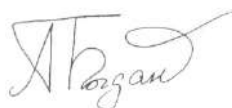


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І
ЗВ'ЯЗКУ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ПУСТОВИЙ БОГДАН ЛЕОНІДОВИЧ



УДК 621.391:681.5

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ В NGN З УРАХУВАННЯМ
САМОПОДІБНОСТІ ТРАФІКУ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

172 – телекомунікації та радіотехніка

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____

Б.П. Пустовий

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник (консультант) Князєва Ніна Олексіївна, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Одеса – 2021

АНОТАЦІЯ

Пустовий Б.Л. Ефективність децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. (172 – Телекомунікації та радіотехніка). – Одеська національна академія харчових технологій, Міністерства освіти і науки України. – Одеса, 2021.

Роботу присвячено оцінці ефективності децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку.

Стрімкий розвиток інфокомунікаційних технологій – один з основних трендів сучасного світу. Вважається, що кожні 2-3 роки відбувається подвоєння кількості інформації, що передається через усі засоби зв'язку. Причиною цього є стрімкий технологічний прорив та попит користувачів на інфокомунікаційні послуги. З'явився попит на сервіси зв'язку з додатковими функціональними можливостями – інтелектуальні сервіси (ІС). У зв'язку зі зростанням попиту на ІС все більш актуальними стають питання ефективного управління (ЕУ) їх наданням. За управління наданням ІС в NGN відповідає інтелектуальна надбудова (ІН).

Дисертаційна робота містить: сутність і стан наукової задачі, обґрунтування актуальності теми дисертації, визначення мети і завдання дослідження, формулювання об'єкту, предмету і методів дослідження, визначення основних елементів наукової новизни, особисто одержаних автором результатів, зазначення зв'язку роботи з науковими планами, темами, дані щодо реалізації, апробації та публікації наукових і практичних результатів дисертації.

У роботі досліджено етапи розвитку та передумови виникнення NGN. Розглянуто специфікації, основні принципи та базову модель NGN, представлену в рекомендаціях ІТУ. На підставі проведених досліджень ІС виявлено, що доходи від

надання ІС, згідно інформації, наданої Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації, зростають з кожним роком, отже залишаються актуальними питання оцінки ефективності управління наданням ІС. Визначено, що в даний момент при управлінні наданням ІС в NGN використовується ІН з централізованим принципом управління (ІНЦПУ) наданням ІС. Але при збільшенні навантаження на ІНЦПУ виникає проблема з обмеженою пропускнуою здатністю мережі сигналізації і продуктивністю серверів та може бути втрачена частина заявок на ІС. Для вирішення цієї проблеми запропонована архітектура ІНДПУ. При ІНДПУ існує кілька вузлів комутації послуги (Softswitch) і кілька вузлів управління послугою (серверів). Розглянуто декілька підходів реалізації ІНДПУ. Передбачена можливість надання одного класу ІС на декількох серверах на випадок виходу з ладу будь-якого сервера.

Представлено існуючі підходи для формування векторного критерію ефективності управління наданням ІС та методи переходу до результуючого скалярного критерію ефективності – адитивної функції корисності.

З урахуванням рекомендацій ІТУ-Т для формування критерію ЕУ наданням ІС запропоновано використання наступних підкритеріїв: час знаходження в мережі заявки на ІС, ймовірність блокування заявки, кількість заявок, що очікують на обслуговування (середня довжина черги), характер потоку заявок, вартість пристрою управління та ступінь задоволення користувачів якістю сервісу.

Розглянуто недоліки використання векторного критерію ЕУ наданням ІС. Порівняти ЕУ наданням ІС різними пристроями управління за допомогою підкритеріїв, що являються елементами векторного критерію, не завжди можливо. Визначена доцільність застосування результуючого скалярного критерію.

Проаналізовано існуючі методи формування значень вагових коефіцієнтів: безпосередніх оцінок, послідовних порівнянь, парних порівнянь, ранжування, формування матриці пріоритетів. Перевагу надано методу формування матриці пріоритетів. Для визначення значень вагових коефіцієнтів підкритеріїв ЕУ використано експертні оцінки пріоритету та сформовано матрицю пріоритетів. Для об'єднання підкритеріїв, несумісних між собою, в результуючий скалярний критерій

ЕУ їх приведено до єдиної системи оцінювання. В роботі всі підкритерії переведено в бальну шкалу оцінювання. Формування бальної шкали здійснено у відповідності з логікою побудови адитивної функції корисності, а саме – більшій ефективності управління відповідає більше значення функції. Наведено приклад переведення значень підкритеріїв в п'ятибальну шкалу.

Розраховано значення результуючого скалярного критерію для ІНЦПУ та ІНДПУ. Представлено вхідні дані в бальній шкалі та результати розрахунків. На основі отриманих результатів побудовані графіки залежності значень результуючого скалярного критерію для ІНЦПУ і ІНДПУ від інтенсивності надходження заявок на ІС. Проведено аналіз отриманих результатів. Виявлена перевага використання ІНДПУ при високій інтенсивності надходження заявок на ІС.

Розглянуто існуючі методи оцінки показника Хьорста. Перевагу надано R/S методу, оскільки він характеризується високою точністю при обробці великих масивів даних. Для доведення властивості самоподібності трафіку, що містить заявки на ІС в NGN, досліджено вхідний та вихідний трафік компанії ТОВ «Геонік нет» протягом року. Представлені таблиці з основними результатами досліджень. Розроблено аналітичні моделі ІН NGN. Наведено два методичних підходи до формування моделей – 1) Показник Хьорста $0 < H \leq 0.5$; 2) Показник Хьорста $H > 0.5$.

В першому методичному підході при створенні аналітичної моделі ІН для розрахунку технічних підкритеріїв показана можливість застосування апарату теорії масового обслуговування та теорії марківських випадкових процесів. ІНДПУ представлена як мережа масового обслуговування (MeMO) а її окремі вузли – як системи масового обслуговування (СМО).

В другому методичному підході вводиться поняття самоподібності вхідного та циркулюючого всередині ІН трафіку, що містить заявки на ІС. Представлено формування аналітичної моделі ІН в загальному вигляді для розрахунку технічних підкритеріїв ефективності надання ІС з врахуванням самоподібності трафіку.

Використовуючи модель фрактального броунівського руху, запропоновано аналітичну модель ІНДПУ, що дозволяє визначати підкритерії ефективності управління при наявності агрегованого трафіку для кожного вузла мережі (сервера).

Дана модель трафіку розглянута і проаналізована для різних технологій мереж з комутацією пакетів і для різних ІС. Порівняння даної моделі з характеристиками реального мережевого трафіку показали, що модель фрактального броунівського руху погано описує трафік для малих інтервалів проміжків часу, але добре підходить для опису трафіку на середніх і великих інтервалах.

Представлено вирази для розрахунку економічного підкритерію – вартості розгортання ІН та евристичного підкритерію – ступеню задоволення користувачів якістю надаваного ІС.

Розглянуто принципи автоматизації розробки аналітичних моделей та розробки імітаційних моделей ІНДПУ NGN для розрахунку ефективності надання ІС. Слід відзначити, що трудомісткість даних задач суттєво зростає при зростанні кількості класів заявок на ІС та при зростанні довжини черги. Представлені графіки порівняння зміни кількості станів системи в залежності від кількості класів заявок на ІС, а також від довжини черги. Значне збільшення кількості станів унеможлиблює використання ручних розрахунків.

В роботі запропоновано програмне забезпечення (ПЗ) для автоматизації розробки аналітичних моделей ІНДПУ NGN для розрахунку ефективності управління наданням ІС. На програмне забезпечення отримано Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №83843. Комп'ютерна програма «Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу».

В системі моделювання NS-2 у вигляді сценарію мовою TCL розроблено імітаційну модель ІН NGN. В розробленій імітаційній моделі представлена структура з декількох вузлів-абонентів, які генерують заявки на ІС і відправляють їх на програмні комутатори Softswitch, які переадресовують їх на сервери обслуговування. В імітаційній моделі допущено, що мережа має необмежену пропускну здатність. Абоненти можуть генерувати як експоненційний, так і самоподібний трафік.

В результаті моделювання отримана низка важливих графіків. Представлено графіки зміни середньої довжини черги заявок в буфері в моделях з п'ятьма і 100 абонентами при експоненційному, самоподібному і змішаному трафіку.

Проведено порівняння отриманих в результаті моделювання даних при різному типу мережевого трафіку. Показано корельованість отриманих результатів моделювання з результатами моделювання процесів обслуговування самоподібного трафіку, отриманих іншими дослідниками.

Ключові слова: NGN, інтелектуальний сервіс, інтелектуальна надбудова, критерій ефективності управління, методи управління, самоподібний мережевий трафік, марківський процес, броунівський рух.

ABSTRACT

Pustovyi B. L. – Efficiency of decentralized control of providing intelligent services in NGN considering the self-similarity of traffic – Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. (172 – Telecommunications and radio engineering). – Odessa National Academy of Food Technologies, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Odessa, 2021.

The work is devoted to the development of the criterion Efficiency of decentralized management of the provision of intelligent services in NGN, taking into account the self-similarity of traffic.

The rapid development of infocommunication technologies is one of the main trends of the modern world. It is believed that every 2-3 years there is a doubling of the amount of information transmitted through all means of communication. The reason for this is the rapid technological breakthrough and user demand for infocommunication services. There is a demand for communication services with additional functionality – intelligent services (IP). Due to the growing demand for IP, the issues of effective management (EU) of their

provision are becoming more and more important. The NGN is responsible for managing the provision of IP in NGN.

The dissertation contains: the essence and state of the scientific task, substantiation of the relevance of the dissertation topic, definition of the purpose and objectives of the research, formulation of the object, subject and research methods, definition of the main elements of scientific novelty. topics, data on the implementation, testing and publication of scientific and practical results of the dissertation.

The stages of development and preconditions of NGN origin are investigated in the work. The specifications, basic principles and basic model of NGN presented in the ITU recommendations are considered. Based on IP research, it was found that revenues from IP provision, according to information provided by the National Commission for State Regulation of Communications and Informatization, are growing every year, so the issues of assessing the effectiveness of IP management remain relevant. It is determined that at present, when managing the provision of IP in NGN, the IP with the centralized principle of management (INPPU) of IP provision is used. However, as the CPU load increases, there is a problem with the limited bandwidth of the signaling network and the performance of the servers, and some of the applications for the IP may be lost. To solve this problem, the architecture of INDPU is proposed. At INDPU there are some nodes of switching of service (Softswitch) and some nodes of management of service (servers). Several approaches to the implementation of INDPU are considered. It is possible to provide one class of IP on multiple servers in case of failure of any server.

The existing approaches for the formation of the vector criterion of efficiency of IP management and the methods of transition to the resulting scalar criterion of efficiency – the additive utility function are presented.

Taking into account the recommendations of the ITU-T for the formation of the EU criterion for the provision of IP, the use of the following subcriteria is proposed: time of IP application in the network, probability of blocking the application, degree of user satisfaction with the quality of service.

The disadvantages of using the vector criterion of the EU by providing IP are considered. It is not always possible to compare the EU by providing IP with different

control devices using sub-criteria that are elements of a vector criterion. The expediency of applying the resulting scalar criterion is determined.

The existing methods of formation of values of weight coefficients are analyzed: direct estimations, consecutive comparisons, pair comparisons, ranking, formation of a matrix of priorities. Preference is given to the method of forming a matrix of priorities. To determine the values of the weights of the EU sub-criteria, expert priority assessments were used and a matrix of priorities was formed. To combine incompatible sub-criteria into the resulting EU scalar criterion, they are reduced to a single evaluation system. In this paper, all sub-criteria are translated into a scoring scale. The formation of the score scale is carried out in accordance with the logic of construction of the additive utility function, namely – greater management efficiency corresponds to a larger value of the function. An example of translating the values of sub-criteria into a five-point scale is given.

The value of the resulting scalar criterion for INTSPU and INDPU is calculated. The input data in the point scale and the results of calculations are presented. Based on the obtained results, graphs of the dependence of the values of the resulting scalar criterion for INTSPU and INDPU on the intensity of receipt of applications for IP are constructed. The analysis of the obtained results is carried out. The advantage of using INDPU at high intensity of receipt of applications for IP is revealed.

The existing methods of estimating the Hirst index are considered. The R / S method is preferred because it characterizes is highly accurate when processing large data sets. To prove the self-similarity of the traffic containing applications for IP in NGN, the incoming and outgoing traffic of Geonik Net LLC during the year was studied. Tables with the main results of researches are presented.

Analytical models of NGN IN have been developed. Two methodical approaches to model formation are given. In the first method, when creating an analytical model of IN for the calculation of technical sub-criteria, the possibility of applying the apparatus of the theory of queuing and the theory of Markov random processes is shown. INDPU is presented as a queuing network (MeMO) and its individual nodes – as queuing systems (SMO). The second method introduces the concept of self-similarity of incoming and circulating within the IN traffic containing requests for IP. The formation of the analytical

model of IP in general is presented for the calculation of technical subcriteria of efficiency of IS provision taking into account the self-similarity of traffic.

Using the model of fractal Brownian motion, an analytical model of INDPU is proposed, which allows to determine the sub-criteria of management efficiency in the presence of aggregate traffic for each network node (server).

This traffic model is considered and analyzed for different packet-switched network technologies and for different services. Comparisons of this model with the characteristics of real network traffic showed that the fractal Brownian motion model does not describe traffic for small time intervals, but is well suited for describing traffic at medium and large intervals.

Expressions for calculation of economic sub-criterion – cost are presented deployment of IN and heuristic sub-criteria – the degree of user satisfaction with the quality of the provided IP.

The principles of automation of development of analytical models and development of simulation models of NGN INSPU for calculation of efficiency of IS provision are considered. It should be noted that the complexity of these tasks increases significantly with increasing number of classes of applications for IP and increasing the length of the queue. Graphs of comparison of change of quantity of states of system depending on quantity of classes of applications for IP, and also on length of turn are presented. A significant increase in the number of states makes it impossible to use manual calculations.

The software (software) for automation of development of analytical models of INDPU NGN for calculation of efficiency of management of providing IS is offered in the work. The software received a Certificate of copyright registration for the work №83843. Computer program "Automation of equation formation of the Markov process balance".

In the NS-2 modeling system in the form of a script in the TCL language, a simulation model of the NGN IN was developed. The developed simulation model presents a structure of several subscriber nodes that generate requests for IP and send them to Softswitch software switches, which forward them to service servers. The simulation model assumes that the network has unlimited bandwidth. Subscribers can generate both exponential and self-similar traffic.

As a result of modeling, a number of important graphs are obtained. Graphs of the change in the average length of the queue of requests in the buffer in the models with five and 100 subscribers with exponential, self-similar and mixed traffic are presented.

The data obtained as a result of modeling at different types of network traffic are compared. The correlation of the obtained simulation results with the simulation results of self-similar traffic maintenance processes obtained by other researchers is shown.

Keywords: NGN, intelligent service, intelligent superstructure, control efficiency criterion, control methods, self-similar network traffic, Markov process, Brownian motion.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ У МІЖНАРОДНИХ ВИДАННЯХ

1. B. Pustovyi. The intelligent service control efficiency evaluation method. – Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017 – Budapest, Hungary. – p.35-40.

2. B. Pustovyi. Automation of analytical model construction for intellectual superstructure in next generation networks – Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki, v(12), 2018 – Koszalin, Polska. – p.49-60.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ У ФАХОВИХ ВИДАННЯХ

3. Шестопапов, С. В., Кунуп, Т. В., Пустовий, Б. Л. (2018). Моделювання процесів управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN. *Refrigeration Engineering and Technology*, 54(3). <https://doi.org/10.15673/ret.v54i3.1117>.

4. Kniazieva N.O., Shestopalov S.V., Pustovyi B.L. (2019). Development of the analytical model of the NGN intelligent superstructure with decentralized control principle. Вісник університету "Україна" Серія "Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика".

5. Князева Н.О. Автоматизація процесу визначення показників та підвищення структурної живучості рівня надання сервісів та додатків / Н. О. Князева, Л. М. Зіменко, Б. Л. Пустовий // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 2. – С. 77-83.

СПИСОК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ НА МІЖНАРОДНИХ КОНФЕРЕНЦІЯХ

6. Пустовой Б.Л. Оценка эффективности управления интеллектуальными услугами / Б.Л. Пустовой, Т.В. Кунуп. – Десятая международной научно-технической конференция «Проблемы телекоммуникаций» и Восьмой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Перспективы развития информационно-телекоммуникационных технологий и систем» ко Дню науки и

Всемирному Дню телекоммуникаций 19-22 апреля 2016 года. – г. Киев, 2016. – с.244-247.

7. Пустовой Б.Л. Моделирование процессов предоставления интеллектуальных сервисов в системе NS-2. – Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Компьютерные науки, информационные технологии и системы управления». – 10-12 апреля 2017 года г. Ивано-Франковск. – с.38-43.

8. Пустовой Б.Л. Использование системы NS-2 для моделирования самоподобного трафика. – VI Международная научно-практическая конференция (I Международный симпозиум) "Практическое применение нелинейных динамических систем в инфокоммуникациях". – 9-11 ноября 2017 г. Черновцы.

9. Пустовой Б.Л., Князева Н.А., Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу. – Дванадцята міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» і Десята міжнародна науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем» ко Дню науки і Всесвітньому Дню телекомунікацій 16-20 квітня 2018 року. – г. Київ, 2018. – с.230-232.

СПИСОК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ НА ВСЕУКРАЇНСЬКИХ КОНФЕРЕНЦІЯХ

10. Кунуп Т.В., Пустовой Б.Л. – XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених «Состаніє, досягненя і перспективи інформаційних систем і технологій», аспірантів і студентів. – г. Одеса ОНАХТ. – с.131-134.

11. Пустовой Б.Л. Особенности имитации децентрализованного принципа управления в системе NS-2. – XVI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених «Состаніє, досягненя і перспективи інформаційних систем і технологій», аспірантів і студентів. – г. Одеса ОНАХТ. – с.61-63.

СПИСОК СВДОЦТВ ПРО РЕЄСТРАЦЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

12. Н. О. Князева та Б. Л. Пустовий, «Комп'ютерна програма «Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу»». Україна Свідोцтво про реєстрацію авторського права на твір 83843, 20.12.2018.

13. Л. М. Зіменко, Н. О. Князева та Б. Л. Пустовий, «Комп'ютерна програма «Комп'ютерне застосування системи оцінки структурної живучості інтелектуальної надбудови NGN»». Україна Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір 88005, 23.04.2019.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	11
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	17
ВСТУП.....	18
1 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ПРИНЦИПІВ УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ СЕРВІСАМИ В МЕРЕЖАХ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ	24
1.1. Мережі наступного покоління (NGN)	24
1.1.1. Етапи розвитку	24
1.1.2. Архітектура NGN	28
1.1.3. Проект ETSI TISPAN	33
1.2. Мережі майбутнього	36
1.3. Інтелектуальні сервіси	41
1.3.1. Етапи розвитку	41
1.3.2. Принципи управління інтелектуальними сервісами	43
1.4. Урахування самоподібності мережевого трафіку при дослідженні систем управління інтелектуальними сервісами.....	46
1.5. Методи оцінки ефективності управління ІС в NGN.....	48
1.6. Методи об'єднання підкритеріїв критерію ефективності управління наданням ІС	49
1.6.1. Об'єднання кількісно сумірних підкритеріїв	49
1.6.2. Об'єднання підкритеріїв, для яких визначено співвідношення переваги за вагомістю	50
1.6.3. Об'єднання підкритеріїв несумісних між собою	50
1.6.4. Зведення векторного критерію до скалярного	51
1.7. Визначення напрямку дослідження.....	52
Висновки до першого розділу	53
2 РОЗРОБКА КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ СЕРВІСАМИ В NGN.....	55
2.1. Обґрунтування вибору підкритеріїв критерію ефективності управління ІС в NGN	55
2.2. Підкритерії критерію ефективності управління наданням ІС в NGN.....	60
2.2.1. Підкритерій, котрий враховує характер потоку заявок на ІС.....	61
2.2.2. Підкритерій, що враховує думку користувачів.....	74

2.3.	Комплексний критерій ефективності управління наданням ІС.....	77
2.4.	Методи визначення вагових коефіцієнтів на основі експертної оцінки.....	78
2.4.1.	Метод безпосередніх оцінок	78
2.4.2.	Метод послідовних порівнянь	80
2.4.3.	Метод парних порівнянь	81
2.4.4.	Метод ранжування	82
2.4.5.	Метод формування матриці пріоритетів.....	83
2.5.	Визначення вагових коефіцієнтів та результуючого скалярного критерію ефективності управління ІС в NGN	84
2.6.	Приклад розрахунку критерію ефективності управління ІС в мережах із ІНЦПУ та ІНДПУ.....	87
	Висновки до другого розділу	89
3	СТВОРЕННЯ АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НАДБУДОВИ В NGN.....	91
3.1.	Методичний підхід 1. Формування аналітичної моделі системи управління інтелектуальними сервісами	92
3.1.1.	Використання марківського процесу для представлення ІНДПУ	98
3.2.	Методичний підхід 2. Аналітична модель ІНДПУ NGN з урахуванням самоподібності вхідного потоку заявок.....	107
	Висновки до третього розділу	112
4	АВТОМАТИЗАЦІЯ ФОРМУВАННЯ АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ІНДПУ NGN ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ	114
4.1.	Формування аналітичної моделі системи управління інтелектуальними сервісами.....	114
4.2.	Формування імітаційної моделі системи управління інтелектуальними сервісами.....	119
4.2.1.	Огляд засобу моделювання	119
4.2.1.1.	OPNET Modeler (Optimized Network Engineering Tools).....	119
4.2.1.2.	OMNeT ++ (Objective Modular Network Testbed in C++)	121
4.2.1.3.	The Network Simulator (NS-2).....	122
4.2.1.3.	Порівняння мережевих симуляторів	126
4.2.2.	Загальний опис архітектури імітаційної моделі ІНЦПУ	128
4.2.3.	Реалізація імітаційної моделі в системі NS-2	130
4.2.4.	Організація модельних експериментів в системі NS-2.....	135
	Висновки до четвертого розділу	145

ВИСНОВКИ.....	147
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	150
ДОДАТОК А.....	159
ДОДАТОК Б.....	162
ДОДАТОК В.....	167

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

FN	– Future Network
IDN	– Integrated Digital Network
IN	– Intelligent Network
IP	– Internet Protocol
IPCC	– International Packet Communication Consortium
ISDN	– Integrated Service Digital Network
IMS	– IP Multimedia Subsystem
NGN	– Next Generation Network
PSTN	– Public Switched Telephone Network
QoS	– Quality of Service
SDP	– Service Delivery Platform
SG	– Signalling Gateway
TISPANE	– Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking
ІНДПУ	– Інтелектуальна надбудова з децентралізованим принципом управління
ІС	– Інтелектуальний сервіс
ТМЗК	– Телефонна мережа загального користування
ІНДПУ	– Інтелектуальна надбудова з централізованим принципом управління

ВСТУП

Актуальність теми. Стрімкий розвиток інфокомунікаційних технологій – один з основних трендів сучасного світу. Вважається, що кожні 2-3 роки відбувається подвоєння кількості інформації, що передається через усі засоби зв'язку. Причиною цього є стрімкий технологічний прорив та попит користувачів на інфокомунікаційні послуги. З'явився попит на сервіси зв'язку з додатковими функціональними можливостями – інтелектуальні сервіси (ІС). У зв'язку зі зростанням попиту на ІС все більш актуальними стають питання ефективного управління їх наданням. За управління наданням ІС в NGN відповідає інтелектуальна надбудова (ІН).

Проблемами конвергенції мереж зв'язку та переходу до мультисервісних мереж на зразок NGN/IMS займались Б. Гольдштейн і О. Гольдштейн, М. Соколов, О. Атцик, О. Пінчук, Ю. Ісаченко, Л. Лесін та ін. Практичному застосуванню технології NGN присвячені публікації О. Тітова, М. Глінникова, О. Антоняна, Є. Скуратовської, І. Бакланова, В. Макарова і ін. Серед українських фахівців публікації щодо NGN належать С. Остроху, О. Єфремову, А. Дуднику, А. Ложковському, І. Стрелковській та ін.

Питання стосовно управління мережами, наданням сервісів та оцінювання ефективності функціонування систем управління піднімається в роботах Є. Кільчицького, В. Макарова, Б. Костіка та ін. Однак в них основна увага приділяється існуючим централізованим системам управління та їх вдосконаленню. В роботах Є. Штейнберга досліджені розподілені системи управління в інтелектуальних мережах. Деякі аспекти оцінки ефективності управління наданням сервісів аналізуються в працях В. Крилова, В. Лазарева. До питань оцінки ефективності управління наданням сервісів, підтримуваних мережею NGN, зверталися такі автори як П. Фергюсон, Р. Хастон. Розробці результуючого критерію ефективності управління наданням сервісів присвячені праці Л. Беркман, Н. Стародуба, Н. Паршенкова та ін. Питання, пов'язані з дослідженням методів оцінки ефективності управління наданням телекомунікаційних сервісів розглянуті в роботах Л. Беркман, Н. Князевої, С.

Шестопалова та інших науковців. Однак, слід відмітити, що питання оцінки ефективності управління наданням ІС, що створюють самоподібний трафік в NGN, при організації децентралізованого управління залишаються недостатньо дослідженими, що і обумовлює актуальність дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження в дисертаційній роботі проводились згідно з такими нормативними актами:

1. Концепція Національної програми інформатизації, схвалена Законом України «Про Концепцію Національної програми інформатизації» від 4 лютого 1998 р., №75/98-ВР (із змінами, внесеними згідно із Законом N406-VII(406-18) від 04.07.2013).

2. Державна науково-технічна програма «Створення перспективних телекомунікаційних систем та технологій».

3. Стратегія сталого розвитку «Україна – 2020», схвалена Указом Президента України від 12 січня 2015 року №5/2015.

Тема дисертаційної роботи пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України № 942 від 7 вересня 2011 р. (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 556 від 23 серпня 2016р.).

Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводились згідно з державними планами НДР, які виконувалися на кафедрі комп'ютерної інженерії Одеської національної академії харчових технологій: «Принципи створення інтелектуальної надбудови в мережах наступного покоління» (Одеська національна академія харчових технологій, ДР № 0116U000286 МК 15-05, 2015 р.); «Підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних мереж» (Одеська національна академія харчових технологій, ДР № 0115U004197 МК 15-07, 2015 р.);

Участь автора у зазначених науково-дослідних темах та проектах, в яких дисертант був безпосереднім виконавцем, полягає в дослідженні та удосконаленні методів оцінки управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності мережевого трафіку.

Мета та задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є оцінка ефективності децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності мережевого трафіку.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні наукові задачі досліджень:

1. Дослідити етапи становлення NGN та впровадження ІС.
2. Дослідити існуючі системи управління наданням ІС та методи розрахунку критерію ефективності управління наданням ІС.
3. Удосконалити метод оцінки ефективності управління наданням ІС в NGN для можливості урахування самоподібності мережевого трафіку, а також найбільш впливових факторів, включаючи ступень задоволеності користувачів якістю ІС.
4. Удосконалити метод формування аналітичної моделі інтелектуальної надбудови (ІН) як MeMO, який надає можливість урахування стохастичного характеру надходження заявок на ІС на підставі використання математичного апарату теорії марківських процесів.
5. Удосконалити аналітичну модель ІН з децентралізованим принципом управління (ІНДПУ) наданням ІС, що враховує самоподібний характер вхідного потоку заявок на ІС, використовуючи модель фрактального броунівського руху.
6. Розробити програмне забезпечення для автоматизації формування станів системи управління наданням ІС, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення ймовірностей знаходження системи у відповідному стані.
7. Удосконалити методи побудови імітаційних моделей систем управління наданням ІС в NGN з урахуванням самоподібності мережевого трафіку, що надає можливість отримати показники ефективності надаваних ІС.
8. Провести імітаційне моделювання процесів управління наданням ІС в NGN при експоненційному та самоподібному мережевому трафіку.

Об'єктом дослідження є процес управління наданням ІС в NGN.

Предмет дослідження – методи оцінки ефективності децентралізованого управління наданням ІС в NGN з урахування самоподібності мережевого трафіку.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених в дисертаційній роботі задач використані методи теорії систем масового обслуговування, теорії мереж, теорії черг для розробки аналітичної моделі та розрахунку підкритеріїв, методи алгоритмічного моделювання, моделі і методи оптимізації систем для створення імітаційних моделей централізованої та децентралізованої систем управління.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. **Удосконалено** аналітичну модель ІНДПУ NGN, що ураховує самоподібність вхідного потоку заявок на основі використання моделі фрактального броунівського руху.

2. **Удосконалено** метод розрахунку ймовірних станів системи управління наданням ІС, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення ймовірностей знаходження системи у відповідному стані, який, на відміну від існуючих, дозволяє на підставі запропонованого кодування станів системи застосовувати автоматизовані засоби формування рівнянь балансу.

3. **Дістав подальшого розвитку** метод оцінки ефективності управління наданням ІС в NGN, який надає можливість урахування самоподібності мережевого трафіку, а також найбільш впливових факторів, включаючи ступень задоволеності користувачів якістю ІС.

4. **Дістав подальшого розвитку** метод формування аналітичної моделі ІНДПУ наданням ІС як МеМО, який надає можливість урахування стохастичного характеру надходження заявок на обслуговування на підставі використання математичного апарату теорії марківських процесів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

1. Застосування вдосконаленого методу розрахунку ймовірних станів системи управління ІС дозволяє автоматизувати процес побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення ймовірностей знаходження системи у відповідному стані, що надає можливість розрахунків для складних систем.

2. Застосування вдосконаленої аналітичної моделі ІНДПУ NGN дозволяє враховувати самоподібність мережевого трафіку при розрахунку критерію ефективності управління наданням ІС.

3. Застосування розроблених імітаційних моделей ІН NGN, що ураховують самоподібність мережевого трафіку, надає можливість отримати показники ефективності управління наданням ІС в мережі з самоподібним трафіком.

4. Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в науково-дослідній роботі Інституту комп'ютерних систем і технологій "Індустрія 4.0" Одеської національної академії харчових технологій.

5. Ряд положень дисертаційної роботи використані у науково-технічній діяльності Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення» при проведенні НДР «Розроблення рекомендацій щодо єдиної методології визначення показників якості послуг телекомунікаційної мережі рухомого (мобільного) зв'язку загального користування» (№ ДР 0117 U006983).

Особистий внесок здобувача. Роботи [1,2,7,8,11] опубліковані без співавторів. У роботах, виконаних у співавторстві, особисто Пустовому Б.Л. належать такі наукові результати: у статті [6] автор брав участь у розробці методу оцінки ефективності управління ІС; у роботі [9] автор приймав участь у вдосконаленні методу розрахунку ймовірних станів системи управління ІС для автоматизації процесу побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей системи управління ІС; у свідоцтві про реєстрацію авторського права на твір [12] – участь у розробці комп'ютерної програми для автоматизації формування рівняння балансу марківського процесу; у роботі [3] – розроблені імітаційні моделі в системі NS-2 процесів управління наданням ІС; у роботі [4] – участь у вдосконаленні аналітичних моделей ІНДПУ NGN для врахування самоподібності вхідного потоку заявок; у роботі [5] – участь у вдосконаленні методу оцінки структурної живучості інтелектуальної надбудови NGN; у свідоцтві про реєстрацію авторського права на твір [13] – участь у розробці комп'ютерної програми для автоматизації розрахунку показників структурної живучості інтелектуальної надбудови в NGN.

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень доповідались, обговорювались та були схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях (НТК): X, XII *Міжнародній НТК «Проблеми телекомунікацій»* та VIII, X *Міжнародній НТК студентів і аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем»* (м. Київ, Україна, 2016р., 2018 р., відповідно); XVI, XVII *Всеукраїнській НТК молодих вчених, аспірантів і студентів «Стан, досягнення та перспективи інформаційних систем і технологій»* (м. Одеса, Україна, 2016 р., 2017 р., відповідно); *Міжнародній НТК молодих вчених, аспірантів і студентів «Комп'ютерні науки, інформаційні технології і системи управління»* (м. Івано-Франківськ, Україна, 2017 р.); VI *Міжнародній науково-практичній конференції «Практичне застосування нелінійних динамічних систем в інфокомунікаціях»* (м. Чернівці, Україна, 2017 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 13 друкованих праць. З них 2 статті – у наукових міжнародних виданнях, 3 – у наукових фахових виданнях, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, а також 6 матеріалів доповідей на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків по дисертації, списку використаної літератури та 3 додатків. Повний обсяг дисертації складає 175 сторінок, у тому числі: 149 сторінок основного тексту, бібліографія із 131 найменувань на 9 сторінках, 3 додатків на 16 сторінках. Дисертація написана на українській мові.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ПРИНЦИПІВ УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ СЕРВІСАМИ В МЕРЕЖАХ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

1.1. Мережі наступного покоління (NGN)

1.1.1. Етапи розвитку

З часів появи на ринку телекомунікацій базової послуги «голосовий зв'язок» оператори шукали методи збільшення доходів за допомогою введення додаткових послуг.

В історичному розвитку мереж і послуг зв'язку можна виділити наступні етапи:

- PSTN (Public Switched Telephone Network);
- IDN (Integrated Digital Network);
- ISDN (Integrated Service Digital Network);
- IN (Intelligent Network);
- NGN (Next Generation Network);
- FN (Future Network);
- IMS (IP Multimedia Subsystem).

Першим етапом стала побудова телефонної мережі загального користування PSTN. Телефонний зв'язок створювався з єдиною метою – передача голосових повідомлень. Пізніше через телефонні мережі, за допомогою модемів, стала здійснюватися передача даних.

Другий етап – оцифрування телефонної мережі. Були створені інтегральні цифрові мережі IDN, що також надавали здебільшого послуги телефонного зв'язку на базі цифрових систем комутації і передачі.

Третій етап – інтеграція послуг. З'явилася концепція цифрової мережі з інтеграцією служб ISDN. В процесі розвитку мереж зв'язку особлива увага стала приділятися додатковим послугам. Саме тому інтеграція послуг починає замінюватися концепцією інтелектуальної мережі.

Четвертий етап – інтелектуальна мережа IN. Призначення мережі полягало в швидкому, ефективному та економічному наданні інформаційних послуг більшості користувачам.

Принципова відмінність інтелектуальної мережі від попередніх мереж – в гнучкості і економічності надання послуг.

У 1990 р почалася розробка технології інтелектуальних мереж, а перші рекомендації ІТУ-Т, присвячені інтелектуальних мережам (IN), були затверджені в 1992 р (рекомендації Q.1201 - Q.1203).

Основна мета IN полягала в підвищенні якості та ефективності надання телекомунікаційних послуг, а також інтеграції більшої кількості нових служб у вже існуючий набір послуг.

У мережах IN вперше були введені поняття «інтелектуальний сервіс» і «інтелектуальна надбудова».

Однією з головних особливостей IN є відокремлення функції комутації від функції надання послуги (рис. 1.1).

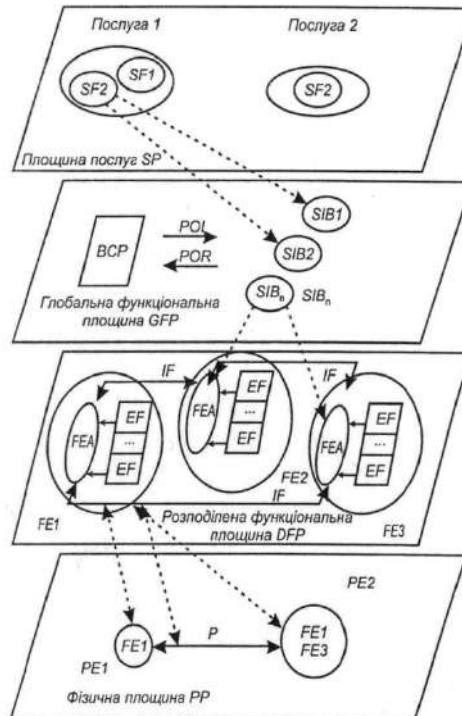


Рис. 1.1. Концептуальна модель IN

Функція комутації залишається в транспортній мережі, а функція управління сервісами виноситися в інтелектуальну надбудову. Взаємодія між транспортною мережею і інтелектуальною надбудовою відбувається за допомогою стандартизованих інтерфейсів. Взаємодія між функціями комутації та управління сервісами здійснюється по протоколу INAP (Intelligent Network Application Protocol), стандартизованого в рекомендації ITU Q. 1205.

Концепція IN не змогла забезпечити необхідного різноманіття послуг і не набула подальшого розвитку [1], але вона заклала основи для підтримки інтелектуальних сервісів. Вони були використані на наступному етапі розвитку телекомунікаційних мереж, який отримав назву мережі наступного покоління (NGN – Next Generation Network) [2].

Рішення для мереж NGN передбачають реалізацію універсальної транспортної мережі з розподіленою комутацією, винесення функцій надання послуг в кінцеві мережеві вузли і інтеграцію з традиційними мережами зв'язку. Особливе значення для проектування NGN мають адекватні моделі трафіку, як окремого джерела, так і мультиплексованих потоків.

Хоча NGN і має відмінності від IN, в принципах їх побудови є багато спільного. В першу чергу, це відділення функцій, що стосуються підтримки послуг, від комутації та передачі. Тому, при дослідженні інтелектуальних сервісів (IC) в NGN спочатку необхідно проаналізувати принципи побудови IN. Архітектурі та особливостям побудови IN присвячено багато робіт [1, 3, 4, 5].

У термінах NGN платформа надання інтелектуальних послуг називається SDP (Service Delivery Platform). Основа ідеології NGN – це відкриті стандарти консорціуму 3GPP (3'rd Generation Partnership Project). Відкриті стандарти дозволяють оператором використовувати вже придбане обладнання, що підтримує дані стандарти і при необхідності змінювати тільки необхідні вузли мережі, дають можливість не прив'язуватися до одного постачальника обладнання, а для кожного вузла мережі вибирати найбільш зручного. Тому підтримка відкритих стандартів в SDP є абсолютно необхідною.

Концепція «мережі наступного покоління» NGN (Next Generation Networks) вперше була представлена наприкінці XX століття, як концепція нової телефонної мережі загального користування, спершу на базі АТМ, а згодом на базі ІР. Основним завданням NGN було змінити ТДМ – канали на канали ІР, телефонні станції на медіашлюзи і віддати управління ними «гнучкому програмному комутатору» – Softswitch [6]. Реально ж NGN – це мультисервісна ІР-мережа (транспортна інфраструктура) плюс різні сервісні платформи, які надають абонентам послуги: голос, відео, ігри, пошта, фото, знайомства, чати та інше.

В останній третині XX століття почала розвиватися парадигма комутації пакетів. Протягом двох десятиліть «визрівала» глобальна мережа пакетної передачі даних, розвивалося безліч сімейств протокольних стеків пакетної комутації. Причому це відбувалося в рамках як телефонних (broadband ISDN – АТМ, Х.25), так і технологічних локальних мереж передачі даних (DECnet, Banyan Vines, AppleTalk, Novell IPX, TCP/IP і багатьох інших). До кінця століття цей процес завершився затвердженням TCP/IP як стандарту де-факто глобальної комунікаційної «підкладки», відомої як Інтернет.

Ідею розробки NGN, запропоновану в 2001 р. Європейським інститутом стандартів електров'язку ETSI (European Telecommunications Standards Institute), підтримав сектор стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електров'язку (МСЕ-Т). На початок 2011 року в цій серії вже було 70 рекомендацій, які відносяться до так званої першої версії NGN (NGN release 1). Останнім часом в МСЕ-Т розпочаті роботи по другій версії (NGN release 2).

Основними об'єктивними передумовами виникнення ідеї мереж наступного покоління NGN є:

- успіхи пакетних технологій передачі інформації, що зумовили бурхливе зростання цифрового трафіку, перш за все за рахунок розширення використання Інтернет;
- збільшення попиту на рухомий зв'язок і на нові мультимедійні служби Triple Play (спільної передачі голосу, відео, даних);

- конвергенція (взаємопроникнення) мереж електрозв'язку та інформаційно-обчислювальних мереж, розвиток інформаційно-комунікаційних мереж.

Слід особливо відзначити одну з основних причин появи ідеї NGN – завершення життєвого циклу експлуатованих цифрових комутаційних станцій телефонної мережі і бажання не замінювати їх такими самими станціями, а радикально модернізувати мережу з метою надання всього комплексу послуг Triple Play. Таким чином, технологія NGN є новим способом розвитку і модернізації існуючих мереж зв'язку і, в першу чергу, телефонних мереж зв'язку загального користування.

Три найбільш поширені на сьогоднішній день послуги – традиційний телефонний зв'язок, мобільний телефонний зв'язок і широкосмуговий доступ в інтернет – вимагають від операторів будівництва єдиної мережі, єдиної IP-інфраструктури, здатної підтримувати ці послуги, а не три різні мережі. Основною мотивацією для цього є зменшення витрат на будівництво і експлуатація однієї мережі. В умовах конкурентного ринку це є ключовим фактором для побудови мережі NGN.

1.1.2. Архітектура NGN

Особливостям архітектури NGN присвячено багато наукових праць за останні 20 років [7]. Перші дослідження NGN були присвячені питанням еволюції телефонної мережі загального користування (ТМЗК) до мереж наступного покоління. Даними питаннями займалися Б. С. Гольдштейн та В. Е. Нікіфоров, котрі детально описали проблеми та передумови, котрі привели до створення NGN [6, 8, 9]. Аналіз самої архітектури NGN провели О.Б. Гольдштейн та Н.А. Соколов [10, 11]. Було написано багато робіт присвячених аналізу устаткування, котре використовує NGN. Серед них варто виділити роботи А.Б. Гольдштейна та О. Атцика [12, 13]. Окремим напрямком дослідження слід виділити порівняння існуючих концепцій побудови NGN [14].

Специфікації мереж наступного покоління NGN здебільшого наводяться в рекомендаціях МСЕ-Т Y-2xxx. Поряд з ними в якості опису протоколів

використовується серія інструкцій RFC (Request for Comments) комітету IETF (Internet Engineering Task Force).

В рекомендації MCE-T Y.2012 перераховані основні принципи функціональної архітектури NGN:

1. Підтримка безлічі технологій доступу – функціональна архітектура NGN повинна володіти гнучкою конфігурацією, необхідної для підтримки безлічі технологій доступу.

2. Розподілене управління – повинен використовуватися принцип розподіленої обробки в пакетних мережах і підтримуватися прозорість розташування для розподілених обчислень.

3. Відкрите управління – мережеві інтерфейси управління повинні бути відкриті для підтримки процесів створення нових і зміни існуючих послуг і підтримки засобів забезпечення логіки послуг сторонніх постачальників.

4. Незалежність надання послуг процес надання послуг повинен бути розділений між функціями транспортної мережі, що працює з використанням зазначеного вище механізму розподіленого відкритого управління. Це призведе до підтримки конкурентного оточення при розвитку NGN, яке буде сприяти прискоренню процесів впровадження нових послуг.

