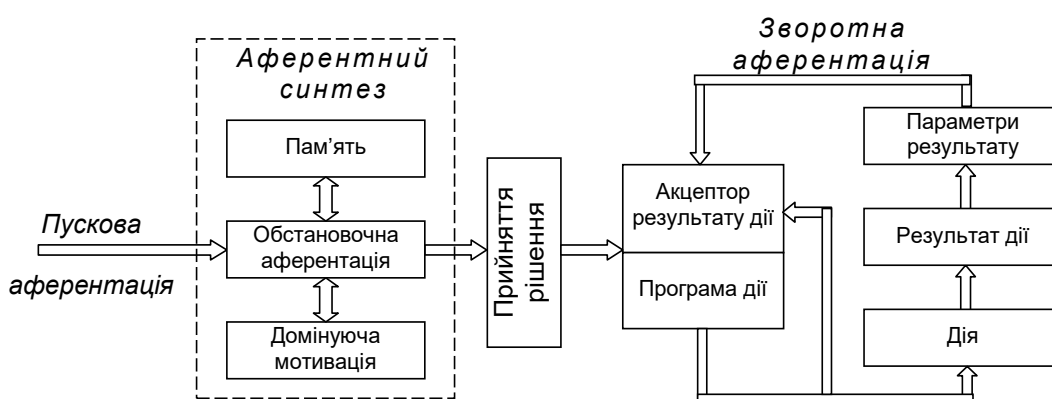


Рис. 7.8. Психофізіологічна модель діяльності адміністратора ККМ

Вхідним великим блоком (механізмом) даної моделі служить аферентний синтез, що включає в себе:

- сприйняття вхідної інформації (пускової аферентації);
- оцінку ситуації і параметрів на основі концептуальної моделі та мотиву (мотивації) діяльності;

¹ Аферентний шлях – шлях нервового імпульсу від рецептора до коркового рівня аналізатора. Еферентний шлях – шлях проходження нервового імпульсу від коркового рівня до виконавчого органу.

- передбачення (випереджаюче відображення), що містить як прогнозування процесів без участі суб'єкта (оператора), так і прогнозування процесів в замкнутій людино-машинній системі (визначення мети);
- формування образу мети.

Наступний блок – прийняття рішень, – обслуговує як вищі, так і нижні горизонтальні рівні діяльності. У цьому блоці поряд із власне прийняттям рішення формується акцептор (приймач) результатів дії.

Далі здійснюються виконавчі дії:

- формування програми дії;
- її реалізація;
- зіставлення результату виконаної дії з відображеним в акцепторі очікуваним результатом (рис. 7.9.)

Головними чинниками в даній неформалізованій загальній функціональній схемі є: прогнозування, мотивація та оптимізація, адаптація. Вони входять в принцип мінімуму функціоналу узагальненої роботи О.А. Красовського [16]. Це може служити підтвердженням доцільності застосування принципу мінімуму функціоналу узагальненої роботи для побудови загальних моделей діяльності оператора [14].

Однак реальна діяльність оператора відбувається в умовах невизначеності, в той час як алгоритми оптимізації визначені для детермінованих (в локальному сенсі) умов. Використовуючи принцип поділу (наближений для нелінійних систем), істинні значення векторних величин x, y замінюють на їх оцінки \hat{x}, \hat{y} , які отримують на виході системи оцінювання (з використанням, наприклад, фільтра або методів статистичної ідентифікації стану ККМ на основі інформаційної функції втрат).

Оскільки алгоритми фільтрації (наприклад, калманівської) вимагають проведення великого обсягу обчислень в реальному часі, а механізми оцінювання, прийняття рішень та оптимізації, якими користується людина, поки не формалізовані, то рекомендується [14] використовувати напівформалізовану загальну модель діяльності оператора виду

$$\min_{\hat{x}, \hat{y}} \|z - h(\hat{x}, \hat{y}, t)\|; \quad (7.12)$$

$$\min_{\hat{y}, v} I_r [X(\hat{x}(t), \hat{y}(t), v, \hat{y}, t)]. \quad (7.13)$$

де $\|z - h(\hat{x}, \hat{y}, t)\|$ – норма різниці між вектором спостереження (на рис. 4.9 – пускова аферентація) і оцінкою цього вектора; $I_r [X, \hat{y}, t]$ – головна частина цільового функціонала на інтервалі прогнозу.

Структурна схема, яка відповідає функціям (7.12), (7.13), подана на рис. 7.9. Головна перевага такої моделі в тому, що відображаючи в загальних рисах психофізіологічну модель діяльності оператора, вона має чітко формалізований аналог у вигляді системи алгоритмів оптимального (субоптимального) управління. Дані алгоритми можна виконувати в реальному часі, що дозволяє розглядати прогнозно-оптимізаційну модель діяльності адміністратора як конструктивний шлях імітації дій оператора, інтелектуального засобу підтримки прийняття рішень.

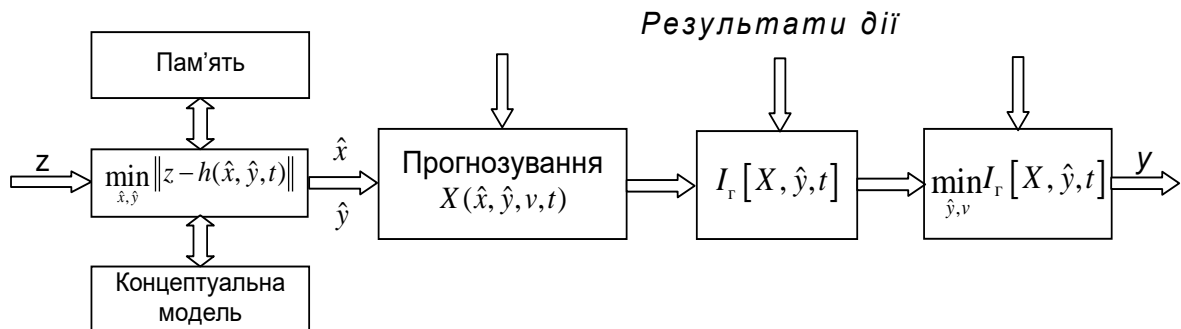


Рис. 7.9. Схема прогнозно-оптимізаційної моделі діяльності адміністратора ККМ

Важливим компонентом у такій системі є прогнозуюча модель. У процесі роботи КМ, управляючі дії (команди), що розглядаються, фіксовані в деякий момент часу t_0 в деякому стані $x(t_0)$ об'єкта. Поточний стан КМ при фіксованих управліннях характеризується вектором $x(t)$, $t \geq t_0$.

КМ імітується за допомогою моделі, стан якої в момент часу t_0 описується вектором $x_m(t)$, відповідному вектору $x(t_0)$. $x_m(t)$ – вектор стану імітаційної моделі при фіксованих управліннях в момент $t > t_0$. Тоді вимоги до точності імітації

можна представити у вигляді норми вектора (або норм компонент вектора) $\|x_m(t) - x(t)\|$ при $x_m(t_0) = x(t_0)$ і фіксованих управліннях.

Модель, яка відтворює стан КМ при $t > t_0$ і фіксованих в момент t_0 управліннях, називається прогнозуючою моделлю. Зазначені вимоги до точності імітації обчислювальної мережі виражені у вигляді вимог до точності імітаційної прогнозуючої моделі. Основним параметром є час прогнозу $T_{пр}$. Вибір періоду прогнозування нетривіальна задача і вимагає експериментування і детального аналізу. Однак, слід зауважити, що для випадку управління корпоративною КМ, як складною стохастичною системою з випадковими затримками доставки інформації, вибирати значний інтервал прогнозування не є доцільно.

При побудові прогностичної моделі необхідно враховувати, що вона повинна бути адекватною сукупності моделей (процесів обміну інформацією, потоків в КМ тощо) Тому особливо важливим є експериментальне дослідження характерних властивостей потоків, які циркулюють у КМ. Форма моделі повинна задовольняти теорії оптимального управління з прогнозуючою моделлю, а алгоритм оптимізації, що формується на її основі, відноситися до класу узагальнених математичних операторів, які можна застосовувати до опису професійної діяльності адміністратора КМ.

У загальному випадку, імітаційні моделі КМ можуть бути описані диференційно-операторним векторним рівнянням з управлінням, що входить лінійно:

$$\dot{y} = F[y, a, t] + Bu,$$

де $F^{[*]}$ – узагальнений векторний дискретний оператор, який можна застосовувати до опису професійної діяльності адміністратора КМ; $y(t)$ – векторна функція, яка описує поточний стан імітаційних моделей; B – матриця с постійними (одичними) коефіцієнтами; a – вектор параметрів відмов. Вибір узагальненого векторного дискретного оператора $F^{[*]}$ є складним завданням. Для його визначення необхідні додаткові дослідження, при яких будуть враховані характерні особливості КМ.

Оскільки корпоративні КМ є складними стохастичними системами з затримками, то векторна функція $y(t)$, що описує поточний стан імітаційних моделей, може бути подана за допомогою диференційно-різницевого рівнянь або рівнянь аргументами, що відхиляються. У загальному вигляді [8]

$$y'_{as_i}(t) = f(t, y_{as_i}(t), \dots, y_{as_i}(t - \tau_i), u_{opt_i}(t - v_i), \xi_i(t)),$$

де $y_{as_i}(t)$ – вектор стану об'єкта S_i (інформаційних сигнал); $u_{opt_i}(t)$ – вектор управління (управляючий сигнал); $\xi_i(t)$ – вектор випадкових збурень, що діють на S_i ; τ_i та v_i – затримки $y_{as_i}(t)$ та $u_{opt_i}(t)$ відповідно.

При побудові імітаційної моделі необхідно врахувати особливості КМ. Тому пропонується представити прогнозуючу модель у вигляді дворівневої еталонної моделі КМ (або автономного сегмента корпоративної КМ) розділеної на два підрівні: перший відповідає за стан кожного мережного елемента, другий – за загальний стан КМ. Це дозволить відокремити задачу управління надійністю обладнання від задачі аналізу та управління топологією мережі.