5. Підтримка послуг конвергентних мереж – це необхідно для створення гнучких, простих у використанні мультимедійних послуг для заміщення технічних можливостей конвергентних фіксовано-мобільних мереж за допомогою функціональної архітектури NGN.

6. Розширені можливості безпеки і захисту – це базовий принцип відкритої архітектури, він вимагає обов'язкового захисту мережевої інфраструктури за допомогою механізмів забезпечення відповідних рівнів безпеки і живучості мережі.

Для реалізації цих функцій в Рекомендації MCE-T Y.2011 запропонована базова еталонна модель NGN, яка в рамках єдиної інфраструктури об'єднує мережі ТМЗК, мобільного зв'язку, ресурси Інтернет і ін. Запропонована модель включає в себе два рівні: рівень послуг NGN (service stratum) і рівень транспорту NGN (transport stratum),

кожен з яких містить по три площини: користувача, управління і менеджменту (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Базова модель NGN

Рівень послуг реалізує прикладні функції, пов'язані з вимогами щодо послуг, наприклад, з організацією передачі голосу, відеозображення і їх комбінації. Транспортний рівень забезпечує виконання функції доставки інформації будь-якого типу між будь-якими двома географічно рознесеними терміналами. У загальному випадку на транспортному рівні може використовуватися вільна технологія комутації пакетів.

Відповідно до Рекомендації МСЕ-T Y.2011 функції транспортного рівня включають безпосередньо транспортні функції і функції управління транспортом.

З метою більш простого розуміння принципів побудови NGN IPCC була запропонована чотирьохрівнева структура, в котрій виділяються такі рівні (рис. 1.3).

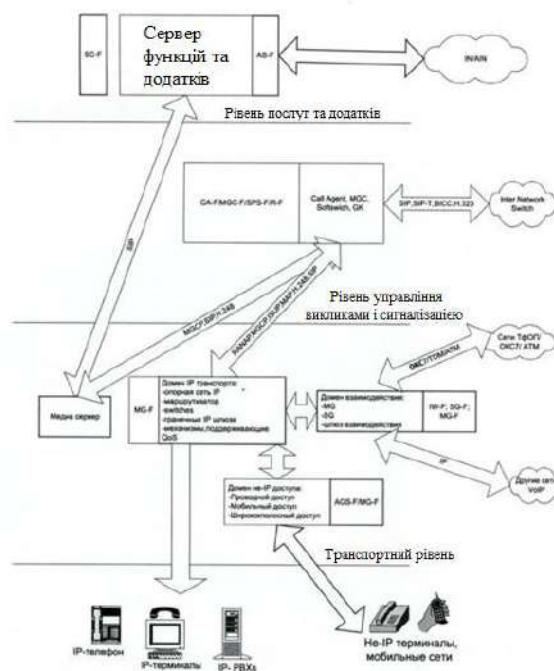


Рис. 1.3. Архітектура Softswitch

Рівень послуг і транспортний рівень зазнали подальшої декомпозиції на такі рівні:

- рівень управління послугами (четвертий рівень);
- рівень управління комутацією (третій рівень);
- транспортний рівень (другий рівень);
- рівень доступу (перший рівень);
- термінальне обладнання (нульовий рівень).

Рівень управління послугами виконує функції управління логікою послуг і додатків і являє собою розподілену обчислювальну середу, яка забезпечує:

- надання (підтримка) інфокомунікаційних послуг;
- безпосереднє управління послугами;
- створення і впровадження нових послуг;
- взаємодія різних послуг.

Цей рівень повинен реалізувати специфіку послуг і використовувати одну і ту ж програму логіки послуг незалежно від типу транспортної мережі та способу доступу. Наявність цього рівня забезпечить також можливість введення на транспортної мережі нових послуг без втручання у функціонування інших рівнів.

Концепція NGN в чому спирається на технічні рішення, які вже розроблені міжнародними організаціями зі стандартизації. Так, взаємодія серверів в процесі надання послуг передбачається здійснювати на базі протоколів, специфікованих IETF (MEGACO), ETSI (TRIPON), Форумом 3GPP2 і т.д. Для управління послугами використовуються протоколи H.323, SIP та підходи, що застосовуються в інтелектуальних мережах зв'язку.

Рівень мережевого контролю і управління повинен забезпечувати обробку інформації сигналізації, маршрутизації викликів і управління потоками. Цей рівень підтримує логіку управління, яка необхідна для обробки і маршрутизації трафіку. Функція підключення реалізується на рівні елементів базової мережі під зовнішнім управлінням обладнання програмного комутатора (Softswitch). У разі використання в мережі декількох Softswitch вони взаємодіють за допомогою відповідних протоколів

(як правило, сімейство SIP-T) і забезпечують спільне управління встановленням з'єднання [15].

Softswitch повинен здійснювати:

- обробку всіх видів сигналізації, які використовуються в його домені;
- зберігання і управління даними користувачів, підключених до його домену безпосередньо або через обладнання шлюзів доступу;
- взаємодія з серверами додатків для надання розширеного списку послуг користувачам мережі.

Завдання транспортного рівня – забезпечення прозорості передачі інформації користувача шляхом її комутації і маршрутизації. У NGN оператори отримають можливість нарощувати обсяги послуг, що в свою чергу призведе до зростання вимог надійності та продуктивності мереж транспортного рівня. Причому надійність виходить на перше місце, оскільки NGN повинні забезпечувати передачу різноманітного трафіку, в тому числі чутливого до затримок, який раніше передавався за допомогою класичних систем передачі з тимчасовим поділом каналів ієрархій SDH або PDH. У деяких випадках нові транспортні мережі будуть замінювати собою частину інфраструктури існуючих традиційних мереж зв'язку.

Особливістю інфраструктури NGN є використання універсальної транспортної мережі, що базується на технологіях саме пакетної комутації.

Доступ до ресурсів транспортної мережі здійснюється через граничні вузли, до яких підключається обладнання мережі доступу або здійснюється зв'язок з існуючими мережами. В останньому випадку граничний вузол виконує функції міжмережевого шлюзу. Одним з найважливіших критеріїв вибору технології транспортної мережі є її несуперечливість існуючим транспортним і комутаційним структурам, тобто здатність забезпечити підтримку традиційних видів сервісу. При проектуванні структури транспортної мережі та локалізації її вузлів необхідно враховувати не тільки потенційні можливості концентраторів і комутаторів в них, але і продуктивність вузлів агрегування інформаційних сервісів.

Можна відзначити, що з розвитком технологій зв'язку стає все проблематичніше провести чітку межу між транспортним рівнем і рівнем доступу.

Слід зазначити, що в деяких публікаціях зустрічається ще простіша 3-х рівнева архітектура NGN, в якій функції рівня доступу і транспортної мережі об'єднані в один транспортний рівень.

1.1.3. Проект ETSI TISPAN

Також варто звернути увагу до проекту ETSI TISPAN (Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking). На відміну від концепції IPCC архітектура описана не сукупністю вузлів, а як набір функціональних модулів, які можуть бути реалізовані в різних фізичних елементах. Взаємодія між модулями здійснюється по стандартизованому інтерфейсу. Частіше всього взаємодія відбувається по сигнальному протоколу SIP-I, інколи H.248 та ін. Мережева архітектура, запропонована ETSI, зображена на рис. 1.4 [14].

Однією з найважливіших підсистем TISPAN вважається система управління викликами і послугами IMS (IP Multimedia Subsystem). Не дивлячись на те, що IMS є ключовим компонентом NGN по TISPAN, вона була розроблена іншою організацією і для інших цілей [16].

Серед важливих принципів IMS слід зазначити, що вона базується на відкритих Інтернет-стандартах і тому без додаткової адаптації може використовувати всі послуги і додатки мережі Інтернет, проте усередині самої IMS передбачено застосування протоколу IPv6.

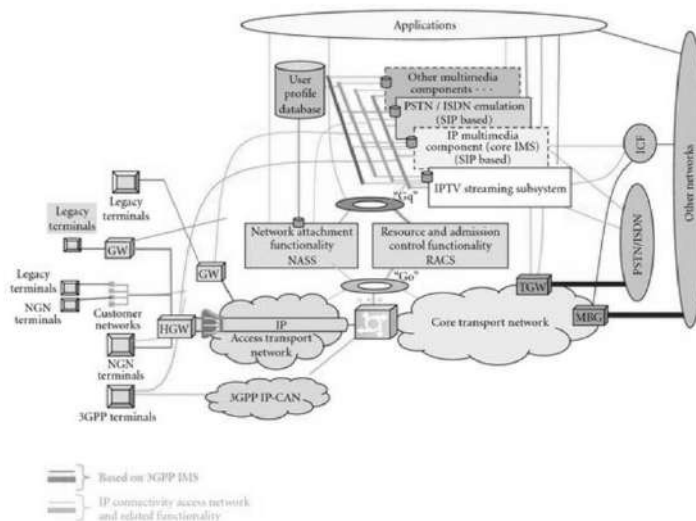


Рис. 1.4. Підсистеми NGN TISPAN

Другою особливістю архітектури IMS є інноваційний підхід до надання послуг, що дозволяє операторові створювати різні послуги і інтегрувати їх одна з одною, забезпечує широкі можливості по персоналізації і збільшенню кількості послуг [14].

Підхід IMS припускає горизонтальну архітектуру (Рис. 1.5 [14]), що дозволяє операторові просто і економічно упроваджувати нові послуги, які персоналізуються, причому користувачі можуть дістати доступ до різних послуг в рамках однієї сесії зв'язку.

Нова архітектура надання послуг дозволила змінити традиційний погляд на їх створення і стандартизацію. Можливості, які привнесло впровадження IMS, безумовно, додають плюсів до рішення TISPAN.

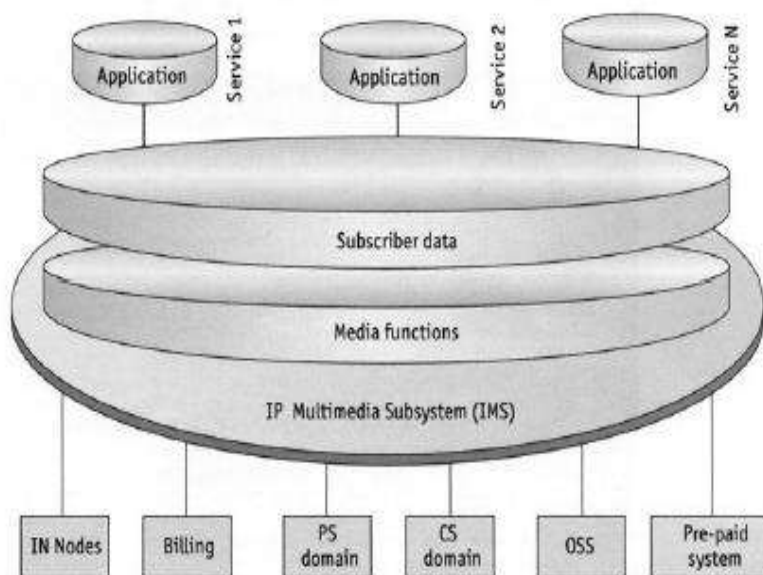


Рис. 1.5. Горизонтальні сервісні платформи

Іншими підсистемами, вже розробленими, а не запозиченими TISPAN, є [14]:

Network Attachment Subsystem (NASS), в основні завдання якої входить динамічне призначення IP-адресу (використовуючи DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol), аутентифікація на рівні IP, авторизація доступу до мережі, управління місцезнаходженням на рівні IP;

Resource and Admission Control Subsystem (RACS), яка виконує управління доступом до послуг IMS.

Архітектура IMS підтримує надання користувачам мультимедійних послуг і забезпечує симуляцію більшості PSTN/ISDN послуг. Симуляція полягає в наданні

ТМЗК/ISDN послуг на базі IMS інтелектуальним терміналам (наприклад, IP-телефонам). При цьому не обов'язково строго виконувати всі вимоги, що пред'являються до цих послуг, і надавати весь спектр послуг, можна обмежитися окремими найбільш популярними послугами, можливо, з іншою ергономікою.

Окремо TISPAN визначає підсистему емуляції ТМЗК/ ISDN, що дозволяє здійснити заміну устаткування комутації каналів TDM оператора, зберігаючи традиційні абонентські термінали. Емуляція створює для крайового устаткування видимість того, що IP-мережа є ТМЗК/ISDN мережею. Таким чином, NGN TISPAN дозволяє, здійснивши кардинальну зміну опорної мережі, відкласти повну модернізацію абонентського доступу [14].

Якщо сумістити той факт, що IMS – це по суті «мобільний» розвиток Softswitch, то навряд чи можна з повною упевненістю назвати TISPAN конкурентом підходу IPCC. Термінологія, що трохи розрізняється, додавання декількох підсистем і використання іншого, але аналогічного управління – все це, можливо, просто кроки до створення єдиної архітектури, що суміщає два рішення.

Перед операторами зв'язку постає питання про вибір архітектури IMS/TISPAN чи IPCC. Більшість мереж, котрі зараз функціонують у всьому світі, побудовані відповідно до концепції IPCC. Це пов'язано в першу чергу з підтримкою великої кількості різноманітних технологій, що дозволяє оператору зробити певний вибір і побудувати мережу, котра буде оптимально взаємодіяти з вже змонтованим мережевим устаткуванням.

Окрім того, в тих умовах, які зараз існують в Україні, концепція IPCC дозволить здійснити поступовий перехід від ТМЗК до мережі наступного покоління. Такий підхід потребує менших початкових капіталовкладень за рахунок можливості поступової зміни застарілого аналогового устаткування, що являється більш привабливим та прийнятним для операторів зв'язку в Україні. Однак найбільший недолік концепції IPCC – це проблеми сумісності різноманітного устаткування.

Архітектура IMS/TISPAN вирішує проблеми, котрі виникають при використанні концепції IPCC. Крім того вона полегшує конвергенцію мобільного та стаціонарного зв'язку.

Звичайно, з погляду глобальної мережі переважніше виглядає продумана архітектура TISPAN, а не просто зав'язане на пристрій управління, рішення яким представляється підхід IPCC. Однак можливості TISPAN лише належить з'ясувати. А ось NGN з архітектурою IPCC – вже цілком звична і знайома річ, котра використовується в багатьох країнах [17].

1.2. Мережі майбутнього

Роботи по стандартизації майбутніх мереж (FN) розпочаті MCE-T в 2009 р Дослідницької комісією SG13 були розроблені перші рекомендації по FN в новій серії рекомендацій MCE-T - Y.3000-3499.

В рекомендації Y.3001 описуються основні положення майбутніх мереж і 12 цільових завдань їх створення, які розділені на чотири базових сегмента (рис. 1.6). Частина завдань, такі, як управління мережею, мобільність, ідентифікація, а також надійність і безпеку, можуть відноситися до декількох сегментах, але на малюнку зображені взаємозв'язку між сегментом і завданнями, що мають до нього найбільше відношення.

Ідеологія побудови NGN забезпечує можливість надання абонентам сервісів Triple-Play (передача мови, даних і відео) на базі мультисервісних мереж, що створюються шляхом модернізації існуючих мереж електрозв'язку.

Згідно рекомендації MCE-T Y.3001, мережі майбутнього (ММ) (future Network (FN)): Мережа, здатна надавати сервіси, можливості і засоби, які важко надати з використанням існуючих мережевих технологій.

На рис. 1.6 зображені взаємозв'язку між чотирма цільовими установками і дванадцятьма цілями проектування FN.



Рис. 1.6. Чотири цільові установки і дванадцять завдань

Сегмент послуг характеризується тим, що в мережах майбутнього надаватиметься величезна кількість послуг / додатків для задоволення практично будь-яких запитів споживачів. Як очікується, в майбутніх мережах число послуг і їх обсяг будуть рости лавиноподібно. Крім того, передбачається вводити нові послуги без істотних капіталовкладень і збільшення експлуатаційних витрат, забезпечуючи при цьому їх високу надійність і безпеку майбутніх мереж.

Сегмент даних передбачає оптимізацію майбутніх мереж в зв'язку з гігантськими обсягами інформації, що передається і оброблюваної інформації. Під даними розуміється вся інформація, доступна в мережі майбутнього. Також передбачається, що доступ до послуг майбутніх мереж буде легким, швидким і якісним незалежно від місця перебування користувача. Кожна людина в майбутньої мережі отримає свій унікальний адресу, за якою зможе авторизуватися в будь-якій точці світу і отримувати всі необхідні йому послуги.

Екологічний сегмент означає, що мережі майбутнього будуть екологічно безпечні для навколишнього середовища. Їх технічні рішення повинні мінімізувати вплив на екосистему, скоротити споживання матеріалів і енергії.

Соціально-економічний сегмент передбачає вирішення цілого ряду завдань, пов'язаних зі зниженням витрат на забезпечення життєвого циклу послуг і уніфікацією надання широкосмугового доступу до ресурсів майбутніх мереж широким верствам населення, що, в свою чергу, послужить стимулом для розвитку світової економіки та усуне «цифрова нерівність» .

Підтримка віртуалізації ресурсів є найважливішою відмінною рисою мереж FN від мереж NGN. Вона забезпечує логічне поділ мережевих ресурсів між послугами та одночасне спільне використання одного фізичного мережевого ресурсу багатьма віртуальними ресурсами.

Архітектура мережевий віртуалізації для майбутніх мереж, представлена в рекомендації Y.3011, містить три рівні. Як і будь-яка мережа зв'язку, мережа FN на першому рівні складається з фізичних ресурсів (комутаторів, маршрутизаторів, ліній зв'язку, систем передачі та ін.), Якими володіють і управляють оператори фізичних мереж. На базі ресурсів фізичних мереж організуються віртуальні ресурси (смуга пропускання, маршрут передачі, адресний простір і ін.), Якими може керувати відповідний оператор. І вже на основі цих віртуальних мережевих ресурсів для кожної послуги створюється своя віртуальна мережа, яка називається логічно ізольованою частиною мережі, LINP (Logically Isolated Network Partition). Такий поділ дозволяє реалізувати в одній і тій же фізичній мережі кілька послуг з різними вимогами до мережевих ресурсів. При мережевий віртуалізації постачальник і користувач мережевих ресурсів розділені. Це означає, що користувач віртуальної мережі не обов'язково повинен мати власні фізичні мережеві ресурси. Це дозволяє динамічно додавати й видаляти необхідні ресурси у віртуальній мережі з пулу загальних віртуальних ресурсів у відповідь на що з'являються в ній зміни (збільшення або зменшення обсягу трафіку, поява відмов або збоїв в роботі мережевого обладнання та ін.). Оскільки додавання віртуальних ресурсів здійснюється набагато швидше і економічніше, ніж розгортання додаткового фізичного ресурсу, функціонування та управління в мережах майбутнього більш ефективно і гнучке.

Важливістю екологічних питань обумовлено те, що при розробці майбутніх мереж одним з основних завдань стає використання енергозберігаючих технологій.

Згідно з рекомендацією Y.3021 зменшити негативний вплив майбутніх мереж на навколишнє середовище можна двома способами:

1. Використовувати можливості майбутніх мереж в областях економіки, не пов'язаних з інфокомунікаційних технологій. Майбутні мережі повинні стати корисним інструментом зниження негативного впливу інших областей економіки на навколишнє середовище. Прикладами такого застосування FN є «розумні» енергомережі smart grid, призначені для розподілу електричної потужності, або всепроникні сенсорні мережі USN, які контролюють зміни екосфери Землі.
2. Знизити негативний вплив на навколишнє середовище самих мереж, зробивши це основоположним принципом мереж майбутнього. Зниження споживання енергії мережевими об'єктами, зокрема маршрутизаторами, комутаторами і серверами, є характерним для екологічно чистих майбутніх мереж.

У середині майбутніх мереж можна виділити три рівні, кожному з яких відповідають свої технології енергозбереження:

- рівень пристроїв – технології, які застосовуються для електронних пристроїв, таких, як великі інтегральні схеми і пристрої, що запам'ятовують;
- рівень обладнання – технології, які застосовуються до однієї одиниці обладнання (набору пристроїв), наприклад маршрутизатора або комутатора;
- рівень мережі – технології, які застосовуються у всій мережі (наприклад, протокол маршрутизації, який застосовується до кількох маршрутизаторів).

В рекомендації Y.3022 задані вимоги до вимірювання енергії, споживаної різними елементами майбутніх мереж. На основі цих вимог визначені еталонна модель вимірювань, функціональна архітектура, метрики енергоефективності та методи вимірювання спожитої енергії елементами мережі (інтерфейсом $E_{\text{інтерфейс}}$, вузлом $E_{\text{вузол}}$, сервером $E_{\text{сервер}}$) і мережею в цілому ($E_{\text{мережа}}$). Для кращого розуміння метрик енергоефективності в інформаційному додатку до рекомендації наводяться описують їх відповідні докладні рівняння.

В рекомендації Y.3031 описані можливі ідентифікатори (ID) майбутніх мереж для визначення абонентів, користувачів, елементів мережі, функцій, об'єктів мережі, що надають послуги / додатки, або інших сутностей (наприклад фізичних або логічних об'єктів). Наведено ідентифікаційна архітектура майбутніх мереж, яка підтримує унікальний простір ідентифікаторів, забезпечує зв'язок між певними ідентифікаторами, що представляють об'єкти мережі, і надає інформацію про взаємозв'язок між ідентифікаторами при необхідності. Вона також підтримує пошук ідентифікаторів цільових об'єктів мережі для забезпечення їх взаємодії.

Ідентифікаційна архітектура FN з'єднує різні об'єкти комунікацій і фізичні мережі і складається з чотирьох компонентів (рис. 1.7).

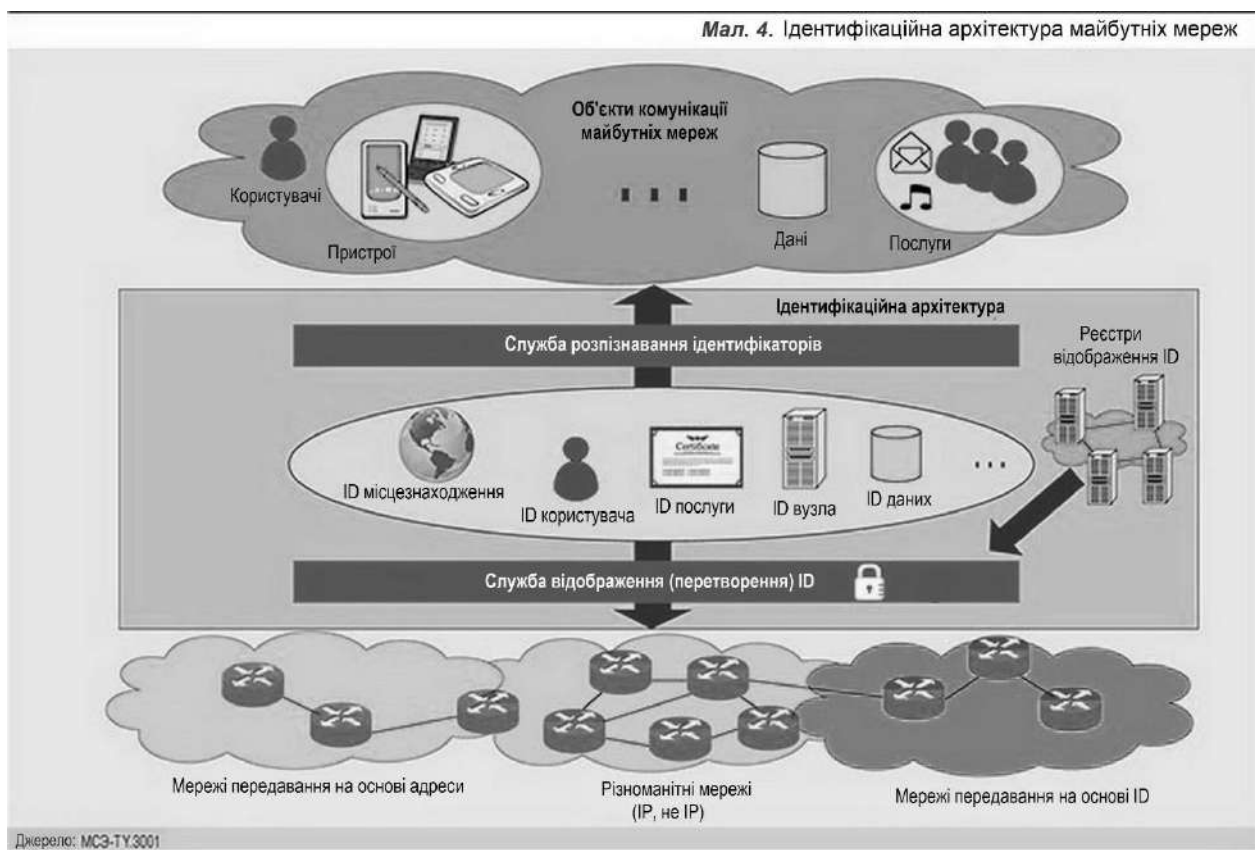


Рис. 1.7. Ідентифікаційна архітектура FN

1. Служба розпізнавання ідентифікаторів, яка виявляє різні типи ідентифікаторів, пов'язані з об'єктами комунікацій.
2. ID-простір, який визначає і управляє різними видами ідентифікаторів: користувачів, даних або контенту; службові ID, ID вузлів і ID розташування.

3. Реєстри відображення ID, які підтримують відображення зв'язків між різними видами ідентифікаторів.
4. Служба відображення ID, яка перетворює ідентифікатори однієї категорії в ідентифікатори інших категорій для досягнення безперервного обслуговування на гетерогенних фізичних мережах, таких, як мережі IP версії 6 (IPv6), версії 4 (IPv4) або НЕ IP-мережі, здатні використовувати різні протоколи для передачі пакетів даних.

Рекомендується, щоб ММ надавали послуги, функції яких спроектовані так, щоб відповідати потребам додатків і користувачів. Очікується, що в майбутньому кількість і вибір сервісів буде стрімко рости. Також рекомендується, щоб ММ забезпечували можливість впровадження цих сервісів, не вимагаючи, наприклад, істотного додаткового розгортання і збільшення експлуатаційних витрат.

1.3. Інтелектуальні сервіси

1.3.1. Етапи розвитку

Вперше поняття «інтелектуальний сервіс» було введено в 1990 р в інтелектуальних мережах (IN).

Інтелектуальними сервісами (IS) називають сервіси, які надаються абоненту за допомогою спеціальних засобів – інтелектуальної надбудови. Першою такою послугою в 70-х роках в США стала послуга Freephone, або як її ще називають послуга «800». Реалізація такої послуги вимагала наявності спеціальних засобів для маршрутизації і тарифікації (білінгу) дзвінків в масштабах національної телефонної мережі: кожна міжміська АТС повинна була мати інформацію про реальне географічне знаходження кожного одержувача дзвінків. Для цього необхідна «мережева база даних», що зберігає відповідність кожного номера з 800-ї зони в реальний міжміський номер. Ця база даних повинна бути доступна з будь-якого населеного пункту. Оскільки така інформація безперервно оновлюється (наприклад, з'являються нові компанії, які орендують номери), її недостатньо просто продублювати на кожній АТС по всій країні.

Перехід до «мережевої бази даних» завершився до 1982 р, отримавши назву Expanded 800 service («розширена послуга 800»). З цього моменту національна мережа США стала займатися не тільки передачею мови між абонентами, а й спеціальних куруючих даних між АТС, ставши першим в історії прикладом концепції IN (Intelligent Network, тобто «інтелектуальна мережа»). Схема роботи сервісу 800 показана на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Послуга 800

В даний момент список ІС значно виріс, з'явилися такі сервіси як: Premium Rate Service (дзвінки з нарахуванням додаткової оплати, наприклад за доступ до інформаційних ресурсів або за участь в телефонних лотереях, голосуваннях і т.п.), Prepaid Calling (дзвінки по передоплаті з доступом абонентів по паролів), Least Cost Routing (маршрутизація по найбільш вигідному маршруту), VAS (Value Added Services, послуги з доданою вартістю) і ряд інших.

Виходячи зі звіту наданого Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації за 9 місяців 2020 року (рис. 1.9), можна констатувати значний темп зростання доходів від надання ІС. Доходи від надання «Інших послуг» в які входять також і ІС виріс на 173.4 млн.грн. З цього всього можна зробити висновок, що попит на ІС стрімко зростає, отже питання ефективності управління ІС стають все більш актуальними.

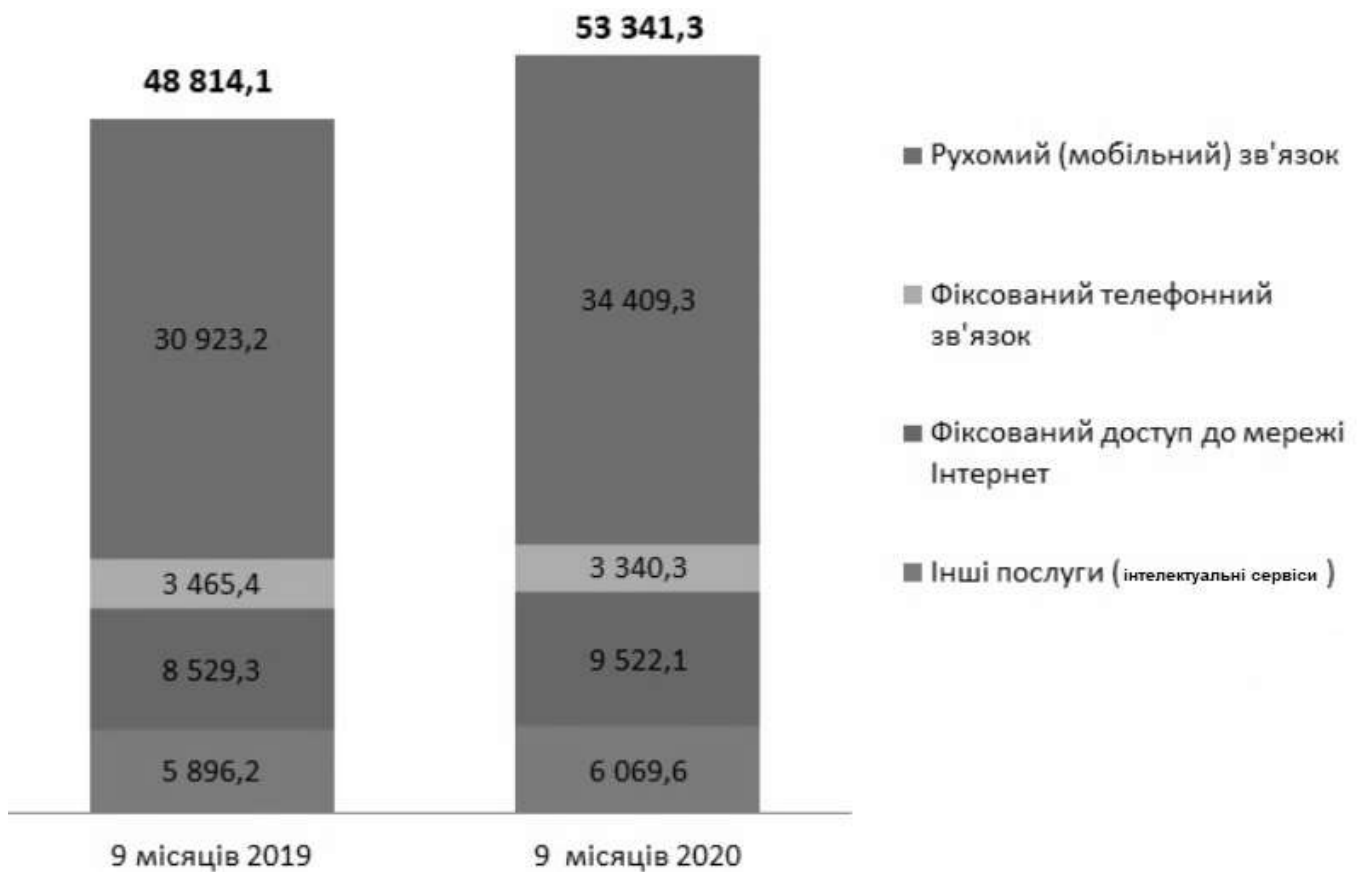


Рис. 1.9. Структура доходів телекомунікаційних послуг, млн. грн

1.3.2. Принципи управління інтелектуальними сервісами

Серед питань, присвячених переходу від телефонної мережі загального користування (ТМЗК) до мереж наступного покоління, одним з важливих і актуальних є питання ефективного управління ІС в NGN. На даний момент спостерігається значне збільшення попиту на ІС, які може надати NGN, в зв'язку з цим зростає необхідність в правильному виборі принципу управління ІС [18].

На даному етапі розвитку концепції NGN використовується інтелектуальна надбудова з централізованим принципом управління (ІНЦПУ). Фрагмент мережі з такою архітектурою представлений на рис. 1.10 [19]. У загальному випадку ІНЦПУ містить лише один керуючий центр (сервер послуг). На сервері знаходяться всі необхідні дані для обслуговування заявки на додаткову послугу.

На рис. 1.10 заявка на ІС приходиться від абонента до одного з пунктів сигналізації (SP1 ... SPn). Якщо пункт сигналізації перебуває в IP мережі, то пакети відправляються безпосередньо на відповідний Softswitch. Якщо ж пункт сигналізації

не перебуває в IP мережі, тоді пакети відправляються на сервер тільки після проходження через медіа шлюз (MG) і шлюз сигналізації (SG). Softswitch визначає, чи є сервіс інтелектуальним. Якщо є, то відбувається комутація сервісу та звернення до сервера для обслуговування. Сервер може обслуговувати лише один запит в одну одиницю часу. Якщо сервер вільний, то він починає обслуговування заявки на ІС. В іншому випадку, перевіряється наявність вільних місць в буфері черги. Якщо вільним місць немає, тоді заявка втрачається. Якщо є, то ставати в буфер черги.

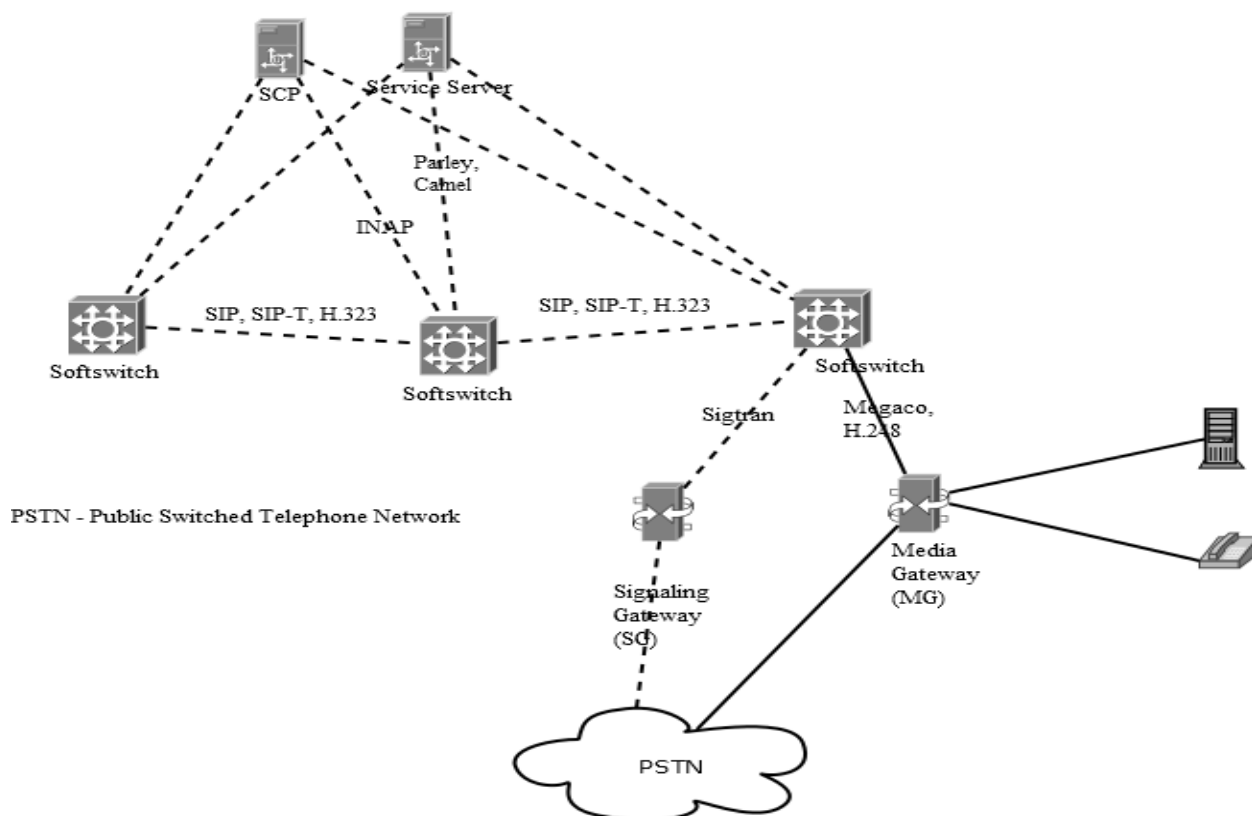


Рис. 1.10. Архітектура NGN з ІНЦПУ інтелектуальними сервісами

Однак в деяких випадках використання ІНЦПУ призводить до наступних проблем:

1. Може виникнути проблема, пов'язана з обмеженими пропускнуною спроможністю мережі сигналізації і продуктивністю центрів управління послугами.
2. Існують види послуг, які за своїми властивостями не призначені для централізованого виконання. Це послуги, в яких необхідна висока пропускна здатність мережі сигналізації. Обмеження пропускнуною спроможності системи

сигналізації ОКС-7 і індивідуальний характер критеріїв, за якими повинно здійснюватися сортування викликів, призводять до переваги використання децентралізованого принципу управління.

3. Існує ряд послуг, які вимагають негайної обробки. В даному випадку використання децентралізованого принципу управління дозволить скоротити відстань від клієнта до сервера, який надає послугу, що скоротить час на її виконання.

Для вирішення даних проблем можливе використання інтелектуальної надбудови з децентралізованим принципом управління (ІНДПУ) [20]. Мережа з ІНДПУ представлена на рис. 1.11 [21]. У ІНДПУ існує кілька вузлів комутації послуги (Softswitch) і кілька вузлів управління послугою (серверів). Пропонуються два підходи до реалізації ІНДПУ. При першому підході кожен сервер містить логіку обслуговування всіх класів послуг (універсальний сервер). Другий підхід передбачає використання спеціалізованих серверів (сервер містить логіку обслуговування лише деяких певних класів послуг). Передбачена можливість надання одного класу послуг на декількох серверах на випадок виходу з ладу будь-якого сервера.

З огляду на меншу вартість спеціалізованих серверів і менший час обслуговування заявки, в подальшому вважається, що при побудові NGN з ІНДПУ використовуються спеціалізовані сервери.

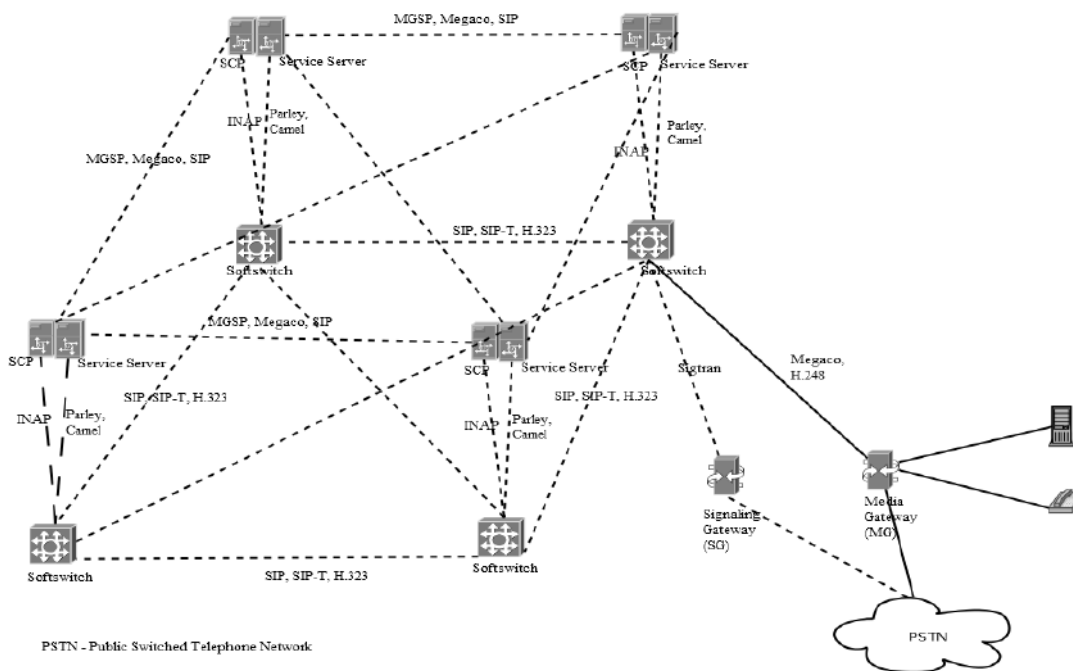


Рис. 1.11. Архітектура NGN з ІНДПУ інтелектуальними сервісами

Оцінка ефективності управління інтелектуальними сервісами пов'язана з аналізом архітектури мережі, принципом побудови системи управління і розробкою результуючого критерію ефективності управління інтелектуальними сервісами.

1.4. Урахування самоподібності мережевого трафіку при дослідженні систем управління інтелектуальними сервісами

Довгий час вважалося, що природа мережевого трафіку відповідає пуассонівським процесам [22, 23, 24]. Згодом кількість досліджень і вимірювань характеристик мережевого потоку зростала. В результаті було помічено, що не завжди потік пакетів в локальній або глобальній мережі можна моделювати з використанням пуассонівського процесу. Таким чином, безліч завдань, що виникають при дослідженні трафіку мережі, поповнилося питанням про характер процесу руху пакетів по мережі. Це завдання успішно розглядається багатьма вченими провідних університетів світу [25, 23, 26, 27, 28, 29]. Першим і важливим етапом цієї роботи стало створення моделі, що характеризує поведінку мережевого трафіку. На сьогоднішній день, існує висновок про те, що поведінка мережевого трафіку успішно моделюється за допомогою так званого самоподібного процесу. Властивість самоподібності асоціюється з одним з типів фракталу, тобто, при зміні шкали кореляційний структура самоподібного процесу залишається незмінною [30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38].

Теорія самоподібних стохастичних процесів не так добре розвинена, як теорія пуассоновських процесів. Але, з огляду на те, що самоподібні моделі більш точно характеризують поведінку мережевого потоку, ніж пуассоновським моделі, важливим завданням стала розробка інструментальних засобів для розуміння самоподібних процесів, і для синтезу штучного мережевого трафіку, який відображає основні характеристики цих процесів. Сьогодні існує ряд таких алгоритмів [24].

Далі, побудована самоподібна модель процесу руху пакетів в мережі вимагає неодноразової перевірки з використанням реальних даних, вимірюваних для різних мереж. Дослідженню повинні бути піддані як локальні, так і глобальні мережі. Більш

того, виникає дуже цікаве питання про пояснення виникнення саме властивості самоподібності трафіку. Дуже цікава робота була проведена Університетом Бостона, а саме Марком Кровелла і Айзері Беставросом, де показується, що самоподібність у веб-трафіку може бути пояснена розподілом розмірів переданого документу, ефектом кешування і налаштування користувача з передачі файлу, людським фактором, а також суперпозицією безлічі таких передач в локальній мережі [39].

У роботах [22, 40, 41, 42] показано, що мережевий трафік має яскраво вираженими властивостями самоподібності. Облік цих властивостей дозволяє більш точно характеризувати поведінку мережевого трафіку, ніж при використанні пуассонівських моделей.

Параметром, що характеризує ступінь самоподібності, є параметр Хьорста H , $0 < H < 1$, який визначається для тимчасового ряду $x(t_i)$, t_i – дискретні моменти часу, $1 \leq i \leq N$ [11]. Якщо $H > 0.5$, то досліджуваний потік володіє тривалою пам'яттю і є самоподібним [22]. Параметр Хьорста описується емпіричним співвідношенням:

$$\frac{R}{S} = (aN)^H, \quad (1.1)$$

де a – константа, R – розмах відхилення значення ряду x , S – стандартне відхилення x .

Нехай $\bar{x}(N)$ – середнє значення випадкової величини

$$\bar{x}(N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x(t_i) \quad (1.2)$$

Стандартне відхилення x визначається з формули

$$S(N) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [x(t_i) - \bar{x}(N)]^2} \quad (1.3)$$

Позначимо через

$$X(t, N) = \sum_{u=1}^t [x(u) - \bar{x}(N)] \quad (1.4)$$

накопичене відхилення значень випадкової величини $x(t)$ від її середнього значення $\bar{x}(N)$ за час t .

Різниця між максимальним і мінімальним значеннями $X(t, N)$ називається розмахом

$$R(N) = \max X(t, N) - \min X(t, N), \quad (1.5)$$

де $1 \leq t \leq N$.

Виходячи з результатів робіт [22, 40], визначено необхідність при оцінці ефективності управління ІС враховувати властивість самоподібності мережевого трафіку при надходженні заявок на обслуговування.

1.5. Методи оцінки ефективності управління ІС в NGN

В роботах [43, 44, 45, 46] постановка задачі оптимізації системи управління телекомунікаційною мережею та її розв'язання розділена на такі етапи:

- вибір і обґрунтування мети оптимізації;
- вибір кількості і складу критеріїв оптимізації;
- узгодження мети з наявними можливостями, тобто врахування обмежень;
- реалізація способу досягнення мети (експериментального значення показника ефективності) з огляду на обмеження.

Для вибору та обґрунтування мети оптимізації необхідно передусім визначити показники (критерії ефективності роботи системи управління) та цільові функції, що найбільш повно відображають цілі оптимізації. Цей етап є одним з основних, оскільки від правильності вибору показників ефективності роботи системи управління залежить розв'язання задачі в цілому.

Критерій ефективності може бути представлений у векторному та скалярному вигляді. Векторний критерій містить в собі декілька показників ефективності – підкритеріїв, або підкритеріїв, тобто може бути представлений на основі вектору $Q(k_1, k_2, \dots, k_m)$. Скалярний критерій, на відміну від векторного, представлений одним показником ефективності.

Для порівняння ефективності управління ІС з різною архітектурою, при використанні векторного критерію, необхідно здійснити перехід до скалярного вигляду, тому що для порівняння необхідно отримати кількісний показник ефективності.

1.6. Методи об'єднання підкритеріїв критерію ефективності управління наданням ІС

1.6.1. Об'єднання кількісно сумірних підкритеріїв

Підкритерії ефективності $Q_k(x), k = 1, 2, \dots, s$, будуть вважатися кількісно сумірними, якщо важливість кожного з них порівнянна з важливістю решти критеріїв. Для порівняння критеріїв Q_k вводять вагові коефіцієнти – λ_k . Розмірність вагових коефіцієнтів λ_k визначається як відношення спільної розмірності до розмірності підкритерію $Q_k(x)$. За допомогою цього будується узагальнений скалярний критерій $Q(x)$, який також називається адитивною функцією корисності, котра заснована на використанні методу зважених сум [44]:

$$Q(x) = \sum_{k=1}^s \lambda_k Q_k(x), \lambda_k \geq 0, \sum_{k=1}^s \lambda_k = 1 \quad (1.6)$$

Але метод зважених сум може мати недолік у вигляді недопустимості значення одного з підкритеріїв $Q_k(x)$ у складі оптимального значення узагальненого критерію $Q(x)$. При забезпеченні мінімального значення для $Q(x)$ може створитися ситуація, коли один підкритерій компенсується за рахунок інших, які можуть мати завеликі значення. Для усунення цього недоліку може бути введений параметр C_{kl} , що характеризує відхилення оптимального значення одного з підкритеріїв від його значення, отриманого для оптимального рішення для інших підкритеріїв:

$$C_{kl} = \left| \frac{[Q_k(x_k^*) - Q_k(x_l^*)]}{Q_k(x_k^*)} \right| \quad (1.7)$$

Значення параметра C_{kl} характеризує вплив вектора x_l^* на критерій $Q_k(x)$.

1.6.2. Об'єднання підкритеріїв, для яких визначено співвідношення переваги за вагомістю

Об'єднання підкритеріїв, для яких визначено співвідношення переваги за вагомістю, може бути задано умовою, згідно з якою один підкритерій є вагоміший ніж інший. Тобто підкритерій $Q_1(x)$ вагоміший, ніж критерій $Q_2(x)$, а підкритерій $Q_2(x)$ вагоміший ніж $Q_3(x)$ і т.д. У цьому випадку об'єднання підкритеріїв може бути реалізовано визначенням найбільш вагомому підкритерію $Q(x) = Q_1(x)$, котрий потрібно мінімізувати при заданих «граничних» значеннях Q_k^+ та інших підкритеріїв:

$$\min_{x \in D} Q_1(x) \quad (1.8)$$

Для упорядкування підкритеріїв за вагомістю вводяться оцінки μ_{ij} пріоритету підкритеріїв. Інформацію про вагові переваги підкритеріїв подають у вигляді матриці $s \times (s + 1)$, у кожний рядок якої вноситься оцінка пріоритетів μ_{ij} , яка характеризує вагомість критерію $Q_i(x)$ порівняно з іншими критеріями. Використовуючи побудовану матрицю формується система рівнянь, за допомогою якої визначаються вагові коефіцієнти λ_k . Після отримання вагових коефіцієнтів будується адитивна функція користності.

1.6.3. Об'єднання підкритеріїв несумісних між собою

Якщо інформація про вагомість підкритеріїв відсутня, то вважається, що вони рівноцінні. В цьому випадку узагальнений критерій являє собою суму відхилень підкритеріїв від їх оптимальних значень:

$$Q(x) = \sum_{k=1}^s \frac{[Q_k(x) - Q_k^*]}{Q_k^*} \quad (1.9)$$

Розв'язавши задачу нелінійної оптимізації з цільовою функцією, заданою виразом (1.9), можна отримати компромісний розв'язок задачі оптимізації. Щоб знайти розв'язок, який забезпечує найкраще наближення до критерію, «найбільш»

віддаленого від свого оптимального значення, необхідно розглянути узагальнений критерій:

$$Q(x) = \max_{1 \leq k \leq S} \left| \frac{Q_k(x) - Q_k^*}{Q_k^*} \right| \quad (1.10)$$

Якщо про вагові коефіцієнти λ відомо тільки те, що вони належать до множини:

$$\Delta_\lambda = \left\{ \begin{array}{l} \lambda_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, S; \\ \sum_{k=1}^S \lambda_k = 1 \end{array} \right\} \quad (1.11)$$

Тоді узагальнений критерій оптимальності можна зобразити в такому вигляді:

$$Q(x) = \max_{\lambda \in \Delta_\lambda} \sum_{k=1}^S \lambda_k Q_k(x) \quad (1.12)$$

1.6.4. Зведення векторного критерію до скалярного

Існує декілька методів зведення векторного критерію до скалярного. Перший метод полягає у створенні цільової функції – результуючого критерію ефективності K_p (1.13) [44]:

$$K_p = f_p(K_1, \dots, K_i, \dots, K_m) \quad (1.13)$$

де K_p – результуючий критерій ефективності;

f_p – відома функція для підкритеріїв $K_1, \dots, K_i, \dots, K_m$;

i – номер підкритерія, $i = \overline{1, m}$, де m – кількість підкритеріїв.

При першому методі необхідно знайти таку систему S , яка зводить цільову функцію до мінімуму при існуючих умовах U та обмеженнях O_S .

При застосуванні другого методу потрібно знайти систему S , яка б мінімізувала один із підкритеріїв ефективності, але для всіх інших підкритеріїв формуються

обмеження у вигляді рівностей, нерівностей чи змішаного виду. Потрібно врахувати сукупність вихідних даних $\{U, O_S, C, O_k\}$, де U – умова; O_S – обмеження, які накладаються на структуру і параметри системи; C – символ, який означає, що мова йде не про розмір вектору K , а лише про його склад; O_k – сукупність обмежень, які накладаються на показники ефективності [44].

У першому методі зведення векторного критерію до скалярного ускладнюється, цільовою функцією, а в другому – функцією обмежень.

Як в першому, так і в другому випадку приходимо до системи з одним показником ефективності, який і буде результируючим критерієм.

1.7. Визначення напрямку дослідження

Беручи до уваги досліджені особливості та типи ІС, було встановлено, що популярність ІС зростає, а значить питання ефективності управління ними стають все більш актуальними. В даний момент здебільшого використовується централізована система управління, але зі зростанням трафіку, що створюється ІС, ефективність централізованої системи управління суттєво зменшується, тому необхідно зробити порівняння різних типів управління при однакових вхідних даних.

Для коректного порівняння необхідно розробити критерій оцінки ефективності управління ІС. Критерій може складатися з різнорідних частин для охоплення більшої кількості аспектів функціонування мережі. Критерій з різного роду частин буде представлений у векторному вигляді, необхідно розробити метод об'єднання підкритеріїв для застосування скалярної форми критерію.

При розрахунку критерію ефективності необхідно отримати технічні показники роботи мережі. Для цього потрібно розробити аналітичну та імітаційну модель. При розробці імітаційної моделі треба урахувати самоподібність мережевого трафіку і побудувати порівняльні графіки роботи мережі при експоненційному та самоподібному трафіку.

Розрахувавши всі підкритерії критерію ефективності стане можливим дослідження ефективності управління централізованого та децентралізованого принципу управління ІС в NGN з урахуванням самоподібності мережевого трафіку.

Висновки до першого розділу

1. Досліджено етапи розвитку телекомунікацій та передумови виникнення NGN. Розглянуто архітектуру NGN, проведено аналіз наукових праць, присвячених еволюції ТМЗК до NGN. Розглянуто специфікації, основні принципи та базову модель NGN представлену в рекомендаціях ІТУ. На підставі проведених досліджень визначені базові завдання, котрі повинен виконувати програмний комутатор.

2. На підставі проведених досліджень ІС виявлено, що доходи від надання ІС, згідно інформації, наданою Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації, зростають з кожним роком, отже залишаються актуальними питання ефективності управління наданням ІС. Визначено, що в даний момент при управлінні наданням ІС використовується ІНЦПУ. Але при збільшенні завантаження системи виникає проблема з обмеженою пропускною здатністю мережі сигналізації і продуктивністю центрів управління послугами. При перенавантаженні системи частина заявок на ІС може бути втрачена. Для вирішення цієї проблеми запропонована архітектура ІНДПУ, котра призначена для зменшення навантаження на центри управління послугами, а значить підвищення ефективності роботи всієї системи.

3. Показано, що оцінка ефективності управління ІС пов'язана з аналізом архітектури мережі, принципом побудови системи управління і розробкою результуючого критерію ефективності управління інтелектуальними сервісами.

5. За результатами проведених досліджень характеру мережевого трафіку, що утворюється інтелектуальними сервісами, визначена необхідність при оцінці ЕУ наданням ІС враховувати властивість самоподібності мережевого трафіку.

6. В результаті проведених досліджень визначено, що для оцінки ефективності управління ІС здебільшого використовуються скалярні та векторні критерії. Але порівняння ефективності управління ІС з різною архітектурою за допомогою

векторних критеріїв вельми складний процес, тому що для порівняння необхідно отримати кількісний показник ефективності. Рішенням цієї проблеми є перехід від векторного критерію до скалярного. Проведено дослідження методів об'єднання підкритеріїв, приведені їх переваги та недоліки. Показана доцільність використання зваженої адитивної функції корисності.

2 РОЗРОБКА КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМИ СЕРВІСАМИ В NGN

2.1. Обґрунтування вибору підкритеріїв критерію ефективності управління ІС в NGN

Важливим аспектом при проектуванні мереж NGN є забезпечення ефективності обслуговування. Декілька десятків міжнародних організацій займається питанням забезпечення ефективності послуг зв'язку. Серед них можна виділити: ITU-T, ETSI, 3GPP, DSL Forum, CableLab та ін. [47, 48, 49, 50]

В рекомендації ITU-T E.800 наведені точні визначення.

Якість – сукупність характеристик об'єкта, які обумовлені його здатністю задовольняти наявні і майбутні потреби. Характеристики повинні бути такими, що спостерігаються і піддаються вимірюванню. Якщо характеристики визначені, вони стають параметрами, параметри виражаються в одиницях вимірювання.

Якість обслуговування (Quality-of-service, QoS) – сукупність характеристик сервісу електров'язку, які обумовлені його здатністю задовольняти заявлені потреби користувача сервісу. Або якість обслуговування – це сумарний ефект характеристик обслуговування, який визначає ступінь задоволеності користувача даною послугою.

Значний вклад в дослідження систем управління зробили праці українських науковців. В роботах Є. Кільчицького та Л. Беркман [44, 51, 52] досліджені принципи автоматизації управління мережами та послугами в телекомунікаціях, технології та варіанти реалізації систем управління, методи їх багатокритеріальної оптимізації.

Приведені моделі та структури телекомунікаційних мереж, їх складові та параметри. Встановлені функціональні сфери управління, функціональна, інформаційна, фізична та логічна архітектура мережі управління [53].

Розробці критерію ефективності управління телекомунікаційними мережами присвячені роботи Є. Кільчицького, Л. Беркман, Б. Костіка. В їх роботах розглянуті математичні методи розв'язання задач управління і оптимізації проектування систем управління.

Представлені методи багатокритеріальної оптимізації систем управління телекомунікаційними мережами і розрахунок обсягу керуючої інформації для забезпечення необхідних показників ефективності систем управління.

Авторами приводяться приклади існуючих систем управління та економічна ефективність від їх впровадження [54].

Показники ефективності системи управління розглядаються в роботах Л. Кирпач, І. Срібної, Т. Олешко [55, 56, 57]. В даних роботах проведено системний аналіз методів побудови конвергентної мережі, за допомогою якого визначено показники ефективності такої мережі, розроблено методику багатокритеріальної оптимізації сучасної телекомунікаційної мережі з різними параметрами, представлено визначення суб'єктивної результуючої цільової функції, котра дозволяє здійснити векторний синтез телекомунікаційної мережі, розроблено методику синтезу об'єкта мережі NGN за допомогою декомпозиції моделі, дістали подальшого розвитку методи мінімізації затримки переданої інформації для телекомунікаційної мережі з різною структурою. Всі приведені дослідження базуються лише на централізованій системі управління. В суб'єктивній результуючій цільовій функції не вказані методи розрахунку вагових коефіцієнтів.

Подібними за тематикою також є роботи В. Слюсар [58, 59, 60]. В роботах проведено порівняльний аналіз методів побудови системи управління мережею NGN, визначено функціональну модель системи управління діяльністю оператора телекомунікацій згідно концепції TMN міжнародного союзу електрозв'язку ITU і концепції Smart TMN форуму управління телекомунікаціями TM Forum, визначено функціональну модель системи управління телекомунікаційними мережами нового покоління згідно концепцій TMN і Smart TMN, розроблено методику визначення оптимальної системи управління телекомунікаційними мережами за двома показниками ефективності з застосуванням умовного критерію переваги, розроблено методику і алгоритм отримання узагальненого критерію оптимальності для побудови системи управління за трьома показниками ефективності з використання експертних оцінок і умовного критерію переваги, розроблено методику розрахунку часу виконання транзакцій бізнес-процесу в системі управління із врахуванням спектра параметрів

мережі, розроблено методику формування й обробки сигналів з фазорізницевою модуляцією k -го порядку, розроблено алгоритм визначення достовірності прийому інформації у разі застосування багатопозиційних сигналів.

В роботах О. Ткаченко [61, 62, 63] проведено дослідження методів побудов систем, що мають здатність до самоприспосовування, самонавчання та самоорганізації. Розроблена методика багатокритеріальної оптимізації на базі методів теорії ігор, запропоновано в якості оптимального алгоритму ігрових систем управління використовувати системи з автоматичним пошуком рішень шляхом надання їм властивостей систем з накопиченням досвіду та з використанням способу пошуку оптимальних виборів, визначено ефективність застосування методів теорії ігор для розпізнавання об'єктів при наявності завад в каналі управляючої інформації. Рішення задачі дозволяє обґрунтовано вибрати стратегії системи спостереження та оцінити в кожному випадку її ефективність. Проте запропоновані методи діють на стадії функціонування системи і не дозволяють на етапі проектування отримати необхідну інформацію.

Питання, пов'язані з дослідженням методів оцінки ефективності управління ІС, розглянуті в роботах Н. Князевої [64, 65, 66, 67, 68, 69, 70], С. Шестопалова [21, 71, 72, 73, 74]. В їх роботах розглядаються математичні методи розв'язання задач управління

Якість надання послуг оцінюється за трьома критеріями [65, 75]:

1. Швидкість – це один з найважливіших показників, який характеризує якість управління наданням більшості телекомунікаційних послуг. Показник швидкості визначається контрольними термінами. Контрольні терміни – це максимальний час, на протязі якого повинна бути надана послуга.

2. Точність і достовірність – це характеристики споживчих властивостей послуги, тобто наскільки вона придатна для користування.

3. Надійність – це властивість засобу зв'язку надавати якісні послуги. Характеризує більшою мірою систему управління.

Переходячи до термінології NGN, на підставі [2] можна сказати, що якість управління наданням сервісу залежить від таких мережевих показників: IPTD

(затримки передачі пакету IP з інформацією управління), IPDV (зміни затримки пакета IP), IPLR (відсотка втрачених пакетів IP) і IPER (відсотка помилкових пакетів IP).

У роботах по оцінці ефективності управління інтелектуального сервісу [1, 3, 4] переважно розглядаються саме технічні показники, відповідно вимогам до мережевих показників ефективності для служб, заснованих на протоколі IP [2]. Однак, як уже зазначалося, виходячи з сучасних рекомендацій МСЕ [5], при оцінці телекомунікаційного сервісу необхідно враховувати ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу. Крім зазначених показників, в даній роботі визначені і інші показники, які суттєво впливають на якість інтелектуального сервісу, що надаються споживачам. На основі запропонованих показників сформований результуючий, комплексний критерій, що дозволяє виконати порівняння ефективності управління ІНЦПУ і ІНДПУ.

Згідно з Рекомендаціями Y.1540 [6] визначення ефективності функціонування NGN має спиратися на формування таких показників:

- затримка перенесення пакетів;
- варіація затримки пакетів (джиттер);
- коефіцієнт втрати пакетів;
- коефіцієнт помилок по пакетах.

Однак не слід забувати, що NGN об'єднує інтереси трьох сторін – постачальників послуг, постачальників обладнання, користувачів мережі, роблячи можливим швидке і ефективно надання інтелектуального сервісу. Користувач може самостійно, не чекаючи, поки це зробить постачальник, підключити або відключити послугу. Таким чином, користувач контролює плату за послугу – платить лише за час користування. Такий підхід дозволяє користувачеві економити кошти. Це, в свою чергу, робить послуги привабливіше, тобто попит на них зростає, завдяки чому збільшується в кінцевому підсумку прибуток постачальників послуг. Разом з тим збільшується потреба в обладнанні, а це відповідно сприяє зростанню прибутку постачальників обладнання. Як бачимо, задовольняються інтереси відразу трьох сторін.

Тоді, очевидно, якість управління наданням інтелектуального сервісу необхідно оцінювати з точки зору всіх учасників процесу. При цьому з точки зору кожного учасника якість сервісу (надання інтелектуальних послуг) буде мати своє значення.

Згідно Рекомендації МСЕ-Т Е800 (09/2008) [7] якість обслуговування (QoS) визначено як сукупність характеристик послуги електрозв'язку, які стосуються її можливості задовольняти встановлені і передбачувані потреби користувача послуги.

Паралельно існує поняття якості сприйняття (QoSE) – рівня якості, який, за заявою абонентів / користувачів, вони відчували.

Показники роботи мережі (NP), зокрема, показники ефективності роботи інтелектуальної надбудови, характеризують здатність останньої або її частини забезпечувати функції, пов'язані з наданням інтелектуального сервісу користувачам та управлінням цим сервісом. Очевидно, якість управління наданням інтелектуального сервісу для кожного учасника процесу має свій підтекст, хоча відповідні значення взаємопов'язані. Адже високоякісне функціонування обладнання інтелектуальної надбудови (програмних комутаторів, серверів послуг) дозволить легко впроваджувати логіку обслуговування і вміло адмініструвати процеси надання інтелектуальних послуг. А це, в свою чергу, поліпшить якість сервісу з точки зору користувачів.

Таким чином, при формуванні комплексного критерію ефективності управління процесом надання ІС з використанням різних принципів управління – ІНЦПУ та ІНДПУ – в роботі [76], на підставі проведених досліджень, запропоновано враховувати участь трьох сторін – постачальників сервісу, постачальників обладнання, користувачів мережі.

Для отримання комплексного критерію оцінки ефективності управління ІС, в роботі [77] запропоновано методичний підхід, що складається у виконанні послідовності наступних етапів:

1. Визначення ступеня впливу кожного учасника процесу на значення комплексного критерію ефективності управління.
2. Визначення підкритеріїв для кожного учасника процесу.
3. Формування вагових коефіцієнтів для підкритеріїв.

4. Оцінка значення, досягнутого кожним підкритерієм.
5. Визначення результуючої оцінки для кожного учасника процесу.
6. Визначення комплексного критерію ефективності управління.

Отримане значення комплексного критерію ефективності ІНЦПУ та ІНДПУ дозволяє зробити висновок про доцільність їх застосування для управління наданням ІС [78].

2.2. Підкритерії критерію ефективності управління наданням ІС в NGN

В даній роботі, на підставі проведених досліджень [19, 65, 35] і рекомендацій ІТУ-Т [79], запропоновані наступні складові (підкритерії) критерію ефективності управління ІС:

1. Технічні підкритерії: час знаходження в мережі заявки на ІС – T , ймовірність блокування заявки – P , кількість заявок, які очікують обслуговування – L .
2. Економічний підкритерій – загальна вартість пристрою управління (при відповідному принципі управління) – C .
3. Підкритерій, що враховує характер потоку заявок на обслуговування – H .
4. Підкритерій, що характеризує ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу – Π .

Для розрахунку технічних підкритеріїв, коли не враховуються властивості самоподібності мережевого трафіку, використовуватиметься математичний апарат теорії марківських процесів, а саме: ІНЦПУ представляється як одноканальна система масового обслуговування (СМО), а ІНДПУ – як мережа масового обслуговування (МеМО). Характеристики СМО (ІНЦПУ) чи МеМО (ІНДПУ) розраховуються наступним чином [21, 80].

1. Формування моделі СМО (МеМО).
2. Побудова графа переходів моделі.
3. Кодування станів моделі.
4. Визначення стаціонарних ймовірностей станів моделі.

На підставі визначених стаціонарних ймовірностей станів моделі здійснюється розрахунок технічних підкритеріїв.

Для розрахунку технічних підкритеріїв, коли враховуються властивості самоподібності мережевого трафіку використовуватиметься математичний апарат теорії масового обслуговування та моделі, яка базується на застосуванні фрактального Броунівського руху.

Одним з підкритеріїв критерію ефективності управління ІС як ІНЦПУ, так і ІНДПУ в NGN є вартість ІН – \bar{C} , точніше кажучи чиста приведена вартість C . формули розрахунку C для ІНЦПУ і ІНДПУ будуть в загальному вигляді однаковими.

2.2.1. Підкритерій, котрий враховує характер потоку заявок на ІС

У дослідженнях [22, 35] показано, що мережевий трафік має яскраво вираженими властивостями самоподібності. Облік цих властивостей дозволяє більш точно характеризувати поведінку мережевого трафіку, ніж при використанні експоненційних моделей. Саме тому при оцінці ефективності управління ІС введений підкритерієм, що враховує властивість самоподібності надходять потоків заявок на обслуговування.

Урахування характеру надходить потоку здійснюється на основі введення параметра Хьорста H , $0 < H < 1$, визначається для часового ряду $x(t_i)$, t_i – дискретні моменти часу, $1 \leq i \leq N$. Якщо $H > 0.5$, то досліджуваний потік володіє тривалою пам'яттю і є самоподібним [22, 35].

Для розрахунку показника Хьорста існує ряд методів.

Дисперсійний метод полягає в статистичній оцінці надійності прояву залежності результативної ознаки від одного або декількох факторів. За допомогою нього проводиться перевірка статистичних гіпотез відносно середніх в кількох генеральних сукупностях, які мають нормальний розподіл. Принципова схема дисперсійного аналізу включає: встановлення основних джерел варіювання результативної ознаки і визначення обсягів варіації (сум квадратів відхилень) за джерелами її утворення; визначення числа ступенів свободи, що відповідають

компонентам загальної варіації; обчислення дисперсій як відношення відповідних обсягів варіації до їх числа ступенів свободи; аналіз співвідношень між дисперсіями; оцінка виникнення ймовірності різниці між середніми і формулювання висновків.

Дисперсія агрегованого процесу може бути обчислена за формулою, що подана нижче.

$$\sigma_m^2 = \sigma^2 / m^\beta \quad (2.1)$$

Де $0 < \beta < 1; \beta = 2 - 2H$.

Наступним кроком є логарифмування обох частини рівності. Припускаючи, що $\log(\sigma^2)$ – константа, яка не залежить від m , можна знайти значення $(-\beta)$ в якості нахилу прямої, знайденої за методом найменших квадратів з точок, що представляють собою графік залежності $\log(\sigma^2)$ від $\log(m)$. Знаючи оцінку β можна знайти і значення $H = t - \beta/2$. Варто зазначити, що даний метод, також як і R/S , дає дуже грубу оцінку параметра H , тому може бути використаний тільки для оцінки наявності самоподібності в досліджуваному процесі.

Для визначення коефіцієнта Хьорста застосовують також *метод абсолютних моментів* [81]. Застосовується при невеликому обсязі обчислень, так як лише у такому випадку дає досить точні результати. Методика перевірки наступна: вихідна послідовність X з довжиною N розділяється на блоки з довжиною m . На кордонах блоку послідовність має середнє значення, яке визначається формулою нижче.

$$\bar{X}(k) = \frac{1}{m} \sum_{i=(k-1)m+1}^{km} X_i, k = 1, 2, \dots, [N/m] \quad (2.2)$$

Для кожного блоку необхідно розрахувати дисперсію $X^{(m)}$ і математичне очікування \bar{X} для всієї послідовності. Після цього для кожного блоку визначається момент n :

$$D_n^{(m)} = \frac{1}{N/m} \sum_{k=1}^{N/m} |X^{(m)}(k) - \bar{X}^n| \quad (2.3)$$

У даному виразі $n=1$ (абсолютно середнє значення). Далі будується графік залежності абсолютних моментів для послідовності X від m , в логарифмічному масштабі. Після чого, згідно знайденим точкам, розраховується апроксимуюча пряма по методу мінімального середньоквадратичного відхилення від експериментальних даних. Далі необхідно знайти кут нахилу апроксимуючої прямої β . За отриманим значенням β можна знайти коефіцієнт самоподібності $H = 1 - \beta$. Необхідно, щоб довжина кожного блоку і число блоків були великими. Якщо послідовність – це не процес із залежністю, що повільно змінюється залежністю, то нахил апроксимуючої лінії буде рівним значенню 0.5. Якщо процес не самоподібний, тоді нахил навпаки буде меншим, ніж 0.5.

Періодограмний метод [82] відноситься до непараметричного спектрального аналізу. Метод визначення значення H на основі такого методу полягає у обчисленні періодограми для самоподібного випадкового процесу $X = \{X_i\}$. Визначається за наступною формулою:

$$I_N(\omega) = \frac{1}{2\pi N} \left| \sum_{k=1}^N x_k e^{jk\omega} \right|, \omega \in [0; \pi] \quad (2.4)$$

де N – довжина часового ряду.

Враховуючи те, що самоподібність впливає на характер спектру $S(\omega)$ при $\omega \rightarrow 0$, повинен утворюватись графік залежності спектральної щільності виду (2.5):

$$I_N(\omega) \approx [\omega]^{1-2H} \quad (2.5)$$

при $\omega \rightarrow 0$.

Згідно формулі (2.5) впливає, що безліч випадкових точок $(\log[I_N(\omega)]; \log(\omega))$, будуть розташовуватися лінійно з коефіцієнтом нахилу лінії $1 - 2H$. При застосуванні на практиці, для обчислення оцінки повинні використовуватися тільки нижні 10% частот, так як описана поведінка, описана вище, справедлива тільки для області частот, близьких до нуля. Основним недоліком даного методу є великий обсяг обчислень при побудові оцінки показника Хьорста.

Агрегована оцінка Віттла (The Whittle Estimator) [83] забезпечує отримання більш точну оцінку показника Хьорста H . Застосовується у випадку дослідження часового ряду великої довжини. Ідея полягає в об'єднанні даних, що створюють нові, коротші ряди:

$$X_i^{(m)} := \frac{1}{m} \sum_{j=m(j-1)+1}^{mi} X_j \quad (2.6)$$

Коротші ряди збільшують стандартне відхилення оцінки. Однак, якщо рівень агрегації m досить високий і присутня довготривала залежність, тоді новий ряд наблизиться до Фрактального Гаусівського Шуму (ФГШ). В такому випадку, у часовому ряді з базовою моделлю (ФГШ) може застосовуватись оцінка Віттла. Важливою особливістю даного, не графічного методу, є те, що він передбачає, що досліджуваний процес – самоподібний, але з невідомим параметром H , і дає оцінку цього параметра з певною точністю. В даному методі використовується спектральна щільність $S(w, H)$ відомої моделі самоподібного процесу, fbm – фрактального броунівського процесу. Параметр Хьорста оцінюється шляхом підбору його значення, яке мінімізує вказаний вище вираз Віттла.

R/S метод [84] являє собою сукупність статистичних прийомів і методів аналізу часових рядів та складається з восьми кроків. Вихідний ряд розбивається на блоки однакової довжини, для кожного з яких обчислюється розмах R і середньоквадратичне відхилення S . Потім для всіх блоків обчислюється середнє відношення R/S , розмір блоку збільшується і алгоритм повторюється знову, до тих пір, поки розмір блоку не зрівняється з розміром вихідного ряду. У підсумку, для кожного розміру блоку отримаємо середнє значення R/S і, виконавши регресію методом найменших квадратів, знайдемо H . Для дослідницької роботи було обрано саме цей метод, так як присутня вища точність результатів, при оперуванні великою кількістю даних. Також характеризується покроковою деталізацією та добре формалізованим алгоритмом. R/S метод дозволяє виявити та усунути короткострокову залежність та є найбільш оптимальним у порівнянні з усіма описаними вище. Не зважаючи на можливість виникнення похибки, допомагає

досягнути необхідної цілі – виявлення самоподібних процесів у інформаційних потоках, організованих в мережі.

Нижче приведено більш докладний покроковий опис алгоритму R/S -аналізу:

1) часовий ряд довжини M перетворюється на часовий ряд довжини $N = M - 1$ із наступних логарифмічних відношень:

$$N_i = \log\left(\frac{M_{i+1}}{M_i}\right), i = 1, 2, 3, \dots; \quad (2.7)$$

2) період часу необхідно поділити на A суміжних підперіодів довжини n , так, що $A_n = N$. Кожен підперіод позначається як I_a , з урахуванням того, що $a = 1, 2, 3, \dots, A$. Кожен елемент в I_a позначений N_k , при цьому $k = 1, 2, 3, \dots, n$. Для кожного I_a довжини n середнє значення визначається як:

$$e_a = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a} \quad (2.8)$$

3) часовий ряд накопичених відхилень $X_{k,a}$, а від середнього значення для кожного підперіоду I_a визначається як:

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - e_a) \quad (2.9)$$

4) діапазон визначається як різниця максимального та мінімального значень $X_{k,a}$ k , в межах кожного підперіоду I_a :

$$R_{I_a} = \max X_{k,a} - \min X_{k,a}, 1 \leq k \leq n \quad (2.10)$$

5) вибіркове стандартне відхилення, що розраховується для кожного підперіоду I_a :

$$X_{k,a} = \sqrt{\left(\frac{1}{n}\right) \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - e_a)^2} \quad (2.11)$$

б) кожен діапазон R_{I_a} тепер нормалізується шляхом ділення на відповідне значення S_{I_a} . Тому повторно нормований розмах протягом кожного I_a підперіоду

дорівнює R_{I_a}/S_{I_a} . У кроці 2, описаному вище, було отримано суміжні підперіоди довжини n . Отже, середнє значення R/S для довжини n визначається як:

$$X_{k,a} = \left(1/A \right) \sum_{i=1}^A (R_{I_a}/S_{I_a}) \quad (2.12)$$

7) довжина n збільшується до наступного більш високого значення, а $(M - 1)/n$ є цілочисельним значенням. Застосовується значення n , що включає початкові та кінцеві точки часового ряду, і перші шість кроків повторюються до $n = (M - 1)/2$;

8) тепер можна застосувати рівняння $\log(R/S) = \log(c) + H \log(n)$, виконуючи просту регресію методом найменших квадратів на $\log(n)$, як незалежної змінної, і $\log(R/S)$ як у якості залежної змінної. Відрізок, що відтинається на координатній осі є константою оцінкою $\log(c)$. Нахил рівняння є оцінкою показника Хьорста H .

Варто зазначити, що описаний алгоритм досить добре працює на вхідних даних за відсутності перешкод. Однак при додаванні в систему перешкод і відхилень, алгоритм в результаті може видавати велику похибку.

Згідно проведених досліджень [85], впливає твердження про самоподібність інформаційних потоків у сучасних мережах, так як результати варіюються в межах $0.5 < H < 1$. Як було описано вище, значення, яке найбільш наближене до 1, вказує на фрактальну структуру досліджуваного об'єкта. Графічне відображення залежностей $\log(R/S)$ від $\log(n)$, де n – це кількість складових часового ряду, а R/S є відношенням розмаху відхилення до стандартного (середньоквадратичного) відхилення, подано нижче.

На рис. 2.1 та рис. 2.2 представлені дані про вхідний та вихідний трафік за тиждень. Параметр Хьорста, визначений на основі обчислень методом R/S , подано у вигляді графіків на рис. 2.3 та рис. 2.4, відповідно.

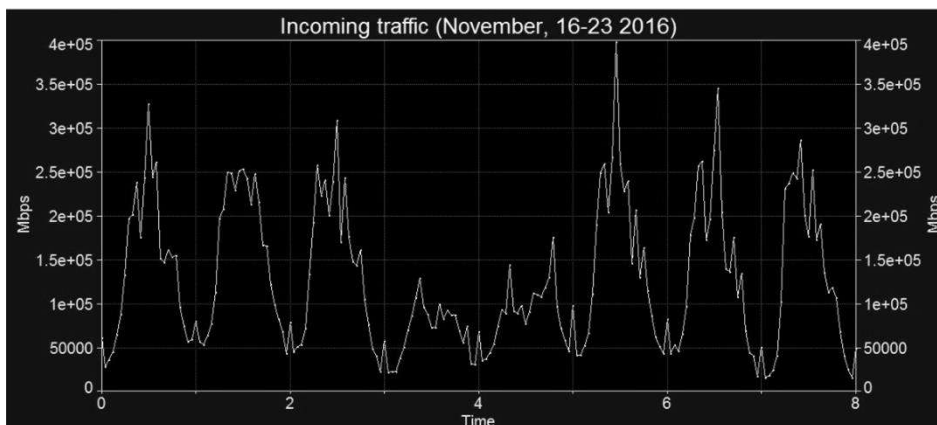


Рис. 2.1. Вхідний трафік за тиждень



Рис. 2.2. Вихідний трафік за тиждень

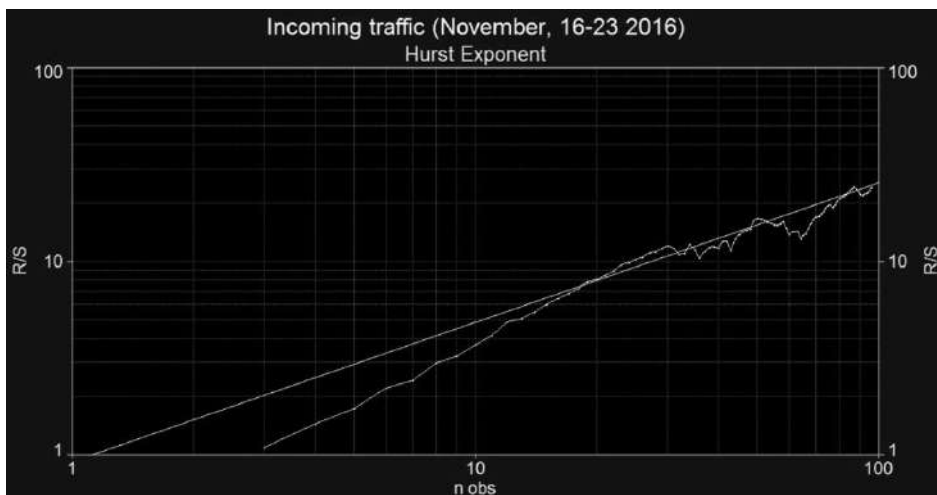


Рис. 2.3. Графічне відображення залежності $\log(R/S)$ від $\log(n)$ для вхідного трафіку за тиждень

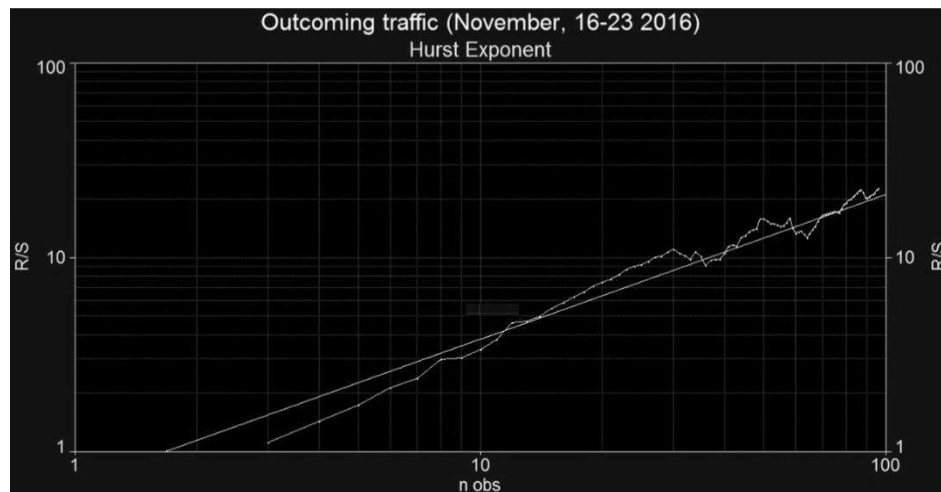


Рис. 2.4. Графічне відображення залежності $\log(R/S)$ від $\log(n)$ для вихідного трафіку за тиждень

Результуючі дані у вигляді значень показника Хьорста представлені у табл. 2.1. На основі отриманих коефіцієнтів, виведено середнє, мінімальне, максимальне значення вхідного та вихідного трафіку.

Таблиця 2.1.

Показник Хьорста досліджуваного трафіку за тиждень

Досліджуваний період	Показник Хьорста	
	Вхідний трафік	Вихідний трафік
Понеділок	0.75	0.73
Вівторок	0.76	0.75
Середа	0.83	0.71
Четвер	0.82	0.77
П'ятниця	0.80	0.75
Субота	0.77	0.71
Неділя	0.79	0.69
<i>Середнє арифметичне</i>	<i>0.79</i>	<i>0.73</i>
<i>Мінімальне значення</i>	<i>0.75</i>	<i>0.69</i>
<i>Максимальне значення</i>	<i>0.83</i>	<i>0.77</i>

Спостерігається зв'язок між показником Хьорста та інтенсивністю трафіка. З цього випливає висновок про передбачуваність користувацької активності впродовж тижня. Не дивлячись на значні коливання, усі значення доволі наближені до 1. Аналізуючи отримані дані, було виведено середнє, мінімальне та максимальне

значення коефіцієнтів, що створюють певний діапазон показників, підтверджуючи наявність самоподібних процесів. Найвищий показник вхідного трафіку був зареєстрований у середу, а вихідного – у четвер. Мінімальне значення вхідного трафіку припадає у перший день тижня, а вихідного – у останній.

Для відслідковування закономірності у поведінці трафіку та доказу наявності повторюваного характеру, були досліджені довші періоди у році. Вхідні та вихідні дані трафіку, зареєстрованого впродовж місяця, подано у графічному вигляді на рис. 2.5 та рис. 2.6. Програмно, застосовуючи R/S аналіз, визначено коефіцієнт Хьорста. Результуючі дані подано у табличному (табл. 2.2.) та графічному вигляді (рис. 2.7, рис. 2.8).