Для забезпечення аналізу ефективності роботи адміністратора КМ необхідна система об'єктивного контролю. Вектором помилки можна вважати різницю між оптимальним керуючим впливом (розрахованим за допомогою інтелектуальної системи) і фактичним (виробленим адміністратором): $\Delta u = u_{opt}(t) - u(t)$. Для оцінки компонент вектора помилки можна застосовувати звичайні статистичні засоби - середньоквадратичне значення, максимальне відхилення тощо. У спрощеному вигляді, якщо стан КМ, керованої адміністратором, знаходиться в області допустимих параметрів, то його дії оцінюються позитивно.

Для цього необхідно в структурі системи управління передбачити базу даних, в якій будуть зберігатися оптимальні управління, вироблені інтелектуальною системою, управляючі дії, вироблені адміністратором і відповідні стани мережі.

7.3.3. Склад та структура інформаційної технології управління мережею

Однією з вимог до інтелектуалізованих систем управління є відповідність психофізіологічним моделям професійної діяльності, розглянутим вище. Побудова системи управління КМ, що задовольняє зазначеним вимогам, на наш погляд, можливо при використанні концепції «оптимального електронного інструктора» (у нашому випадку «оптимального адміністратора»), запропонованої О.А. Красовським [15, 16], і технології експертних систем.

Загальний принцип концепції «оптимального електронного інструктора» полягає в тому, що паралельно з оператором, що має стандартну кваліфікацію і досвід роботи, ті ж дії виконує експерт-оператор вищої кваліфікації. Оператор дійсно управляє системою, і його дії (прийняті рішення, команди) фіксуються. Дії експерта просто фіксуються і надалі розглядаються як еталонні. З цим еталоном при аналізі якості роботи оператора і порівнюються дії останньої.

На основі запропонованих методів у дисертаційній роботі розроблено інформаційну технологію управління корпоративною комп'ютерною мережею з еталонною моделлю та використанням концепції «оптимального адміністратора» на основі психофізіологічних моделей професійної діяльності адміністратора ККМ з використанням принципів оптимального управління та технології експертних систем.

Структурна схема розробленої інформаційної технології управління ККМ показана на рис. 7.10. Основними складовими технології є:

- модуль обробки вхідної інформації про стан мережі у вигляді бази даних для зберігання статистик функціонування мережі;
- модуль ідентифікації стану мережі;
- еталонна інформаційна та математична модель АС ККМ з прогнозуванням;
- модуль «оптимального адміністратора» для формування оптимальних управлінь;
- база знань з набором правил щодо стратегій управління ККМ;

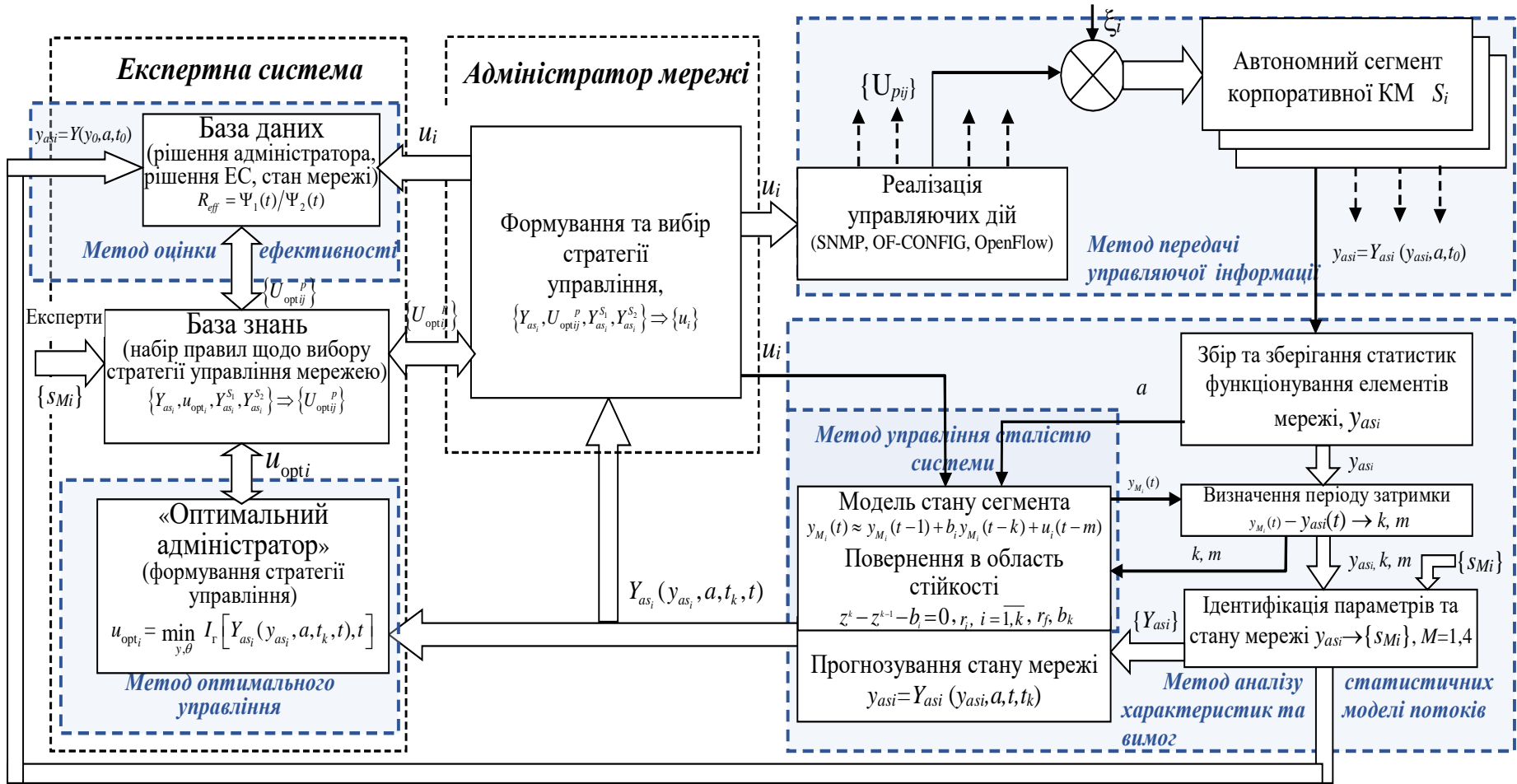


Рис. 7.10. Узагальнена структурна схема інформаційної технології управління корпоративною

- база даних для аналізу ефективності управління;
- модуль реалізації управління.

На початковому етапі роботи інформаційна технологія передбачає здійснення пошуку об'єктів в ККМ, аналіз параметрів і структури автономних сегментів ККМ S_i . На основі отриманих результатів формується вектор стану АС мережі $Y_{asi}(y_{asi}, a, t_0)$.

Набір параметрів мережі, які контролюються, дозволяє враховувати такі відхилення параметрів системи управління, від яких явно залежить якість роботи ККМ. Наприклад:

- по продуктивності мережі (час реакції, пропускна спроможність, затримка передачі і варіація затримки передачі);
- за частотними характеристиками (рівні контрольних частот трактів, відхилення АЧХ від номінальних значень тощо);
- за амплітудними характеристиками (залишкові посилення, лінійність в трактах);
- за експлуатаційними характеристиками (залишкове загасання, тиск повітря в кабелях, опір ізоляції);
- по завадозахищеності (потужність перехресних і взаємних перешкод);
- по електроживленню (потужність навантаження, напруга живлення акумуляторних батарей, рівень коливань живлячої напруги).

Номінальні значення цих (і деяких інших) параметрів вводяться як компоненти (скалярні функції) у вектор оптимальних управлінь u_{opt} , після чого одним з прийнятних способів одноразово вирішується задача оптимізації – пошуку глобального екстремуму.

Дані про стан ККМ передаються в дворівневу i -у еталону модель АС M_i . Перший рівень відповідає за стан кожного елемента мережі окремо і прив'язаний до конкретного обладнання (маршрутизаторів, комутаторів, програмних комутаторів Softswitch, пограничних контролерів сесій SBC тощо). Другий (мереженезалежний) рівень відповідає за загальний стан АС ККМ. Такий підхід

дозволяє відокремити завдання управління надійністю обладнання від завдання аналізу і управління топологією комп'ютерної мережі.

При зборі статистики враховуються розбіжності параметрів вектору поточного стану АС $Y_{asi}(y_{asi}, a, t_0)$, інформація про які надходить із запізненням інформаційного (k) сигналу, та вектором стану еталонної моделі y_{Mi} .

Модуль ідентифікації на основі вектору поточного стану мережі та інформаційно-ентропійних критеріїв дозволяє визначити відповідність одному з чотирьох станів: s_1 – працездатний; s_2 – перевантаження; s_3 – тимчасова (плаваюча) відмова; s_4 – повна відмова.

Еталонна модель, яка описує процеси обміну інформацією в АС, побудована на основі диференційно-різницевих рівнянь з аргументами, що відхиляються, які дозволяють врахувати затримки як сигнальної (k) так і управляючої (m) інформації. Стійкість стану АС ККМ при затримках сигналів забезпечується завдяки розробленому методу управління сталістю.

На основі методу аналізу статистичних характеристик та моделей потоків вимог формується вектор вихідних сигналів першого рівня еталонної моделі, який дозволяє отримати прогноз щодо стану елементів та інтенсивності трафіку в контрольних точках мережі.

На основі вектору вихідних сигналів другого рівня еталонної моделі формується вектор прогнозу працездатності АС $Y_{asi}(y_{asi}, a, t_k, t)$ на майбутні періоди. Модуль «оптимального адміністратора» використовує розроблений метод оптимального управління для приведення АС у бажаний стан t_k з мінімальним затратами управляючого ресурсу. Тут номінальні значення цільових показників якості QoS (і деяких інших) параметрів вводяться як компоненти (скалярні функції) у вектор оптимальних управлінь u_{opt} , після одноразово вирішується задача оптимізації – пошуку глобального екстремуму $u_{opt_i} = \min_{y, \theta} I_{\Gamma} [Y_{asi}(y_{asi}, a, t_k, t), t]$. В процесі подальшого функціонування мережі проводиться стеження за екстремумом і «підстроювання» під нього при виникненні відхилень параметрів системи управління a .

Паралельно з адміністратором, що має стандартну кваліфікацію і досвід роботи, ті ж завдання вирішує експертна система, оптимальна в сенсі мінімізації заданих цільових функціоналів, – «оптимальний адміністратор». Ця система, як і адміністратор, отримує інформацію про стан мережі і прогноз працездатності. Мінімізуючи цільовий функціонал, виробляється оптимальне управління, на основі якого, за допомогою бази знань, формується стратегія управління. База знань повинна містити набір правил щодо оптимальних стратегій управління $\{Y_{as_i}, u_{opt_i}, Y_{as_i}^{S_1}, Y_{as_i}^{S_2}\} \Rightarrow \{U_{optij}^p\}$, які необхідно приймати в ситуації, що склалася.

Концептуальна структура експертної системи заснована на виявленні понятійної структури мережі, її елементів, параметрів та можливих станів за допомогою парадигми концептуального аналізу та принципів побудови ієрархії понять. База знань побудована за продукційною моделлю та містить інформацію про оптимальні стратегії управління мережею відповідно до бажаного стану АС та мінімуму управляючих дій. Модуль робочої пам'яті містить інформацію щодо поточного стану системи та прийнятих рішень. Засіб пояснення рішення надає адміністратору мережі список правил, використаних в процесі логічного виведення стратегії оптимального управління, що дозволяє підвищити довіру до триманого результату. Машина логічного виведення базується на декларативних мовах програмування. В якості експертів, що наповнюють базу знань можуть виступати: фахівці фірм-виробників мережного обладнання; досвідчені адміністратори або група адміністраторів мережі; користувачі – замовники послуг. Рішення, вироблені експертною системою, розглядаються як еталонні і надаються операторові, забезпечуючи інтелектуальну підтримку в ухваленні рішення і автоматизоване навчання.

Адміністратор на основі інформації про поточний і прогнозований стан ККМ, рекомендації щодо оптимальних управляючих дій, формує стратегію управління та реалізує її за допомогою модуля реалізації управляючих дій у вигляді команд відповідних протоколів $\{U_{pij}\}$.

В якості експертів, що наповнюють базу знань можуть виступати:

- фахівці фірм-виробників мережного обладнання;

- досвідчені адміністратори або група адміністраторів мережі;
- користувачі – замовники послуг.

Адміністратор дійсно управляє ККМ, а рішення, вироблені експертною системою, розглядаються як еталонні і надаються операторові, забезпечуючи інтелектуальну підтримку в ухваленні рішення і автоматизоване навчання.

Для оцінки якості роботи адміністратора у базі даних фіксуються оптимальні управління (вироблені експертною системою), управляючі дії адміністратора, стани мережі.

Перевагою такої системи є відповідність прогнозно-оптимізаційного механізму дії «оптимального адміністратора» і загальних психофізіологічних моделей професійної діяльності оператора в системі людина-машина. Це дозволяє значно підвищити ефективність управління великими ККМ.

На етапі формування і вибору стратегії управління доцільно використовувати експертну систему.

Експертна система, яка містить знання фахівців (досвідчених адміністраторів, експертів фірм виробників і тощо) у формі бази знань, і здатна частково замінити (або служити інтелектуальною підтримкою) адміністратора ККС в процесі формування та вибору стратегії управління мережею.

Технологія ЕС надає ряд переваг, які дозволяють застосовувати такі системи для задач управління ККС. Серед них можна відзначити здатність приймати рішення в умовах невизначеності і обґрунтовувати результат рішення. Крім того, ЕС дають можливість поповнювати базу знань в процесі роботи аналізувати ефективність попередніх рішень, щоб враховувати помилки адміністратора ККС в подальшому.

На рис. 7.12 представлено структуру експертної системи оптимального управління комп'ютерною мережею, яка є одним з модулів ІТ управління комп'ютерною мережею.

Концептуальна структура заснована на виявленні понятійної структури предметної галузі за допомогою парадигми концептуального аналізу та принципів побудови ієрархії понять. Бази знань побудована за продукційною моделлю та

містять інформацію про оптимальні стратегії управління комп'ютерною мережею. Модуль робочої пам'яті містить інформацію щодо поточного стану системи та прийнятих рішень. Засіб пояснення рішення надає адміністратору мережі список правил, використаних в процесі логічного виведення стратегії оптимального управління, що дозволяє підвищити довіру до триманого результату. Машина логічного виведення базується на декларативних мовах програмування.

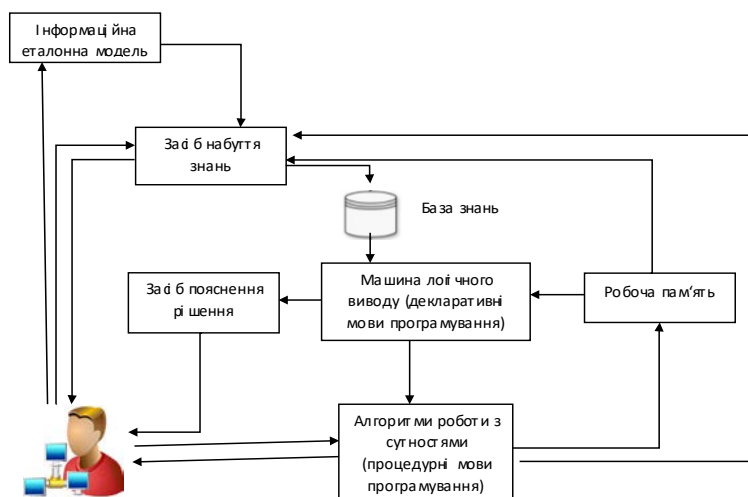


Рис. 7.11. Структура експертної системи оптимального управління комп'ютерною мережею

ЕС для управління ККС є повинні бути динамічними або квазідинамічними системами, що дозволяють вирішувати завдання оптимального управління в умовах, що змінюються в часі вихідних даних і знань. Структура таких ЕС складається з восьми модулів

Механізм логічного висновку (МЛВ) призначений для отримання нових фактів на основі зіставлення вихідних даних з робочої пам'яті і знань з бази знань. Ця компонента реалізується програмно і забезпечує методологію для міркування про інформацію в БЗ і в робочій області, а також для формулювання висновків.

У робочій пам'яті зберігаються проміжні дані про розв'язуваної в поточний момент завдання. Вони можуть розміщуватися в оперативній пам'яті ЕОМ і відображають поточний стан мережі у вигляді фактів з коефіцієнтами впевненості в істинності цих фактів (для ЕС, що працюють в умовах невизначеності).

Цінність всієї ЕС як закінченого продукту на 90% визначається якістю створеної БЗ. БЗ ЕС містить факти (статичні відомості про ККС - структура,

активні мережеві елементи, основні параметри) і правила - набір інструкцій, застосовуючи які до фактів можна отримувати нові факти.

Підсистема придбання і поповнення знань автоматизує процес наповнення ЕС знаннями, здійснюваний користувачем-експертом, і адаптації бази знань системи до умов її функціонування. Адаптація експертної системи до змін в предметній області реалізується шляхом заміни правил або фактів в базі знань.

Підсистема пояснення важлива для адміністратора ККС, оскільки аргументує прийняте рішення набором використаних знань. Це підвищує довіру до отриманого результату і дозволяє, при необхідності, коригувати БЗ. Можливість пояснювати свої дії є одним з найбільш важливих властивостей ЕС.

Підсистема діалогу реалізує інтерфейс з адміністратором. Системи взаємодії із зовнішнім світом (датчики) і моделювання зовнішнього світу реалізують збір даних про мережу та прогнозування стану в тому випадку, якщо зазначені функції не винесені за рамки ЕС.

Адміністратор ККС експлуатує ЕС в режимі консультацій, тобто отримуючи рекомендації про необхідні дії в поточній ситуації.

Використання ЕС як інтелектуальної підтримки адміністратора, як особи, що приймає рішення, може значно підвищити ефективність експлуатації ККС.

Для опису знань про структуру та параметри ККМ може бути використана фреймова модель подання знань, оскільки остання дозволяє організувати чітку ієрархію класів та наслідування властивостей, що важливо для комунікаційного обладнання. Абстрактна структура фреймової моделі опису знань про ККМ показана на рис. 7.12.

Метод на основі теорії інформації [18, 19]. Підхід є математичною основою багатьох методів (критерій релевантності; ROC-аналіз (Receiver Operator Characteristic) і ін.). Ентропія системи може розглядатися як міра «структурованості» деякого стану або міра «віддаленості» структури одного стану від структури іншого. Саме цей підхід і покладений в основу розглянутого в [18] методу розпізнавання стану ДС на основі спеціальної інформаційної метрики. Час

і ефективність рішення задачі розпізнавання суттєво залежить від способу обліку градацій квантування часового ряду (як ознак).

Структура фрейму «Моніторинг»

Ім'я слоту	Значення слоту	Домен	Дескриптор
Слот 1: IP адреса пристрою	Мережна адреса	Звернення до пристрою за IP адресою	В разі виконання умови, передача керування у слот 2
Слот 2: ID пристрою	Ідентифікатор пристрою	Опитування пристрою за вказаним ID	В разі виконання умови, передача керування у слот 3
Слот 3: OID по MIB	Ідентифікатор параметру контролю	Зчитування параметрів за вказаним OID	
Дескриптор: зібрати інформацію за всіма OID			

Рис. 7.13. Абстрактна структура фреймової моделі опису знань про ККМ

Загальна методика використання інформаційних технологій при управлінні корпоративними комп'ютерними мережами представлена на рис. 7.13.

Для оцінки ефективності запропонованого управління було проведено моделювання корисної пропускної здатності автономного сегмента з управлінням та без управління. Отримані результати дозволяють зробити висновок, що застосування запропонованого управління дозволяє підвищити ефективність ККМ в сенсі збільшення рівня корисної пропускної спроможності каналів зв'язку автономного сегмента в середньому на 9% (таблиця 7.1, рис. 7.14).