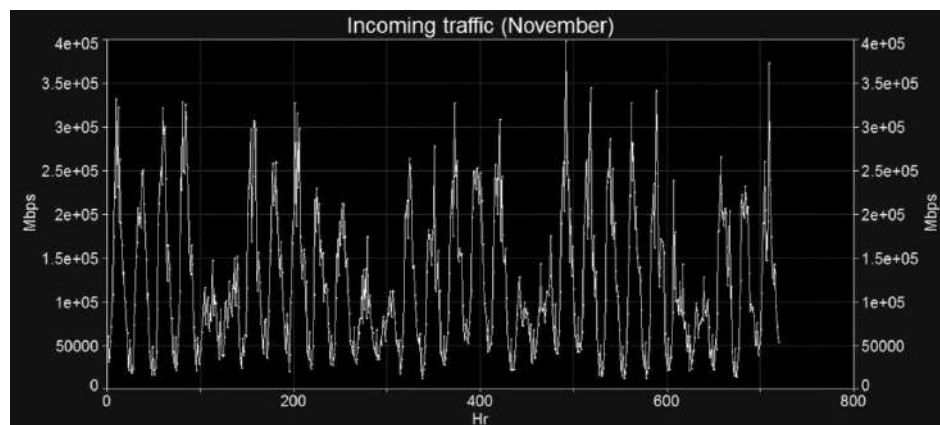


Рис. 2.5. Вхідний трафік за місяць (листопад)

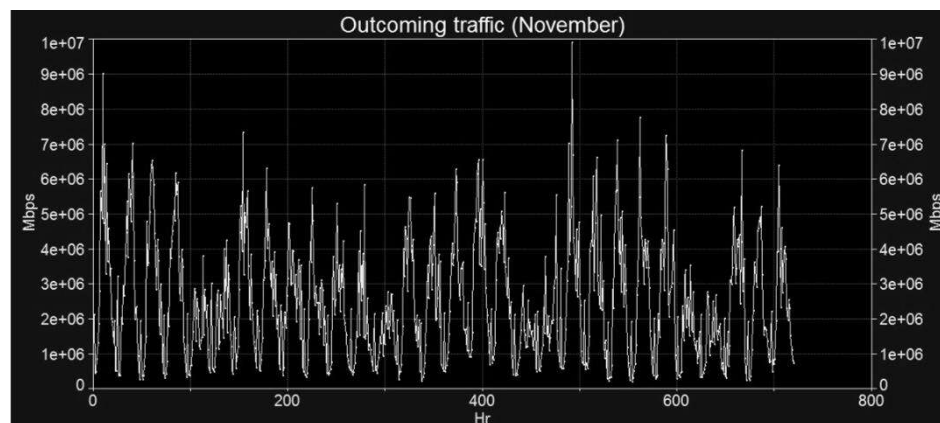


Рис. 2.6. Вихідний трафік за місяць (листопад)

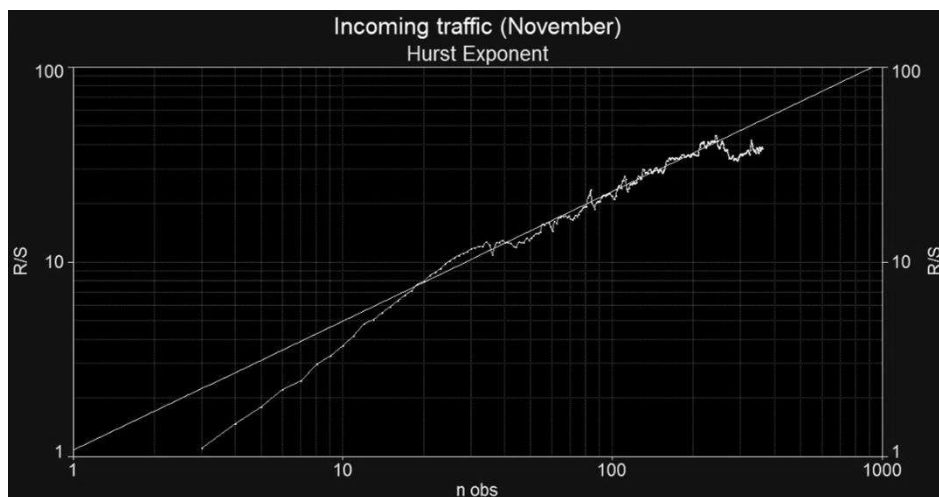


Рис. 2.7. Графічне відображення залежності $\log(R/S)$ від $\log(n)$ для вхідного трафіку за місяць

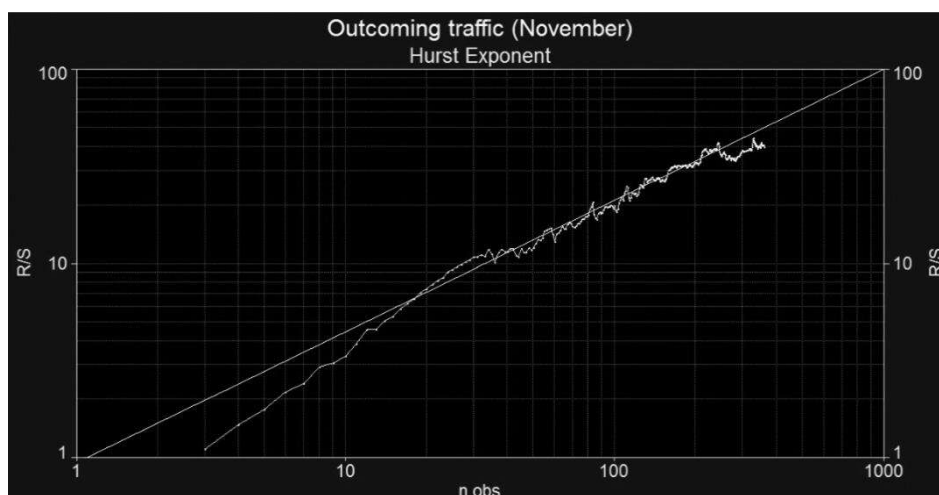


Рис. 2.8. Графічне відображення залежності $\log(R/S)$ від $\log(n)$ для вихідного трафіку за місяць

Таблиця 2.2.

Показник Хьорста досліджуваного трафіку за місяць

Досліджуваний період	Показник Хьорста	
	Вхідний трафік	Вихідний трафік
Перший тиждень	0.56	0.68
Другий тиждень	0.64	0.57
Третій тиждень	0.72	0.75
Четвертий тиждень	0.70	0.77
<i>Середнє арифметичне</i>	<i>0.66</i>	<i>0.69</i>
<i>Мінімальне значення</i>	<i>0.56</i>	<i>0.57</i>
<i>Максимальне значення</i>	<i>0.72</i>	<i>0.77</i>

Діапазон отриманих результатів зосереджений у межах 0.56-0.77, що свідчить про значні коливання показника. Не дивлячись на доволі низькі показники, що отримані у результаті дослідження першого та другого тижнів місяця, самоподібність трафіку присутня. Середнє значення показника Хьорста дослідженого вхідного та вихідного трафіку за місяць доволі наближене, тож відзначається певна стабільність та передбачуваність у поведінці користувачів.

Завершальним етапом дослідження був аналіз та обчислення даних вхідного та вихідного трафіку, створюваного інтелектуальними послугами, впродовж року. Дані про вхідний та вихідний трафік, подано нижче у графічному вигляді на рис. 2.9 та рис. 2.10 відповідно.

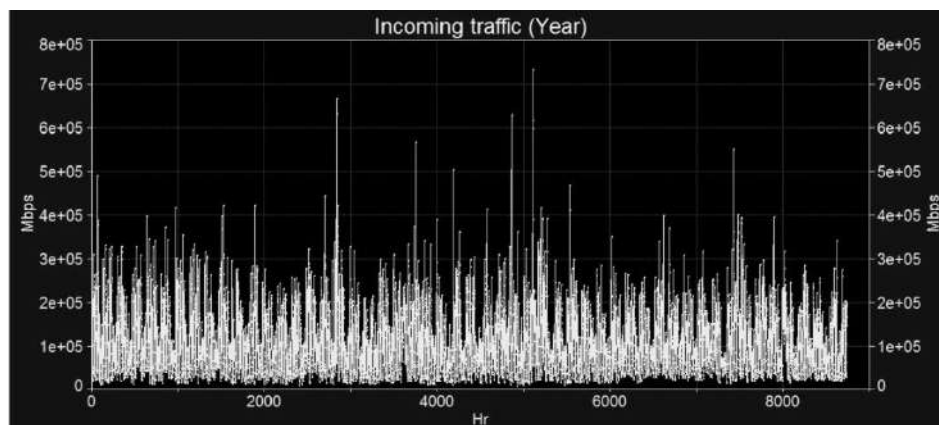


Рис. 2.9. Вхідний трафік за рік

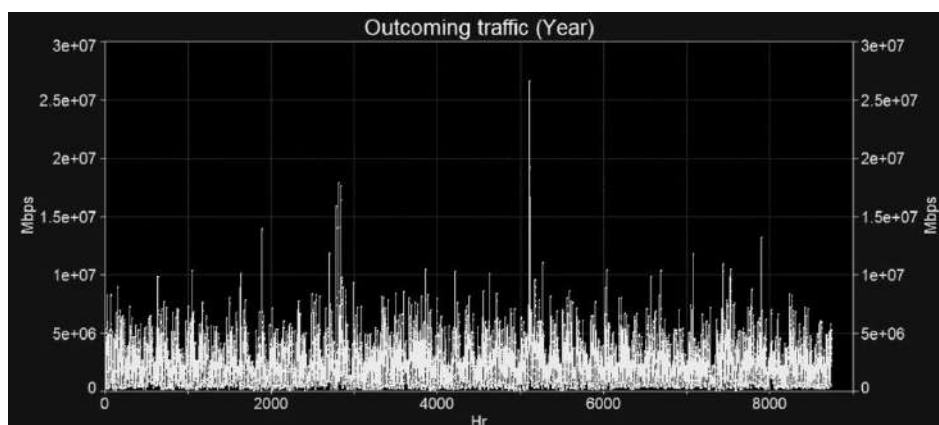


Рис. 2.10. Вихідний трафік за рік

Графічно, показник для вхідного та вихідного трафіку за річний період зображено на рис. 2.11 та рис. 2.12. Результуючі значення коефіцієнта Хьорста, визначеного для кожного місяця року, занесено до табл. 2.3.



Рис. 2.11. Графічне відображення залежності $\log (R/S)$ від $\log (n)$ для вхідного трафіку за рік

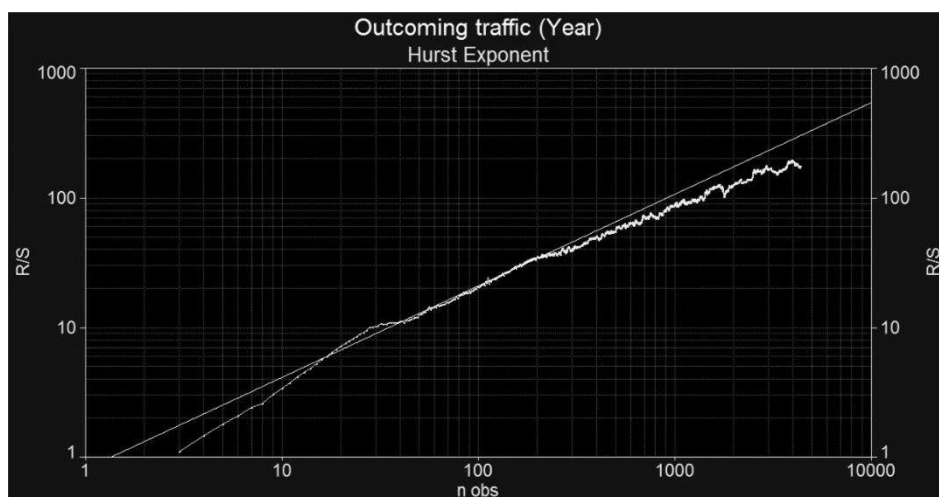


Рис. 2.12. Графічне відображення залежності $\log (R/S)$ від $\log (n)$ для вихідного трафіку за місяць

Нижче, у таблиці 3, наведено коефіцієнт Хьорста для кожного місяця, згідно досліджуваних даних вхідного та вихідного трафіку. На основі отриманих результатів, виведено середнє арифметичне для всього періоду.

Показник Хьорста досліджуваного трафіку за рік

Досліджуваний період	Показник Хьорста	
	Вхідний трафік	Вихідний трафік
Січень	0.70	0.73
Лютий	0.70	0.76
Березень	0.67	0.66
Квітень	0.72	0.72
Травень	0.53	0.57
Червень	0.68	0.54
Липень	0.74	0.74
Серпень	0.65	0.68
Вересень	0.68	0.73
Жовтень	0.70	0.79
Листопад	0.66	0.68
Грудень	0.70	0.75
<i>Середнє арифметичне</i>	<i>0.70</i>	<i>0.70</i>
<i>Мінімальне значення</i>	<i>0.53</i>	<i>0.54</i>
<i>Максимальне значення</i>	<i>0.74</i>	<i>0.79</i>

В результаті дослідження трафіку вхідних та вихідних даних за рік, визначено діапазон значень коефіцієнтів Хьорста, що коливається від 0.53 до 0.79. Обираючи більш масштабні інтервали часу, зникає можливість детальної обробки вхідних даних, що впливає на точність результатів. Можна відмітити знижену активність користувачів у проміжки часу, що, ймовірно, припадають на період відпусток (табл. 3). Так, мінімальне значення коефіцієнта Хьорста для вхідного трафіку набуває значення 0.53 (травень), а вихідного – 0.54 (червень). Проте, зареєстровано максимальне значення вхідного трафіку, що припадає на липень (0.74), з чого випливає висновок про можливу наявність масової розсилки та реклами актуальних послуг чи продуктів. Середнє значення дослідженого трафіку за рік однакове і становить 0.70, що підтверджує наявність самоподібних процесів.

2.2.2. Підкритерій, що враховує думку користувачів

У роботах по оцінці ефективності управління ІС [21, 65] переважно розглядаються технічні характеристики, відповідно до вимог до мережеских показниками якості для служб, заснованих на протоколі ІР [86]. Однак, виходячи з сучасних рекомендацій МСЕ [79], при оцінці телекомунікаційного сервісу необхідно враховувати ступінь задоволеності користувачів якістю сервісу, що можна здійснити, наприклад, з використанням підходів, представлених в роботах [19, 87, 88, 89].

Згідно з рекомендацією МСЕ-Т Е.802 для оцінки якості мультимедійних послуг застосовна модель чотирьох ринків [79], в якій враховується розподілення між транспортним рівнем і рівнем послуг. У цьому випадку за транспорт, забезпечення і контент, а також за надання кінцевого обладнання можуть нести відповідальність різні сторони. Загальна якість обслуговування (сприйняття користувачем) є поєднанням різних елементів, які працюють незалежно один від одного.

Дана модель дозволяє проводити роздільне дослідження різних елементів і визначати відповідні критерії якості для відповідних видів послуг. Так, для забезпечення необхідного рівня якості мультимедійних послуг – це комплекс дій, що охоплює створення контенту, управління послугою, мережу доставки і клієнтське обладнання (рис. 2.13).

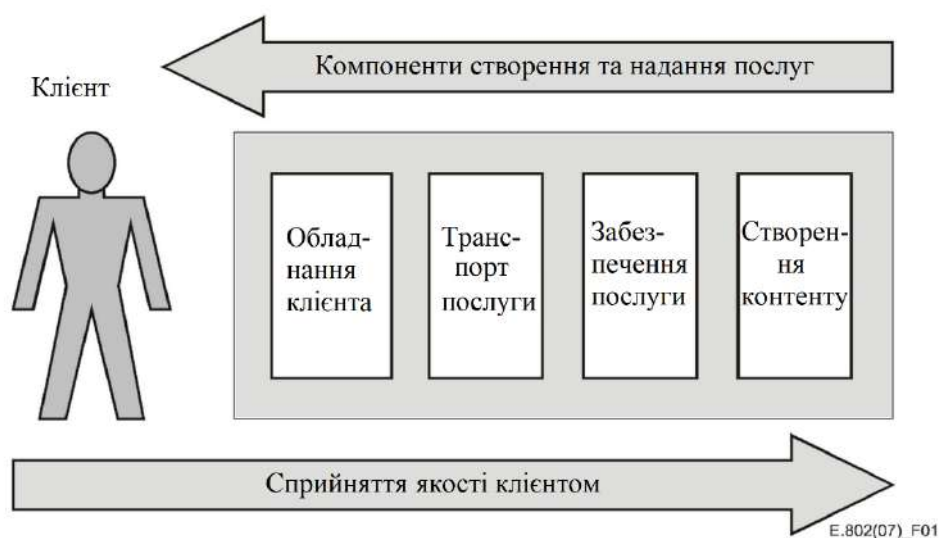


Рис. 2.13. Модель чотирьох ринків

Клієнтське обладнання: Устаткування всіх видів, необхідне користувачеві для отримання доступу до мережі і, отже, до послуги. Це обладнання складають персональні комп'ютери, телевізійні приймачі, телевізійні комп'ютерні приставки, відеомагнітофони, модеми, мультимедійні кіоски і т.д. У розрахунок слід приймати не тільки апаратне, але і програмне забезпечення, необхідне для коректного функціонування обладнання.

Транспорт послуги: Мережі електрозв'язку всіх видів, що використовуються для поширення послуг електрозв'язку, такі як наземні (фіксовані і бездротові) і супутникові системи мовлення мережі.

Забезпечення послуги: Всі дії і функції, пов'язані з компонуванням, поданням і управлінням послугами електрозв'язку.

Створення контенту: Всі дії, пов'язані зі створенням, розповсюдженням і компонуванням контенту, який надається за допомогою послуги електрозв'язку.

На рис. 2.14 представлено взаємозв'язок Quality of Service і Network Performance [79]

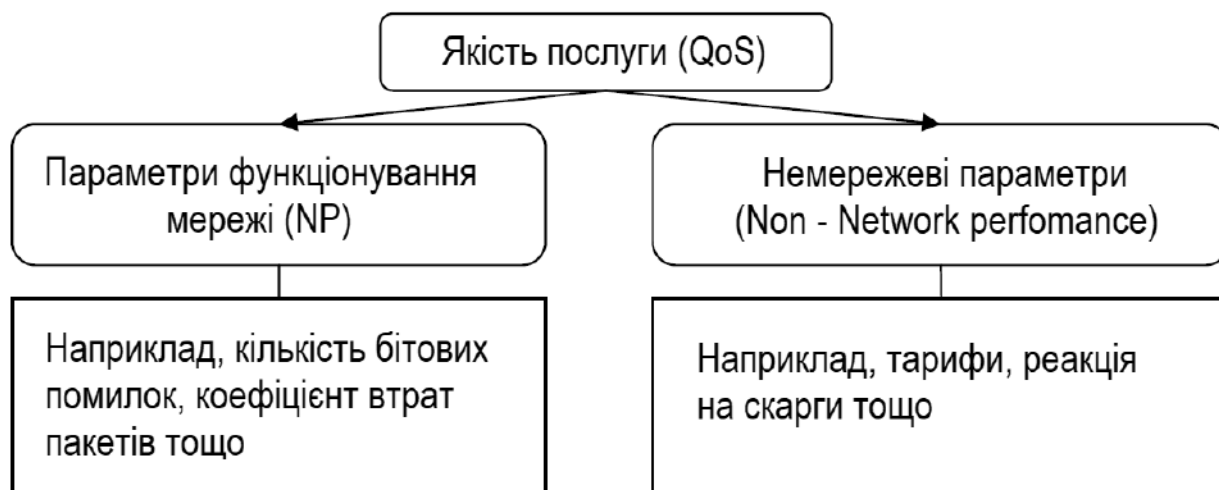


Рис. 2.14 Взаємозв'язок Quality of Service і Network Performance

Управління QoS можна пояснити шляхом застосування чотирьох поглядів на QoS. Ці погляд охоплюють всі аспекти QoS – з точки зору постачальника і користувача сервісу. Чотирма поглядами на QoS є:

- вимоги користувача (клієнта) до QoS;

- QoS, запропоноване постачальником сервісу (або плановане / цільове QoS);
- QoS, що досягається або забезпечується;
- QoS, сприйняте користувачем (оцінки QoS за результатами обстежень).

Ці чотири точки зору на QoS повинні застосовуватися таким чином.

Якість сприйняття (Quality-of-experience, QoE) – прийнятність сервісу або програми в цілому, що суб'єктивно сприймається кінцевим користувачем (P10 / G.100. Annex 1. Quality of Experience). Якість сприйняття враховує вплив усіх аспектів і учасників надання сервісу (користувач, термінал, мережа і т.д.).

Прийнятність сервісу може залежати від очікувань користувача.

Параметри, що впливають на якість сприйняття сервісу:

- коефіцієнт мережевої ефективності;
- затримка надання сервісу;
- якість наданої медіа-інформації (MOS – Mean Opinion Score) / R-фактор).

На рис. 2.15 представлений взаємозв'язок точок зору користувача і оператора на якість сервісу [79].

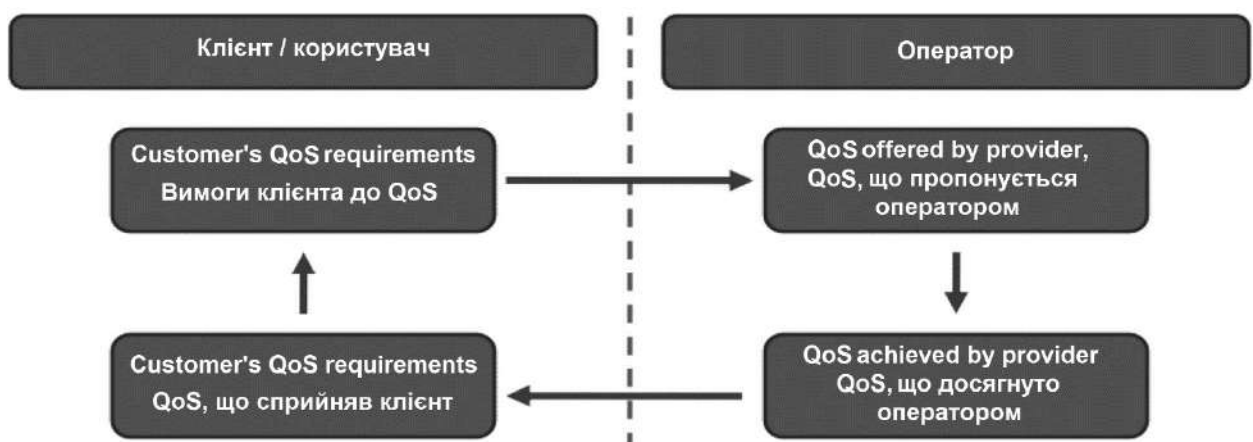


Рис. 2.15 Точка зору на якість сервісу

Взаємозв'язок між загальною оцінкою якості передачі (R) і сприйняттям якості користувачем визначається відповідно до табл. 2.4. (Рекомендація ITU G.109)

Оцінка QoS на основі R-фактору і оцінок MOS

Оцінка QoS на основі R-фактора та оцінок MOS		
Значення R-фактора	Категорія якості й оцінка користувача	Значення оцінки MOS
90<R<100	Найвища (відмінно)	4,34 — 4,50
80<R<90	Висока (добре)	4,03 — 4,34
70<R<80	Середня (прийнятно: частина користувачів оцінює якість як незадовільну)	3,60 — 4,03
60<R<70	Низька (погано: більшість користувачів оцінює якість як незадовільну)	3,10 — 3,60
50<R<60	Неприйнятна (не рекомендується)	2,58 — 3,10

Взаємозв'язок QoE, параметрів функціонування і параметрів продуктивності мережі представлені в табл. 2.5.

Взаємозв'язок QoE, NP і параметрів продуктивності мережі

Характеристика послуги (Профіль)	Умови еталонної моделі послуги	Граничні значення функціонування мережі (NP)	Граничні значення продуктивності мережі
VAD Codec G.168 Packetization time та packet formation time	MOS -> 3.5 Call time -180 сек Signalling timer < lim	IPTD IPDV IPLR IPER	Смуга пропуску (BW) De-jitter buffer Алгоритми маршрутизації та пріоретизації трафіку

Оцінка ефективності послуги включає в себе як об'єктивну оцінку мережевих характеристик, так і суб'єктивну експертну і призначену для користувача оцінку. В [90] представлена методика визначення комплексного показника ефективності. Коефіцієнт задоволеності користувачів послугою визначається як сума середніх значень показників задоволеності по впливає на якість і доступність обслуговування факторів, зважених з урахуванням значущості цих чинників. При цьому вихідні дані для розрахунків отримані шляхом опитування користувачів.

2.3. Комплексний критерій ефективності управління наданням ІС

Таким чином, критерій ефективності управління ІС – Q , представляється в векторній формі:

$$\bar{Q} = (T, P, L, H, C, \Pi) \quad (2.13)$$

При порівнянні ефективності механізмів управління з різними принципами управління на основі векторного критерію в формі (2.13) необхідно, щоб всі підкритерії пристрою управління з певним принципом управління відповідали аналогічним підкритеріям пристрою управління з іншим принципом управління. Однак, не завжди можливо порівняти пристрою управління з різними принципами управління за допомогою вектора, елементами якого є підкритерії. Найчастіше спочатку формується векторний критерій, а потім здійснюється перехід до результуючому скалярному критерію (РСК) методами, що представляють можливість кількісної оцінки ефективності управління ІС [21, 44].

Для створення РСК використовується адитивна функція корисності [44, 64]:

$$K_r = \sum_{k=1}^S v_k Q_k, \quad v_k > 0, \quad \sum_{k=1}^S v_k = 1 \quad (2.14)$$

де Q_k – значення k -го підкритерію, зазвичай виставляється в балах в прийнятій системі оцінок; v_k – ваговий коефіцієнт, що визначає значимість k -го підкритерію; S – кількість підкритеріїв.

Для визначення значень вагових коефіцієнтів підкритеріїв зазвичай використовуються експертні оцінки, на підставі яких формується матриця пріоритетів [44]. При побудові матриці пріоритетів коефіцієнт конкордації Кендалла W_K , який характеризує ступінь узгодженості експертів при виставленні оцінок, повинен задовольняти умові $W_K \geq 0.7$

2.4. Методи визначення вагових коефіцієнтів на основі експертної оцінки

2.4.1. Метод безпосередніх оцінок

Діапазон зміни якоїсь величини, що характеризує об'єкт, розбивається на декілька інтервалів, кожному з яких присвоюється визначена оцінка. Ця оцінка зазвичай називається балом.

Експерти оцінюють запропоновані об'єкти, використовуючи метод оцінки в балах (наприклад, експерти – судді у фігурному катанні оцінюють спортсмена, користуючись 6-бальною шкалою, у спортивній гімнастиці – 10-бальною). Безпосередня оцінка в балах кожного експерта в групі експертів підлягає опрацюванню. На її основі може бути розрахована вага, або значимість об'єкта в ряду інших об'єктів.

Нехай є n об'єктів і m експертів. Кожний експерт присвоює відповідний бал кожному об'єктові.

Усереднена оцінка, що визначає вагу, значимість об'єкта, розраховується за формулою:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^m X_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m X_{ij}}, \quad (2.15)$$

де W_i – вага i -го об'єкта;

X_{ij} – оцінка, присвоєна i -му об'єкту j -м експертом;

$i = \overline{1, n}$, n – кількість об'єктів;

$j = \overline{1, m}$, m – кількість експертів.

Нехай $m = 3$, $n = 5$. Нехай оцінка об'єктів виставляється у п'ятибальній системі. Розрахунок ваги об'єкта в оцінюваному ряду наведений у табл. 2.6.

Розрахунок ваги об'єкта

Експерти, j	Об'єкти (i). Оцінки у балах					Сумарна оцінка (бал)
	1	2	3	4	5	
№ 1	5	1	4	2	3	15
№ 2	4	2	5	3	2	16
№ 3	4	3	3	4	3	17
Сумарна оцінка, бал $\sum_{j=1}^3 X_{ij}$	13	6	12	9	8	$\sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^3 X_{ij} = 48$
Вага об'єкта, W_i	0.271	0.125	0.250	0.188	0.167	1.0

Очевидно, що сума ваги всіх об'єктів дорівнює одиниці:

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (2.16)$$

У нашому прикладі:

$$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 = 1.$$

Найбільшу вагу має об'єкт 1: $W_1 = 0.271$, наступну вагу має об'єкт 3: $W_3 = 0.250$.

Найменшу вагу має об'єкт 2: $W_2 = 0.125$.

Значення отриманої ваги W_i об'єктів дозволяють судити про важливість об'єктів, їх перевагу перед іншими об'єктами.

2.4.2. Метод послідовних порівнянь

По суті цей метод використовує ідею методу безпосередніх оцінок.

Розглядається велика кількість об'єктів і послідовно кожному об'єкту виставляється оцінка або бал у прийнятій системі оцінок або балів. Таке порівняння також називають безпосередньою оцінкою в балах.

Зазвичай у процедурі послідовних порівнянь беруть участь декілька експертів, кожен з яких виставляє відповідні бали кожному з об'єктів.

Приклад використання методу послідовних порівнянь наведений у табл. 2.7.

Таблиця 2.7.

Метод послідовних порівнянь

Експерти, <i>j</i>	Об'єкти (<i>i</i>)							
	Оцінки у балах							
	1	2	3	4	5	6	7	8
№ 1	10	7	6	5	10	3	2	6
№ 2	9	6	6	7	10	3	2	5
№ 3	10	7	6	7	10	4	1	6
№ 4	8	8	8	5	8	3	1	7

2.4.3. Метод парних порівнянь

Метод ґрунтується на попарному порівнянні об'єктів із метою встановити в кожній парі найкращий об'єкт. Результати порівняння записуються у формі квадратної матриці, кожен елемент котрої $\alpha_{ij} = 1$, якщо об'єкт *i* кращий від об'єкта *j*, і $\alpha_{ij} = 0$ у протилежному випадку. Матриця має *n* рядків і *n* стовпчиків – за кількістю об'єктів.

Матрицю парних порівнянь заповнює кожен експерт, після чого в додатковому (*n* + 1)-му останньому стовпчику одержують суму переваги кожного об'єкта над іншими, яка утворюється для кожного рядка підсумовуванням елементів рядка.

У табл. 2.8. наведено матрицю парних порівнянь одного експерта для *n* = 5.

Матриця парних порівнянь одного експерта

Об'єкт (еталон), з яким порівнюють, i	Об'єкт для порівняння, j					Сума переваг
	1	2	3	4	5	
1	X	1	1	0	1	3
2	0	x	0	1	1	2
3	0	1	X	1	0	2
4	1	0	0	x	1	2
5	0	0	1	0	x	1

Надалі суми переваг, отримані для кожного об'єкта, можуть бути використані, так само як і в методі безпосередніх оцінок, для ранжування, визначення значимості, ваги абонента в ряду інших об'єктів та ін. процедур.

2.4.4. Метод ранжування

Ранжування — метод, заснований на розташуванні об'єктів експертизи в зростаючому або убиваючому порядку.

Призначений для вирішення багатьох практичних завдань коли об'єкти, що визначають кінцеві результати, не піддаються безпосередньому вимірюванню. Крім того, окремі об'єкти, що характеризуються різною природою, бувають несумісними, оскільки у них немає загальної міри порівняння. Підставою для застосування ранжування є необхідність впорядкування будь-якого об'єкту в часі і просторі, а також відповідно до вимірюваної якості без проведення точних вимірювань. І нарешті, за ситуації, коли якість, яка вимірюється, в принципі не може бути виміряна з причин практичного і теоретичного характеру.

Процедура ранжування полягає в розташуванні об'єктів експертом в найбільш раціональному порядку і присвоєння ним певного рангу у вигляді числа натурального ряду. При цьому ранг 1 отримує найбільш важливий об'єкт, а ранг n — найменш

важливий. В результаті отримана шкала порядку, в якій число рангів дорівнює числу об'єктів. Якщо два об'єкти мають однакові ранги, то їм приписують так звані стандартизовані ранги, які розраховуються як середнє суми місць об'єктів із однаковими рангами.

Наприклад, шести об'єктам привласнені наступні ранги:

1	2	3	4	5	6
1	2	3	3	2	3

Об'єкти 2 і 5 поділили 2-е і 3-є місця. їх стандартизований ранг буде дорівнювати:

$$(2 + 3) / 2 = 2,5.$$

Об'єкти 3, 4 і 6 поділили 4-е, 5-е і 6-е місця, а їх стандартизований ранг дорівнює 5:

$$(4 + 5 + 6) / 3 = 5.$$

В результаті виходить наступне ранжування:

1	2	3	4	5	6
1	2,5	5	5	2,5	5

Метод ранжування рідко застосовується в чистому вигляді. Найчастіше він поєднується з методом безпосередньої оцінки або його модифікаціями (ранжуванням за сумою оцінок, комбінованим способом та ін.).

2.4.5. Метод формування матриці пріоритетів

Нехай, відомо, що критерій $Q_1(x)$ має переважну вагомість порівняно з $Q_2(x)$, а критерій $Q_2(x)$ має більшу вагомість, ніж $Q_3(x)$. Зазначимо, наприклад, що $Q_1(x)$ – це мінімальна кількість інформації системи управління, яка забезпечує задану точність параметрів мережі, при забезпеченні властивостей адаптивності та інваріантності системи управління; $Q_2(x)$ – це достовірність управляючої інформації; $Q_3(x)$ – затримка керуючої інформації. Інформація про підкритерії дає змогу звести оцінки пріоритетів:

$$\mu_{12} = 10/1, \mu_{13} = 10/1, \mu_{23} = 5/1$$

При цьому матриця пріоритетів має вигляд (рис. 2.16):

	Q1	Q2	Q3	π_k
Q1	0	10	10	20
Q2	1	0	5	6
Q3	1	1	0	2

Рис. 2.16. Матриця пріоритетів

Для визначення вагових коефіцієнтів λ_1, λ_2 і λ_3 маємо систему рівнянь:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_3} = \frac{20}{2}, \frac{\lambda_2}{\lambda_3} = \frac{6}{2}, \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$$

Звідки $\lambda_1 = 0.72, \lambda_2 = 0.216$ і $\lambda_3 = 0.072$, тобто адитивна функція користності має вигляд:

$$Q(x) = 0.72Q_1(x) + 0.216Q_2(x) + 0.072Q_3(x)$$

2.5. Визначення вагових коефіцієнтів та результуючого скалярного критерію ефективності управління ІС в NGN

Суть пропонованого методу оцінки ефективності управління ІС полягає в наступному.

Кожному з підкритеріїв присвоюється порядковий номер, що відповідає їх послідовності. При цьому послідовність підкритеріїв вибудована відповідно до їх ваговими коефіцієнтами, отриманими на основі експертних оцінок. Результати цих оцінок надаються у вигляді матриці, форма якої залежить від обраного методу оцінок (безпосередніх оцінок, парних порівнянь, ранжування, пріоритетів тощо), наприклад, в матрицю пріоритетів у формі табл. 2.

Для порівняння підкритеріїв запропоновано використовувати метод порівнянь пріоритетів. У кожному рядку матриці пріоритетів вказана для кожного k -го підкритерія ($k = \overline{1, n}$, k – номер підкритерія, n – кількість підкритеріїв), його вагова характеристика по відношенню до решти підкритеріям. Наприклад, при експертному порівнянні підкритеріїв T та P отримано, що вагові характеристики підкритерія T

вдвічі більші, ніж підкритерія P ; тоді в рядку T в стовпці P записується показник «2», а в рядку P стовпці T – показник «1». Аналогічно записуються інші елементи матриці пріоритетів. В останньому стовпці матриці пріоритетів формується сума вагових характеристик для кожного підкритеріям. Ставлення зазначених сум дає можливість визначити ваговий коефіцієнт μ_k для кожного k -го підкритерія.

Розглянемо приклад оцінок експертами підкритеріїв, зведених в матрицю пріоритетів (табл. 2.9.):

Таблиця 2.9.

Матриця пріоритетів

	T	P	L	C	H	Π	μ_k
T	0	2	5	5	5	10	27
P	1	0	1	2	5	5	14
L	1	1	0	5	5	5	17
C	1	1	1	0	5	2	10
H	1	1	1	1	0	1	5
Π	1	1	1	1	1	0	5

Для визначення вагових коефіцієнтів μ_k маємо систему рівнянь [44]:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{27}{14}, \frac{\mu_2}{\mu_3} = \frac{14}{17} \text{ і т. д.}$$

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5 + \mu_6 = 1,$$

звідки $\mu_1 = 0.35$, $\mu_2 = 0.18$, $\mu_3 = 0.22$, $\mu_4 = 0.13$, $\mu_5 = 0.06$ и $\mu_6 = 0.06$

Таким чином, для розглянутого прикладу (табл. 2), аддитивная функція корисності має вигляд:

$$K_r = 0.35Q_1(x) + 0.18Q_2(x) + 0.22Q_3(x) + 0.13Q_4(x) + 0.06Q_5(x) + 0.06Q_6(x)$$

Для об'єднання підкритеріїв, несумісних між собою, необхідно привести їх до єдиної системи оцінювання, наприклад, в балах. В даному випадку наведемо все підкритерії в п'ятибальну шкалу оцінювання.

В даній роботі запропоновано шкалу для переводу значень технічних підкритеріїв в п'ятибальну шкалу, яка наведена в табл. 2.10.

Так, для переведення значення підкритеріям T в п'ятибальну шкалу прийнято: $0 \leq T < 200$ відповідає 5 балам, $200 \leq T < 400$ відповідає 4 балам і т.д. За таким же принципом створюється шкала для інших підкритеріїв.

Таблиця 2.10.

Переведення значень підкритеріїв в п'ятибальну шкалу

Оценка в балах	T – час знаходження в мережі заявки на ІС (мс)	P – ймовірність блокування заявки	L – кількість заявок, які очікують обслуговування
5	$0 \leq T < 200$	$0 \leq P < 0.02$	$0 \leq L < 1100$
4	$200 \leq T < 400$	$0.02 \leq P < 0.03$	$1100 \leq L < 1200$
3	$400 \leq T < 600$	$0.03 \leq P < 0.04$	$1200 \leq L < 1300$
2	$600 \leq T < 800$	$0.05 \leq P < 0.06$	$1300 \leq L < 1400$
1	$800 \leq T \leq 1\ 000$	$0.06 \leq P \leq 0.07$	$1400 \leq L \leq 1600$

В табл. 2.11. Таблиця 2.11 представлена шкала переведення в п'ятибальну шкалу значень інших підкритеріїв – H , C , та Π .

Переведення значень підкритеріїв в п'ятибальну шкалу

Оцінка в балах	H – характер потоку, що надходить (Показник Хьорста)	C – вартість в у.е.	P – категорія якості і оцінка користувача
5	$0 \leq H < 0.2$	$0 \leq C < 6\ 000$	Найвища (відмінно)
4	$0.2 \leq H < 0.4$	$6\ 000 \leq C < 7\ 000$	Висока (добре)
3	$0.4 \leq H < 0.6$	$7\ 000 \leq C < 8\ 000$	Середня (частина користувачів оцінює якість як незадовільний)
2	$0.6 \leq H < 0.8$	$8\ 000 \leq C < 9\ 000$	Низька (більшість користувачів оцінює якість як незадовільну)
1	$0.8 \leq H < 1$	$9\ 000 \leq C \leq 10\ 000$	Неприйнятна (не рекомендується)

Зрозуміло, що аналогічним чином може бути здійснено переведення значень підкритеріїв у будь-яку іншу бальну систему.

2.6. Приклад розрахунку критерію ефективності управління ІС в мережах із ІНЦПУ та ІНДПУ

Для оцінки ефективності управління ІС, здійснюваного ІНЦПУ і ІНДПУ, виконано імітаційне моделювання. Моделювання проводилося в системі NS-2. Моделювана система складається з 100 абонентів, що генерують заявки на ІС, кожна заявка представлена групою з 3÷8 пакетів, розміром в 100 байт кожен. Максимальна довжина черги на обслуговування – 2000 заявок. Моделювання проводилося при величині показника Хьорста $H = 0.9$. Загальна вартість пристрою управління прийнята $C = 7000$ у.о. [13]. У табл. 2.12. представлені результати моделювання при різній інтенсивності надходить потоку і розрахунок критеріїв ефективності ІНЦПУ адитивної функції корисності K_r [91].

Результати розрахунків для ІНЦПУ

λ (Мбіт/сек)	T		P		L		C	H	Π	K_r
	мс	Бали	Значення	бали	значення	бали				
10	461.316	3	0.005944	5	970	5	3	1	5	3.8
20	469.667	3	0.011505	5	1077	5	3	1	5	3.8
30	479.486	3	0.01246	5	1180	4	3	1	4	3.52
40	518.677	3	0.02	4	1250	3	3	1	4	3.12
50	597.841	3	0.029	4	1300	2	3	1	3	2.84
60	656.752	2	0.033	3	1367	2	3	1	3	2.31
70	728.196	2	0.037	3	1398	2	3	1	2	2.25
80	813.723	1	0.045	2	1415	1	3	1	2	1.5
90	908.26	1	0.051	1	1435	1	3	1	1	1.26
100	993.256	1	0.06	1	1555	1	3	1	1	1.26

Розрахунок критерію ефективності ІНДПУ – адитивної функції корисності K_r проводився при наступних вихідних даних: $C = 1000$ у.о., $H = 0.9$. Результати розрахунків зведені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13.

Результати розрахунків для ІНДПУ

λ	T	P	L	C	H	Π	K_r
10	3	5	5	1	1	5	3.54
20	3	5	5	1	1	5	3.54
30	3	5	5	1	1	5	3.54
40	3	5	4	1	1	4	3.26
50	3	4	4	1	1	4	3.08
60	2	4	3	1	1	4	2.51
70	2	4	3	1	1	3	2.45
80	2	2	3	1	1	2	2.03
90	2	2	3	1	1	2	2.03
100	2	2	3	1	1	2	2.03

На основі отриманих результатів побудовані графіки залежності значень адитивних функцій корисності для ІНЦПУ і ІНДПУ від інтенсивності надходження заявок на ІС – λ (рис. 2.17).

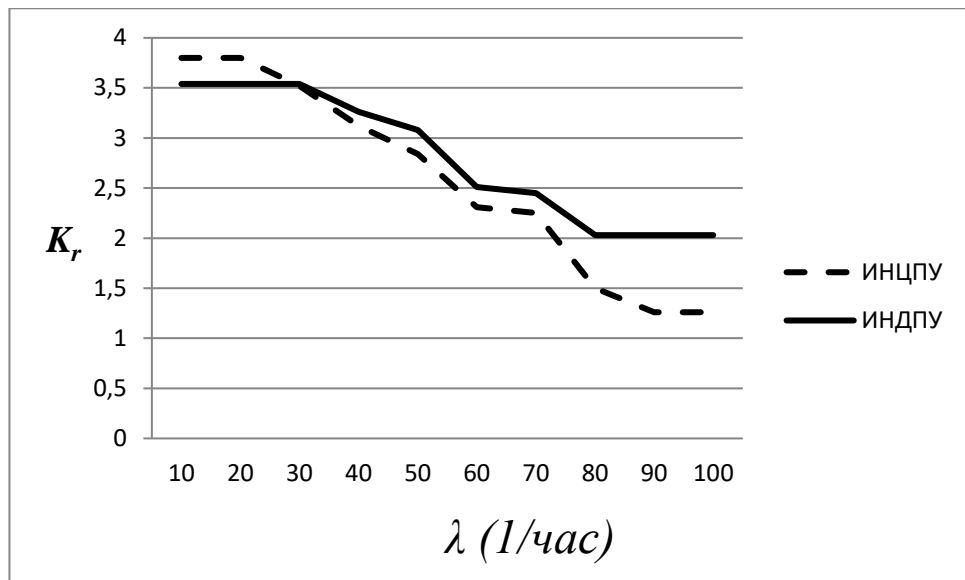


Рис. 2.17. Графік залежності результуючого скалярного критерію K_r від інтенсивності надходження заявок на ІС λ

Як видно з рис. 2.17, при інтенсивності надходження заявок на ІС до 20 Мбіт/сек показник ефективності управління при ІНЦПУ на 7.3% вищий, ніж при ІНДПУ. Але при збільшенні інтенсивності надходження заявок на ІС ситуація стрімко змінюється. При інтенсивності надходження заявок на ІС у 100 Мбіт/сек, показник ефективності управління при ІНЦПУ на 37% гірший, ніж при ІНДПУ.

Запропонований в даній роботі метод оцінки ефективності управління ІС дає можливість визначити, який з принципів управління – ІНЦПУ або ІНДПУ, доцільно застосувати при проектуванні системи управління ІС.

Висновки до другого розділу

1. З урахуванням рекомендацій ІТУ-Т для формування критерію ЕУ наданням ІС запропоновано використання наступних підкритеріїв: час знаходження в мережі заявки на ІС, ймовірність блокування заявки, кількість заявок, що очікують на обслуговування (середня довжина черги), характер потоку заявок, вартість пристрою управління та ступінь задоволення користувачів якістю сервісу.

2. На основі досліджень вхідного та вихідного мережевого трафіку, що утворюється ІС (на прикладі послуги «Телеголосування»), за проміжки часу в тиждень, місяць та рік, а також визначення показника Хьорста за допомогою

обчислень методом R/S , обґрунтовано необхідність урахування самоподібності мережевого трафіку при визначенні критерію ефективності управління наданням ІС.

3. Проведено розрахунки ефективності централізованого та децентралізованого методів управління наданням ІС. Показано, що при інтенсивності надходження заявок на ІС до 20 Мбіт/сек показник ЕУ при ІНЦПУ на 7.3% вищий, ніж при ІНДПУ. Але при збільшенні інтенсивності надходження заявок на ІС ситуація стрімко змінюється. При інтенсивності надходження заявок на ІС у 100 Мбіт/сек, показник ЕУ при ІНЦПУ на 37% гірший, ніж при ІНДПУ.

3 СТВОРЕННЯ АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ НАДБУДОВИ В NGN

Питання, пов'язані з дослідженням методів оцінки ефективності управління телекомунікаційними сервісами, розглянуті в роботах Л. Беркман [4], Н. Князевої, С. Шестопалова [65] та інших науковців. Слід відмітити, що питання оцінка ефективності управління ІС залишаються недостатньо дослідженими.

Згідно рекомендацій МСЕ [79] для визначення ефективності управління наданням ІС необхідно розрахувати технічні показники роботи мережі – час знаходження в мережі заявки на ІС, ймовірність блокування заявки, кількість заявок, котрі очікують обслуговування. Для розрахунку цих показників використовуються аналітичні моделі систем управління ІС. Майже всі моделі дискретних систем із стохастичним характером функціонування розробляються на основі систем масового обслуговування (СМО), процеси в яких є випадковими і, у багатьох випадках, марківськими або деяким чином пов'язані з марківськими процесами. Тому при вирішенні завдань теорії масового обслуговування може використовуватися математичний апарат теорії марківських процесів. Застосування марківських процесів особливо ефективно і результативно при дослідженні СМО та мереж масового обслуговування (МеМО) з накопичувачами обмеженої ємності [80].

Але при використанні математичного апарату теорії марківських процесів не враховано властивості самоподібності мережевого трафіку. Тому при побудові аналітичних моделей ІН NGN запропоновано два методичних підходи до формування моделей:

- 1) Показник Хьорста $0 < H \leq 0.5$;
- 2) Показник Хьорста $H > 0.5$.

3.1. Методичний підхід 1. Формування аналітичної моделі системи управління інтелектуальними сервісами

На даному етапі розвитку концепції NGN використовується ІС з централізованим принципом управління (ІНЦПУ) інтелектуальними сервісами.

При централізованій системі управління існує єдиний центр, який виконує обслуговування та управління (сервер). В такому випадку можна представити зазначену систему управління у вигляді системи масового обслуговування (СМО).

При вивченні складних систем із стохастичним характером функціонування корисною математичною моделлю є випадковий процес, який розвивається залежно від ряду випадкових чинників. Прикладами випадкових процесів можуть служити процеси надходження і передачі даних в телекомунікаційній мережі, процеси виконання завдань і обміну даними із зовнішніми пристроями в обчислювальній системі і тому подібне. Більшість моделей дискретних систем із стохастичним характером функціонування будуються на основі моделей масового обслуговування, процеси в яких є випадковими і, у багатьох випадках, марківськими або деяким чином пов'язані з марківськими процесами. Тому для вирішення таких завдань теорії масового обслуговування може використовуватися математичний апарат теорії марківських процесів. Застосування марківських процесів виявляється особливо ефективним і результативним при дослідженні систем і мереж масового обслуговування з накопичувачами обмеженої ємності [80].

На основі використання апарату теорії марківських процесів, ІНЦПУ може бути представлена як СМО виду $M/M/1/r$ [92]. Для прикладу СМО (рис. 3.1) наведемо опис системи:

1. Система [80] містить один обслуговуючий прилад (ОП) та є одноканальною.
2. Потік заявок, що надходять в систему, однорідний. Хоча й існують заявки декількох класів, однак поки що вважатимемо, що λ та μ для них однакові.
3. Тривалість обслуговування заявок в приладі – величина випадкова.
4. Накопичувач для заявок – обмеженою ємністю: $r < \infty$.

Припущення [80]:

1. Тривалість обслуговування заявок в приладі розподілена по експоненційному закону з інтенсивністю $\mu = 1/b$, де b – середня тривалість обслуговування заявок в приладі.

2. Дисципліна буферизації – з втратами: заявка, що надійшла в систему і застала накопичувач заповненим, втрачається.

3. Дисципліна обслуговування – в порядку надходження за правилом «першим прийшов – першим обслужений» (FIFO).

У СМО з накопичувачем обмеженої ємкості завжди існує сталий режим, оскільки довжина черги не буде рости до нескінченності навіть при великих значеннях навантаження.

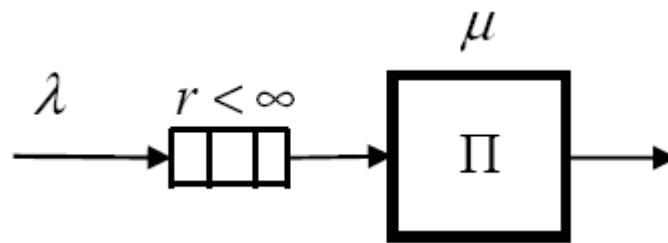


Рис. 3.1. СМО з накопичувачем обмеженої ємкості

Середнє число заявок в черзі $\bar{L}_{\text{ИЦПУ}}$ розраховується як сума ймовірностей станів, при яких в черзі є заявка. Якщо в певному стані в черзі знаходиться m заявок, то ймовірність стану необхідно помножити на m .

$$\bar{L}_{\text{ИЦПУ}} = \sum_z m_z p_z \quad (3.1)$$

де z – порядковий номер станів, при яких в черзі є заявка.

Середнє число заявок в системі $\bar{M}_{\text{ИЦПУ}}$ розраховується як сума ймовірностей станів, при яких сервер обслуговує заявку та коли в черзі є заявка. Якщо в певному стані в черзі знаходиться m заявок та заявка на обслуговуванні в сервері, то ймовірність станів необхідно помножити на $m+1$.

$$\bar{M}_{\text{ИЦПУ}} = \sum_q (m_q + 1) p_q \quad (3.2)$$

де q – порядковий номер станів, при яких сервер обслуговує заявку та коли в черзі є заявка.

Ймовірність втрати заявок \overline{P}_B розраховується як сума ймовірностей станів, при яких черга переповнена:

$$\overline{P}_B = \sum_v p_v \quad (3.3)$$

де v – порядковий номер станів, при яких черга переповнена.

При цьому сума (3.4) буде завжди менше одиниці, адже для стаціонарних ймовірностей станів p_j завжди виконується умова нормування:

$$\sum_{j=0}^J p_j = 1 \quad (3.4)$$

де J – кількість станів системи.

Продуктивність системи (інтенсивність потоку обслужених заявок) λ' розраховується як сума інтенсивностей надходження заявок всіх класів помножених на ймовірність їх обслуговування:

$$\lambda' = (1 - \overline{P}_B) \sum_{i=1}^N \lambda_i \quad (3.5)$$

де N – кількість класів заявок.

Середній час обслуговування заявки на інтелектуальну послугу централізованою системою управління $T_{\text{зоІНЦПУ}}$:

$$\overline{T_{\text{зоІНЦПУ}}} = \overline{M}_{\text{ІНЦПУ}} / \lambda' \quad (3.6)$$

Для визначення стаціонарної ймовірності станів необхідно закодувати стани марківського процесу. Це можна зробити наступним чином: (П,Ч). Для прикладу кодування станів марківського процесу здійснюється так: $\Pi = \{0, 1, 2\}$ – стан обслуговуючого приладу, що задається класом заявки, який знаходиться на обслуговуванні («0» – прилад вільний; «1» або «2» – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 1 або 2 відповідно). Стан накопичувача може бути представлений таким чином: $\text{Ч} = \{0, 1, 2, 11, 12, 22\}$, де «0» – означає відсутність заявок в накопичувачі; «1» – наявність в накопичувачі тільки однієї заявки класу 1;

«2» – наявність в накопичувачі заявки класу 2; «11» – наявність в накопичувачі двох заявок класу 1; «22» – наявність в накопичувачі двох заявок класу 2 і «12» – наявність в накопичувачі однієї заявки класу 1 і однієї заявки класу 2. Стан «12» не розрізняє, в якій послідовності ці заявки надійшли в систему, що обумовлено наявністю відносного пріоритету між ними – незалежно від моменту надходження на обслуговування заявок завжди буде вибрана заявка класу 1. У випадку без пріоритетного обслуговування, коли заявки різних класів вибираються на обслуговування в порядку надходження, слід ввести ще один стан накопичувача – «21», що означає, що заявка класу 2 надійшла в систему раніше заявки класу 1, тоді як стан «12» означає що в систему раніше надійшла заявка класу 1.

Для визначення стаціонарної ймовірності станів необхідно закодувати стани марківського процесу. Як параметр, що описує стан марківського процесу, розглядатимемо кількість заявок k , що знаходяться в СМО (у приладі і в накопичувачі). Тоді марківський процес у будь-який момент часу може знаходитися в одному з наступних станів:

$E_0: k = 0$ – в системі немає жодної заявки;

$E_1: k = 1$ – в системі знаходиться 1 заявка на обслуговуванні в приладі;

$E_2: k = 2$ – в системі знаходяться 2 заявки: одна – на обслуговуванні у приладі і друга чекає в накопичувачі;

...

$E_{r+1}: k = r + 1$ – в системі знаходяться $(r + 1)$ заявок: одна – на обслуговуванні в приладі і r – в накопичувачі.

Для прикладу СМО (рис. 3.1) наведемо опис системи:

1. Система [80] містить один обслуговуючий прилад (ОП) та є *одноканальною*.
2. Потік заявок, що надходять в систему, *однорідний*. Хоча й існують заявки декількох класів, однак поки що вважатимемо, що λ та μ для них однакові.
3. Тривалість обслуговування заявок в приладі – величина *випадкова*.
4. Накопичувач для заявок – *обмеженою ємкістю*: $r < \infty$.

Припущення [80]:

1. Тривалість обслуговування заявок в приладі розподілена по експоненційному закону з інтенсивністю $\mu = 1/b$, де b – середня тривалість обслуговування заявок в приладі.
2. Дисципліна буферизації – з втратами: заявка, що надійшла в систему і застала накопичувач заповненим, втрачається.
3. Дисципліна обслуговування – в порядку надходження за правилом «першим прийшов – першим обслужений» (FIFO).

Для зазначеного прикладу закодуємо всі можливі стани марківського процесу:

E_0 : (0,00) – у системі немає жодної заявки;

E_1 : (1,00) – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 1;

E_2 : (1,10) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 1 чекає обслуговування в накопичувачі;

E_3 : (1,11) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і дві заявки класу 1 чекають обслуговування в накопичувачі;

E_4 : (1,12) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 1 та одна заявка класу 2 чекають обслуговування в накопичувачі;

E_5 : (1,20) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 2 чекає обслуговування в накопичувачі;

E_6 : (1,22) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і дві заявки класу 2 чекають обслуговування в накопичувачі;

E_7 : (2,00) – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 2;

E_8 : (2,10) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 2 і одна заявка класу 1 чекає обслуговування в накопичувачі;

E_9 : (2,11) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 2 і дві заявки класу 1 чекають обслуговування в накопичувачі;

E_{10} : (2,12) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 2 і одна заявка класу 1 та одна заявка класу 2 чекають обслуговування в накопичувачі;

E_{11} : (2,20) – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 2 і одна заявка класу 2 чекає обслуговування в накопичувачі;

$E_{12}: (2,22)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 2 і дві заявки класу 2 чекають обслуговування в накопичувачі.

Сформуємо розмічений граф переходів випадкового процесу (рис. 3.2).

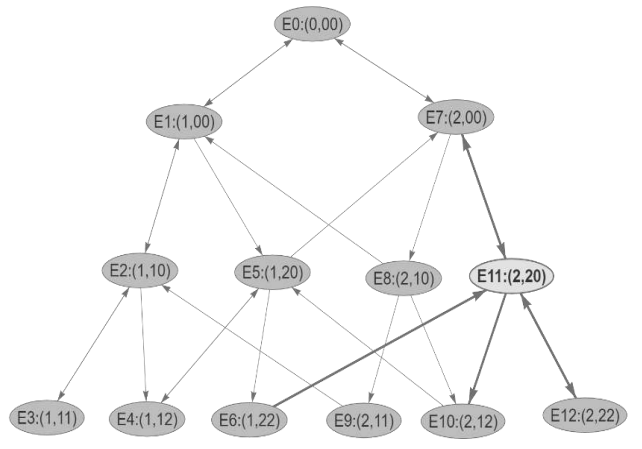


Рис. 3.2. Розмічений граф переходів марківського процесу

За допомогою графу переходів складемо систему рівнянь (3.1) для визначення стаціонарних ймовірностей:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_0 \cdot \lambda_1 + p_0 \cdot \lambda_2 = p_1 \cdot \mu_1 + p_7 \cdot \mu_2 \\ p_1 \cdot \mu_1 + p_1 \cdot \lambda_1 + p_1 \cdot \lambda_2 = p_0 \cdot \lambda_1 + p_2 \cdot \mu_1 + p_8 \cdot \mu_1 \\ p_2 \cdot \mu_1 + p_2 \cdot \lambda_1 + p_2 \cdot \lambda_2 = p_1 \cdot \lambda_1 + p_3 \cdot \mu_1 + p_9 \cdot \mu_2 \\ p_3 \cdot \mu_1 = p_2 \cdot \lambda_1 \\ p_4 \cdot \mu_1 = p_2 \cdot \lambda_2 \\ p_5 \cdot \mu_1 + p_5 \cdot \lambda_2 = p_1 \cdot \lambda_2 + p_4 \cdot \mu_1 + p_{10} \cdot \mu_2 \\ p_6 \cdot \mu_1 = p_5 \cdot \lambda_2 \\ p_7 \cdot \mu_2 + p_7 \cdot \lambda_1 + p_7 \cdot \lambda_2 = p_0 \cdot \lambda_2 + p_5 \cdot \mu_1 + p_{11} \cdot \mu_2 \\ p_8 \cdot \mu_2 + p_8 \cdot \lambda_1 + p_8 \cdot \lambda_2 = p_7 \cdot \lambda_1 \\ p_9 \cdot \mu_2 = p_8 \cdot \lambda_1 \\ p_{10} \cdot \mu_2 = p_8 \cdot \lambda_2 \\ p_{11} \cdot \mu_2 + p_{11} \cdot \lambda_2 = p_6 \cdot \mu_1 + p_7 \cdot \lambda_2 + p_{12} \cdot \mu_2 \\ p_{12} \cdot \mu_2 = p_{11} \cdot \lambda_2 \\ \sum_{k=0}^{12} p_k = 1 \end{array} \right. \quad (3.1)$$

де λ – інтенсивність надходження заявок, μ – інтенсивність обслуговування заявок.

Для запропонованої СМО (рис. 3.1) при знайдених значеннях стаціонарних ймовірностей станів випадкового процесу ПЗ буде вирази для розрахунку технічних показників [80].

Середнє число заявок в черзі:

$$\overline{L}_{\text{ІНЦПУ}} = p_2 + 2p_3 + 2p_4 + p_5 + 2p_6 + p_8 + 2p_9 + 2p_{10} + p_{11} + 2p_{12} \quad (3.2)$$

Середнє число заявок в системі:

$$\overline{M}_{\text{ІНЦПУ}} = p_1 + 2p_2 + 3p_3 + 3p_4 + 2p_5 + 3p_6 + p_7 + 2p_8 + 3p_9 + 3p_{10} + 2p_{11} + 3p_{12} \quad (3.3)$$

Ймовірність втрати заявок:

$$\bar{P} = p_3 + p_4 + p_6 + p_9 + p_{10} + p_{12} \quad (3.4)$$

У табл. 3.1. наведено результати роботи аналітичної моделі ІНЦПУ.

Таблиця 3.1.

Результати роботи аналітичної моделі ІНЦПУ

λ_1	λ_2	μ_1	μ_2	$\overline{L}_{\text{ІНЦПУ}}$	$\overline{M}_{\text{ІНЦПУ}}$	\bar{P}	λ'	$\overline{T}_{\text{зоІНЦПУ}}$
0.1	0.1	0.4	0.4	0.231	0.687	0.048	0.21	3.27
0.2	0.2	0.4	0.4	0.636	1.364	0.182	0.49	2.79
0.4	0.4	0.4	0.4	1.167	2.083	0.417	1.37	1.52
0.6	0.6	0.4	0.4	1.418	2.384	0.555	2.7	0.88
0.8	0.8	0.4	0.4	1.554	2.537	0.64	4.44	0.57
1	1	0.2	0.2	1.813	2.812	0.83	11.76	0.24
2	2	0.01	0.01	1.995	2.995	0.995	800	0.003744

Використання ІНЦПУ може викликати ряд проблем у високонавантажених системах. Рішенням цих проблем може бути використання інтелектуальної надбудови з децентралізованим принципом управління (ІНДПУ). ІНДПУ можна розглядати як декілька сполучених між собою систем масового обслуговування, тобто як мережу масового обслуговування (МеМО).

3.1.1. Використання марківського процесу для представлення ІНДПУ

Мережею масового обслуговування є сукупність кінцевого числа G обслуговуючих вузлів, в якій циркулюють заявки, що переходять з одного вузла в інший. ІНДПУ представляє собою розімкнену мережу. Розімкнена мережа – це така відкрита мережа, в яку заявки надходять із зовнішнього середовища і йдуть після

обслуговування з мережі в зовнішнє середовище [2]. Заявки з виходів одного серверу можуть надходити на входи інших. Вхідним потоком заявок називатимемо потік заявок, що приходять на вхід окремого серверу із зовнішнього середовища (від програмного комутатора), тобто не з виходу якого-небудь іншого серверу. У загальному випадку число вхідних потоків в системі управління відповідає числу використовуваних серверів.

Опис ІНДПУ як МеМО [1]:

1. ІНДПУ – розімкнена експоненціальна МеМО з G вузлами, що відповідають серверам ІНДПУ.

2. Вузли МеМО – одноканальні.

3. Накопичувачі в вузлах мають обмежену ємність r_i . Задамо $r_i = W$, де $i = \overline{1, G}$.

4. Вхідний потік заявок – *неоднорідний*: у систему надходить N класів заявок з інтенсивностями λ_j , де $i = \overline{1, G}$ – номер серверів, $j = \overline{1, N}$ – клас заявок.

5. Дисципліни буферизації у вузлах – з втратами заявок, якщо накопичувачі заповнені.

6. Дисципліна обслуговування – з *відносними пріоритетами*: чим менше значення N , тим вищий пріоритет заявок. Всякий раз з накопичувача на обслуговування вибирається заявка з найвищим пріоритетом. При цьому під час надходження до системи високопріоритетної заявки обслуговування низькопріоритетної не обривається.

7. Задані матриці $Q^j = \|q_{ik}^j\|$ ймовірностей передач заявки з поточного серверу i на інші сервери k або обслуговування поточним сервером, де $i, k = \overline{1, D}$ – номер серверів, для класів заявок $j = \overline{1, N}$. При $i \neq k$ q^j відповідає ймовірності передачі, при $i = k$ q^j відповідає ймовірності обслуговування поточним сервером.

Припущення і допущення.

1. Тривалість обслуговування заявок у вузлах МеМО розподілена по експоненціальному закону з інтенсивностями обслуговування: $\mu_{ij} = 1/b_{ij}$, де $i = \overline{1, G}$ –

номер серверів, $j = \overline{1, N}$ – клас заявок. b_{ij} – середня тривалість обслуговування заявок j -го класу на i – му сервері.

У розімкненій МеМО при будь-якому навантаженні існує стаціонарний режим, оскільки у вузлах мережі не може бути нескінченних черг.

Представити загальну аналітичну модель ІНДПУ практично неможливо [73]. Для формування алгоритму розрахунку основних характеристик ІНДПУ розглянемо окремі випадки її побудови.

На першому етапі обмеження для систем масового обслуговування залишаються такими ж які були описані для СМО з необмеженою чергою.

Децентралізовану систему управління спочатку задамо наступними параметрами:

- 1) числом G серверів;
- 2) Матрицями $Q^j = \|q_{ik}^j\|$ ймовірностей передач заявки з поточного серверу на інші сервери або обслуговування поточним сервером.
- 3) інтенсивностями I_1, \dots, I_G вхідних потоків заявок;
- 4) середнім часом обслуговування $\overline{T_{обс1}}, \dots, \overline{T_{обсG}}$ заявок на відповідному сервері (будемо поки що вважати, що він для різних класів заявок однаковий):

$$\overline{T_{обсi}} = \frac{1}{\mu_i} \quad (3.5)$$

Довжину черги для кожної СМО будемо вважати нескінченною.

Для розгляду мереж масового обслуговування необхідно спочатку звернутися до двох важливих теорем. Як уже зазначалося, ІНДПУ будемо розглядати як мережу масового обслуговування, що складається з систем масового обслуговування виду $M/M/1$. Для аналізу мереж масового обслуговування, що представляють собою послідовне з'єднання систем масового обслуговування використовують теорему Берке.

Відповідно до неї, щільність ймовірності розподілу проміжків часу між заявками, що покидають перший вузол послідовності, є також випадковою величиною з показниковим законом розподілу з тим же самим параметром. Це означає, що СМО типу $M/M/1$ перетворює пуассонівський потік на вході в пуассонівський потік на виході з тим же самим параметром. Цей результат і називають теоремою Берке. Ним було показано, що цей факт має місце для всіх СМО типу $M/M/m$. На підставі цієї теореми можна досліджувати багатофазні послідовні схеми.

Для довільної мережі масового обслуговування, якою і являється ІНДПУ, результат виходить складнішим і виражається теоремою Джексона.

Джексоном було доведене далеко не тривіальне твердження, що кожен вузол в мережі, сполучення систем масового обслуговування в якій є довільним, поводить ся так, якби він був незалежною СМО типу $M/M/m$ з вхідним пуассонівським потоком λ . У загальному випадку повний вхідний потік не є пуассонівським [87].

Перш за все необхідно знайти інтенсивності вхідних потоків $\lambda_1, \dots, \lambda_G$ в сервери. Будемо вважати, що λ для всіх класів однакова. Знаходження інтенсивностей $\lambda_1, \dots, \lambda_G$ здійснюється на основі рівнянь балансу мережі з урахуванням простих властивостей злиття і розгалуження потоків. При злитті n потоків заявок з інтенсивностями $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ утворюється потік, що має інтенсивність $\lambda = \lambda_1 + \dots + \lambda_n$. При галуженні потоку з інтенсивністю λ на n напрямів, ймовірність переходу заявки на інші сервери в яких рівна q_1, \dots, q_n , утворюється n потоків з інтенсивностями $\lambda q_1, \dots, \lambda q_n$, відповідно. У стаціонарній системі середнє число заявок в будь-якій її фіксованій частині постійне. Звідси витікає, що сумарна інтенсивність вхідних в будь-яку частину потоків рівна сумарній інтенсивності тих, що виходять. Запис цього закону в математичній формі називається *рівнянням балансу*. Виділяючи різні частини в децентралізованій системі управління і складаючи для них рівняння балансу, можна отримати систему рівнянь, що зв'язує невідомі інтенсивності $\lambda_1, \dots, \lambda_G$ з відомими I_1, \dots, I_G . Зазвичай при цьому як окремі частини системи управління виділяють всі сервери. У цьому випадку для G невідомих є G рівнянь. Можна додати

до них рівняння балансу для вхідних і вихідних потоків всієї децентралізованої системи управління. Тоді вийде $G + 1$ рівняння, і одне з них можна використовувати як перевірочне.

Для розрахунку кожної з інтенсивностей I_1, \dots, I_G вхідних потоків заявок потрібно представити у вигляді суми інтенсивностей вхідних потоків заявок відповідного класу:

$$I_i = \sum_{j=1}^N I_i^j \quad (3.6)$$

де $i = \overline{1..G}$ – кількість вхідних потоків заявок, що відповідає кількості серверів;
 $j = \overline{1..N}$ – класи заявок на послугу.

Заявки хоча й мають однакові значення λ та μ , проте відрізняються матрицями Q^j ймовірностей передач.

Після цього, складаючи рівняння балансу для кожного класу послуг окремо і використовуючи необхідні матриці Q^j , можна знайти інтенсивності вхідних потоків $\lambda_1^1, \dots, \lambda_D^N$ в сервери для відповідного класу заявок.

Загальні інтенсивності вхідних потоків $\lambda_1, \dots, \lambda_D$ в сервери знайдемо як суму:

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^N \lambda_i^j \quad (3.7)$$

Знайшовши всі необхідні інтенсивності потоків, можемо знайти загальний час обслуговування заявки на інтелектуальну послугу в децентралізованій системі управління [89, 91]:

$$\overline{T_{\text{зоИДПУ}}} = \frac{1}{I} \sum_{i=1}^G \lambda_i \cdot \overline{T_{\text{зоi}}} \quad (3.8)$$

де $I = I_1 + \dots + I_G$;

\overline{T}_{30i} – загальний час обслуговування заявки на додаткову послугу i -м сервером, який розраховується за формулою (3.10).

Маючи всі необхідні інтенсивності потоків, можна розрахувати кількість заявок, що очікують на обслуговування в ІНДПУ:

$$\overline{L}_{\text{ІНДПУ}} = \sum_{i=1}^G \overline{L}_i \quad (3.9)$$

де \overline{L}_i розраховуються за формулою (3.11).

Завантаження серверів відповідним класом заявок визначаються як суми ймовірності станів, у яких відповідний сервер зайнятий обслуговуванням заявок відповідного класу:

$$\rho_{ij} = \min\left(\sum_l p_l; 1\right), \quad (3.10)$$

де l – порядковий номер станів, у яких i -й сервер зайнятий обслуговуванням заявок j -го класу.

Продуктивності вузлів (інтенсивність обслужених заявок відповідного класу на виході вузлів) визначаються за формулою:

$$\lambda'_{ij} = \rho_{ij} \mu_{ij}. \quad (3.11)$$

Ймовірність втрати заявок відповідного класу на відповідному сервері розраховується наступним чином:

$$P_{ij} = 1 - \frac{\lambda'_{ij}}{\lambda_{\Sigma}}, \quad (3.12)$$

де λ_{Σ} – сума інтенсивностей всіх потоків заявок j -го класу, що надійшли на i -ий сервер.

Ймовірність втрати заявок відповідного класу в ІН:

$$P_j = 1 - \frac{\sum_{i=1}^D \lambda'_{ij}}{\sum_{i=1}^D \lambda_{ij}}. \quad (3.13)$$

Середня кількість заявок j -го класу у i -му сервері (якщо в певному стані в черзі знаходиться m заявок та заявка на обслуговуванні в сервері, то ймовірність станів необхідно помножити на $m+1$):

$$M_{ij} = \sum (m_n + 1) p_n, \quad (3.14)$$

де n – порядковий номер зазначених вище станів.

Однак подібне представлення ІНДПУ має досить багато обмежень. Для детальнішого розгляду використаємо апарат теорії марківських процесів. В даній роботі пропонується представити ІНДПУ наступним чином:

1. ІНДПУ – розімкнена експоненціальна мережа масового обслуговування (МеМО). На рис. 3.3 представлена ІНДПУ з двома одноканальними серверами (рис. 3.3).

2. Накопичувачі в обох серверах мають обмежену ємкість. У прикладі (рис. 3.3) ємкість накопичувачів прийнята як: $r_1 = r_2 = 1$.

3. Дисципліна обслуговування – з відносним пріоритетом. Заявки першого класу мають вищий пріоритет ніж заявки другого.

4. Дисципліна буферизації – без витіснення. Заявка, що надійшла у вузол і застала накопичувач заповненим, втрачається.

Припущення:

1. В мережу із зовнішнього середовища надходить заявки двох класів з інтенсивностями $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{21}, \lambda_{22}$.

2. Тривалість обслуговування заявок у вузлах МеМО розподілена по експоненціальному закону з інтенсивностями обслуговування: $\mu_{11} = 1/b_{11}, \mu_{12} = 1/b_{12}, \mu_{21} = 1/b_{21}, \mu_{22} = 1/b_{22}$, де $b_{11}, b_{12}, b_{21}, b_{22}$ – середні тривалості обслуговування.

3. Ймовірність обслуговування заявки j -го класу i -м сервером позначимо як q_{ij} . Тоді заявки після обслуговування в сервері 1 з ймовірностями q_{11}, q_{12} прямують у сервер 2 з ймовірностями $(1 - q_{11}), (1 - q_{12})$ залишають МеМО. Заявки після

обслуговування в сервері 2 з ймовірностями q_{21} , q_{22} прямують у сервер 1 з ймовірностями $(1 - q_{21})$, $(1 - q_{22})$ залишають МеМО.

Оскільки заявки в мережі можуть втрачатися, представлена розімкнена МеМО є *нелінійною*, тобто інтенсивності потоків заявок, що надходять у вузли МеМО, не зв'язані між собою лінійною залежністю і не можуть бути розраховані шляхом вирішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

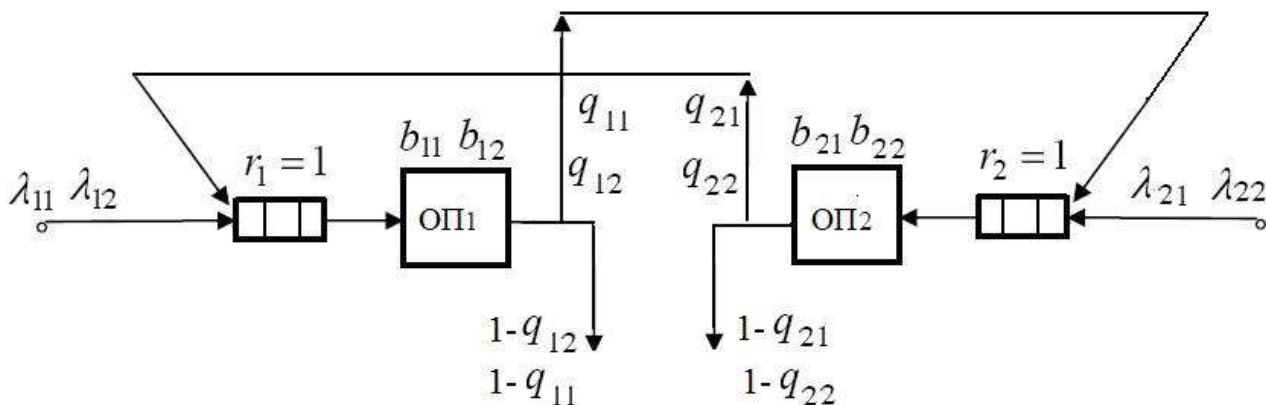


Рис. 3.3. ІНДПУ з двома серверами, представлена за допомогою розімкненої МеМО

Кодування станів марківського процесу, побудова графу переходів, формування рівнянь балансу та визначення технічних показників здійснюється аналогічно, як і при застосуванні ІНЦПУ.

За допомогою графу переходів складемо систему рівнянь (3.15) для визначення стаціонарних ймовірностей:

$$\left\{ \begin{array}{l}
p_0 * \lambda_1 + p_0 * \lambda_2 = p_7 * \mu_1 + p_{28} * \mu_2 \\
p_1 * \lambda_1 + p_1 * \lambda_2 = p_8 * \mu_1 + p_{29} * \mu_2 \\
p_2 * \lambda_1 + p_2 * \lambda_2 = p_9 * \mu_1 + p_{30} * \mu_2 \\
p_3 * \lambda_1 + p_3 * \lambda_2 = p_{10} * \mu_1 + p_{31} * \mu_2 \\
p_4 * \lambda_1 + p_4 * \lambda_2 = p_{11} * \mu_1 + p_{32} * \mu_2 \\
p_5 * \lambda_1 + p_5 * \lambda_2 = p_{12} * \mu_1 + p_{33} * \mu_2 \\
p_6 * \lambda_1 + p_6 * \lambda_2 = p_{13} * \mu_1 + p_{34} * \mu_2 \\
p_7 * \mu_1 + p_7 * \lambda_1 + p_7 * \lambda_2 = p_0 * \lambda_1 + p_{14} * \mu_1 + p_{35} * \mu_2 \\
p_8 * \mu_1 + p_8 * \lambda_1 + p_8 * \lambda_2 = p_1 * \lambda_1 + p_{15} * \mu_1 + p_{36} * \mu_2 \\
p_9 * \mu_1 + p_9 * \lambda_1 + p_9 * \lambda_2 = p_2 * \lambda_1 + p_{16} * \mu_1 + p_{37} * \mu_2 \\
p_{10} * \mu_1 + p_{10} * \lambda_1 + p_{10} * \lambda_2 = p_3 * \lambda_1 + p_{17} * \mu_1 + p_{38} * \mu_2 \\
p_{11} * \mu_1 + p_{11} * \lambda_1 + p_{11} * \lambda_2 = p_4 * \lambda_1 + p_{18} * \mu_1 + p_{39} * \mu_2 \\
p_{12} * \mu_1 + p_{12} * \lambda_1 + p_{12} * \lambda_2 = p_5 * \lambda_1 + p_{19} * \mu_1 + p_{40} * \mu_2 \\
p_{13} * \mu_1 + p_{13} * \lambda_1 + p_{13} * \lambda_2 = p_6 * \lambda_1 + p_{20} * \mu_1 + p_{41} * \mu_2 \\
p_{14} * \mu_1 = p_7 * \lambda_1 \\
p_{15} * \mu_1 = p_8 * \lambda_1 \\
p_{16} * \mu_1 = p_9 * \lambda_1 \\
p_{17} * \mu_1 = p_{10} * \lambda_1 \\
p_{18} * \mu_1 = p_{11} * \lambda_1 \\
p_{19} * \mu_1 = p_{12} * \lambda_1 \\
p_{20} * \mu_1 = p_{13} * \lambda_1 \\
p_{21} * \mu_1 = p_7 * \lambda_2 \\
p_{22} * \mu_1 = p_8 * \lambda_2 \\
p_{23} * \mu_1 = p_9 * \lambda_2 \\
p_{24} * \mu_1 = p_{10} * \lambda_2 \\
p_{25} * \mu_1 = p_{11} * \lambda_2 \\
p_{26} * \mu_1 = p_{12} * \lambda_2 \\
p_{27} * \mu_1 = p_{13} * \lambda_2 \\
p_{28} * \mu_2 + p_{28} * \lambda_1 + p_{28} * \lambda_2 = p_0 * \lambda_2 + p_{21} * \mu_1 + p_{42} * \mu_2 \\
p_{29} * \mu_2 + p_{29} * \lambda_1 + p_{29} * \lambda_2 = p_1 * \lambda_2 + p_{22} * \mu_1 + p_{43} * \mu_2 \\
p_{30} * \mu_2 + p_{30} * \lambda_1 + p_{30} * \lambda_2 = p_2 * \lambda_2 + p_{23} * \mu_1 + p_{44} * \mu_2 \\
p_{31} * \mu_2 + p_{31} * \lambda_1 + p_{31} * \lambda_2 = p_3 * \lambda_2 + p_{24} * \mu_1 + p_{45} * \mu_2 \\
p_{32} * \mu_2 + p_{32} * \lambda_1 + p_{32} * \lambda_2 = p_4 * \lambda_2 + p_{25} * \mu_1 + p_{46} * \mu_2 \\
p_{33} * \mu_2 + p_{33} * \lambda_1 + p_{33} * \lambda_2 = p_5 * \lambda_2 + p_{26} * \mu_1 + p_{47} * \mu_2 \\
p_{34} * \mu_2 + p_{34} * \lambda_1 + p_{34} * \lambda_2 = p_6 * \lambda_2 + p_{27} * \mu_1 + p_{48} * \mu_2 \\
p_{35} * \mu_2 = p_{28} * \lambda_1 \\
p_{36} * \mu_2 = p_{29} * \lambda_1 \\
p_{37} * \mu_2 = p_{30} * \lambda_1 \\
p_{38} * \mu_2 = p_{31} * \lambda_1 \\
p_{39} * \mu_2 = p_{32} * \lambda_1 \\
p_{40} * \mu_2 = p_{33} * \lambda_1 \\
p_{41} * \mu_2 = p_{34} * \lambda_1 \\
p_{42} * \mu_2 = p_{28} * \lambda_2 \\
p_{43} * \mu_2 = p_{29} * \lambda_2 \\
p_{44} * \mu_2 = p_{30} * \lambda_2 \\
p_{45} * \mu_2 = p_{31} * \lambda_2 \\
p_{46} * \mu_2 = p_{32} * \lambda_2 \\
p_{47} * \mu_2 = p_{33} * \lambda_2 \\
p_{48} * \mu_2 = p_{34} * \lambda_2 \\
\sum_{k=0}^{48} p_k = 1
\end{array} \right. \quad (3.15)$$

Характеристики системи розраховуються наступним чином:

Середнє число заявок в черзі [93]:

$$\begin{aligned}
\overline{L_1} = & p_{14} + p_{15} + p_{16} + p_{17} + p_{18} + p_{19} + p_{20} + p_{21} + p_{22} + p_{23} + p_{24} + p_{25} \\
& + p_{26} + p_{27} + p_{35} + p_{36} + p_{37} + p_{38} + p_{39} + p_{40} + p_{41} + p_{42} + p_{43} \\
& + p_{44} + p_{45} + p_{46} + p_{47} + p_{48} \quad (3.16)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\overline{L_2} = & p_2 + p_3 + p_5 + p_6 + p_9 + p_{10} + p_{12} + p_{13} + p_{16} + p_{17} + p_{19} + p_{20} + p_{23} \\
& + p_{24} + p_{26} + p_{27} + p_{30} + p_{31} + p_{33} + p_{34} + p_{37} + p_{38} + p_{40} + p_{41} \\
& + p_{44} + p_{45} + p_{47} + p_{48} \quad (3.17)
\end{aligned}$$

Тоді загальна довжина черги [92]:

$$\bar{L}_{\text{ІНДПУ}} = \bar{L}_1 + \bar{L}_2 \quad (3.18)$$

Середнє число заявок відповідного класу [93]:

$$\begin{aligned} \bar{M}_1 = & p_7 + p_8 + p_9 + p_{10} + p_{11} + p_{12} + p_{13} + 2p_{14} + 2p_{15} + 2p_{16} + 2p_{17} \\ & + 2p_{18} + 2p_{19} + 2p_{20} + 2p_{21} + 2p_{22} + 2p_{23} + 2p_{24} + 2p_{25} + 2p_{26} \\ & + 2p_{27} + p_{28} + p_{29} + p_{30} + p_{31} + p_{32} + p_{33} + p_{34} + 2p_{35} + 2p_{36} \\ & + 2p_{37} + 2p_{38} + 2p_{39} + 2p_{40} + 2p_{41} + 2p_{42} + 2p_{43} + 2p_{44} + 2p_{45} \\ & + 2p_{46} + 2p_{47} + 2p_{48} \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} \bar{M}_2 = & p_1 + 2p_2 + 2p_3 + p_4 + 2p_5 + 2p_6 + p_8 + 2p_9 + 2p_{10} + p_{11} + 2p_{12} + 2p_{13} \\ & + p_{15} + 2p_{16} + 2p_{17} + p_{18} + 2p_{19} + 2p_{20} + p_{22} + 2p_{23} + 2p_{24} \\ & + p_{25} + 2p_{26} + 2p_{27} + p_{29} + 2p_{30} + 2p_{31} + p_{32} + 2p_{33} + 2p_{34} \\ & + p_{36} + 2p_{37} + 2p_{38} + p_{39} + 2p_{40} + 2p_{41} + p_{43} + 2p_{44} + 2p_{45} \\ & + p_{46} + 2p_{47} + 2p_{48} \end{aligned} \quad (3.20)$$

3.2. Методичний підхід 2. Аналітична модель ІНДПУ NGN з урахуванням самоподібності вхідного потоку заявок

Аналіз наукових праць досліджень [94, 95, 96, 97, 98, 99, 100], а також дослідження авторів [92, 93, 101, 102, 103, 104, 105] дозволили дійти висновку, що розробка аналітичної моделі має базуватися на використанні підходів теорії масового обслуговування та моделі, яка базується на застосуванні фрактального Броунівського руху.

В розглянутій моделі до кожного серверу буде надходити груповий (агрегований) потік від декількох джерел (*Softswitch*, інші сервери). Особливої уваги потребує той факт, що при агрегуванні потоків від декількох джерел в разі, якщо хоча б один з них має властивість самоподібності, то властивістю самоподібності буде володіти і результуючий груповий потік [8]. При цьому об'єднання потоків від джерел, генеруючих трафік, що описується процесом з нескінченною дисперсією,

призводить до самоподібного мережевого трафіку, який наближається до трафіку, описуваного моделлю фрактального Броунівського руху. Самоподібність також зберігається при об'єднанні потоків і від однорідних, і від різнорідних джерел трафіку.

Визначити значення параметра Хьорста H для випадку, коли об'єднуються k потоків з ефектом самоподібності, що володіють різними значеннями цього параметра можна за допомогою виразу (3.21) [106]:

$$H = \max(H_1, H_2, \dots, H_k) \quad (3.21)$$

Фрактальний броунівський рух (гаусівський випадковий процес) $B_H(t)$, де $0 < H < 1$ – показник Хьорста, можна задати в інтегральному вигляді:

$$B_H(t) = B_H(0) + \frac{1}{r(H + \frac{1}{2})} \left\{ \int_{-\infty}^0 \left[(t-s)^{H-\frac{1}{2}} - (-s)^{H-\frac{1}{2}} \right] dB(s) + \int_0^t (t-s)^{H-\frac{1}{2}} dB(s) \right\} \quad (3.22)$$

Дисперсія процесу має вигляд:

$$DB_H(t) = t^{2H} \quad (3.23)$$

Коваріаційна функція процесу:

$$R(t, s) = MB_H(t)B_H(s) = \frac{1}{2} \left\{ t^{2H} + s^{2H} - |t-s|^{2H} \right\} \quad (3.24)$$

Математичне сподівання дорівнює нулю:

$$MB_H(t) = 0 \quad (3.25)$$

У нульовій точці дорівнює нулю:

$$B_H(0) = 0 \quad (3.26)$$

Майже всі траєкторії процесу задовольняють умові Гельдера:

$$|X(t) - X(s)| \leq c|t - s|^\alpha, \text{ де } \alpha < H \quad (3.27)$$

що підтверджує факт, що гладкість траєкторій процесу $B_H(t)$ теж визначається параметром Хьорста і узагальнює відомий результат Леві для вінерівського процесу, а саме означає необмеженість варіації траєкторій фрактального броунівського руху.