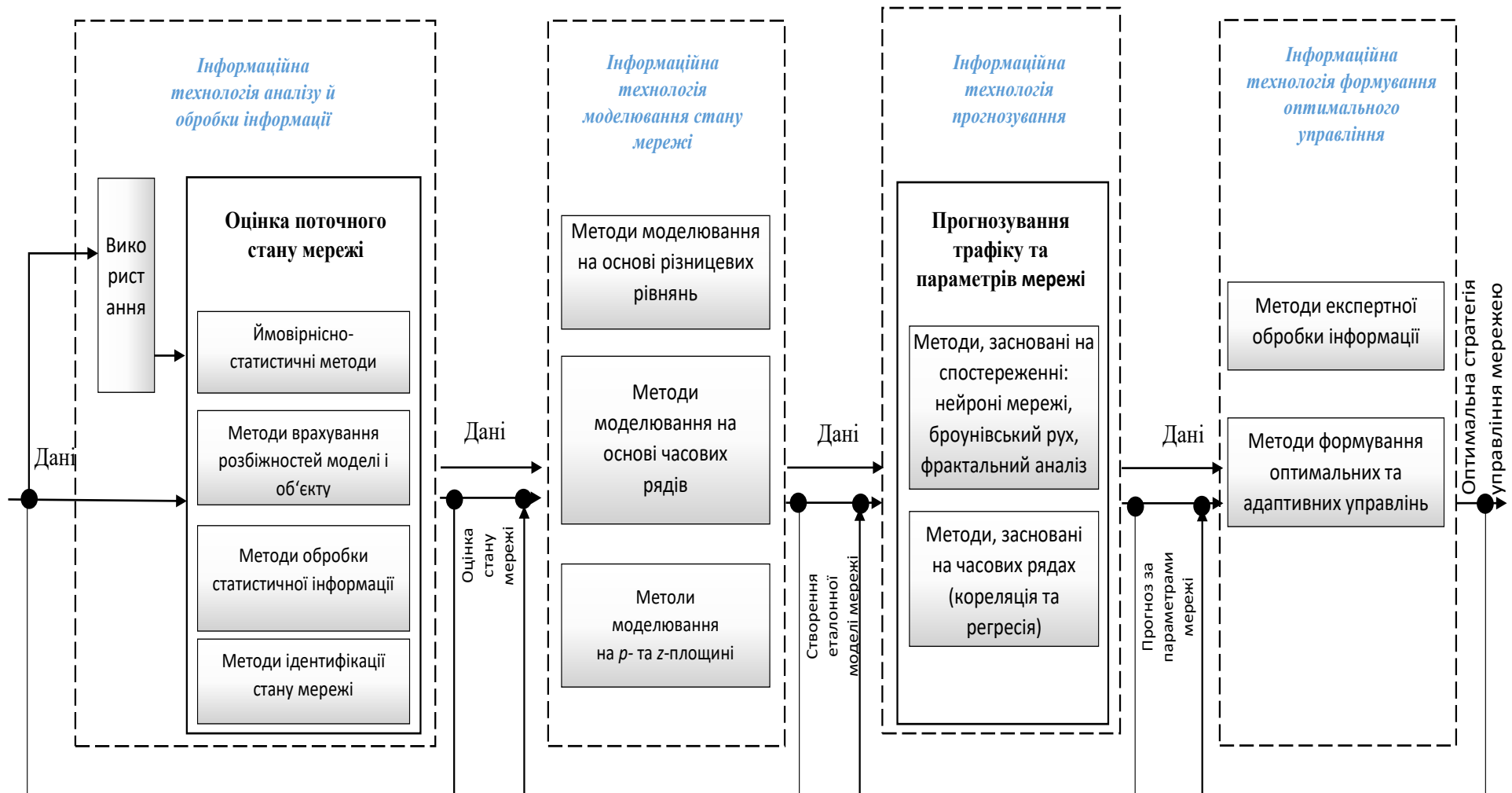


Рис. 7.13. Методика використання інформаційних технологій при управлінні корпоративними комп'ютерними мережами

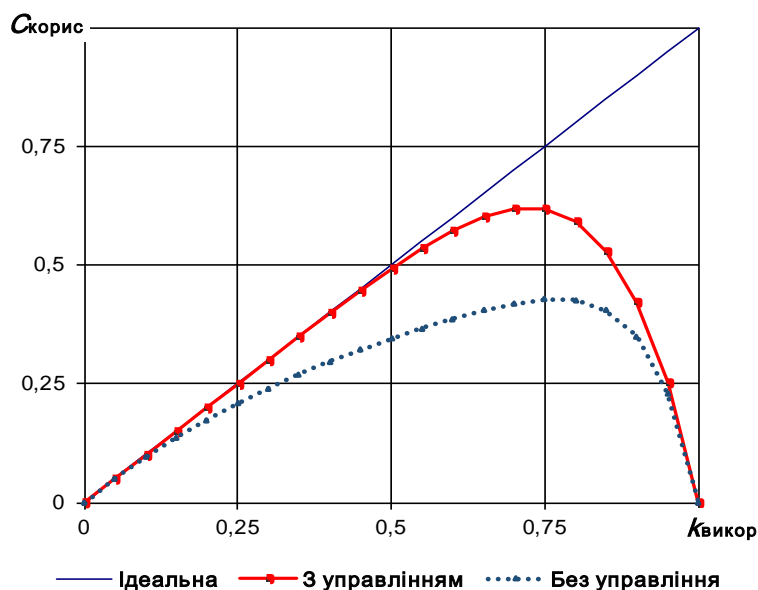


Рис. 7.14. Графік залежності відносної пропускної здатності мережі від коефіцієнту завантаження

Таблиця 7.1

Корисна пропускна здатність мережі

Коефіцієнт використання, $k_{викор}$	Корисна пропускна здатність мережі, $S_{корисна}$			Ефективність управління, $S_{корисна_з_управл} - S_{корисна_без_управл}$
	Ідеальна	З управлінням	Без управління	
0	0	0	0	0
0,05	0,05	0,049999999	0,05	-7,8E-10
0,1	0,1	0,09999999	0,095238	0,004762
0,15	0,15	0,149998291	0,136364	0,013635
0,2	0,2	0,1999872	0,173913	0,026074
0,25	0,25	0,249938965	0,208333	0,041606
0,3	0,3	0,2997813	0,24	0,059781
0,35	0,35	0,349356607	0,26923	0,080127
0,4	0,4	0,3983616	0,296291	0,10207
0,45	0,45	0,446263305	0,321406	0,124857
0,5	0,5	0,4921875	0,344743	0,147444
0,55	0,55	0,534775648	0,366386	0,16839
0,6	0,6	0,5720064	0,386254	0,185752
0,65	0,65	0,600977721	0,403939	0,197038
0,7	0,7	0,6176457	0,41837	0,199275
0,75	0,75	0,616516113	0,427202	0,189315
0,8	0,8	0,5902848	0,425728	0,164557
0,85	0,85	0,529422912	0,405053	0,12437
0,9	0,9	0,4217031	0,349088	0,072615
0,95	0,95	0,251662704	0,22982	0,021843
1	1	0	0	0
Середня ефективність				0,091596

7.4. Висновки до розділу 7

1. Розроблено модель процесів управління мережею, яка базується на застосуванні марковського ланцюга та враховує чотири стани мережі. Сукупність станів елементів системи в деякий момент характеризує стан системи в цей момент. Зміна стану елементів дозволяє оцінити динаміку стану системи.

2. Отримано вирази для безумовної ймовірності стану мережі в одному з чотирьох станів: працездатний; перевантаження; тимчасова (плаваюча) відмова; повна відмова. Отримані вирази дозволяють оцінити стан системи у будь-який момент часу за допомогою матриці станів.

3. Розроблений метод оцінки ефективності системи управління розподіленою комп'ютерною мережею, який враховує чотири стани мережі: працездатний; перевантаження; тимчасова (плаваюча) відмова; повна відмова. В якості умовного критерію ефективності визначає ймовірність знаходження системи управління в області стійкості, що дозволяє оцінити якість роботи системи управління.

4. Отримано вираз для умовного критерій ефективності системи управління, що враховує коефіцієнт бітових помилок, інтервал часу доставки даних, ступінь захисту мережі. Використовуючи загальний критерій ефективності, можна отримати часткові критерії, наприклад, для показника ефективності мережі, по якій доставляються повідомлення довільної довжини, можна встановити в якості умовного критерію ймовірність передачі без втрат.

5. Отримано коефіцієнт ефективності системи управління мережею, який оцінюється по її впливу на продуктивність мережі та враховує ефективність мережі з працездатною системою управління та без системи управління. Оцінка впливу системи управління мережею на ефективність мережі як об'єкта функціонування управління розраховується за ймовірністю станів системи управління.

6. На основі аналізу професійної діяльності адміністратора представлено психофізіологічну неформалізовану та прогнозно-оптимізаційну модель

діяльності адміністратора ККМ, яка дозволяє побудувати модель обробки інформації адміністратором в процесі управління мережею.

7. Розроблено загальну методику використання інформаційних технологій при управлінні ККМ, яка включає інформаційні технології аналізу і обробки інформації, моделювання стану мережі, прогнозування та формування оптимального управління.

8. Розроблено узагальнену структурну схему інформаційної технології управління ККМ, яка базується на застосуванні еталонної моделі стосовно до ККМ, що дає можливість підвищити точність прогнозу стану мережі і відповідно знизити ризик невірних рішень та втрат сталості мережі як об'єкту управління.

9. Запропоновано структуру експертної системи оптимального управління комп'ютерною мережею, яка заснована на виявленні понятійної структури предметної галузі за допомогою парадигми концептуального аналізу та принципів побудови ієрархії понять. Бази знань побудована за продукційною моделлю та містять інформацію про оптимальні стратегії управління комп'ютерною мережею і слугує інтелектуальною підтримкою при прийнятті рішень людиною-адміністратором.

Список використаних у цьому розділі джерел

1. ITU-T X.700 <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?id=3051>
2. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб: Питер, 2010. – 944 с.
3. RFC 3418 <https://tools.ietf.org/html/rfc3418>
4. Бигелоу С. Сети: поиск неисправностей, поддержка и восстановление: Пер. с англ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1200 с.
5. Gendreau M., Potvin J.-I. Handbook of Metaheuristic. – Second Edition. – Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2010. – 668 pp.
6. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 5-е изд. / Э.Таненбаум, Д. Уэзеролл. – СПб.: Питер, 2012. – 960 с.