Процес має автомодельні властивості (самоподібності), що є корисним при аналізі часових рядів:

$$\text{Law}(B_H(at)) = \text{Law}(a^H B_H(t)) \quad (3.28)$$

тобто зміна часового масштабу еквівалентна зміні «амплітуди» процесу, а рівність в даній формулі означає співпадіння одновимірних розподілів процесів $B_H(at)$ та $a^H B_H(t)$.

Прирости фрактального броунівського руху мають такі характеристики:

$$B_H(t) - B_H(s) \sim B_H(t - s) \sim N(0, (t - s)^{2H}) \quad (3.29)$$

що свідчить про їхню стаціонарність.

Прирости fBm $B_H(t_2) - B_H(t_1)$ та $B_H(t_4) - B_H(t_3)$, $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ формують гаусівський випадковий вектор, коваріація між координатами якого дорівнює:

$$\frac{1}{2}((t_4 - t_1)^{2H} + (t_3 - t_2)^{2H} - (t_4 - t_2)^{2H} - (t_3 - t_1)^{2H}) \quad (3.30)$$

Врахувавши дискретність часу:

$$y_k = B_H(k + 1) - B_H(k) \quad (3.31)$$

отримаємо коефіцієнт кореляції:

$$p(y_j, y_k) = \frac{1}{2} (|k - j + 1|^{2H} + |k - j - 1|^{2H} - 2|k - j|^{2H}) \quad (3.32)$$

що дозволяє стверджувати, що прирости процесу фрактального броунівського руху утворюють стаціонарну (у вузькому сенсі) послідовність.

З точки зору моделювання групового трафіку в ІНДПУ *NGN*, фрактальний Броунівський трафік представляється як:

$$\zeta(t) = \lambda t + \sqrt{\zeta \lambda} B_H(t) \quad (3.33)$$

де $\zeta(t)$ – обсяг даних, що надійшли в інтервалі $(0, t]$.

Дана модель трафіку була розглянута і проаналізована в роботах [97, 98, 107] для різних технологій мереж з комутацією пакетів і для різних сервісів. Порівняння даної моделі з характеристиками реального мережевого трафіку показали, що модель фрактального Броунівського трафіку погано описує трафік для малих інтервалів проміжків часу, але добре підходить для опису трафіку на середніх і великих інтервалах. Це свідчить про те, що реальний груповий трафік в мережі не є строго самоподібним, він більшою мірою проявляє властивості асимптотичної самоподібності [97].

Модель фрактального Броунівського трафіка має три параметри $\{\lambda, \zeta, H\}$, які описують такі характеристики реальних потоків як середня інтенсивність потоку λ , яка вимірюється в пакет/сек або біт/сек, і яка є кількісною характеристикою трафіку,

а також параметри ζ (пакет*сек або біт*с) і безрозмірна величина H , які описують якісні характеристики трафіку. Параметр ζ є коефіцієнтом дисперсії:

$$\zeta = \sigma^2/\lambda \quad (3.34)$$

Даний параметр характеризує ступінь флуктуації потоку щодо його середнього значення. Використовувати параметр ζ замість дисперсії зручно тим, що при зміні параметра інтенсивності потоку λ , який може розглядатися як зміна кількості агрегованих однорідних потоків, дозволяє змінювати параметр λ , залишаючи при цьому незмінними інші два параметра.

Використаний у виразі (3.33) процес $B_H(t)$ – нормований фрактальний Броунівський рух з нульовим математичним очікуванням $MB_H(t) = 0 \forall t$ і дисперсією $DB_H(t) = t^{2H}$. $B_H(t)$ є математичним об'єктом, який не має фізичної розмірності та його аргумент t – також безрозмірний. Тому при моделюванні інформаційних потоків більш коректно використовувати $B_H(t/t_u)$, де t – фізичний час, а t_u – одиниця виміру часу.

Параметр $H \in [1/2, 1]$ описує ступінь самоподібності або ступінь довготривалої залежності, характеризуючи тим самим кореляційні властивості модельованого трафіку. При $H = 1/2$ фрактальний Броунівський рух перетворюється в класичний Броунівський рух та процес $\zeta(t)$, при $\zeta = 1$ співпадає з процесом дифузії, відомим із класичної теорії телетрафіка.

Слід також зазначити, що комбінація параметрів $\{\lambda, \zeta, H\}$ в повній мірі описує модель групового трафіка, тобто використання цих параметрів для оцінки ймовірно-часових характеристик потоку для серверів мережі приведе до того, що будь які два потоки в мережі, охарактеризовані однаковими параметрами $\{\lambda, \zeta, H\}$, мають однакові ймовірно-часові характеристики.

На підставі використання моделі фрактального Броунівського руху в даній роботі запропоновано аналітичну модель ІНДПУ, що дозволяє визначати

ймовірно-часові характеристики агрегованого трафіку для кожного вузла мережі (сервера).

Для оцінки таких параметрів як інтенсивність Λ та коефіцієнт дисперсії ζ використаємо формули математичної статистики:

$$\Lambda_i = \sum_j \sum_k \lambda_{ij}^k, i = \overline{1, G} \quad (3.35)$$

$$\zeta_i = \frac{\sum_j \sum_k \zeta_{ij}^k \lambda_{ij}^k}{\sum_j \sum_k \lambda_{ij}^k}, i = \overline{1, G} \quad (3.36)$$

Використовуючи модель фрактального Броунівського руху Норрос отримав вирази, котрі пов'язують ймовірність втрат заявок на сервіси, необхідну інтенсивність обслуговування заявок, середню довжину черги, об'єм буфера [9]. Базуючись на результатах, отриманих Норросом можна записати наступні вирази для часу обслуговування заявки на i -му сервері T_i та ймовірність втрати заявки на сервіс через переповнення буфера P_i при вхідному трафіку з ефектом самоподібності:

$$T_i = \frac{1}{\mu} \left[1 + \frac{\Lambda_i^{2H-1/2(1-H)}}{(\mu - \Lambda_i)^{H/(1-H)}} \right], i = \overline{1, G} \quad (3.37)$$

$$P_i = \exp \left[\frac{(\mu_i - \Lambda_i)^{2H}}{2F(H)^2 \zeta_i \Lambda_i} r^{2-2H} \right], i = \overline{1, G} \quad (3.38)$$

де $F(H) = H^H (1 - H^{1-H})$

Висновки до третього розділу

1. Удосконалено метод розрахунку ймовірних станів системи, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей децентралізованої системи управління наданням ІС, який, на відміну від існуючих, дозволяє на підставі запропонованого кодування станів системи застосовувати автоматизовані засоби формування рівнянь балансу.

2. Дістав подальшого розвитку метод формування аналітичної моделі ІНДПУ наданням ІС як MeMO, який надає можливість урахування стохастичного характеру надходження заявок на обслуговування на підставі використання математичного апарату теорії марківських процесів.

3. Удосконалено аналітичну модель ІН NGN з децентралізованим принципом управління наданням ІС. Відмінністю представленої моделі є урахуванням самоподібності мережевого трафіку при надходженні на обслуговування заявок на ІС на основі використання моделі фрактального броунівського руху.

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ ФОРМУВАННЯ АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ІНДПУ NGN ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ

4.1. Формування аналітичної моделі системи управління інтелектуальними сервісами

Слід відзначити, що трудомісткість вирішення системи рівнянь балансу, при побудові аналітичних моделі системи управління ІС, суттєво зростає при зростанні кількості класів заявок на ІС та при зростанні довжини черги [108, 109].

Рис. 4.1 та рис. 4.2 зображують, як змінюється кількість станів системи (тобто розмір системи рівнянь) в залежності від кількості класів заявок на ІС, а також від довжини черги. Як видно, різке збільшення кількості станів системи рівнянь унеможлиблює використання ручних розрахунків.

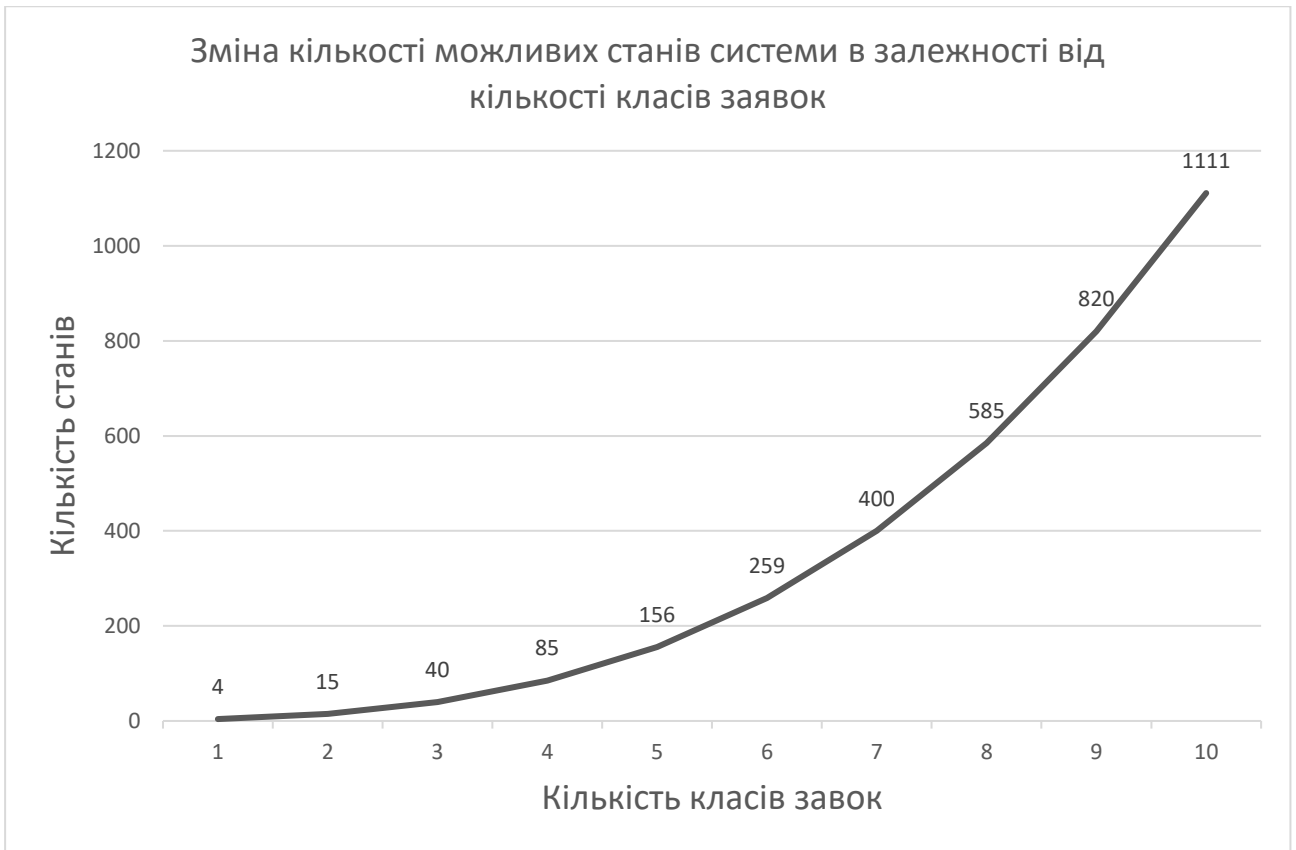


Рис. 4.1. Графік зміни кількості можливих станів системи при зміні кількості класів заявок в системі з 1 ОП та довжиною черги на обслуговування в 2 заявки



Рис. 4.2. Графік зміни кількості можливих станів системи при зміні кількості класів заявок в системі з 2 ОП та довжиною черги на обслуговування в 2 заявки

В даній роботі запропоновано програмне забезпечення (ПЗ) для автоматизації розрахунку ймовірних станів системи, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей [110]. ПЗ орієнтоване для використання як для ІНЦПУ (СМО), так і для ІНДПУ (МеМО).

ПЗ написане на скриптовій мові програмування JavaScript з використанням відкритої бібліотеки React JS, що дозволяє запускати його у будь-якому браузері. Максимальна кількість станів для розрахунку СМО (МеМО) залежить від технічних характеристик комп'ютера.

При розробці ПЗ прийняті деякі допущення:

- одночасно ОП може обслуговувати лише один клас заявок;
- черга на обслуговування будується за дисципліною FIFO;
- система функціонує без втрати заявок.

Вхідними даними розробленого ПЗ є:

- кількість ОП;
- максимальна довжина черги на обслуговування;
- кількість класів заявок та їх пріоритет.

На рис. 4.3,4.4,4.5 зображено інтерфейс ПЗ. ПЗ виконує такі основні функції:

- забезпечує введення вхідних даних для розрахунку;
 - виконує кодування всіх можливих станів марківського процесу для вибраної системи;
 - будує та моделює граф переходів марківського процесу;
 - на основі сформованого графу переходів ПЗ складає систему рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей;
 - при знайдених значеннях стаціонарних ймовірностей станів випадкового процесу будує вирази для розрахунку технічних показників:
- середнє число заявок в черзі;
 - середнє число заявок в системі;
 - ймовірність втрати заявок;

- інтенсивність потоку обслужених заявок;
- середній загальний час обслуговування заявки на ІС;
- дозволяє вивантажити отримані результати в текстовий файл.

Сервери

Сервер	Тип серверу	Довж. черги	Видалити
1	універсальний	2	<input type="checkbox"/>

Класи заявок

Назва класу	Пріоритет	Видалити
1	1	<input type="checkbox"/>
2	2	<input type="checkbox"/>

Стани системи:

13 станів

$E_0(0,00)$	$E_1(1,00)$	$E_2(1,10)$	$E_3(1,11)$	$E_4(1,12)$
$E_5(1,20)$	$E_6(1,22)$	$E_7(2,00)$	$E_8(2,10)$	$E_9(2,11)$
$E_{10}(2,12)$	$E_{11}(2,20)$	$E_{12}(2,22)$		

Рис. 4.3. Форма для введення вхідних даних в ПЗ

На основі введених вхідних даних ПЗ кодує всі можливі стани марківського процесу для заданої системи.

Використовуючи закодовані стани, ПЗ будує розмічений граф марківських процесів.

По графові переходів складемо систему рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей:

$$P_0 * \lambda_2 + P_0 * \lambda_2 - P_1 * \mu_1 + P_7 * \mu_2$$

$$P_1 * \mu_1 + P_1 * \lambda_1 + P_1 * \lambda_2 - P_0 * \lambda_1 + P_2 * \mu_1 + P_5 * \mu_1$$

$$P_2 * \mu_1 + P_2 * \lambda_1 + P_2 * \lambda_2 - P_1 * \lambda_1 + P_3 * \mu_1 + P_4 * \mu_1$$

$$P_3 * \mu_1 - P_2 * \lambda_1$$

$$P_4 * \mu_1 + P_4 * \mu_1 - P_5 * \lambda_1$$

$$P_5 * \mu_1 + P_5 * \lambda_1 + P_5 * \lambda_2 - P_4 * \mu_1 + P_6 * \mu_1 + P_7 * \lambda_1$$

$$P_6 * \mu_1 - P_{11} * \lambda_1$$

$$P_7 * \mu_2 + P_7 * \lambda_1 + P_7 * \lambda_2 - P_0 * \lambda_2 + P_8 * \mu_2 + P_{11} * \mu_2$$

$$P_8 * \mu_2 - P_1 * \lambda_2 + P_9 * \mu_2 + P_{10} * \mu_2$$

$$P_9 * \mu_2 - P_2 * \lambda_2$$

$$P_{10} * \mu_2 + P_{10} * \mu_2 - P_5 * \lambda_2$$

$$P_{11} * \lambda_1 + P_{11} * \mu_2 + P_{11} * \lambda_2 - P_7 * \lambda_2 + P_{10} * \mu_2 + P_{12} * \mu_2$$

$$P_{12} * \mu_2 - P_{11} * \lambda_2$$

Рис. 4.4. Система рівнянь стаціонарних ймовірностей марківського процесу

Середнє число заявок в черзі:

$$L_{цсч(0)} = 1p_2 + 2p_3 + 2p_4 + 1p_5 + 2p_6 + 1p_8 + 2p_9 + 2p_{10} + 1p_{11} + 2p_{12}$$

Середнє число заявок в системі:

$$M_{цсч(0)} = 1p_1 + 2p_2 + 3p_3 + 3p_4 + 2p_5 + 3p_6 + 1p_7 + 2p_8 + 3p_9 + 3p_{10} + 2p_{11} + 3p_{12}$$

Ймовірність втрати заявок:

$$P_{цсч(0)} = p_3 + p_4 + p_6 + p_9 + p_{10} + p_{12}$$

Рис. 4.5. Вивід результатів побудови графу переходів марківського процесу

На основі введених вхідних даних ПЗ кодує наступні стани системи (Додаток Б).

За допомогою закодованих станів системи ПЗ буде граф переходів зображений на рис. 4.6

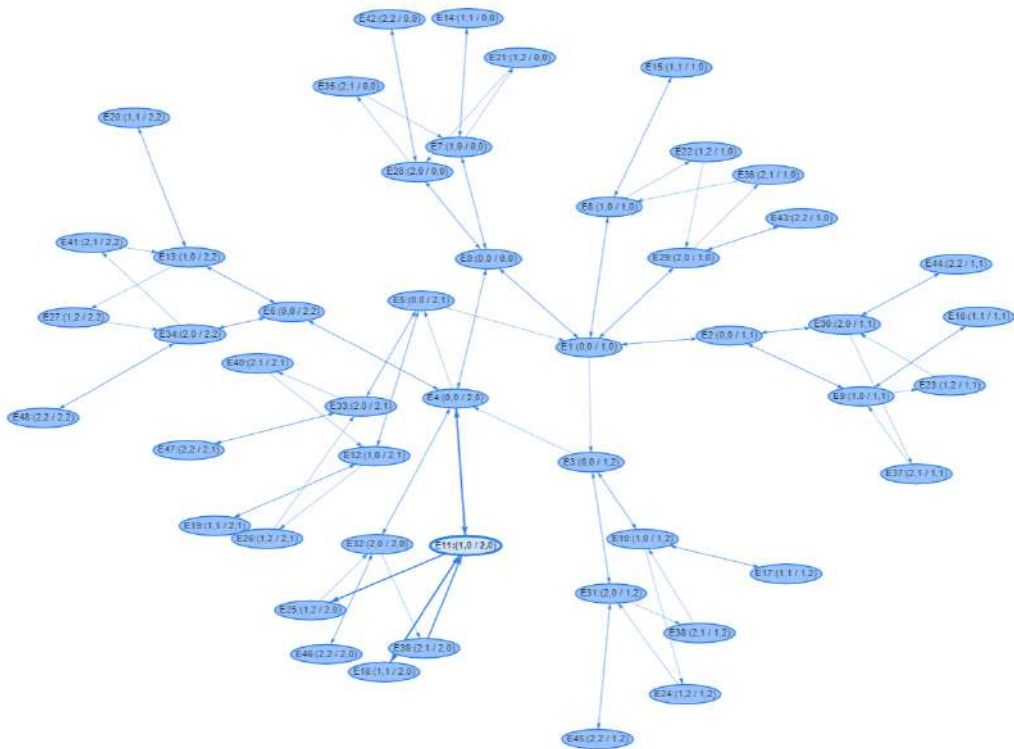


Рис. 4.6 Розмічений граф переходів марківського процесу

4.2. Формування імітаційної моделі системи управління інтелектуальними сервісами

4.2.1. Огляд засобу моделювання

На сьогоднішній день відомо досить багато мережевих симуляторів і дослідникам є з чого вибрати. Одними з популярних продуктів є OPNET, OMNET, NS2. Існують вузькоспеціалізовані симулятори, створені лише для моделювання певного обладнання. Як правило, подібне ПО випускається виробниками телекомунікаційного обладнання [111, 112, 113].

4.2.1.1. OPNET Modeler (Optimized Network Engineering Tools)

OPNET – потужне середовище імітаційного моделювання дискретних подій і станів. Вона включає безліч бібліотек мережевих технологій і протоколів зв'язку, таких як TCP / IP, протокол передачі гіпертексту (HTTP), технологія асинхронного режиму передачі (ATM) і FrameRelay, IP-QoS, 802.11 (Wi-Fi), ZigBee і ін. Ці бібліотеки поставляють блоки для побудови моделей мереж. Одним з безлічі модулів, доступних в OPNET Modeler, є бездротовий модуль. Він розширює функціональність середовища для імітаційного моделювання та аналізу бездротових мереж.

У версії OPNETModeler14.0 доступні моделі вузлів ZigBee, розроблені самою компанією OPNET. При цьому вихідний код моделі мережевого рівня і рівня додатків прихований від користувачів. Доступний тільки код моделі нижнього рівня 802.15.4.

Також існує модель вузлів-сенсорів з відкритим вихідним кодом, що відповідає стандарту IEEE802.15.4, розробкою, якою займається спільнота OPEN-ZB.

Модель реалізує фізичний рівень і рівень доступу до середовища, і відповідає стандарту IEEE 802.15.4. Версія моделі 2.1 підтримує тільки топологію зірка, де комунікації відбуваються між кінцевими пристроями через центральний пристрій, зване координатором приватної мережі.

OPNET є симулятором, який має дуже спокусливий інтерфейс для користувачів, тому що він включає в себе кілька модельних бібліотек. Вихідний код

цих бібліотек доступний при наявності OPNET MODELER, що дозволяє програмісту ознайомитися з усією внутрішньою ієрархією програми.



Рис. 4.7. Заголовок симулятора OPNET

Щоб використовувати симулятор користувач повинен спочатку зрозуміти алгоритм за яким працює симулятор. Алгоритм роботи показаний на (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Ієрархія проекту OPNET

Редактор вузлів використовується для створення моделей вузлів і визначення їх внутрішньої структури. Ці моделі використовуються для створення вузлів всередині мережі в редакторі проекту.

Внутрішні вузли моделі мають модульну структуру, яка визначається як вузол підключення декількох модулів з пакетом потоків і кабелів. Це з'єднання дозволяє обмінюватися інформацією і пакетами між ними. Кожен модуль має певну функцію в вузлі, таку як: створення пакетів, склеювання, процес або передача і прийом.

4.2.1.2. OMNeT ++ (Objective Modular Network Testbed in C++)

OMNeT ++ – середовище імітаційного моделювання дискретних подій і станів з відкритим вихідним кодом, заснована на компонентах, яка стає все більш популярною. Основна область застосування - моделювання мереж передачі даних, IT систем та бізнес процесів. Компоненти OMNeT++ написані на C++. На базі середовища моделювання OMNeT ++ 4.1 побудований симулятор різних протоколів бездротових сенсорних мереж Castalia (поточна версія 3.1). У ньому також реалізована модель відповідає стандарту IEEE 802.15.4. На базі даної середовища моделювання існують бібліотеки INETMANET і MiXiM, які дозволяють створювати моделі бездротових сенсорних мереж, але на поточний момент готові моделі відсутні.

OMNeT++ – симулятор мереж з низьким енергоспоживанням. Особливістю даного симулятора є те, що команда розробників ставила перед собою завдання не тільки реалізувати моделі рівнів передачі даних, а й змоделювати фізичні процеси, дані про яких збираються в вузлах. В результаті виходить, що бездротові сенсори пов'язані між собою не тільки бездротовими каналами зв'язку, а й фізичним процесом, параметри якого вони вимірюють. Внутрішня структура вузла представлена на (рис. 4.9).

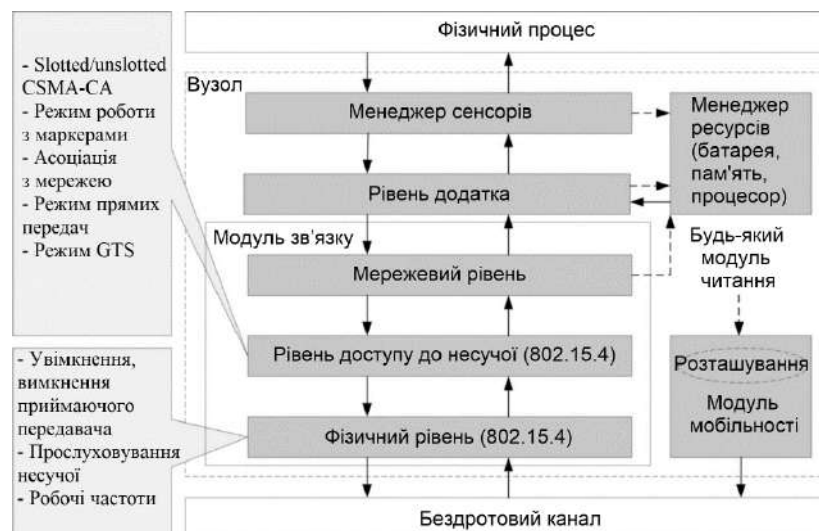


Рис. 4.9. Внутрішня структура вузла

Суцільні стрілки позначають проходження повідомлень між модулями, а пунктирні – інтерфейс між ними з викликом простих функцій. Модель вузла представлена наступними модулями:

1) Модуль управління сенсорами – дозволяє генерувати більш реальний трафік в БСС, ніж просто використання генераторів пакетів даних, пропонованих іншими моделями.

2) Модуль додатки найчастіше використовується користувачами симулятора для реалізації тестованих алгоритмів.

У симуляторі вже існує кілька найпростіших модулів програми. Наприклад, додаток оцінки пропускної здатності мережі. Модуль зв'язку – складається з трьох рівнів: Мережевий рівень – дозволяє реалізувати різні алгоритми маршрутизації в бездротової сенсорної мережі. На поточний момент є готові найпростіші алгоритми маршрутизації.

4.2.1.3. The Network Simulator (NS-2)

Серед засобів моделювання мереж та систем зв'язку помітне місце посідає мережевий симулятор «Network Simulator-2» (NS-2) [114]. У порівнянні з іншими системами імітаційного моделювання – Cisco Packet Tracer, Riverbed Modeler (у минулому OPNET), OMNeT++, QualNet, SimPy, AnyLogic та іншими – він вигідно відрізняється вдалою комбінацією низки характеристик: безкоштовністю, широкими можливостями, відкритою архітектурою, наявністю засобів анімації модельних процесів тощо. Серед безкоштовних систем імітаційного моделювання мереж найближчим конкурентом NS-2 є OMNeT++; проте, як свідчать результати досліджень [115], NS-2 дозволяє вирішувати завдання щодо створення програмних елементів мережевих моделей більш просто і швидко.

Вже багато років (з моменту появи у 1989 році) симулятор NS-2 досить широко і вельми успішно застосовується для відпрацювання різноманітних процесів інформаційної взаємодії в структурно складних системах зв'язку, перш за все, в цифрових мережах з комутацією пакетів. NS-2 створювався у відповідь на необхідність дослідження і вдосконалення протоколів складних мереж в умовах

швидкого поширення технологій міжмережевої взаємодії (internetworking). Широкі можливості NS-2 щодо вирішення цих проблем зробили його досить зручним і ефективним інструментом імітаційного моделювання як в дослідницьких цілях – для оцінки впливу різних чинників на ефективність розроблених протоколів і застосувань, так і в навчальних – для ілюстрації роботи конкретних протоколів і алгоритмів управління процесами в мережах [115].

Залежно від цілей дослідження, процеси в мережі можуть моделюватися в системі NS-2 на різних рівнях взаємодії, з урахуванням особливостей використовуваних технологій (широкомовлення, мобільні та супутникові технології, всесвітня павутина тощо). На нижніх рівнях можливо отримувати характеристики мережевого трафіку з урахуванням специфіки потоку пакетів від кожного інформаційного сервісу, моделювати нестационарний і піковий трафік на локальних ділянках мережі, а на верхніх рівнях – проводити макродослідження характеристик мережевих процесів системи в цілому на підставі аналізу інформації про потоки пакетів з використанням теорії масового обслуговування та інших підходів. Широка популярність NS-2 свідчить про високий ступінь достовірності отримуваних результатів.

До важливих особливостей симулятора NS-2 належать:

- широкий діапазон методів і засобів моделювання, які дозволяють змінювати рівень абстрагування як на етапі симуляції, так і під час аналізу результатів; це дає можливість виявляти істотні ефекти на рівні макромоделі, а потім застосовувати детальне моделювання для їх більш ретельного дослідження;
- відкрита архітектура і модульний принцип побудови симулятора, що відповідають багаторівневій архітектурі мереж і дозволяють легко розширювати його функціональні можливості шляхом додавання нових модулів і модифікації наявних;
- наявність засобів анімації, що забезпечують можливість спостереження процесу функціонування мережевої моделі та дозволяють виділити найбільш важливі особливості її поведінки (при розгляді лише агрегованих статистичних оцінок багато суттєвих явищ залишається непоміченими);

- наявність бібліотеки мережевих топологій і генераторів трафіку, які спрощують створення моделей мереж зі складною топологією і змішаним навантаженням (проблема завдання топології і динаміки її зміни особливо актуальна для мобільних мереж);

- безкоштовність (freeware) і багатоплатформність.

Спільно з симулятором NS-2 використовуються додаткові програмні засоби графічного відображення результатів моделювання. В першу чергу до них належать утиліта мережевої анімації nam (network animator) і утиліта побудови графіків X-graph. Крім того, разом з симулятором поширюються засоби налагодження моделей, конвертації вихідних даних, генератори топологій мереж і сценаріїв моделювання, а також низка інших пакетів.

Для організації імітаційного моделювання мережі система NS-2, перш за все, дозволяє описати топологію мережі, яка моделюється, конфігурацію джерел і приймачів трафіку, параметри з'єднання (смугу пропускання, затримку, ймовірність втрати пакетів) та інші параметри. При моделюванні є можливість управляти параметрами буферів, проводити моніторинг прийнятих, відправлених і втрачених пакетів, здійснювати збір статистики тощо. За допомогою генерації вихідних trace-файлів може бути отримана інформація про динаміку трафіку, стан з'єднань і об'єктів мережі, а також роботу протоколів.

NS-2 – об'єктно-орієнтоване середовище імітаційного моделювання дискретних подій і станів з відкритим вихідним кодом. Середовище моделювання написана на C++ і TCL. NS-2 використовує TCL для генерації сценаріїв – це дозволяє генерувати комплексні сценарії за допомогою скриптів.

Спочатку NS-2 підтримував моделювання тільки статичних комп'ютерних мереж TCP / IP. Однак зараз мобільні вузли дозволяють моделювати мобільні мережі ad-hoc. Протоколи маршрутизації ad-hoc AODV, DSDV, DSR і TORA, але вони вимагають доопрацювання для коректної роботи з мобільними вузлами.

Для NS-2 існує модель, що реалізує стандарт IEEE802.15.4. Структура компонентів моделі LR-WPAN і основні її функції представлені на **(Ошибка! Источник ссылки не найден.)**.



Рис. 4.10. Структура компонентів моделі LR-WPAN NS-2

Симулятор NS-2 здійснює імітаційне моделювання мереж на рівні пакетів, тобто, моделює генерацію пакетів і проходження їх по мережі. На прикладному рівні моделюється характер трафіку, що породжується різними додатками: Web, FTP, Telnet, RealAudio; крім того, є абстрактні моделі трафіку, наприклад Constant Bitrate. Можливо моделювання роботи протоколів транспортного рівня UDP і різних реалізацій TCP, multicast-протоколів, різних протоколів маршрутизації в дротяних і бездротових мережах, черг з дисциплінами обслуговування DropTail і RED. Крім того, моделюються деякі фактори, які стосуються фізичного рівня: затримка пакетів в каналах, виникнення помилок, видимість / невидимість вузлів в бездротових мережах (як наземних, так і супутникових), витрата енергії батарей в пристроях з автономним живленням. Результатом роботи симулятора є вихідні текстові файли, в яких реєструється хід моделювання (моменти генерації / отримання пакетів, стан черг, покидьок пакетів в чергах і т. Д.). Крім того, в модель можуть бути включені інструкції, що обчислюють будь величини, вимірювання яких потрібно в конкретному завданні (затримка пакетів, пропускна здатність і т. П.). Значення цих величин в ході моделювання також можуть реєструватися в вихідних файлах. Для

візуалізації результатів служать аніматор NAM (Network Animator) і будівник графіків Xgraph. Крім того, система містить генератор топології, що спрощує опис топології великих мереж [116, 117].

4.2.1.3. Порівняння мережевих симуляторів

Таблиця 4.1.

Порівняльна таблиця мережевих симуляторів

	OPNET		NS-2	OMNET++
	OPNET Modeler 14.0	OPEN-ZB 3.0 (beta)	Zheng	Castalia
Завдання фізичного рівня				
Вкл / викл приймача	-	+	-	+
Визначення енергії в поточному каналі	+	+	+	+
Індикація якості з'єднання для отриманих пакетів (LQD)	+	+	+	+
Оцінка частоти каналу (CCA) для механізму CSMA-CA	+	+	+	+
Вибір частотного каналу	+	-	+	-
Підтримка частотних діапазонів 868/915/2450	+/+/+	-/-/+	+/+/+	+/+/+
Завдання рівня доступу до середовища				
Синхронізація маркерами мережі	-	+	+	+
Режим роботи без маркерів	+	-	+	-
Підтримка асоціації і дисоціації з приватною мережею (PAN)	+	+	+	+
Підтримка топологій зірка / точка-точка	+/+	+/+	+/+	+/+
Підтримка безпеки пристроїв	-	-	-	-
Реалізація механізму slotted CSMA-CA	-	+	+	+
Реалізація механізму unslotted CSMA-CA	+	-	+	-
Управління та підтримка механізму GTS	-	+	-	+
Підтримка надійного з'єднання між двома рівнями MAC	+	+	+	+

Режим прямих передач	+	-	+	+
Режим непрямих передач	-	+	+	-
Мережевий рівень				
Наявність протоколів маршрутизації	+	+	-	+
Відповідність специфікації ZigBee	+	-	-	+
Додаткові можливості моделі				
Мобільність вузлів	+	-	-	+
Розрахунок споживаної вузлами енергії	-	+	-	+

Таблиця 4.2.

Основні можливості розглянутих моделей

	NS-2	OPNET Modeler	OMNET
Розрахунок споживаної вузлами енергії	-	+	+
Визначення енергії в поточному каналі	+	+	+
Відкритий код	+	-	+
Мобільність вузлів	-	-	+
Відповідність специфікації ZigBee	-	-	+
Наявність протоколів маршрутизації	-	+	+
Ціна	FREE	37000\$	FREE

У даній роботі для моделювання трафіків і оцінки їх параметрів, обрано середовище моделювання NS-2. NS-2 є однією з відомих систем моделювання дискретних подій для сенсорних мереж. В даний час NS-2 активно підтримується і використовується в наукових дослідженнях. Для мобільних сенсорних мереж, симулятор має підтримку стандартів 802.11 і 802.15.4 типу бездротового MAC.

Для опису моделей на NS-2 використовуються мови C++/C і OTCL. Протоколи бібліотеки моделей написані на C++/C, в той час як OTCL позиціонується як керуючий мову, метою якого є побудова середовища моделювання. Для візуалізації

моделей використовується аніматор мережі -Network AniMator (NAM) Дана система моделювання має багато переваг перед іншими системами моделювання:

- А) Безкоштовний
- Б) Відкритий код
- В) Режим прямих передач
- Г) Підтримка надійного з'єднання між двома рівнями МАС

4.2.2. Загальний опис архітектури імітаційної моделі ІНЦПУ

В розробленій імітаційній моделі ІНЦПУ представлена структура з декількох вузлів-абонентів, які генерують заявки на ІС і відправляють їх на програмний комутатор Softswitch, який переадресовує їх на сервер обслуговування [118, 119, 120].

При генеруванні заявок на ІС вказується розмір пакетів даних (packetSize_), інтервал їх відправки (rate_) і розмір вікна TCP (window_).

Відправка заявок відбувається через протокол TCP. В імітаційній моделі допущено, що мережа має необмежену пропускну здатність. Абоненти можуть генерувати як експоненційний, так і самоподібний трафік.

Для генерації трафіку в системі NS-2 використовуються об'єкти типу Traffic. Вони створюються методами Traffic/type, де type – Exponential, Pareto або Trace.

Об'єкт Traffic/Pareto – ON/OFF генератор трафіку згідно розподіленню Парето [121]. Проста ON/OFF модель передбачає, що джерела перемикаються між двома станами: ON-стан, в якому джерела генерують трафік з постійною швидкістю, OFF-стан, в котрому вони простоюють. При постійному розмірі пакетів ON і OFF періоди розподілені згідно закону Парето.

Розподілення Парето має функцію розподілення (див. формулу 4.1):

$$F(x) = 1 - \left(\frac{\beta}{x}\right)^\alpha \quad (4.1)$$

де α – параметр форми, β – мінімальне значення випадкової величини x .

Щільність розподілення Парето задається функцією (4.2):

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{\beta}{x} \right)^{\alpha+1}, \text{ коли } x > \beta \text{ и } \alpha > 0, \quad (4.2)$$

$$f(x) = F(x) = 0, \text{ коли } x \leq \beta.$$

Середнє значення випадкової величини визначається з формули (4.3):

$$m(x) = \frac{\alpha\beta}{\alpha-1} \quad (4.3)$$

Параметр α визначає середнє і дисперсію випадкової величини:

- якщо $\alpha \leq 1$, розподілення має нескінченне середнє;
- якщо $1 \leq \alpha \leq 2$, розподілення має кінцеве середнє і нескінченну дисперсію;
- якщо $\alpha \leq 2$, розподілення має нескінченну дисперсію.

Існує відношення між параметром α і параметром Хьорста (H) (див. формулу 4.4):

$$H = \frac{3-\alpha}{2} \quad (4.4)$$

Тривалість ON і OFF періодів є випадковими величинами з розподіленням Парето, які задаються середніми значеннями.

Сервер обслуговування здатний обробляти лише одну заявку в одиницю часу. Час обслуговування заявки змінюватиметься в залежності від її розміру. На сервері обслуговування для формування черги на обслуговування використовується звичайна структура FIFO (First In, First Out). Якщо сервер обслуговування зайнятий, заявки стають в чергу. Максимальна довжина черги задається параметром queue-limit; якщо довжина перевищується, відбувається втрата заявок.

Отриманий в результаті моделювання trace-файл дає змогу розрахувати час знаходження заявки в мережі, середню довжину черги на обслуговування, поточну довжину черги, ймовірність блокування заявки в мережі, а також кількість втрачених і доставлених пакетів. Розроблена модель дозволяє проводити дослідження при різних часових проміжках.

4.2.3. Реалізація імітаційної моделі в системі NS-2

Представлена вище імітаційна модель отримала дві реалізації в системі NS-2, що відрізняються кількістю абонентів, а також часом обслуговування. На рис. 4.11 показана схема першої реалізації моделі ІНЦПУ. Вона містить 5 абонентських вузлів 0–4, які генерують мережевий трафік, 5 програмних комутаторів Softswitch 5–9, а також сервер, який складається з основного вузла 10 і допоміжних вузлів 11–12, введених для реалізації певного алгоритму обробки заявок.

На рис. 4.12 показана схема другої реалізації моделі ІНЦПУ. Вона містить 100 абонентських вузлів 0–99, які генерують мережевий трафік, один Softswitch (100), а також сервер, який складається з основного вузла 101 і допоміжного вузла 102, введеного для реалізації певного алгоритму обробки заявок.

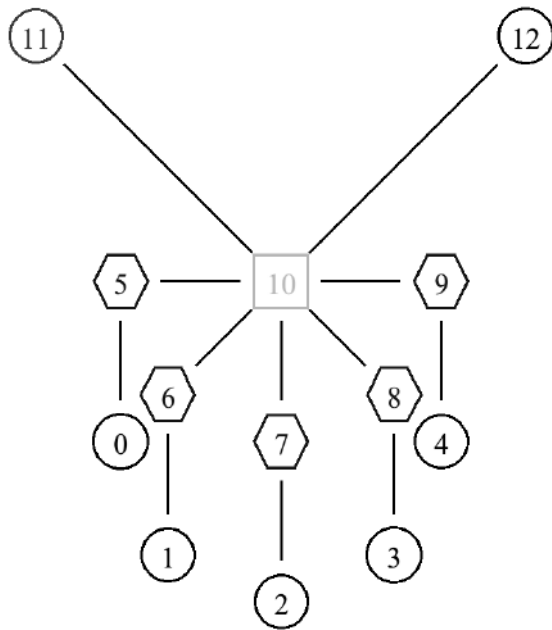


Рис. 4.11. Структура моделі ІНЦПУ в системі NS-2

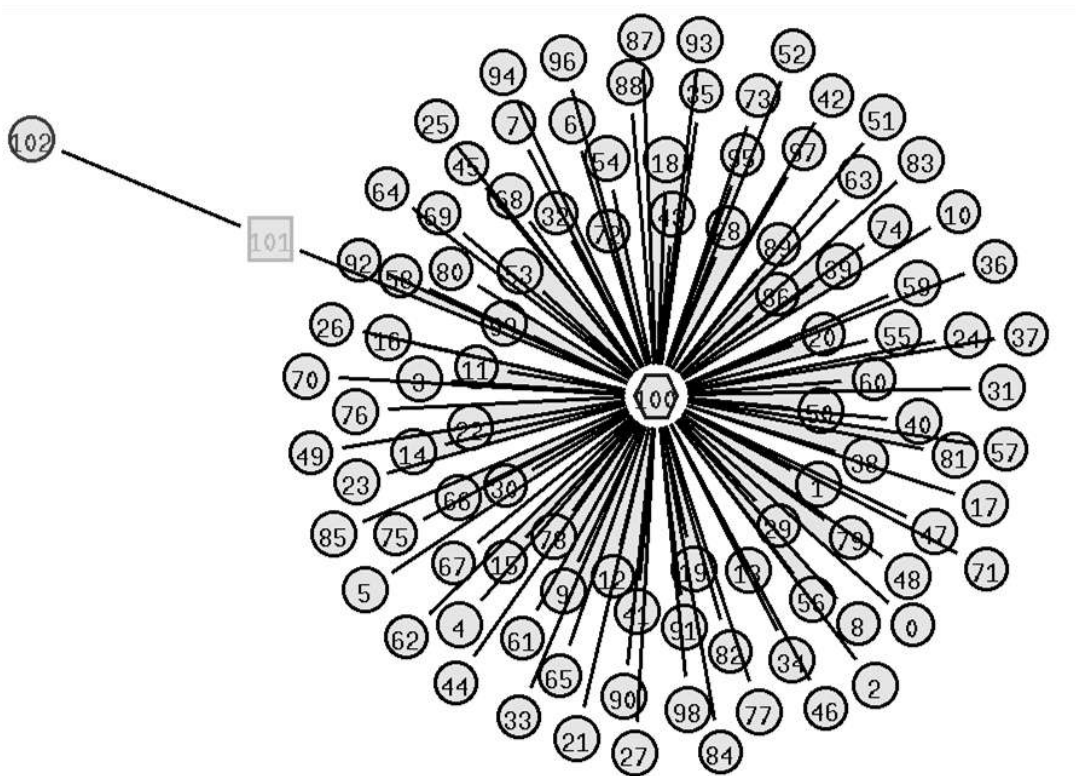


Рис. 4.12. Структура другої моделі ІНЦПУ в системі NS-2

Описана вище модель реалізована в системі NS-2 у вигляді сценарію мовою TCL. Блок-схема алгоритму цього сценарію наведена на рис. 4.13. Повний текст сценарію наведений у додатку В.