7. Віноградов М.А., Савченко А.С. Концепція управління корпоративною комп'ютерною мережею на основі психофізіологічних механізмів професійної діяльності людини / Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку: зб. наук. праць. – К.: УНДІЗ, 2013. – Вип. 3(27). – С. 5-14.

8. HPE One View [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.hpe.com/us/en/integrated-systems/software.html> - date of the application 15.07.2018 p.

9. Göransson P. Software Defined Networks: A Comprehensive Approach. Second Edition / Paul Göransson, Chuck Black, Timothy Culver - Elsevier, 50 Hampshire Street, 5th Floor, Cambridge, MA 02139, United States, 2017. - 409 pp.

10. Architecture SDN [Electronic resource] // Open Networking Foundation. – [2014]. – Mode of access: <https://www.opennetworking.org/> - date of the application 28.07.2018 p.

11. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks [Electronic resource] // Open Networking Foundation. – [2012]. – Mode of access: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/whitepapers/wp-sdn-newnorm.pdf>.

12. C. A. Floudas and P. M. Pardalos (Eds.) Encyclopedia of Optimization Second Edition / Springer Science+BusinessMedia, LLC, 2009. - 4626 pp.

13. Ralph E. Steuer. Multiple criteria optimization; theory, computation, and application / Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics - Wiley, 1986, 546 pp

14. Gendreau M., Potvin J.-I. Handbook of Metaheuristic. – Second Edition. – Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2010. – 668 pp

ВИСНОВКИ

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему в галузі інформаційних технологій: підвищення ефективності функціонування корпоративних комп'ютерних мереж у сенсі збільшення корисної пропускної здатності при фізичних обмеженнях на мережний ресурс в системах з нестаціонарними потоками, засобами сучасних інформаційних технологій з використанням нових методів розподіленого управління наявними мережними ресурсами, що дозволить, за рахунок зменшення числа повторних передач внаслідок втрат пакетів навіть на одиниці відсотків у масштабах глобальної інформаційної системи, значно скоротити витрати на забезпечення функціонування мережі.

При цьому отримані такі нові результати:

1. Проведене дослідження сучасного стану проблеми управління ККМ в умовах нестаціонарних потоків вимог показало, що існуючі методи не враховують в комплексі всі особливості управління комп'ютерними мережами, як складними стохастичними системами, зокрема: розподіленість інфраструктури, наявність повної та достовірної інформації про стан та параметри мережі, затримки доставки сигнальної та управляючої інформації, оптимальність вироблених управляючих впливів та мінімальність витрат ресурсу (мінімум службової управляючої інформації), що є необхідною умовою забезпечення ефективного функціонування корпоративних комп'ютерних мереж.

Описано переваги розподіленого методу управління ККМ, яке передбачає створення ієрархічної структури управління мережею, що дозволить скоротити час затримки сигнальної та управляючої інформації, а також знизити вимоги щодо обчислювальної потужності управляючих вузлів. Недоліком такого підходу може бути втрата цілісності картини щодо стану мережі та, відповідно, глобального оптимуму управління.

Сформульовано завдання управління ККМ: виходячи з поточного стану мережі визначення оптимальних управляючих дій для досягнення бажаного стану мережі (цільових показників QoS) для різних сервісів. Виходячи з поставленого

завдання запропоновано розробити інформаційну технологію, яка дозволяє завдяки ідентифікації, прогнозуванню, вибору оптимальної стратегії управління, дає можливість досягнення цільових показників QoS для різних сервісів при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації) необхідних для цього.

2. Запропоновано удосконалений метод аналізу статистичних характеристик та моделі потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією) потоків, сумарних та проріджених потоків, які завдяки урахуванню самоподібності сучасного трафіка та використанню диференціальної ентропії відповідних розподілів, дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу та відповідно налаштовувати параметри регуляторів системи управління.

Аналіз особливостей функціонування корпоративних комп'ютерних мереж, дозволив виділити чотири основні групи потоків вимог: від незалежного джерела, сумарні, проріджені і марковані. Потік вимог від незалежного джерела характеризується значною неоднорідністю – на тлі невеликого середнього значення спостерігаються нетривалі сплески значно більшої інтенсивності. Обґрунтовано, що адекватною моделлю такого потоку є модель із самоподібними властивостями. Для сумарного потоку за рахунок підсумовування великого числа складових, притаманне деяке згладжування неоднорідності – на тлі підвищення середнього значення викиди стають менш помітні. Характеристики збігаються до простого потоку. Характеристики рідіючих потоків залежать від ступеню прорідження та характеристик початкового потоку.

Для прогнозування мережного трафіку та стану мережних елементів Запропоновано використовувати метод апроксимації Паде, який на відміну від поліноміальної апроксимації, при якій поліном не може мати горизонтальної асимптоти, прагне до горизонтальної асимптоти (при цьому, звичайно, усі полюси дробово-раціональної функції повинні лежати у лівій частині p -площини, тобто площини перетворення Лапласа).

3. Розроблено метод оптимального управління комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з використанням інформаційної функції втрат дає можливість знаходити оптимальні управління для складеної мережі в реальному часі, причому обчислювальна складність запропонованого методу в два рази нижча порівняно з використанням класичних функціоналів.

При реалізації методу для складного завдання управління ККМ прогноз визначається чисельними методами в прискореному часі (за допомогою імітаційної прогнозуючої моделі), і чисельним шляхом реалізується алгоритм. Для визначення компонентів градієнта (часткових похідних) використовується метод синхронного диференціювання, який є найпростішим в сенсі обчислювальної складності при чисельному диференціюванні функціонала за багатьма змінними. Аналіз обчислювальної складності запропонованого алгоритму доводить його перевагу відносно класичних методів оптимального управління при збільшенні кількості інтерпольованих функцій.

4. Розроблено метод управління сталістю системи, який завдяки монотонно-повільному поверненню особливих точок (поліосів) передатної функції в область сталості забезпечує зменшення варіабельності перехідних процесів у системі управління та дозволяє забезпечувати стійкий стан системи при випадкових затримках сигнальної та управляючої інформації і дозволяє підвищити якість перехідних процесів у системі управління в середньому на 16%.

Для урахування затримок сигнальної та управляючої інформації у ККМ використано метод на основі різницевих рівнянь з аргументом, що відхиляється. Асимптотичну стійкість об'єкту управління досліджено через перехідні характеристики за різних значень затримки сигнальної, управляючої інформації, та коефіцієнтах зворотного зв'язку. При незначній затримці інформаційного сигналу ($k=2$) система залишається стійкою в широкому діапазоні значень коефіцієнта зворотного зв'язку до значення $|b_i| \leq 0,8$. При збільшенні затримки сигналу ($k=6, 12$) стійкість системи спостерігається тільки при малих значеннях коефіцієнта зворотного зв'язку $|b_i| \leq 0,2$ і $|b_i| \leq 0,1$ відповідно.

5. Запропоновано удосконалену математичну модель у вигляді передаточної функції мережного вузла як керованого об'єкту, яка, на відміну від відомих, враховує наявність затримок сигнальної і управляючої інформації, що забезпечує оптимальний вибір постійної часу реакції керованого об'єкта, що дозволяє уникнути локального перерегулювання та забезпечити достатній ресурс стійкості системи. Досліджені параметри системи управління для різних параметрів мережного трафіку (зокрема, трафіку Triple / Quadruple Play з самоподібними властивостями) і з різними випадковими похибками і спотвореннями. Для забезпечення глобальної стабільності системи управління були спеціально підібрані коефіцієнти зворотного зв'язку.

6. Запропоновано удосконалений метод передачі сигнальної та управляючої інформації, який завдяки визначенню оптимальної розподіленої ієрархічної структури управління та здійсненню транспорту управляючої інформації в автономному сегменті на каналному рівні, дозволяє скоротити час доставки службової інформації на 25%.

При визначенні оптимальної розподіленої ієрархічної структури управління на першому етапі – попереднього планування – визначаються найбільш загальні властивості мережі, зокрема, число і специфіка сервісів, параметри конфігурації мережі тощо. На другому етапі робиться огляд зони можливого розміщення комутаторів, прив'язка до реальної мережі, вибір методики розрахунку втрат при передачі, розрахунок мережного ресурсу. На підставі цих даних і обраної моделі передачі плануються параметри комутаторів. Грунтуючись на географії мережі і ресурсі каналу, можна оцінити різні можливості створення мережного сегмента при використанні алгоритму оптимізації. Цільова функція являє собою комбінацію досяжної площі функціонування при QoS не менше заданого, оптимальної пропускної здатності при обмеженнях на витрати. На третьому етапі проводиться налаштування та узгодження параметрів і структури мережі за результатами тестування кожного комутатора.

Для скорочення часу затримки службової інформації, управління в автономному сегменті, визначеної оптимальної розподіленої ієрархічної

структури, запропоновано реалізовувати на каналному рівні за допомогою абстрактного модуля, який виконує команди системи управління шляхом зазначення ідентифікатора об'єкта (OID) в МІВ-базі та відповідних дій, які необхідно виконати (наприклад, змінити ширину смуги пропускання, збільшити обсяг буферної пам'яті для порту, вимкнути порт, накласти обмеження для певних ІР-адрес шляхом класифікації трафіка тощо).

7. Розроблено метод оцінки ефективності системи управління розподіленою комп'ютерною мережею, який в якості умовного критерію ефективності визначає рівень бітових помилок та затримок пакетів, що дозволяє оцінити якість роботи системи управління по її впливу на продуктивність мережі.

Як умовний критерій ефективності управління мережею при вирішенні задачі доставки трафіку на заданому маршруті доцільно обрано ймовірність того, що в заданому інтервалі часу ΔT_d мережа матиме заданий допустимий рівень бітових помилок (*BER*). Ефективність управління ККМ оцінюється по впливу на продуктивність мережі і визначається відношенням критерію ефективності мережі з управлінням до критерію ефективності мережі без управління.

8. Розроблено інформаційну технологію управління корпоративною комп'ютерною мережею, яка за рахунок етапів ідентифікації, прогнозування, вибору оптимальної стратегії управління стосовно до великої інформаційно-обчислювальної мережі з різноманітним обладнанням (складеної мережі), різними фізичними каналами доставляння даних, дає можливість досягнення цільових показників QoS для різних сервісів при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації) необхідних для цього.