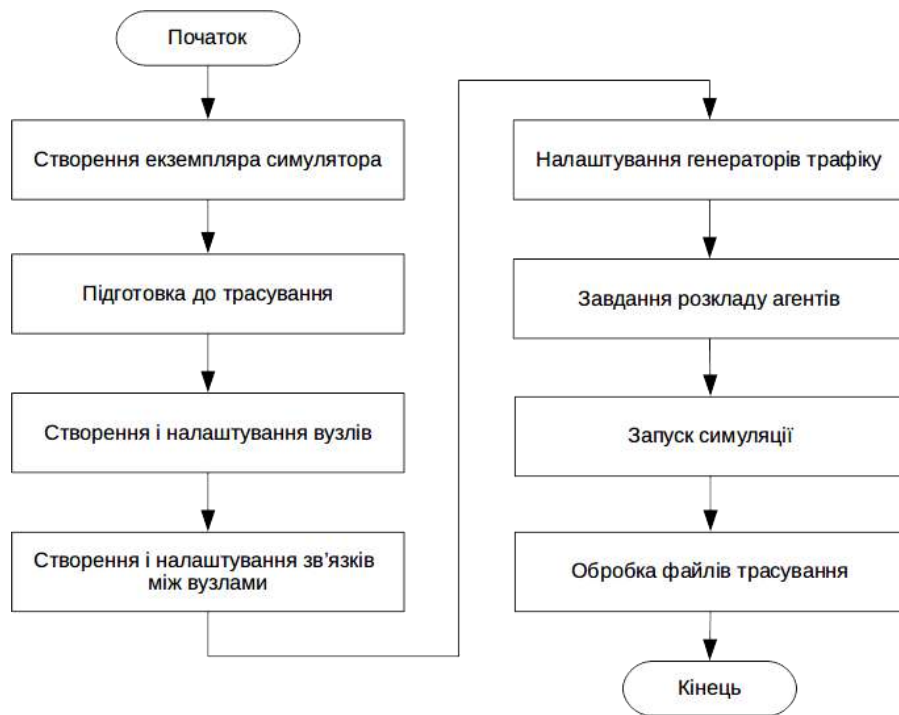


Рис. 4.13. Загальний алгоритм сценарію моделювання ІНЦПУ в системі NS-2

Далі описані основні блоки наведеного алгоритму моделювання.

Екземпляр симулятора створюється стандартною командою:

```
set ns [new Simulator]
```

Трасування результатів роботи моделі здійснюється в файл trace.tr завдяки командам:

```
set tracefd [open trace.tr w]
```

```
$ns trace-all $tracefd
```

Вузли абонентів (sp_#), Softswitch (ss_#), сервера і вузла обслуговування (serv1_n#, serv1_ob1_n#) створюються командами:

```
set sp_($i) [$ns node]
```

```
set ss_($j) [$ns node]
```

```
set serv1_n($m) [$ns node]
```

```
set serv1_ob1_n($k) [$ns node]
```

де \$c – кількість абонентів;

\$j – номер вузла Softswitch;

\$m – номер вузла сервера обслуговування;

$\$k$ – номер вузла обслуговування.

Зв'язки між вузлами-абонентами, Softswitch та сервером обслуговування моделюються об'єктами duplex-link. Зв'язки створюються і налаштовуються командами:

```
 $\$ns duplex-link \$sp_{(\$i)} \$ss_{(\$j)} \$L \$d DropTail$ 
```

```
 $\$ns duplex-link \$ss_{(\$j)} \$serv_n(\$c) \$L \$d DropTail$ 
```

де $\$i$ – номер вузла абонента;

$\$j$ – номер вузла Softswitch;

$\$c$ – номер вузла сервера обслуговування;

$\$L$ – пропускна здатність каналу зв'язку;

$\$d$ – затримка між вузлами.

Параметр DropTail вказує, що черга між вузлами будуватиметься за структурою FIFO.

Для налаштування вузла обслуговування задіюються об'єкти duplex-link і queue-limit:

```
 $\$ns duplex-link \$serv_{(\$i)} \$obsl_{(\$j)} \$L 0ms DropTail$ 
```

```
 $\$ns queue-limit \$serv_{(\$i)} \$obsl_{(\$j)} \$queueLimit$ 
```

де $\$i$ – номер вузла сервера обслуговування;

$\$j$ – номер вузла обслуговування;

$\$L$ – час обслуговування, який розраховується як множина необхідного часу обслуговування і розміру відправленого пакету;

$\$queueLimit$ – максимальна довжина черги на обслуговування.

Налаштування генераторів трафіку в загальному випадку виконується такими командами:

```
set tcp_{(\$i)} [new Agent/TCP/Newreno]
```

```
 $\$ns attach-agent \$sp_{(\$i)} \$tcp_{(\$i)}$ 
```

```
set sink_{(\$j)} [new Agent/TCPSink/DelAck]
```

```

$sink_($j) set fid_ $j
$ns attach-agent $serv_($c) $sink_($j)
$ns connect $tcp_($i) $sink_($j)
$tcp_($i) set fid_ $i

$tcp_($i) set window_ $windowSize
$tcp_($i) set segsize_ $packetSize

set traffic_($m) [new Application/Traffic/$type]
$traffic_($m) set burst_time_ $burstTime
$traffic_($m) set idle_time_ $idleTime
$traffic_($m) set rate_ $rate
$traffic_($m) set shape_ $shape
$traffic_($m) set packetSize_ $packetSize
$traffic_($m) attach-agent $tcp_($i)

```

В наведеному кодi використовуються такі параметри:

\$i – номер агента з'єднання;

\$j – номер агента відповіді від сервера про доставлені пакети;

\$c – номер сервера;

windowSize_ – розмір вікна TCP з'єднання;

packetSize_ – розмір пакетів, що будуть відправлятися;

\$m – номер генератора трафіку;

\$type – вид генерованого трафіку (Exponential, Pareto);

\$burstTime – середній час ON періоду роботи генератора;

\$idleTime – середній час OFF періоду роботи системи;

\$rate – бітова швидкість, з якою агент буде генерувати пакети;

\$shape – параметр, що визначає середнє значення і дисперсію випадкової величини, які обумовлюють самоподібні властивості генерованого трафіку.

Розклад роботи агентів здійснюється командами:

```
$ns at $timeStart "$traffic_($i) start"
```

```
$ns at $timeEnd "$traffic_($i) stop"
```

```
$ns at 5.0 "finish"
```

де \$i – номер генератора трафіку;

\$timeStart – час початку роботи генератора;

\$timeEnd – час закінчення роботи генератора.

4.2.4. Організація модельних експериментів в системі NS-2

За допомогою описаної вище моделі в системі NS-2 було організовано 5 модельних експериментів. Ці експерименти відрізнялися кількістю абонентів, що генерують трафік – 5 та 100, а також типом цього трафіку – експоненційний, самоподібний (для 5 та 100 абонентів) та змішаний (для 100 абонентів). Трафік формується заявками від абонентів; кожна заявка представляється групою з 3÷8 пакетів. В моделі були задані параметри трафіку, які приблизно відповідають параметрам реального трафіку телеголосування: burstTime = 0.5 с, idleTime = 1.5 с, rate = 40 Мбіт/с, packetSize = 1000 байт, shape = 1.2.

Відповідний код генерації самоподібного трафіку:

```
set pareto_($i) [new Application/Traffic/Pareto]
```

```
$pareto_($i) set burst_time_ 500ms
```

```
$pareto_($i) set idle_time_ 1.5s
```

```
$pareto_($i) set rate_ 40Mb
```

```
$pareto_($i) set shape_ 1.2
```

```
$pareto_($i) set packetSize_ 1000B
```

```
$pareto_($i) attach-agent $tcp_($i)
```

Код генерації експоненційного трафіку відрізняється лише типом трафіку – Exponential; усі вищезазначені параметри залишаються такими ж самими, крім параметра форми share_, який в даному випадку не потрібен:

```
set pareto_($i) [new Application/Traffic/Exponential]
$pareto_($i) set burst_time_ 500ms
$pareto_($i) set idle_time_ 1.5s
$pareto_($i) set rate_ 40Mb
$pareto_($i) set packetSize_ 1000B
$pareto_($i) attach-agent $tcp_($i)
```

Змішаний трафік утворюється в моделі шляхом почергового циклічного перемикавання між генераторами експоненційного та самоподібного трафіку:

```
for {set i 0} {$i <= 49} {incr i} {
set pareto_($i) [new Application/Traffic/Exponential]
...
}
for {set i 49} {$i <= 99} {incr i} {
set pareto_($i) [new Application/Traffic/Pareto]
...
}
```

Після налаштування мережевих агентів і запуску системи вся історія генерації і руху пакетів зберігалась у trace-файл.

В процесі аналізу trace-файлів були отримані характеристики модельованої системи: інтенсивність потоку заявок на обслуговування, поточна і середня довжина черги на сервері для заявок від абонентів, середній час очікування заявок в черзі, а

також середній час існування заявки в системі. Нижче наведені графіки зміни цих характеристик у часі.

На рис. 4.14 показані графіки інтенсивності (λ) потоку заявок на обслуговування від п'яти абонентів. Потоки заявок утворюють трафік двох типів: а) експоненційний, б) самоподібний згідно з законом розподілу Парето.

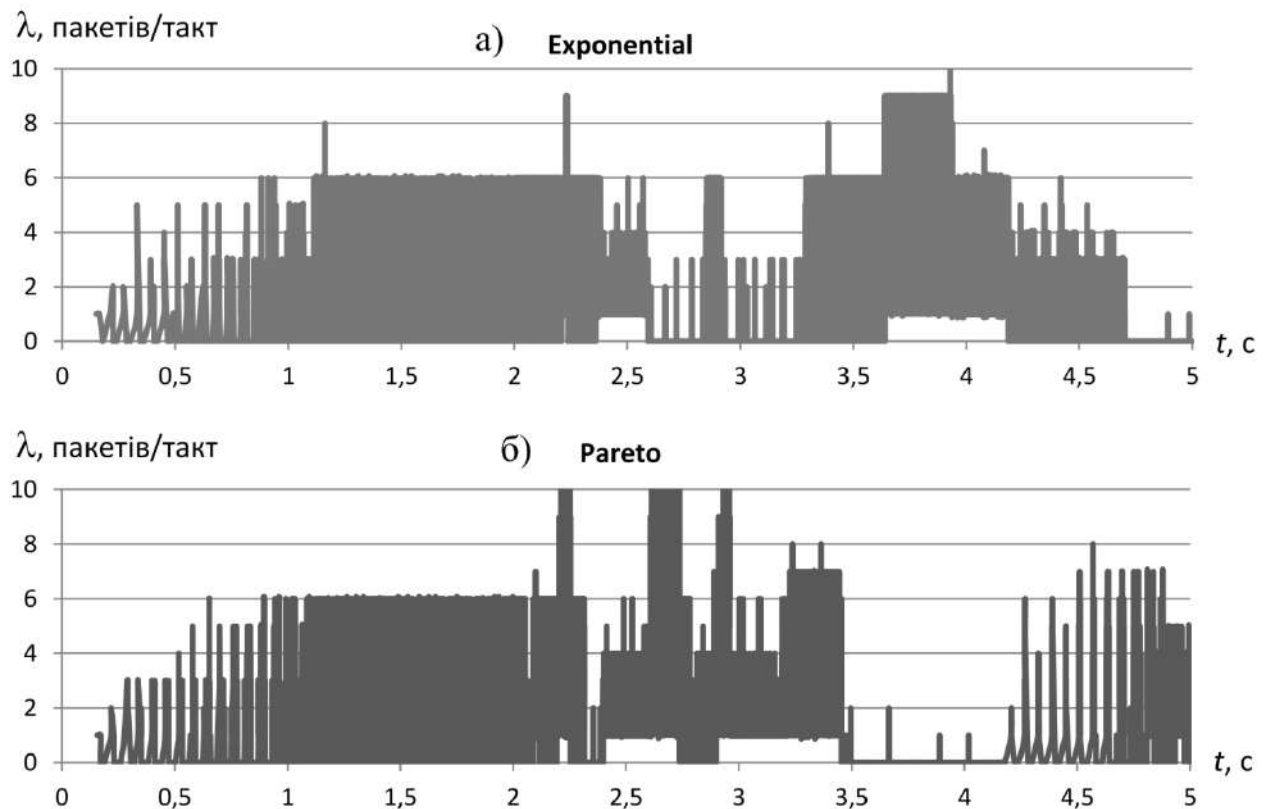


Рис. 4.14. Інтенсивність експоненційного (а) та самоподібного (б) трафіку в моделі з п'ятьма абонентами

Вісь абсцис графіку представляє час у секундах, вісь ординат – кількість пакетів по 1000 байт кожний, згенерованих всіма абонентами упродовж модельного такту. Час моделювання – 5 секунд.

На рис. 4.15 показані графіки інтенсивності потоку заявок на обслуговування від 100 абонентів, які утворюють трафік трьох типів: а) експоненційний, б) самоподібний (Pareto), в) змішаний (Mixed). Час моделювання – 1 хвилина.

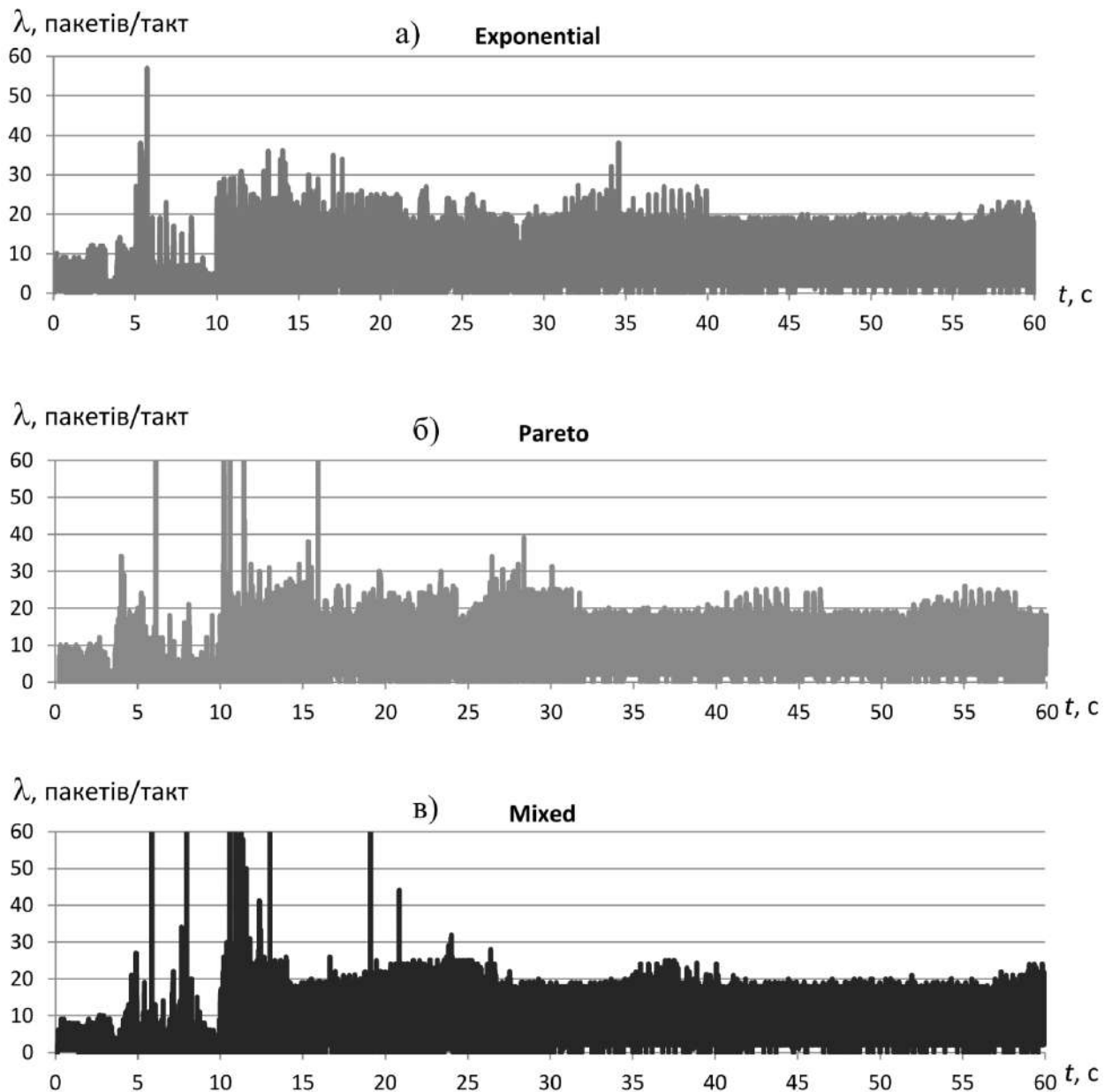


Рис. 4.15. Інтенсивність експоненційного (а), самоподібного (б) та змішаного (в) трафіку в моделі зі ста абонентами

Наведені графіки дозволяють оцінити навантаження на підсистему обслуговування заявок.

На думку автора роботи, інтерес являє співставлення отриманих в дисертації результатів моделювання з результатами робіт з моделювання процесів обслуговування самоподібного трафіку, отриманих іншими дослідниками. Співставлення виконано на базі дослідження [122] в системі моделювання GPSS-World [123].

Рис. 4.16 і рис. 4.17 демонструють графіки зміни середньої довжини L_c черги заявок на сервері в моделях з п'ятьма і 100 абонентами, відповідно (результати даної роботи).

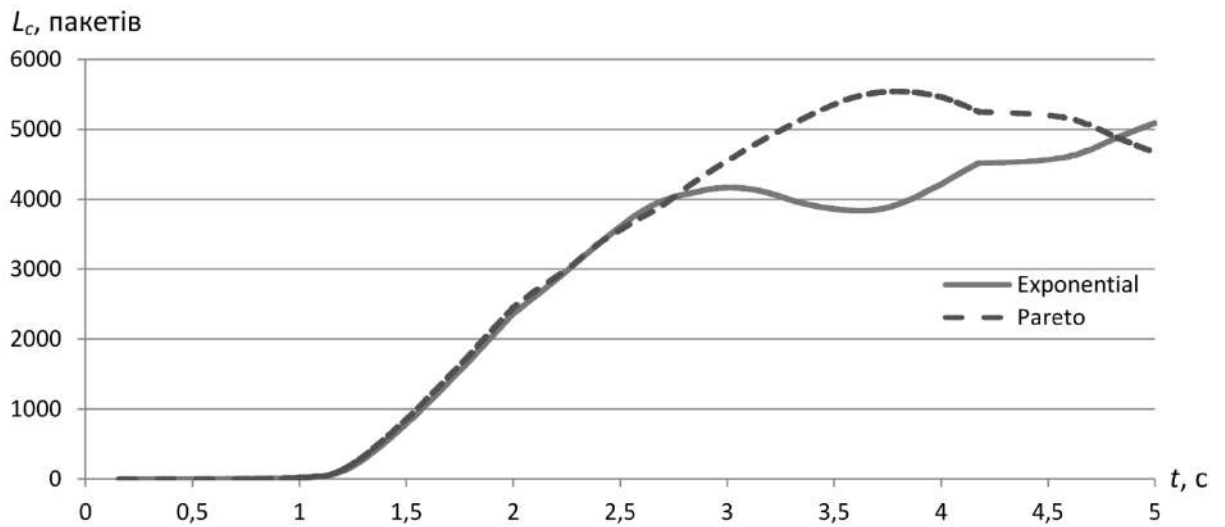


Рис. 4.16. Середня довжина черги заявок від 5 абонентів, яка накопичується на сервері обслуговування, при експоненційному і самоподібному трафіку

На рис. 4.16 видно, що при самоподібному трафіку середня довжина черги досягає свого локального екстремуму за 4 сек роботи мережі, в цей же час при експоненційному трафіку значення середньої довжини черги на 28% менше.

Довжина черги при експоненційному трафіку має експоненте зростання, тобто чим довше система буде працювати, тим значення середньої довжини черги буде зростати. У той час як при самоподібному трафіку відбуваються коливання значення середньої довжини черги, але значення екстремумів функції більше, ніж при експоненційному графіку.

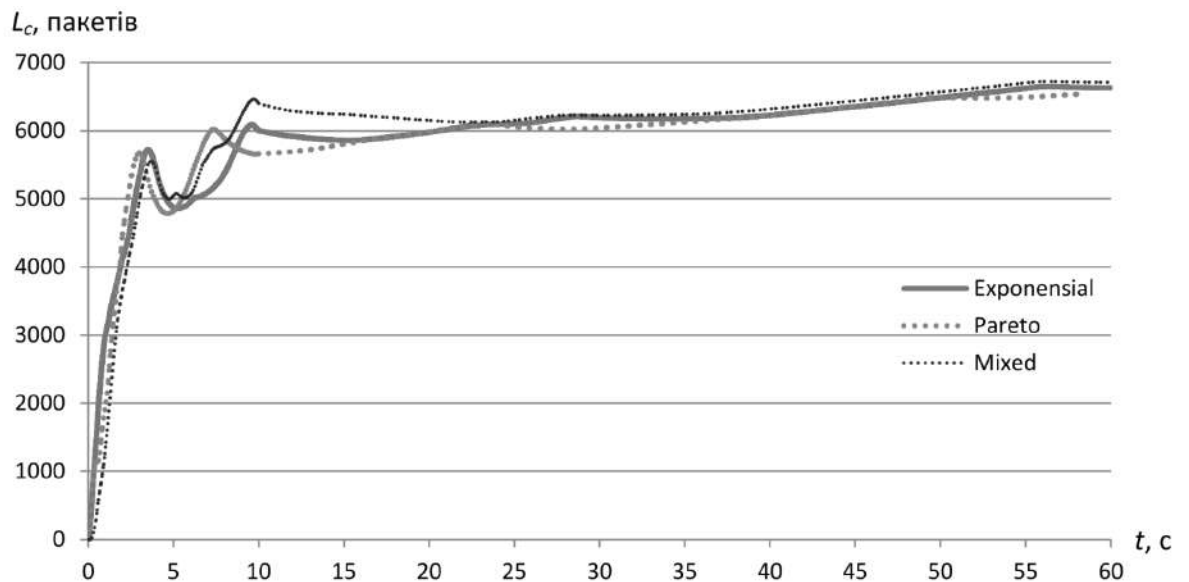


Рис. 4.17. Середня довжина черги заявок від 100 абонентів, яка накопичується на сервері обслуговування, при експоненційному, самоподібному (Pareto) і змішаному трафіку

Як видно з графіку рис. 4.17, чим більша кількість абонентів, тим значення середньої довжини черги, при різних типах мережевого трафіку, зрівнюються. На різних часових проміжках роботи мережі спостерігається зростання середньої довжини черги при тому, чи іншому типу мережевого трафіку. Але середнє значення при самоподібному потоці на 6% гірше, ніж при змішаному, та на 9% гірше, ніж при експоненційному.

Рис. 4.18 зображує, що середнє значення черги на обслуговування достатньо невелике для експоненційного потоку. При самоподібному потоку значення середньої довжини черги погіршується в залежності від значення показника Хьорста. При коефіцієнті завантаження системи 0.7, середня довжина черги, в самоподібному потоці з показником Хьорста в 0.9, більше 50 разів, ніж в експоненційному потоку.

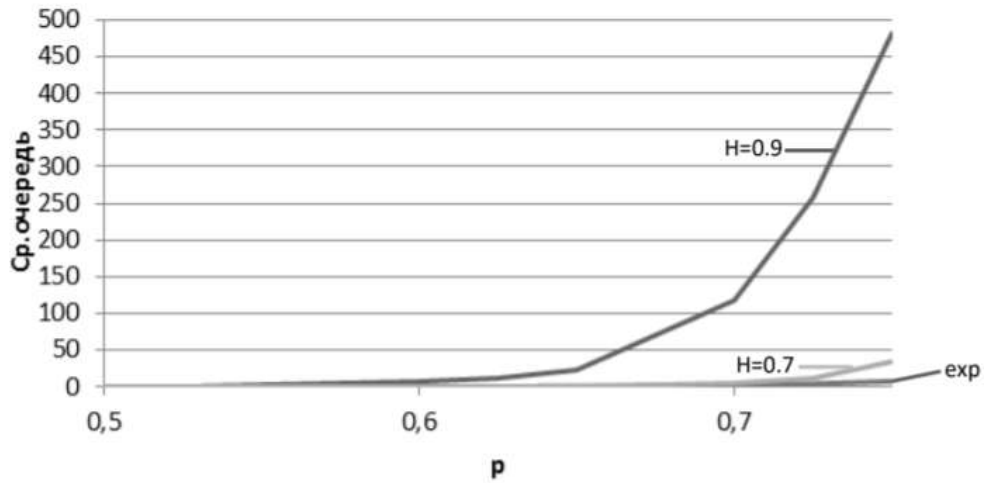


Рис. 4.18. Залежність середньої довжини черги від завантаження системи

На рис. 4.19 та рис. 4.20 показані графіки зміни середнього часу знаходження абонентських заявок в системі (t_s) і очікування в черзі до сервера обслуговування (t_q), відповідно, в моделі зі 100 абонентами.

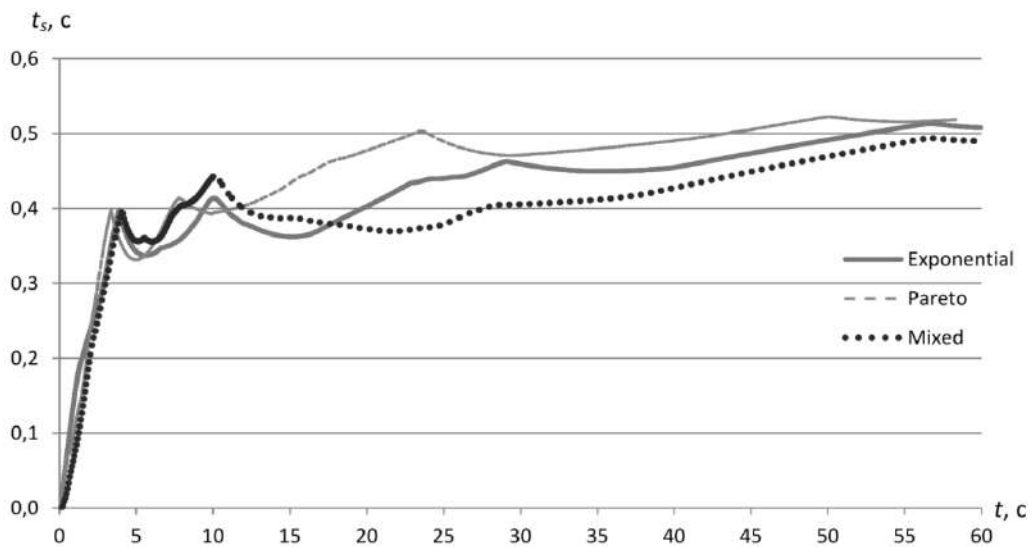


Рис. 4.19. Середній час знаходження заявок в системі при експоненційному, самоподібному (Pareto) і змішаному трафіку в моделі зі 100 абонентами

Як видно з графіку рис. 4.19 середній час знаходження заявки в системі при самоподібному потоці на 9% гірший, ніж при експоненційному та змішаному.

В дослідженнях [122] приведений графік залежності середнього часу очікування початку обслуговування (без «нульових входів») від завантаження показана на рис. 4.20, на якому видно, що середній час очікування початку обслуговування без урахування заявок, які при надходженні в пристрій обслуговування відразу ж були обслужені для найпростішого потоку має мінімальне значення при збільшенні завантаження комутатора, а для самоподібного трафіку має більш високі значення і цей час більш вище при зростанні параметра Хьорста.

Результати моделювання на рис. 4.20 та рис. 4.21 підтверджують один одного.

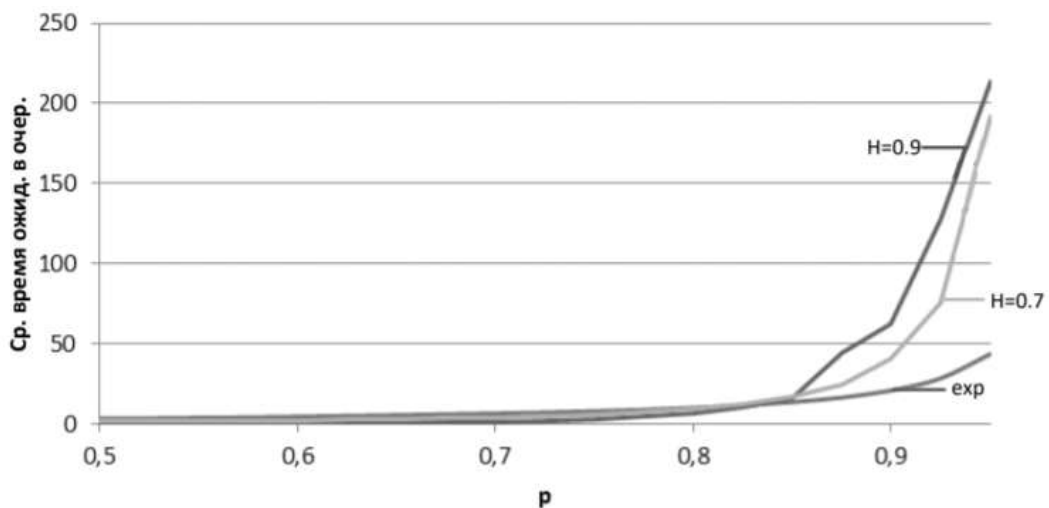


Рис. 4.20. Залежність середнього часу очікування початку обслуговування від завантаження системи

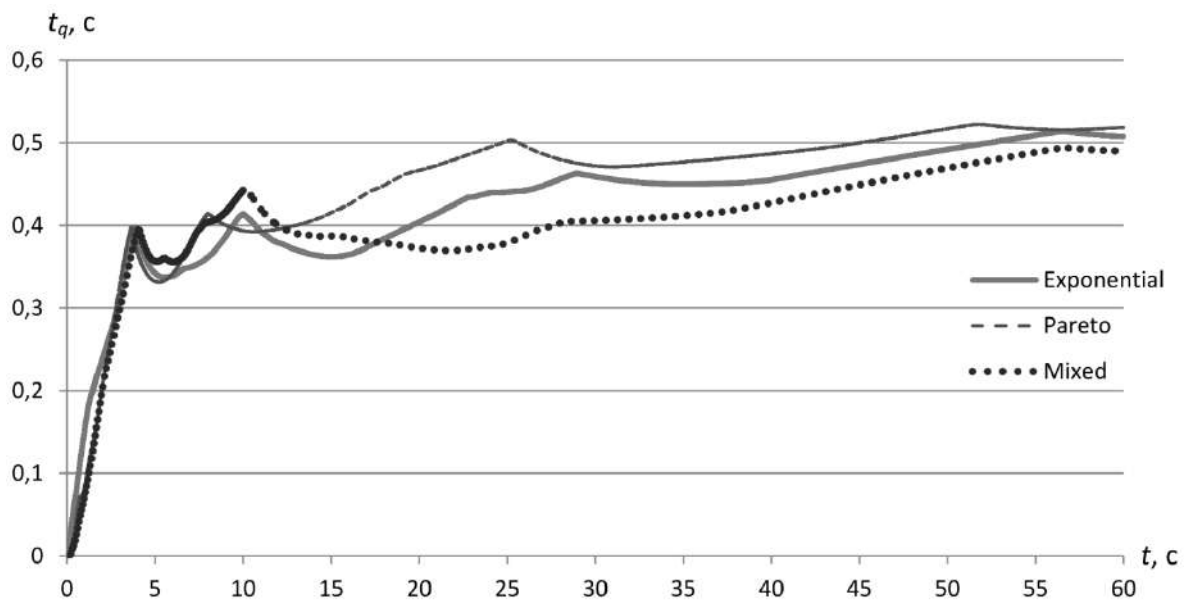


Рис. 4.21. Середній час очікування заявок на обслуговування при експоненційному, самоподібному (Pareto) і змішаному трафіку в моделі зі 100 абонентами

Подібна тенденція до погіршення середнього показника при самоподібному потоці спостерігається і на рис. 4.20. На різних часових проміжках роботи імітаційної моделі, показники при різному типі мережевого графіку можуть погіршуватись, або покращуватись, але чим довше працює система, тим середній показник при самоподібному трафіку погіршується, відносно експоненційного. На рис. 4.20 показник середнього часу на обслуговуванні заявки на 13% гірший, ніж при експоненційному.

На рис. 4.22 [122] видно, що для експоненційного потоку середній час очукування в черзі зростає повільно при завантаженні пристрою обслуговування більше ніж на 90%. Значення середнього часу обслуговування для самоподібного трафіку різко зростає зі збільшенням параметру Хьорста при завантаженні пристрою обслуговування більше 90%.

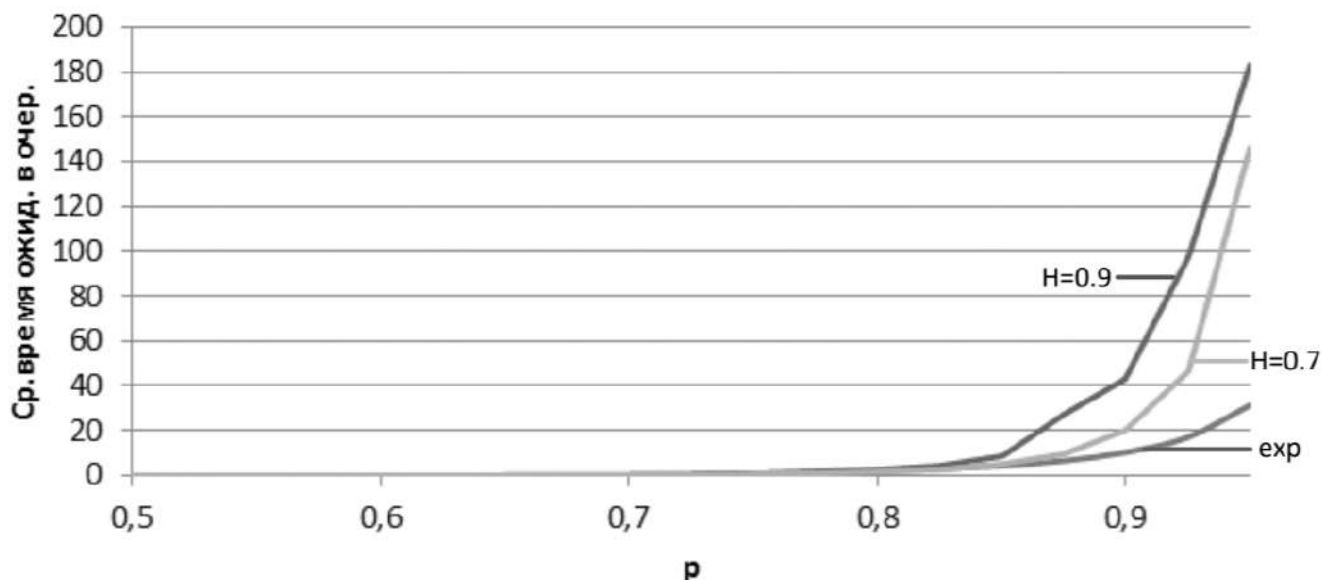


Рис. 4.22. Середній час очікування початку обслуговування

На рис. 4.23 [122] представлена максимальна кількість заявок у черзі на обслуговування.

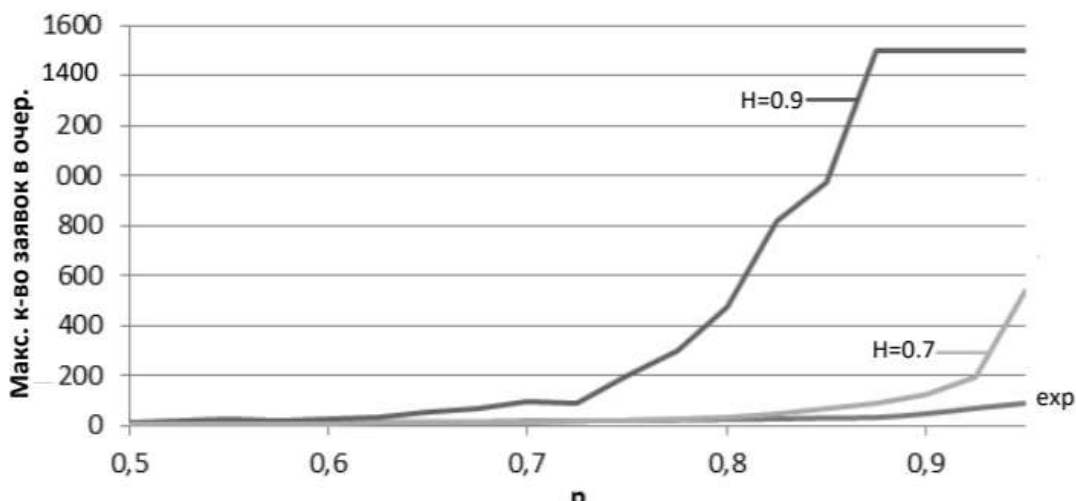


Рис. 4.23. Максимальна кількість заявок у черзі

Коли кількість заявок на обслуговування перевищує максимальний розмір черги на обслуговування, збільшується ймовірність втрати заявок. На рис. 4.24 зображено графік ймовірності втрати заявки на обслуговування в залежності від ступеня самоподібності мережевого графіку. Графік показує, що при показнику Хьорста 0.9 ймовірність втрати заявки на обслуговування на 81% вища, ніж при показнику 0.7. В той час, як ймовірність втрати заявки на обслуговування, при показнику Хьорста 0.7 на 105% більша, ніж при експоненційному трафіку. При збільшенні навантаження на систему різниця між показниками лише збільшується.

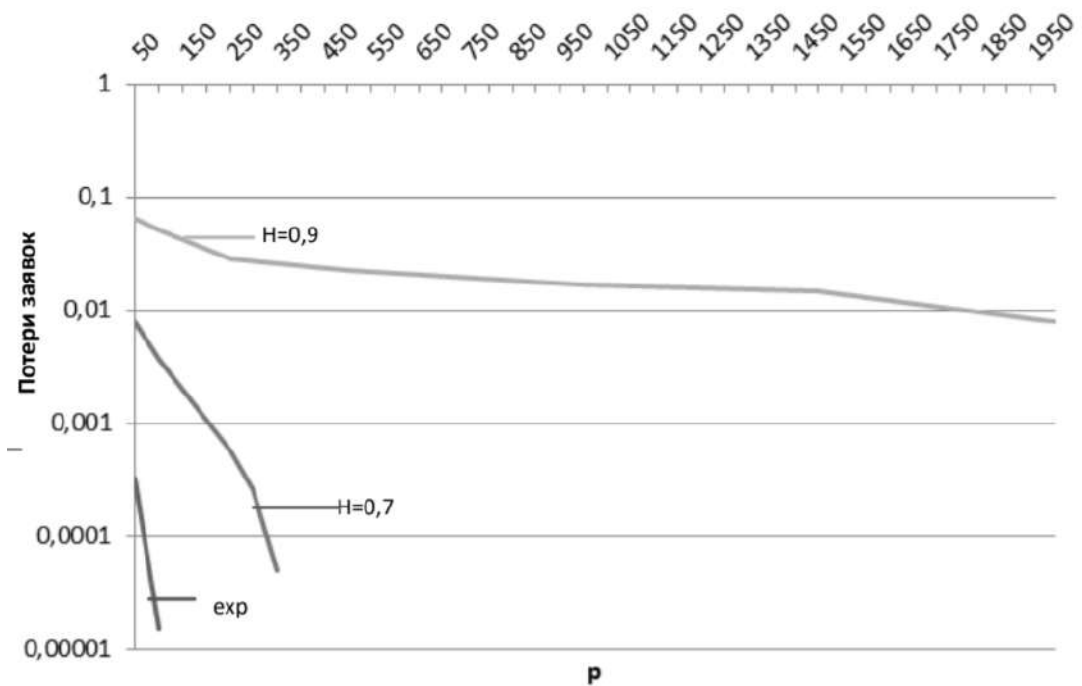


Рис. 4.24. Ймовірність втрати заявок

Висновки до четвертого розділу

1. На підставі порівняльного аналізу сучасних мережевих симуляторів для виконання імітаційного моделювання процесів управління наданням ІС було обрано мережевий симулятор NS-2 як середовище для побудови імітаційної моделі системи управління ІС в NGN. Основними аргументами при виборі системи NS-2 були його безкоштовність, відкритий програмний код, а також наявність компонентів для анімації моделі та побудови графіків.

2. Розроблено алгоритм сценарію моделювання ІНДПУ в системі NS-2. До уваги взято особливості роботи мережевого симулятора з трафіком різного типу, а також даними, котрі в результаті генерує симулятор.

3. Розроблено програмне забезпечення для автоматизації розрахунку ймовірних станів системи, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей системи. На запропоноване програмне забезпечення отримано Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №83843. Комп'ютерна програма «Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу».

4. Розроблені імітаційні моделі системи управління ІС з можливістю зміни кількості абонентів в мережі, а також типу мережевого трафіку. Проведено модельні експерименти з метою визначення показників роботи мережі при збільшенні кількості абонентів та зміни характеру мережевого трафіку. В результаті моделювання отримані графіки інтенсивності потоку заявок на обслуговування, зміни середньої довжини черги заявок, середнього часу знаходження заявок в системі та середнього часу очікування заявок на обслуговування. Показано корельованість отриманих результатів моделювання з результатами моделювання процесів обслуговування самоподібного трафіку, отриманих іншими дослідниками.

5. В результаті моделювання було визначено, що середній час знаходження заявки в системі при самоподібному трафіку на 9% гірший, ніж при експоненційному та змішаному. Показник середнього часу на обслуговуванні заявки при самоподібному трафіку на 13% гірший, ніж при експоненційному.

6. Обґрунтованість отриманих результатів засновується на коректному застосуванні основних положень теорії телетрафіку, теорії графів та математичного апарату методів дослідження операцій.

7. Достовірність отриманих результатів підтверджується: заданими реальними вихідними даними, використанням апробованого математичного апарату, несуперечливістю отриманих даних відомим положенням теорії телетрафіку, теорії графів, збіжністю теоретичних результатів з експериментальними даними, отриманими шляхом математичного моделювання процесів управління наданням ІС в NGN.

ВИСНОВКИ

1. На підставі проведених досліджень виявлено, що в даний момент при управлінні наданням ІС використовується централізована система. Але при збільшенні завантаження системи виникає проблема з обмеженою пропускну здатністю мережі сигналізації і продуктивністю центрів управління послугами. Для вирішення цієї проблеми запропонована архітектура ІНДПУ, котра призначена для зменшення навантаження на ІН, що забезпечує підвищення ЕУ.

2. За результатами проведених досліджень характеру мережевого трафіку, що утворюється інтелектуальними сервісами, визначена необхідність при оцінці ЕУ наданням ІС враховувати властивість самоподібності мережевого трафіку.