На початковому етапі роботи інформаційної технології формується вектор стану АС і передається в дворівневу *i*-у еталону модель. Перший рівень відповідає за стан кожного елемента мережі окремо, другий – за загальний стан АС ККМ. При зборі статистики враховуються розбіжності параметрів АС та стану еталонної моделі. Модуль ідентифікації на основі вектору поточного стану мережі визначає приналежність до одного з чотирьох станів. На основі вектору вихідних сигналів другого рівня еталонної моделі формується вектор прогнозу працездатності АС.

Для приведення АС у бажаний стан з мінімальним затратами управляючого ресурсу номінальні значення цільових показників якості QoS (і деяких інших) параметрів вводяться як компоненти у вектор оптимальних управлінь, після чого одноразово вирішується задача оптимізації – пошуку глобального екстремуму. В процесі подальшого функціонування мережі проводиться стеження за екстремумом і «підстроювання» під нього при виникненні відхилень параметрів системи управління. База знань побудована за продукційною моделлю та містить інформацію про оптимальні стратегії управління мережею відповідно до бажаного стану АС. Адміністратор на основі інформації про поточний і прогнозований стан ККМ, рекомендації щодо оптимальних управляючих дій, формує стратегію управління та реалізує її за допомогою модуля реалізації управляючих дій у вигляді команд відповідних протоколів. Для аналізу ефективності управління у базі даних фіксуються оптимальні управління (вироблені експертною системою), управляючі дії адміністратора, стани мережі.

Експериментальним шляхом доведено, що застосування запропонованої інформаційної технології управління дозволяє підвищити ефективність ККМ в сенсі збільшення рівня корисної пропускнуєї спроможності каналів зв'язку автономного сегмента в середньому на 9%.

9. Практичне значення отриманих результатів визначається тим, що запропоновані моделі і методи є науково-методологічною основою для розробки інформаційної технології створення систем управління ККМ з використанням нових методів розподіленого управління наявними мережними ресурсами в умовах затримки сигнальної та управляючої інформації.

Розроблено алгоритмічне забезпечення відповідно до методу аналізу статистичних характеристик трафіку для потоків вимог різнорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією), сумарних та проріджених, яке дозволяє отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу (довжина черги, завантаженість буферної пам'яті тощо), що підтверджено актом впровадження в ТОВ «Об'єднання ЮГ» .

Розроблено алгоритмічне забезпечення відповідно до методу управління сталістю системи, яке дозволяє переводити систему до стійкого стану шляхом розрахунку та застосування нових коефіцієнтів зворотного зв'язку, при яких системи залишається стійкою, що підтверджено актом впровадження у дата-центрі ТОВ «Об'єднані мережі України».

Розроблено алгоритмічне забезпечення відповідно до моделі мережного вузла, як керованого об'єкту, яке дозволяє розраховувати оптимальне значення часу реакції мережного вузла залежно від часу затримки доставки даних, що підтверджено актом впровадження в ТОВ «Об'єднання ЮГ».

Запропоновані «Система управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82963, 27.08.2013 р.) та «Спосіб управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82964, 27.08.2013 р.) впроваджені шляхом інтеграції їх з системою управління корпоративною мережею і дають можливість оптимального перерозподілу ресурсів комутаційного обладнання для забезпечення показників якості обслуговування (QoS) різних типів мережних сервісів, що підтверджено актом впровадження у Національне бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами.

Розроблено алгоритмічне забезпечення відповідно до інформаційної технології управління мережею та методу оптимального управління дає можливість досягнення заданого рівня якості обслуговування при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації) необхідних для цього, що підтверджено актами впровадження у ПАТ «Укртелеком», дата-центрі ТОВ «Об'єднані мережі України», ТОВ «Головне підприємство обробки польотних даних».

Результати дисертаційної роботи пропонується використовувати науково-дослідним організаціям, підприємствам та телекомунікаційним операторам, дата-центрам України, країн СНД і інших країн при побудові вискоелективних корпоративних комп'ютерних мереж та їх систем управління, а також для підвищення ефективності існуючих мереж.

Статистичні характеристики досліджуваного мережного трафіку

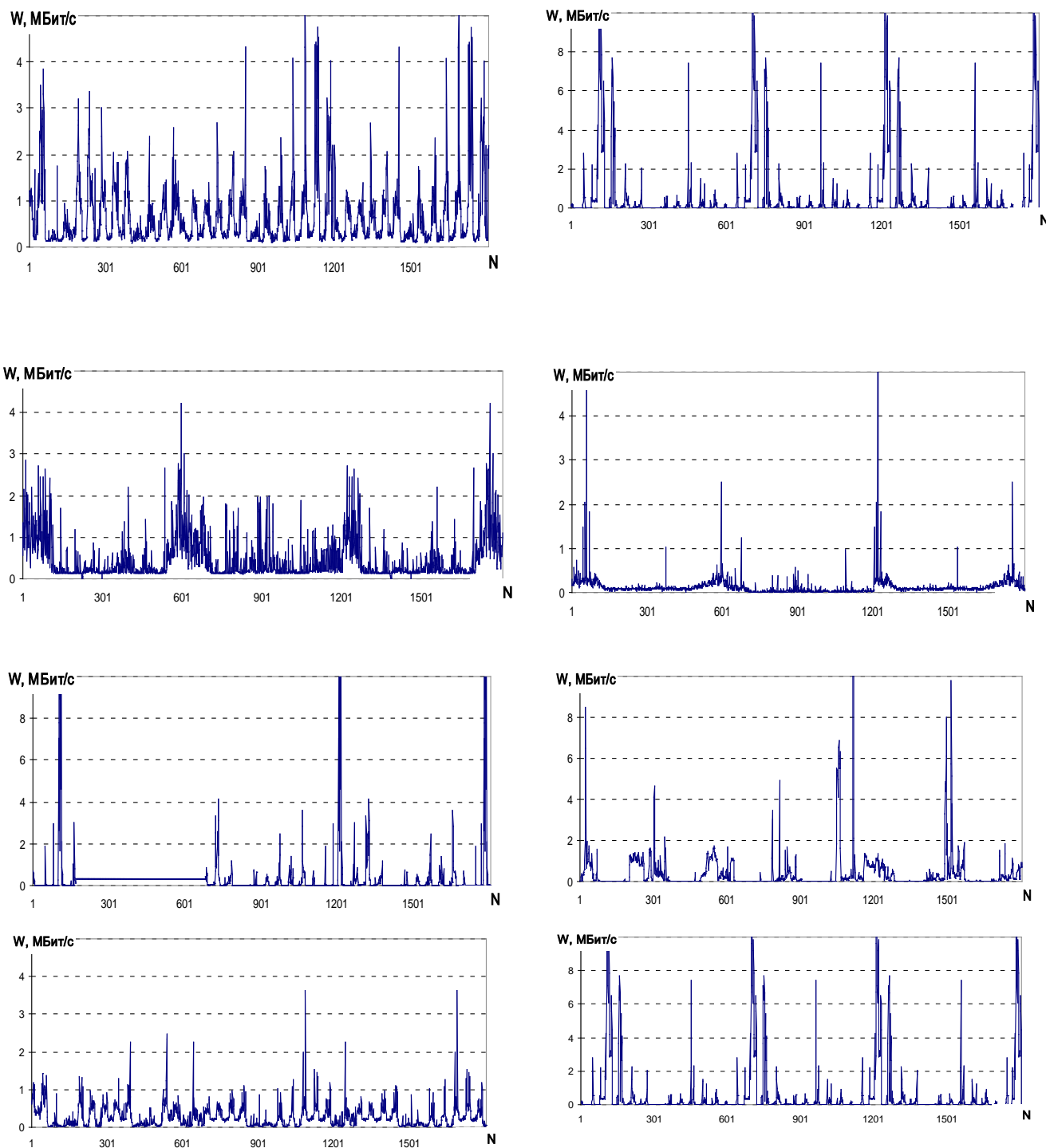


Рис. 1. Графік залежності інтенсивності трафіка від часу

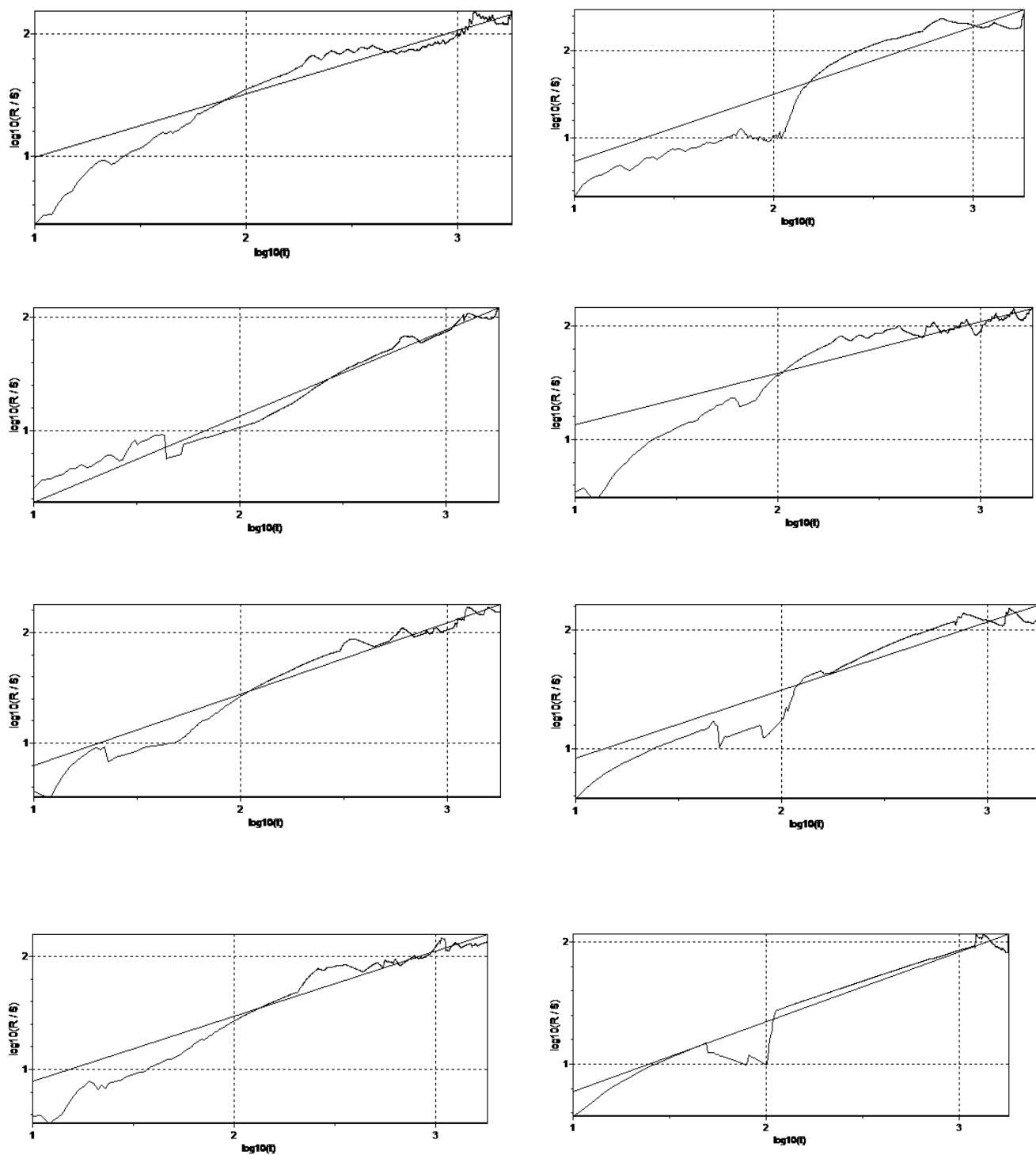


Рис. 3.2. Графік R/S статистики досліджуваних рядів

Основні статистичні характеристик досліджуваних реалізацій

Реалізація/ характеристика	Середнє значення, ГБіт/сек	σ , ГБіт/сек	N	H
MH_5i	0,472	0,525	1806	0,9760
MH_5o	0,135	0,441	1806	0,9646
MP_30i	0,671	0,731	1806	0,5146
MP_30o	0,279	0,304	1806	0,5669
IC_5i	0,490	1,500	1806	0,7886
IC_5o	0,414	1,350	1806	0,7492
IT_30i	0,434	1,910	1806	0,7315
IT_30o	0,645	2,150	1806	0,7984

Вхідні змінні по групах

Група Interface:

- iftable.ifentry. If InUcastPkts - кількість пакетів, доставлених на верхній системний рівень (unicast);
- iftable.ifentry. IfInNucastPkts - кількість пакетів, доставлених на верхній системний рівень (nonunicast);
- iftable.ifentry.IfOutUcastPkts - кількість unicast-пакетів, отриманих з верхнього системного рівня;
- iftable.ifentry.IfOutNucastPkts - кількість мультікастинг- і широкомовних пакетів, отриманих з верхнього системного рівня;
- iftable.ifentry.IfInDiscads - кількість отриманих, але відкинутих пакетів;
- iftable.ifentry. IfInlInknownProtos - кількість отриманих пакетів з невідомим кодом протоколу;
- iftable.ifentry. IfOutDiscads - Кількість відкинутих пакетів з числа відправлених.

Група Ip:

- IpInlInknownProtos - кількість вхідних IP-дейтограмм, з кодами протоколів, що не підтримуються даною системою;
- IpInReceives - Загальна кількість IP-дейтограмм, у тому числі отримані з помилкою;
- IpReasmReqds - кількість отриманих фрагментів, які вимагають складання;
- IpInDelivers - кількість IP-дейтограмм, прийнятих без помилок (включаючи ICMP);
- ipReasmOKs - кількість отриманих і успішно зібраних IP-дейтограмм;
- IpInHdrErrors - кількість вхідних IP-дейтограмм з помилками в заголовку пакета, включаючи ошібкі контрольної суми, TTL і ТОЩО;
- Група Icmp:
- IcmpInMsgs - кількість отриманих ICMP-пакетів;
- IcmpOutDestUnreachs - кількість ICMP-повідомлень про недоступність адресата;
- IcmpOutSrcQuench - кількість надісланих ICMP-повідомлень про зменшення потоку пакетів;
- IcmpOutMsgs - кількість відправлених ICMP-повідомлень.

Група Udp:

- UdpInDatagrams - кількість прийнятих UDP-дейтограмм;
- UdpOutDatagrams - кількість відправлених UDP-дейтограмм;
- UdpNoPorts - Загальна кількість UDP-дейтограмм, де не існує додатки для указанно-го номера порту.

Група Tcp:

- TcpInSegs - кількість прийнятих TCP-сегментів;
- TcpOutSegs - кількість відправлених TCP-сегментів;
- TcpRetransSegs - кількість tcp-сегментів з повторною пересилкою;
- TcpOutRsts - кількість сегментів з прапором RST = 1.

Вихідні змінні по групах

Група Interface:

- iftable.ifentry.IfInErrors - кількість помилок при прийомі пакетів;
- iftable.ifentry.IfOutErrors - кількість відправлених пакетів, що містять помилки.

Група Ip:

- IprInAddrErrors - кількість отриманих пакетів з помилкою в адресі.
- Група Icmp:
- IcmpInErrors - кількість ICMP-повідомлень, отриманих з помилками;
- IcmpOutErrors - кількість не відправлених ICMP-повідомлень через проблеми в ICMP (напр., Нестача буферів).
- Група Udp:
- UdpInErrors - кількість UDP-дейтограмм, які не можуть бути доставлені через відсутність додатка через порт.

Група Tcp:

- TcpInErrs - кількість TCP-сегментів, отриманих з помилкою.

Документи, що підтверджують впровадження результатів дисертації



**НАЦІОНАЛЬНЕ БЮРО
З РОЗСЛІДУВАННЯ АвіАЦІЙНИХ ПОДІЙ ТА ІНЦИДЕНТІВ
З ЦИВІЛЬНИМИ ПОВІТРЯНИМИ СУДНАМИ**
NATIONAL BUREAU FOR INCIDENTS AND ACCIDENTS INVESTIGATION OF CIVIL AIRCRAFT

пр. Перемоги 14, м. Київ, 01135, Україна
Тел: +38 044 351 43 23 Факс: +38 044 351 43 33
e-mail: box@nbaai.gov.ua
www.nbaai.gov.ua
Код ЄДРПОУ 38258353

pr. Peremohy 14, Kiev, 01135, Ukraine
Tel: +38 044 351 43 23 Fax: +38 044 351 43 33
e-mail: box@nbaai.gov.ua
www.nbaai.gov.ua

АКТ

**впровадженні результатів дисертаційної роботи
здобувача Савченко Аліни Станіславівни на тему «Методи розподіленого
управління корпоративними комп'ютерними мережами», представленої на
здобутті наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю
05.13.06 – Інформаційні технології, у роботу корпоративної мережі
Національного бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з
цивільними повітряними суднами**

м. Київ

“ 28 ” 09 2020 р

Цим актом підтверджується, що дисертаційна робота Савченко А. С. має наукове та практичне значення для корпоративної мережі Національного бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними і є актуальною в даний час.

Автором здійснено розробку методу оптимального управління корпоративною комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з використанням інформаційної функції втрат дає можливість знаходити оптимальні управління для складеної мережі в реальному часі.

Запропоновані «Система управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82963, 27.08.2013 р.) та «Спосіб управління телекомунікаційною мережею» (патент на корисну модель № 82964, 27.08.2013 р.) були впроваджені в роботу корпоративної комп'ютерної мережі Національного бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами шляхом інтеграції їх з системою управління мережною інфраструктурою корпоративної мережі і дали можливість оптимального перерозподілу ресурсів комутаційного обладнання для забезпечення якості обслуговування (QoS) різних типів мережних сервісів.

Впровадження розробленої системи та способу дозволили підвищити ефективність функціонування корпоративної комп'ютерної мережі Національного бюро з розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами у сенсі підвищення рівня відносної пропускної здатності на 9%, зниження затримок сигналу на 7% та зменшення рівня бітових помилок та втрат пакетів на 11%.

В. о. директора НБРЦА



І.В. Мішарін

Публічне акціонерне товариство «Укртелеком»

Бульвар Т. Шевченка, 10
01061, Київ, Україна
Тел: +380 44 249 27 10
Факс: +380 44 234 25 57



АКТ

вировядження результатів дисертаційної роботи
здобувача Савченко Аліни Статіславівни на тему «Методи розподіленого управління
корпоративними комп'ютерними мережами», представленої на здобуття наукового ступеню
доктора технічних наук,
у роботу корпоративної мережі ПАТ «Укртелеком»

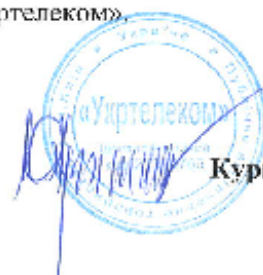
Цим актом підтверджується, що дисертаційна робота Савченко А. С. має наукове та практичне значення для корпоративних мереж ПАТ «Укртелеком» і є актуальною в даний час.

Автором здійснено розробку методу оптимального управління корпоративною комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з використанням інформаційної функції втрат дає можливість розраховувати оптимальні управляючі сигнали для складеної мережі в реальному часі, що зробило можливим практичне використання розробленого методу на існуючому обладнанні.

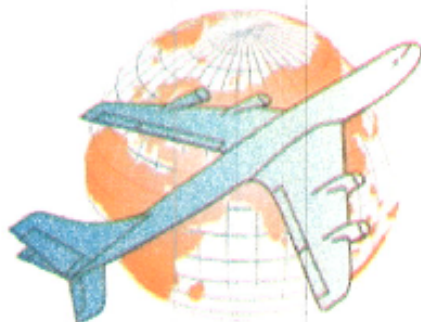
В даній роботі вперше розроблено інформаційну технологію управління мережею на основі методу оптимального управління, яка за рахунок вибору стратегії управління наявними мережними ресурсами дає можливість досягнення заданого рівня якості обслуговування при мінімальних затратах інформаційного ресурсу (мінімум сигнальної та управляючої інформації) необхідних для цього. Очікуваний ефект від впровадження розробленої інформаційної технології управління мережею - підвищення ефективності функціонування окремих сегментів корпоративних мереж у сенсі зниження затримок пакетів на 7%, зменшення рівня бітових помилок та втрат пакетів на 11%.

Отримані результати досліджень Савченко А.С., у вигляді методів розподіленого управління корпоративними комп'ютерними мережами та розроблена інформаційна технологія проходять апробацію у мережах ПАТ «Укртелеком».

Директор ПАТ «Укртелеком»
Кандидат технічних наук



Курмаз Ю. П.



Товариство з обмеженою відповідальністю
**"ГОЛОВНЕ ПИДПРИЕМСТВО ОБРОБКИ
 ПОЛЮТНИХ ДАНИХ"**

Код ЄДРПОУ ЕДРПОУ 43329348
 Адреса для листів:
 Україна, 01032, м. Київ,
 вул. Саксаганського, буд. 133-А тел.
 (068)5496068

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи здобувача
 Савченко Аліни Станіславівни на тему «Методи розподіленого управління
 корпоративними комп'ютерними мережами», подану на здобуття наукового ступеню
 доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології, у роботу
 корпоративної комп'ютерної мережі
 ТОВ «Головне підприємство обробки польотних даних»

м. Київ

« 23 » 10 2020 р.

Цим актом підтверджується впровадження таких результатів дисертаційної роботи
 здобувача Савченко Аліни Станіславівни у роботу корпоративної комп'ютерної мережі
 ТОВ «Головне підприємство обробки польотної інформації».

Автором проведено аналіз сучасного стану проблеми управління корпоративними
 комп'ютерними мережами в умовах нестационарних потоків вимог та аналітичний огляд
 методів управління розподіленими корпоративними комп'ютерними мережами.

Застосування алгоритмічного забезпечення відповідно до розробленого методу
 оптимального управління корпоративною комп'ютерною мережею, який завдяки
 використанню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з
 інформаційною функцією втрат втрат дає можливість знаходити оптимальні управління
 для складеної мережі в реальному часі.

Оцінюваний ефект від впровадження результатів полягає у підвищенні ефективності
 функціонування корпоративної комп'ютерної мережі ТОВ «Головне підприємство
 обробки польотної інформації» в сенсі підвищення рівня відносної пропускної здатності
 на 9%.

Директор

ТОВ «Головне підприємство
 обробки польотних даних»



Мішаріна С.І.



Оренда серверних шаф
Розміщення серверів
Системи зберігання даних
Послуги провайдером
Хмарні технології

Об'єднані мережі України
товариство з обмеженою відповідальністю

WWW.UNITEDDC.NET.UA

Україна, 03110, м. Київ, вул. Солом'янська, 3, оф. 11

АКТ

опровадження результатів дисертаційної роботи

Савченко Аліна Станіславівна

"МЕТОДИ РОЗПОДІЛЕНОГО УПРАВЛІННЯ КОРПОРАТИВНИМИ КОМП'ЮТЕРНИМИ МЕРЕЖАМИ",

представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, у роботу мережової інфраструктури дата-центру ТОВ «Об'єднані мережі України»

Цим актом підтверджується згоровозання таких результатів дисертаційної роботи здобувача Національного авіаційного університету Савченко Аліна Станіславівна у роботу мережової інфраструктури дата-центру ТОВ «Об'єднані мережі України».

1. Результати аналізу стану та перспектив розвитку мережової інфраструктури дата-центру.
2. Впровадження методу оптимального управління комп'ютерною мережею за критерієм узгодженої роботи О. А. Кришчаківки з використанням моделі «оптимального адміністратора». Використання зазначеного методу дає можливість контролю та оптимізації процесів прийняття управлінських рішень адміністратором мережі.
3. Впровадження методу забезпечення стійкості системи управління мережовою інфраструктурою дата-центру.

Очікуваний ефект від впровадження результатів полягає у підвищенні ефективності роботи дата-центру, оперативності та якості в прийнятті рішень технічними персоналом. Завдяки переведенню частини завдань на автоматичну систему управління мережами інфраструктури, очікувана економія коштів складає близько 9%.

Генеральний директор
ТОВ «Об'єднані мережі України»



ідентифікаційний код 3174506
МІІ 31745082606
Тел.: (044) 206 08 11

ТОВ «Об'єднання ЮГ»
04073, м.Київ, гр-т С.Бандери, 21
ЄДРПОУ 24081838
т.ф. +38044-3791312
info@yug.com.ua www.yug.com.ua



Association YUG, Ltd.
21, S.Bandery avenue, City of Kyiv,
UKRAINE 04073 REG ID 24081838
tel +38044-3791312
info@yug.com.ua www.yug.com.ua

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи здобувача Савченко Аліни Станіславівни на тему «Методи розподіленого управління корпоративними комп'ютерними мережами», подану на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології, у роботу корпоративної комп'ютерної мережі ТОВ «Об'єднання ЮГ»

м. Київ

« 12 » 10 20 20 рр.

Цим актом підтверджується впровадження таких результатів дисертаційної роботи здобувача Савченко Аліни Станіславівни у роботу корпоративної комп'ютерної мережі ТОВ «Об'єднання ЮГ».

Здійснено розробку методу оптимального управління корпоративною комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О. А. Красовського з використанням інформаційної функції втрат дає можливість знаходити оптимальні управління для складеної мережі в реальному часі.

Застосування алгоритмічного забезпечення відповідно до розробленого методу аналізу статистичних характеристик трафіку для потоків вимог різкорідного мережного трафіку з маркуванням (пріоритизацією), сумарних та проріджених, дозволило отримувати оцінки прогнозованого навантаження на мережу (довжина черги, завантаженість буферної пам'яті тощо) та відповідно налаштувати комутаційне обладнання.

Застосування алгоритмічного забезпечення, що відповідно до запропонованої математичної моделі мережного вузла, як керованого об'єкту, яка враховує наявність затримок сигнальної і керуючої інформації, дозволяє розраховувати оптимальне значення постійної часу реакції і налаштувати відповідним чином комутаційні вузли третього рівня моделі OSI корпоративної мережі.

Оцінюваний ефект від впровадження результатів полягає у підвищенні ефективності функціонування корпоративної комп'ютерної мережі ТОВ «Об'єднання ЮГ» в сенсі зниження затримок сигналу на 7% та зменшенні рівня бітових помилок і втрат пакетів на 11%.

Генеральний директор
ТОВ «Об'єднання ЮГ»



Поляков В. О.

«ПОГОДЖЕНО»

В.о. проректора з наукової роботи
Національного авіаційного університету Дружинін В. А.

« 10 » 02 2021 р.



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з навчальної роботи
Національного авіаційного університету Полухін А. В.


« 11 » 02 2021 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Савченко Аліни Станіславівни «Методи розподіленого управління корпоративними комп'ютерними мережами», подану на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології, у навчальний процес Національного авіаційного університету.

Комісія у складі: голова – професор кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Воронін Альберт Миколайович, члени комісії: професор кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Віноградов Микола Аполітович, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Холявкіна Тетяна Володимирівна склали даний акт про те, що результати дисертаційної роботи Савченко А. С. «Методи розподіленого управління корпоративними комп'ютерними мережами» впроваджені у навчальний процес та використовуються на кафедрі комп'ютерних інформаційних технологій з 2019-2020 р. при викладанні навчальних дисциплін «Комп'ютерні мережі» загальний обсяг дисципліни 105 годин та «Методи та системи штучного інтелекту» загальний обсяг дисципліни 120 годин.

Назва розділів дисертаційної роботи, що впроваджуються	Форма впровадження	Результати впровадження
1. Методи моніторингу та управління комп'ютерними мережами	Лекції, курсове та дипломне проєктування	Дас пачне представлення про перспективи розвитку методів моніторингу та управління комп'ютерними мережами.
2. Інформаційна технологія управління комп'ютерною мережею із застосуванням методу оптимального адміністратора.	Лекції, лабораторні роботи, курсове та дипломне проєктування	Дозволяє підвищити ефективність управління комп'ютерною мережею за рахунок використання теорії оптимального управління та експертних систем.
3. Рекомендації по оптимальному розподілу елементів системи управління між мережевими елементами.	Лекції, курсове та дипломне проєктування	Покращує розуміння роботи систем управління комп'ютерними мережами та можливостей оптимізації передачі управлінських сигналів.

Голова комісії, професор кафедри комп'ютерних
інформаційних технологій А. М. ВоронінЧлени комісії:
професор кафедри комп'ютерних інформаційних
технологій М. А. Віноградовдоцент кафедри комп'ютерних інформаційних
технологій Т. В. Холявкіна

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної
роботи Державного університету
телекомунікацій

Л.Н. БВРКМАН

«06» 11 2020 р.

АКТ

**про реалізацію результатів дисертаційної роботи
Савченко Аліни Станіславівни
на тему: «Методи розподіленого управління корпоративними
комп'ютерними мережами»
в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій**

Комісія у складі: голови комісії – завідувача кафедри Комп'ютерної інженерії доктора технічних наук, доцента Ткаченко Ольги Миколаївни та членів комісії – завідувача кафедри Інформаційних систем та технологій доктора технічних наук, професора Сторчак Камілія Павлівни, професора кафедри Мобільних та відсоінформаційних технологій доктора технічних наук, доцента Макаренка Анатолія Олександровича

у період з 03 по 06 листопада 2020 року провела роботу по встановленню фактичного використання в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій результатів дисертаційної роботи Савченко Аліни Станіславівни.

На основі поданої дисертаційної роботи та наукових статей комісія встановила, що в навчальному процесі Університету використовуються наступні результати:

– метод оптимального управління комп'ютерною мережею, який завдяки застосуванню модифікованого критерію узагальненої роботи О.А. Красовського з використанням інформаційної функції втрат дає можливість знаходити оптимальні управління для складеної мережі в реальному часі;

– метод управління сталістю системи, який завдяки монотонно-повільному поверненню особливих точок (полосів) передатної функції в область сталості забезпечує зменшення варіабельності перехідних процесів у системі управління та дозволяє забезпечувати стійкий стан системи при випадкових затримках сигналів та управляючої інформації;

– інформаційну технологію управління мережею, яка за рахунок етапів ідентифікації, прогнозування, вибору оптимальної стратегії управління стосовно до великої інформаційно-обчислювальної мережі з різномірним