3. З урахуванням рекомендацій ІТУ-Т для формування критерію ЕУ наданням ІС запропоновано використання наступних підкритеріїв: час знаходження в мережі заявки на ІС, ймовірність блокування заявки, кількість заявок, що очікують на обслуговування (середня довжина черги), характер потоку заявок, вартість пристрою управління та ступінь задоволення користувачів якістю сервісу.

4. Проведено розрахунки ефективності централізованого та децентралізованого методів управління наданням ІС. Показано, що при інтенсивності надходження заявок на ІС до 20 Мбіт/сек показник ЕУ при ІНЦПУ на 7.3% вищий, ніж при ІНДПУ. Але при збільшенні інтенсивності надходження заявок на ІС ситуація стрімко змінюється. При інтенсивності надходження заявок на ІС у 100 Мбіт/сек, показник ЕУ при ІНЦПУ на 37% гірший, ніж при ІНДПУ.

5. Удосконалено метод розрахунку ймовірних станів системи, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей децентралізованої системи управління наданням ІС, який, на відміну від існуючих, дозволяє на підставі запропонованого кодування станів системи застосовувати автоматизовані засоби формування рівнянь балансу.

6. Дістав подальшого розвитку метод формування аналітичної моделі ІНДПУ наданням ІС як МеМО, який надає можливість урахування стохастичного характеру

надходження заявок на обслуговування на підставі використання математичного апарату теорії марківських процесів.

7. Розроблено програмне забезпечення для автоматизації розрахунку ймовірних станів системи, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей системи. На запропоноване програмне забезпечення отримано Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №83843. Комп'ютерна програма «Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу».

8. Удосконалено аналітичну модель ІН NGN з децентралізованим принципом управління наданням ІС. Відмінністю представленої моделі є урахуванням самоподібності мережевого трафіку при надходженні на обслуговування заявок на ІС на основі використання моделі фрактального броунівського руху.

9. Розроблені імітаційні моделі системи управління ІС з можливістю зміни кількості абонентів в мережі, а також типу мережевого трафіку. Проведено модельні експерименти з метою визначення показників роботи мережі при збільшенні кількості абонентів та зміни характеру мережевого трафіку. В результаті моделювання отримані графіки інтенсивності потоку заявок на обслуговування, зміни середньої довжини черги заявок, середнього часу знаходження заявок в системі та середнього часу очікування заявок на обслуговування. Показано корельованість отриманих результатів моделювання з результатами моделювання процесів обслуговування самоподібного трафіку, отриманих іншими дослідниками.

10. В результаті моделювання було визначено, що середній час знаходження заявки в системі при самоподібному трафку на 9% гірший, ніж при експоненційному та змішаному. Показник середнього часу на обслуговуванні заявки при самоподібному трафіку на 13% гірший, ніж при експоненційному.

11. Обґрунтованість отриманих результатів засновується на коректному застосуванні основних положень теорії телетрафіку, теорії графів та математичного апарату методів дослідження операцій.

12. Достовірність отриманих результатів підтверджується: заданими реальними вихідними даними, використанням апробованого математичного апарату,

несуперечливістю отриманих даних відомим положенням теорії телетрафіку, теорії графів, збіжністю теоретичних результатів з експериментальними даними, отриманими шляхом математичного моделювання процесів управління наданням ІС в NGN.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Интеллектуальные сети. Радио и связь, 2000.
2. Бителева А. NGN. Текущее состояние и перспективы внедрения // Теле-Спутник. –№ 6(128). 2006. С. 90-94.
3. Варакин Л.Е. Интеллектуальная сеть: эволюция сетей и услуг связи // Электросвязь, № 1, 1992. С. 22-24.
4. Беркман Л.Н. Построение интеллектуальной сети // Зв'язок, Т. 2, 1998. С. 14-16.
5. Лихтциндер Б.Я., Кузякин М.А., Росляков А.В., Фомичев С.М. Интеллектуальные сети связи. Москва: Эко-Трендз, 2002. 206 с.
6. Гольдштейн Б.С., Никифоров В.Е. Основные положения по модернизации телефонной сети общего пользования с целью создания NGN // СПб.: БХВ. 2006. С. 35.
7. Отрох С.І., Єфремов О.С. Архітектура мережі нового покоління NGN // Вісник ДУІКТ. Спецвипуск. 2007. pp. 65-71.
8. Соколов Н.А. Выбор технологии коммутации для сетей следующего поколения // Журнал «Мобильные системы» №7. 2004.
9. Гольдштейн Б.С. От ТфОП к NGN: аспекты переходного периода // Журнал «Вестник связи», № 4. 2005.
10. Гольдштейн А.Б., Соколов Н.А. Подводная часть айсберга по имени NGN. [Ч.2] // Технологии и средства связи № 3. 2006. С. 20-29.
11. Соколов Н.А. Задачи перехода к сети связи следующего поколения: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: специальность 05.12.13 “Системы, сети и устройства телекоммуникаций”, Санкт-Петербург, 2006.
12. Гольдштейн А. А.А. Реквием по Softswitch // Журнал «Connect! Мирсвязи». 2008.
13. Гольдштейн А.Б. Еще раз о Softswitch или сравнение реализаций трехгранной пирамиды // Вестник связи №9. 2003. С. 40-53.
14. Гольдштейн А.Б., Атцик А. Построение NGN: IPCC vs. TISpan // Connect! Мир связи. №4. 2006. С. 90-95.
15. Кривуца В.Г., Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Костік Б.Я., Олійник В.Ф. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій // Техніка. 2007. Р. 384.
16. Князева Н.О., Шестопалов С.В., Сіренко О.І. Метод визначення ймовірнісночасових характеристик рівня серверів сервісів та додатків IMS // Радиоэлектроника, информатика, управление, Vol. 4, No. 51, 2019. pp. 145-156.
17. Aponte-Luis J., Gómez-Galán J., Gómez-Bravo F., Sánchez-Raya M., Alcina-Espigado J., Teixido-Rovira P. An Efficient Wireless Sensor Network for Industrial Monitoring and Control // Sensors (Basel), No. 18, 2018.

18. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Одеса: ВМВ, 2008.
19. Кальченко А. Управление качеством услуг в телекоммуникационных сетях // International Journal "Information Models and Analyses, Т. 2, № 4, 2013. С. 349-360.
20. Kniazieva N., Shestopalov S., Susłow W., Yatsko A. The Concept of Implementation of the Decentralized Application Level Structure for the Providers of Typical Next Generation Network // Scientific Issues Jan Długosz University in Częstochowa. Mathematics XXII, 2018. pp. 99-116.
21. Шестопалов С.В. Качество управления интеллектуальными услугами в сетях последующего поколения // International Journal «Information Models and Analyses», Т. 2, № 3, 2013. С. 262-274.
22. Цыбаков Б.С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса // Радиотехника, № 5, 1999. С. 24-31.
23. Willinger W., Taqqu M., Sherman R., Wilson D. Self-Similarity Through High-Variability: Statistical Analysis of Ethernet LAN Traffic at the Source Level // IEEE/ACM Transactions on Networking, No. 5, 1997. pp. 71-86.
24. Paxson V. Fast, Approximate Synthesis of Fractional Gaussian Noise for Generating Self-Similar Network Traffic // Computer Communications Review, No. 27, 1997. pp. 5-18.
25. Paxson V., Floyd S. Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling // IEEE/ACM Transactions on Networking, No. 3, 1995. pp. 226-244.
26. Петров М.Н., Пономарев Д.Ю. Самоподобие в системах массового обслуживания с ограниченным буфером // Электросвязь, № 2, 2002. С. 35-39.
27. Стрихалюк Б.М. Фрактальный спосіб прогнозування потоків у мультисервісних мережах // Вісник Національного університету "Львівська політехніка": Радіoeлектроніка та телекомунікації, No. 645, 2009. pp. 88-94.
28. Радивилова Т.А. Анализ продуктивности сети в условиях самоподобной нагрузки // Системы обработки информации, Т. 7, № 105, 2012. С. 211-215.
29. Чупахина Л.Р., Киреева Н.В. Исследование самоподобного трафика в мультисервисной сети // Т-СОММ: Телекоммуникации и транспорт, Т. 7, № 8, 2013. С. 88-89.
30. Агеев Д.В., Игнатенко А.А., Копылев А.Н. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия // Електронне наукове фахове видання - журнал «Проблеми телекомунікацій», No. 3, 2011. pp. 18-35.
31. Бельков Д.В. Актуальность исследования фрактального трафика // Материалы IV международной научно-практической конференции «Постигането на висшето образование – 2008», Vol. 12, 2008. pp. 44-46.
32. Карпухин А.В., Кириченко Л.О., Радивилова Т.А. Самоподобие в информационных системах // Прикладная радиоэлектроника, Т. 7, № 1, 2008. С. 54-64.

33. Треногин Н.Г., Соколов Д.Е. Фрактальные свойства потоков событий прикладного уровня в информационных системах // Вестник СибГУТИ, № 4, 2017. С. 97-103.
34. Шелухин О.И. Моделирование информационных систем. Радиотехника, 2005.
35. Шелухин О.И., Осин А.В., Смольский С.М. Самоподобие и фракталы // М.: ФИЗМАТЛИТ. 2008. С. 368.
36. Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Радиотехника, 2003.
37. Шелухин О.И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные. Горячая Линия - Телеком, 2011.
38. Шелухин О.И. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. ФИЗМАТЛИТ, 2008.
39. Crovella M.E., Bestavros A. Self-Similarity in World Wide Web Traffic: Evidence and Possible Causes // IEEE/ACM Transactions on Networking, No. 5, 1997. pp. 835-846.
40. Ладыженский Ю.В., Моргайлов Д.Д., Юнис М. Моделирование самоподобного входного трафика сетевых процессоров в системе NS-2 // Наукові праці ДонНТУ Серія "Інформатика, кібернетика 2012 та обчислювальна техніка", № 16, 2012.
41. Kniazieva N., Shestopalov S., Kunup T., Kondratenko A. Research of Intelligent Network Services Traffic in NGN // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Proceedings of the 14 International Conference TCSET'2018, 2018.
42. Leland W.E., Taqqu M.S., Wilson D.V. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version) // IEEE/ACM Trans, on Networking, Vol. 2, No. 1, 1994. pp. 1-15.
43. Беркман Л.Н., Крючкова Л.П., Борисенко І.І., Федюнін С.А., Уварова Т.В. Визначення критеріїв оптимізації для системи управління // ЗВ'ЯЗОК, № 2, 2016. pp. 56-60.
44. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проективання телекомунікаційних мереж // Техніка. 2002. Р. 792.
45. Назаров А.Н., Сычев К.И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. Красноярск: ООО «Поликом», 2010.
46. Одоевский С.М., Хоборова В.П. Методы прогнозирования качества обслуживания самоподобного трафика в устройствах коммутации мультисервисной сети // Труды учебных заведений связи, Т. 3, № 3, 2017. С. 86-92.
47. ITU-T Recommendation E.802 – Framework and methodologies for the determination and application of QoS parameters. Geneva. 2007.
48. ITU-T Recommendation Y.1540 – Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters. 2007.
49. ITU-R Recommendation E.800 – Quality of telecommunication services: concepts,

- models, objectives and dependability planning – Terms and definitions, related to Quality of Services and network performance including dependability”. 2008.
50. Recommendation ITU–T Y.3001 Future Networks: Objectives and Design Goals, ITU–T Study Group. 2011.
 51. Стеглов В.К., Беркман Л.Н. Особенности проектирования системы управления интеллектуальной // Вісник державного університету «Львівська політехніка», No. 387, 2000. pp. 19-22.
 52. Стеглов В.К., Стародуб Н.М., Беркман Л.Н. Объединение векторных критериев оптимальности систем управления телекоммуникационными сетями // Матеріали доповідей учасників Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції - тов. “Знання України”, 2000. pp. 90-92.
 53. Стеглов В.К., Кільчицький Є.В. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій. Київ: Техніка, 2002.
 54. Стеглов В.К., Костік Б.Я., Беркман Л.Н. Сучасні системи управління в телекомунікаціях. Техніка, 2005. 400 pp.
 55. Кирпач Л.А., Срібна І.М. Підвищення показників якості при проектуванні телекомунікаційних мереж // Сучасні інформаційно-комунікаційні технології: II Міжнародна науково-технічна конференція, 2006. pp. 120-121.
 56. Кирпач Л.А., Срібна І.М., Сторчак К.П. Оптимізація систем управління телекомунікаційними мережами за допомогою методу робочих характеристик // Зв’язок, No. 5, 2006. pp. 64-66.
 57. Олешко Т.І., Кирпач Л.А., Срібна І.М. Підвищення показників якості при проектуванні телекомунікаційних мереж // Електроніка и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники», Vol. 3, 2007. pp. 120-122.
 58. Беркман Л.Н., Слюсар В.О., Колченко Г.Ф., Варфоломеева О.Г. Деякі особливості управління мережами NGN // Зв’язок, No. 7, 2007. pp. 19-25.
 59. Слюсар В.А., Варфоломеева О.Г., Колченко Г.Ф. К вопросу об оценке некоторых критериев функционирования систем управления телекоммуникационными сетями // Наукові записки УНДІЗ, № 1, 2007. С. 20-24.
 60. Кильчицкий Е.В., Копейка О.В., Слюсарь В.А. Оперативно-техническое управление телекоммуникационными сетями и услугами Единой национальной системы связи // Вісник Українського будинку економічних та науково-технічних знань, № 2, 2003. С. 6-11.
 61. Ткаченко О.М., Нацик Д.О. Оптимізація параметрів систем управління телекомунікаційними мережами // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, Vol. 3, No. 3-4, 2005. pp. 71-73.
 62. Ткаченко О.М., Гринкевич Г.О., Перепелиця Н.Л. Імітаційне моделювання об’єкта управління // Телекомунікаційні та інформаційні технології, No. 1, 2015. pp. 67-72.
 63. Ткаченко О.М., Макаренко А.О., Коршун Н.В., Голубенко О.І. Побудова дискретної ситуаційної мережі як імітаційної моделі об’єкта управління //

Державний університет телекомунікацій, 2017.

64. Князева Н.А., Верес И.В. Методические подходы к проектированию топологии сети // Вісник Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. т. 10, № 4. 2012. С. 54-59.
65. Князева Н.О., Шестопапов С.В. Підвищення якості управління послугами при застосуванні децентралізованої системи управління // Вісник ДУІКТ. – т.8. – №1 – К.: ДУІКТ. 2010. pp. 21-28.
66. Kniazieva N., Nenov A., Kolumba I. Method for assessing the structural reliability of networks with undetermined topology // Informatyka, Automatyka, Pomiarzy W Gospodarce I Ochronie Środowiska, Vol. 10, No. 1, 2020. pp. 32-35.
67. Kniazieva N., Kotlyk S., Kalchenko A. Method of Assessment and Improvement the Quality of Multimedia Services // IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2019. pp. 451-455.
68. Kniazieva N., Kalchenko A. Quality control of multimedia services in mining enterprises' corporate networks // Naukovyi Visnyk NHU, Vol. 2, 2018. pp. 107-113.
69. Зіменко Л.М., Князева Н.О., Пустовий Б.Л. Комп'ютерна програма «Комп'ютерне застосування системи оцінки структурної живучості інтелектуальної надбудови NGN», 88005, Apr 23, 2019.
70. Князева Н.О., Зіменко Л.М., Пустовий Б.Л. Автоматизація процесу визначення показників та підвищення структурної живучості рівня надання сервісів та додатків // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки., Vol. 2, No. 283, 2020. pp. 77-83.
71. Князева Н.О., Шестопапов С.В. Моделювання процесів функціонування систем управління // Холодильная техника и технология, Vol. 2, No. 124, 2010. pp. 55-62.
72. Князева Н.О., Ненов О.Л., Колумба І.В. Оцінка структурної надійності телекомунікаційних мереж невизначеної топології на основі імітаційного моделювання // Вісник Університету «Україна». Серія: Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика, Vol. 2, No. 23, 2019. pp. 192-208.
73. Князева Н.О., Шестопапов С.В. Оцінювання якості сервісів в IMS // Вісник Університету «Україна», No. 1, 2019.
74. Князева Н.О., Шестопапов С.В. Підходи до оцінки якості надання сервісів в телекомунікаційних мережах // Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Фізико-технологічні проблеми передавання, оброблення та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах», 2018. pp. 27-29.
75. Князева Н.О., Шестопапов С.В., Лисенко Н.О. Метод визначення комплексного критерію якості надання сервісів мультисервісними мережами // ВІСНИК СХІДНОУКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ імені Володимира Даля, Vol. 7, No. 255, 2019. pp. 24-34.
76. Князева Н.А., Кальченко А.С. Управление качеством услуг в сетях следующего поколения с использованием методов нечеткой логики // Холодильная техника та

- технологія, Vol. 4, No. 51, 2015. pp. 102-107.
77. Kniazieva N.O., Shestopalov S.V. COMPLEX QUALITY CRITERION OF CONTROL OF THE INTELLECTUAL SERVICES PROVISION IN NGN // Холодильна техніка та технологія, Vol. 52, No. 3, 2016. pp. 42-47.
 78. Пустовой Б.Л., Кунуп Т.В. Оценка эффективности управления интеллектуальными услугами // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»(ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ), 2016. С. 244-247.
 79. Международный союз электросвязи (ITU), официальное Интернет-представительство [Электронный ресурс] URL: <http://www.itu.int> (дата обращения: 02.03.2015).
 80. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем // СПб: СПбГУ ИТМО. 2009. С. 363.
 81. Сидоренко И.А., Солдатов И.В. Агентное моделирование трафика телекоммуникационной компании // Белгородский государственный университет // Научные ведомости, Т. 9, № 64, 2009. С. 2-3.
 82. Бортник Г.Г., Васильківський М.В., Стальченко О.В. Цифровий метод спектрального оцінювання випадкових сигналів // Вісник Вінницького політехнічного інституту "Радіоелектроніка та радіоелектронне апаробудування", No. 2, 2014.
 83. Taqqu M.S., Teverovsky V. Robustness of Whittle-type estimates for time series with long-range dependence // Communications in Statistics. Stochastic Models, Vol. 13, No. 4, 1997. pp. 723-757.
 84. Гачков А.А. Рандомизированный алгоритм R/S-анализа финансовых рядов // Санкт-Петербургский государственный университет, 2009. pp. 55-56.
 85. Kniazieva N.A., Shestopalov S.V., Kunup T.V., Kondratenko A.A. Research of Intelligent Network Services Traffic in NGN // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Proceed-ings of the 14 International Conference TCSET'2018. – Lviv-Slavske: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2018. pp. 85-91.
 86. Требования к сетевым показателям качества для служб, основанных на протоколе IP: МСЭ-Т. – Y.1541. 2007. Женева. P. 43.
 87. Kalchenko A. Accounting users' opinion about Quality of Services in NGN with distributed control system // 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016. pp. 926-929.
 88. Кальченко А.С. Інтелектуальна система управління якістю послуг в мережах наступного покоління // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, No. 6, 2015. pp. 55-60.
 89. Кальченко А. Удосконалення методів управління якістю сервісів в телекомунікаційних мережах // УкрДУЗТ, 2016.

90. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде // СПб.: БХВ-Петербург., 2005. С. 736.
91. Pustovyi V. The intelligent service control efficiency evaluation method // Science and Education a New Dimension - Natural and Technical Sciences, No. 132, 2017. pp. 35-40.
92. Князева Н.О., Шестопапов С.В. Управління інтелектуальними сервісами в мережах наступного покоління: монографія. Одеса: Бондаренко М.О., 2017. 268 pp.
93. Шестопапов С.В. Розрахунок часткових критеріїв системи управління NGN // Вісник ДУІКТ, Vol. 8, No. 2, 2010. pp. 147-153.
94. Кучук Г.А., Куфлієвський О.А. Моделювання розподіленого вузла концентратора послуг NGN-мережі // Системи обробки інформації, No. 2, 2011. pp. 52-57.
95. Подольский Д.В. К вопросу выбора модели звена сети следующего поколения // МФИ-2010. Труды конференции, 2010. С. 10-11.
96. Wu T., Kuo G.S. An Analytical Model for Service Discovery Architectures in Next-Generation Net-works // IEEE Globecom 2006, No. DOI: 10.1109/GLOCOM.2006.242, 2007.
97. Taqqu M., Willinger W., Sherman R. Proof of a fundamental result in self-similar traffic modeling // Comput. Commun, No. 27, 1997. pp. 5-23.
98. Norros I. A storage model with self-similar input // Queuing Systems, No. 16, 1994. pp. 387-396.
99. Костромицкий А.И., Володка В.С. Подходы к моделированию самоподобного трафика // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, Vol. 1, No. 7, 2010. pp. 46-49.
100. Ложковский А.Г. Сравнительный анализ методов расчета характеристик качества обслуживания при самоподобных потоках в сети // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. пр. ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України, No. 47, 2008. pp. 187-193.
101. Шестопапов С.В., Грищенко І.В. Якість управління в NGN // Зв'язок, No. 1, 2014. pp. 24-30.
102. Kniazieva N., Shestopalov S., Pustovyi V. Development of the analytical model of the NGN intelligent superstructure with decentralized control principle // Вісник Університету «Україна», No. 2, 2019. pp. 98-107.
103. Ложковский А.Г., Салманов Н.С., Вербанов О.В. Моделирование многоканальной системы обслуживания с организацией очереди // Восточно-европейский журнал передовых технологий, Т. 27, № 3/6, 2007. С. 72-76.
104. Ложковский А.Г., Левенберг Е.В. Расчет характеристик самоподобного трафика, аппроксимируемого распределением парето // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Радіоелектроніка та телекомунікації, No. 885, 2017. pp. 63-67.

105. Ложковський А.Г., Вербанов О.В. Моделирование трафика мультисервисных пакетных сетей с оценкой его коэффициента самоподобности // Збірник наукових праць ОНАЗ ім. О. С. Попова, No. 1, 2014. pp. 70-76.
106. Some New Findings on the Self-Similarity Property in Communications Networks and on Statistical End-to-End Delay Guarantee: Technical Report [JNG05-01]. Hong Kong: Department of Computer Science, Hong Kong Baptist University., 2001. 14 pp.
107. Князева Н.О., Шестопапов С.В., Кунуп Т.В. Аналітична модель інтелектуальної надбудови NGN з урахуванням самоподібності трафіку // Холодильна техніка та технологія, Vol. 54, No. 4, 2018. pp. 72-79.
108. Князева Н.О., Пустовой Б.Л. Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу // Збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції «ПЕРСПЕКТИВИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»(ПРОБЛЕМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ), 2018.
109. Князева Н.О., Пустовой Б.Л. Комп'ютерна програма «Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу», 83843, Dec 20, 2018.
110. Pustovyi B. Automation of analytical model construction for intellectual superstructure in next generation networks // Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki, No. 12, 2018. pp. 49-60.
111. Дорошенко А.Е., Жереб К.А., Шевченко Р.С. О моделировании сенсорных сетей средствами высокого уровня // Проблемы програмування, Т. 2, № 3, 2006. С. 718-727.
112. Жерновий Ю.В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: [Навчальний посібник]. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006.
113. Кузьмін О.В., Знак Ю.З. Програмні засоби моделювання сенсорних мереж // Моделювання та інформаційні технології, No. 83, 2018. pp. 139-146.
114. Кучерявый Е.А. NS2 как универсальное средство имитационного моделирования сетей связи // Информационные сети, системы и технологии = Information Networks, Systems and Technologies : труды VII международной конференции ICINASTe'2001, Vol. 2, No. 3, 2001. pp. 67-72.
115. Issariyakul T., Hossain E. Introduction to Network Simulator NS2. Springer Publishing Company, Incorporated, 2010.
116. Кокорева Е.В. Моделирование в среде network simulator. Новосибирск: СибГУТИ, 2013.
117. Wang X., Sarvotham S., H. Riedi R., G. R. Network traffic modeling using connection-level information // Scalability and Traffic Control in IP Networks, July 2002. pp. 214-222.
118. Пустовой Б.Л. Использование системы NS-2 для моделирования самоподобного трафика // VI Международная научно-практическая конференция (I Международный симпозиум) "Практическое применение нелинейных динамических систем в инфокоммуникациях", 2017.
119. Пустовой Б.Л. Моделирование процессов предоставления интеллектуальных

- сервисов в системе NS-2 // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Компьютерные науки, информационные технологии и системы управления», 2017. С. 38-43.
120. Пустовой Б.Л. Особенности имитации децентрализованного принципа управления в системе NS-2 // Матеріали XVII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів, Т. 2, 2017. С. 61-63.
121. Гнатушенко В., Данладі А. Дослідження самоподібних процесів передачі трафіку на основі ON/OFF моделі // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології, No. 771, 2013. pp. 135-139.
122. Мирзакулова Ш.А. Разработка алгоритмов управления информационными потоками, поступающими на порт Ethernet-коммутатора: монография. Алматы: АлманахАлманах, 2017.
123. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World. Санкт-Петербург: СПб.: БХВ-Петербург, 2004.
124. “Национальная комиссия, осуществляющая государственное регулирование в сфере связи и информатизации”, официальное Интернет-представительство [Электронный ресурс] URL: <http://www.nkrzi.gov.ua/index.php?r=site/index&pg=138&language=uk> (дата обращения: 27.01.2017).
125. Шестопапов С.В. Результуючий критерій якості системи управління додатковими послугами в NGN // Науковий Вісник Донбаської державної машинобудівної академії, Vol. 2, 2009. pp. 185-189.

ДОДАТОК А

Інтелектуальні сервіси

Таблиця А.1

Деякі сервіси CS-1

Сервіс	Термін	Значення
1	2	3
ABD	Abbreviated Dialing (Скорочений набір)	Сервіс надає користувачеві можливість здійснити виклик, використовуючи, наприклад, номер з 4-х цифр, навіть у тому випадку, коли абоненти обслуговуються різними комутаторами
ACC	Account card calling (Виклик по передплаченій карті)	Можливість оплачувати розмову з будь-якого терміналу за допомогою рахунку, що вказується набором додаткового номера
CF	Call for warding (Направлений виклик)	Користувач може направляти виклики, що надходять до нього, на термінал з іншим номером. Включення і відключення сервісу здійснюється користувачем
CON	Conferencing calling (Телефонна конференція)	Сервіс дозволяє декільком абонентам взяти участь в одній розмові

CCC	Credit card calling (Виклик по кредитній картці)	Дозволяє виконувати будь-які виклики з будь-якого телефонного апарату, оплачуючи їх кредитною карткою
FRH	Freephone (Безкоштовний виклик)	Безкоштовна телефонна служба, або «вільний телефон». Розмова при даному типі виклику

		відбудеться, якщо абонент погодиться його оплатити («Служба 800»)
MAS	Mass Calling (Опитування населення)	Дозволяє проводити опитування населення по телефону. Абонент після виклику чує оголошення і прохання набрати одну з декількох цифр на телефоні, щоб висловити свій вибір. Усі відповіді реєструються
PRM	Premium rate (Доплата, передача частини оплати абоненту, якому телефонують)	Сервіс з додатковою оплатою (частина вартості виклику оплачує сторона, яку викликають, таким чином виступаючи в ролі постачальника додаткового сервісу, тобто користувач оплачує стандартні телефонні сервіси та додаткові сервіси. «Служба 900»)
SPL	Split charging (Перерозподіл оплати)	Дозволяє розподіляти оплату за розмову між абонентами
VOT	Televoting (Телефонне голосування)	Посилає виклик на конкретний номер з подальшим голосовим повідомленням або додатковим набором певного коду
UAN	Universal Access Number (Універсальний номер)	Даний сервіс дає можливість користувачеві, що має кілька географічно розподілених термінальних пристроїв, бути доступним іншим користувачам за єдиним універсальним номером відповідно до визначеної ним маршрутизації вхідних викликів
VPN	Virtual Private Network (Віртуальна приватна мережа)	Частина наявних ліній зв'язку і комутаторів об'єднуються в приватну мережу, функціонування якої визначається користувачем, в тому числі номери для користувачів цієї мережі, їх права та пріоритети, маршрутизація викликів і т.д.

Таблиця А.2

Деякі сервіси CS-2

Сервіси	Термін	Значення
IFPH	InterworkFreephone	Міжмережеве забезпечення виклику
TRA	CallTransfer	Передача виклику
IPRM	InternetworkPremiumRate	Міжмережева доплата
CW	CallWaiting	Очікування виклику

ДОДАТОК Б

Закодовані стани системи ІНДПУ з двома серверами, представленої за допомогою розімкненої МеМО

$E_0 : (0,0/0,0)$ – в мережі немає жодної заявки;

$E_1 : (1,0/0,0)$ – на обслуговуванні в приладі 1 знаходиться заявка класу 1;

$E_2 : (1,1/0,0)$ – на обслуговуванні в приладі 1 знаходиться заявка класу 1 і в черзі 1 заявка класу 1;

$E_3 : (1,2/0,0)$ – на обслуговуванні в приладі 1 знаходиться заявка класу 1 і в черзі 1 заявка класу 2;

$E_4 : (2,0/0,0)$ – на обслуговуванні в приладі 1 знаходиться заявка класу 2;

$E_5 : (2,1/0,0)$ – на обслуговуванні в приладі 1 знаходиться заявка класу 2 і в черзі 1 заявка класу 1;

$E_6 : (2,2/0,0)$ – на обслуговуванні в приладі 1 знаходиться заявка класу 2 і в черзі 1 заявка класу 2;

$E_7 : (0,0/1,0)$ – на обслуговуванні в приладі 2 знаходиться заявка класу 1;

$E_8 : (0,0/1,1)$ – на обслуговуванні в приладі 2 знаходиться заявка класу 1 і в черзі 2 заявка класу 1;

$E_9 : (0,0/1,2)$ – на обслуговуванні в приладі 2 знаходиться заявка класу 1 і в черзі 2 заявка класу 2;

$E_{10} : (0,0/2,0)$ – на обслуговуванні в приладі 2 знаходиться заявка класу 2;

$E_{11} : (0,0/2,1)$ – на обслуговуванні в приладі 2 знаходиться заявка класу 2 і в черзі 2 заявка класу 1;

$E_{12} : (0,0/2,2)$ – на обслуговуванні в приладі 2 знаходиться заявка класу 2 і в черзі 2 заявка класу 2;

$E_{13} : (1,0/1,0)$ – на обслуговуванні в приладі 1 знаходиться заявка класу 1 та на обслуговуванні в приладі 2 знаходиться заявка класу 1;

$E_{48} : (2,2/2,2)$ – на обслуговуванні в приладі 1 знаходиться заявка класу 2 і в черзі 1 заявка класу 2 та на обслуговуванні в приладі 2 знаходиться заявка класу 2 і в черзі 2 заявка класу 2;

ДОДАТОК В

Текст програмного сценарію імітаційного моделювання

```
#Create a simulator object
#remove-all-packet-headers; # removes all packet headers
set ns [new Simulator]

#Define different colors for data flows (for NAM)
$ns color 1 Blue
$ns color 2 Red
$ns color 3 Green
$ns color 4 Yellow
$ns color 5 Brown

#Open the NAM trace file
set nf [open out.nam w]
$ns namtrace-all $nf

exec rm -f trace_a_pareto_60_ON_Off_60sec.tr
set tracefd [open trace_a_pareto_60_ON_Off_60sec.tr w]
$ns trace-all $tracefd

#Создание узлов
for {set i 0} {$i <= 99} {incr i} {
    set sp_($i) [$ns node]
}
set ss_(0) [$ns node]
set ss_(1) [$ns node]
set ss_(2) [$ns node]
set ss_(3) [$ns node]
set ss_(4) [$ns node]
set serv1_n8 [$ns node]
set serv1_ob1_n9 [$ns node]

$ss_(0) shape hexagon
$ss_(0) color blue
$ss_(1) shape hexagon
$ss_(1) color blue
$ss_(2) shape hexagon
$ss_(2) color blue
$ss_(3) shape hexagon
$ss_(3) color blue
$ss_(4) shape hexagon
$ss_(4) color blue
$serv1_n8 shape square
$serv1_n8 color green

$serv1_ob1_n9 color red

#Создание связей между узлами
for {set i 0} {$i <= 99} {incr i} {
    $ns duplex-link $sp_($i) $ss_(0) 20000Mb 0ms DropTail
}
```

```

$ns duplex-link $ss_(0) $serv1_n8 90000Mb 0ms DropTail
$ns duplex-link $serv1_n8 $serv1_ob1_n9 120Mb 0ms DropTail

#Размер очереди
$ns queue-limit $ss_(0) $serv1_n8 500000
$ns queue-limit $serv1_n8 $serv1_ob1_n9 10000

#Позиция узлов (расположение в NAM)
for {set i 0} {$i <= 99} {incr i} {
    $ns duplex-link-op $sp_($i) $ss_(0) orient up
}

$ns duplex-link-op $serv1_n8 $serv1_ob1_n9 orient left-up

#Позиция очереди соединения (NAM)
$ns duplex-link-op $serv1_n8 $serv1_ob1_n9 queuePos 0.5
#Agent/TCPSink/DelAck set interval_ 0.5
for {set i 0} {$i <= 99} {incr i} {
    set tcp_($i) [new Agent/TCP]
    $ns attach-agent $sp_($i) $tcp_($i)
    set sink_($i) [new Agent/TCPSink/DelAck]

    $sink_($i) set fid_ $i

    $ns attach-agent $serv1_ob1_n9 $sink_($i)

    $ns connect $tcp_($i) $sink_($i)
    $tcp_($i) set fid_ $i

    $sink_($i) listen
    $tcp_($i) set window_ 9999999
    $tcp_($i) set segsize_ 1000B

    #Pareto
    #Exponential
    set pareto_($i) [new Application/Traffic/Pareto]
    $pareto_($i) set burst_time_ 500ms #average time ON period
    $pareto_($i) set idle_time_ 1.5s #average time OFF period
    $pareto_($i) set rate_ 40Mb #Mbit/sec (постоянная битовая скорость)
    $pareto_($i) set shape_ 1.2 #параметр формы.
    $pareto_($i) set packetSize_ 1000B
    $pareto_($i) attach-agent $tcp_($i)
}

#Расписание CBR и FTP агентов
for {set i 0} {$i <= 99} {incr i} {
    $ns at 0.0 "$pareto_($i) start"
    $ns at 60.0 "$pareto_($i) stop"
}

#Вызов спустя 5 секунд после начала симуляции
$ns at 60.0 "finish"

proc finish {} {
    global ns tracefd
    $ns flush-trace
}

```



```

close $tracefd

#Запустить симуляцию NAM
exec nam out.nam &

set trace_file [open "trace_a_pareto_60_ON_Off_60sec.tr" r]
set trace_file_data [read $trace_file]
close $trace_file

array set aTimeInServece_ {}
array set aTimeInQueue_ {}
array set aTimeInNet_ {}
array set applications_ {};
array set application_abonent_ {};
array set application_begin_size_ {};
array set application_size_ {};
array set applications_add_to_queue_ {};
array set applications_remove_to_queue_ {};
array set applications_start_ {};
array set application_finish_ {};
array set application_delete_ {};
array set application_total_time_of_service_ {};
array set packets_ {};

array set start_ {};
array set app_ {};
array set abonent_ {};
array set add_to_queue_ {};
array set remove_to_queue_ {};
array set finish_ {};
array set delete_ {};
array set current_size_of_apps_ {};

set min_app_size 3;
set max_app_size [expr {8 - $min_app_size}];
set app_number 0;

array set current_queue_arr_ {};
array set ave_queue_arr_ {};
set current_queue_size 0;
set ave_queue_size 0;
set sum_curr_queue_size 0;
set count_curr_queue_size 0;

array set ave_obslug {};
set total_obslug 0;
set count_obslug 0;

array set ave_in_net {};
set total_in_net 0;
set count_in_net 0;

array set ave_in_queue {};
set total_in_queue 0;
set count_in_queue 0;

set current_receive_packets 0;
set current_droplet_packets 0;

```

```

array set nodes_ {};

exec rm -f curr_receive_packets_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
exec touch curr_receive_packets_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
set f_cur_receive [open "curr_receive_packets_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue" "w"]

exec rm -f curr_droplet_packets_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
exec touch curr_droplet_packets_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
set f_cur_drop [open "curr_droplet_packets_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue" "w"]

exec rm -f queue_curr_a_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
exec touch queue_curr_a_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
set f_cur [open "queue_curr_a_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue" "w"]

exec rm -f queue_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
exec touch queue_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
set f_ave [open "queue_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue" "w"]

exec rm -f in_net_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
exec touch in_net_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
set f_ave_in_net [open "in_net_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue" "w"]

exec rm -f in_queue_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
exec touch in_queue_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue
set f_ave_in_queue [open "in_queue_ave_pareto_60_ON_Off_60sec.trqueue" "w"]

set current_count_packets 0;

set data [split $trace_file_data "\n"]

set p [llength $data];

set p1 [lindex $data [expr $p - 2] ];

set count_of_packets [lindex [split $p1 " "] 11];

set count_of_packets 0;
set count_of_droplet_packets 0;

set count_of_downtime 0;
set count_of_uptime 0;

foreach line $data {

    set arr [split $line " "]
    set event [lindex $arr 0];
    set time_ [lindex $arr 1];
    set from_node [lindex $arr 2];
    set to_node [lindex $arr 3];
    set pkt_type [lindex $arr 4];
    set pkt_size [lindex $arr 5];
    set pkt_fid [lindex $arr 11];

```

```

#ACK не учитываем
if {$pkt_size != 1040} {
    continue;
}

if {$event == "+" && $from_node < 100} {
    set count_of_packets [expr $count_of_packets + 1];
}

}

foreach line $data {

    set arr [split $line " "]
    set event [lindex $arr 0];
    set time_ [lindex $arr 1];
    set from_node [lindex $arr 2];
    set to_node [lindex $arr 3];
    set pkt_type [lindex $arr 4];
    set pkt_size [lindex $arr 5];
    set pkt_fid [lindex $arr 11];

    if {$pkt_size != 1040} {
        continue;
    }

    #Округление времени до миллисекунд
    #set r [string range [expr (round(($time_ * [expr pow(10,2)])) / [expr
pow(10,2)]))] 0 3];

    set r [string range [expr (round(($time_ * [expr pow(10,4)])) / [expr
pow(10,4)]))] 0 5];

    #Сгенерирован пакет
    if {$event == "+" && $from_node < 100} {
        set current_count_packets [expr $current_count_packets + 1];

        set current_receive_packets [expr $current_receive_packets + 1];

        set t 0;

        if {[info exists nodes_($from_node)]} {
            set app_number_buffer $nodes_($from_node);
            if {$application_size_($app_number_buffer) > 0} {
                set application_size_($app_number_buffer) [expr
($application_size_($app_number_buffer)) - 1];
                set a_app_size
$application_size_($app_number_buffer);
                set t 1;
            }
        }

        if {$t == 0} {
            set app_number [expr ($app_number)+1]; #Номер новой заявки

```

```

        set a_app_size [expr
{$min_app_size+round(rand()*$max_app_size)}]; #Количество пакетов в заявке

        if {[expr ($a_app_size + $current_count_packets)] >
$count_of_packets} { #Если количество пакетов в текущей заявке плюс количество уже
отправленных пакетов больше чем количество всех отправленных пакетов
            set a_app_size [expr $a_app_size - (($a_app_size +
$current_count_packets) - $count_of_packets) ];

        }
        if {$a_app_size <= 0} { break; }
        set application_abonent_($app_number) $from_node;
        set application_size_($app_number) $a_app_size;
        set application_begin_size_($app_number) $a_app_size;
        set application_start_($app_number) $time_;
        set nodes_($from_node) $app_number;
    }

    set start_($pkt_fid) $time_;
    set app_($pkt_fid) $app_number;
    set abonent_($pkt_fid) $from_node;
    set current_size_of_apps_($pkt_fid) $a_app_size;

}

#Пакет стал в очередь на обслуживание
if {$from_node == 105 && $event == "+"} {
    set add_to_queue_($pkt_fid) $time_;
    set current_queue_size [expr ($current_queue_size + 1) ];

    set a $app_($pkt_fid);
    puts "$r;$a";
    if {[info exists application_abonent_($a)]} {
        if {$current_size_of_apps_($pkt_fid) ==
$application_begin_size_($a)} {
            set applications_add_to_queue_($a) $time_;
        }
    }
}

#Пакет вышел из очереди на обслуживание
if {$from_node == 105 && $event == "-"} {
    set remove_to_queue_($pkt_fid) $time_;
    set current_queue_size [expr ($current_queue_size - 1) ];

    set total_in_queue [expr $total_in_queue +
($remove_to_queue_($pkt_fid) - $add_to_queue_($pkt_fid))];
    set count_in_queue [expr $count_in_queue + 1];

    set a $app_($pkt_fid);
    if {[info exists application_abonent_($a)]} {
        if {$current_size_of_apps_($pkt_fid) == 0} {
            set applications_remove_to_queue_($a) $time_;
        }
    }
}

#Потеря пакета
if {$event == "d"} {
    set count_of_droplet_packets [expr $count_of_droplet_packets + 1];
}

```

```

        set current_droplet_packets [expr $current_droplet_packets + 1];
        if {[info exists add_to_queue_($pkt_fid)]} {
            set current_queue_size [expr ($current_queue_size - 1) ];
        }
        set delete_($pkt_fid) $time_;
        set application_delete_($app_($pkt_fid)) $time_;
    }

    #Пакет обслужился
    if {$to_node == 106 && $event == "r"} {
        set finish_($pkt_fid) $time_;

        set total_obslug [expr $total_obslug + ($finish_($pkt_fid) -
$remove_to_queue_($pkt_fid))];
        set count_obslug [expr $count_obslug + 1];

        set total_in_net [expr $total_in_net + ($finish_($pkt_fid) -
$start_($pkt_fid))];
        set count_in_net [expr $count_in_net + 1];

        set a $app_($pkt_fid);
        if {[info exists application_abonent_($a)]} {
            if {$current_size_of_apps_($pkt_fid) == 0} {
                set application_finish_($app_($pkt_fid)) $time_;
            }

            if {[info exists application_total_time_of_service_($a)]} {
                set application_total_time_of_service_($a) [expr
($finish_($pkt_fid) - $remove_to_queue_($pkt_fid) +
$application_total_time_of_service_($app_($pkt_fid))];
            } else {
                set application_total_time_of_service_($a) [expr
($finish_($pkt_fid) - $remove_to_queue_($pkt_fid))];
            }
        }
    }

    if {[info exists current_queue_arr_($r)]} {
        #TODO
    } else {

        if {$current_queue_size == 0} {
            set count_of_downtime [expr $count_of_downtime + 1 ]
        } else {
            set count_of_uptime [expr $count_of_uptime + 1 ];
        }
        set current_queue_arr_($r) $current_queue_size;
        puts $f_cur "$r;$current_queue_size";
        set sum_curr_queue_size [expr ($sum_curr_queue_size +
$current_queue_size)];
        set count_curr_queue_size [expr ($count_curr_queue_size + 1)];

        set b [expr (($sum_curr_queue_size + 0.0) / ($count_curr_queue_size
+ 0.0))];
        puts $f_ave "$r;$b";
        set ave_queue_size [expr $ave_queue_size + $b];

        if {$count_obslug > 0} {

```

```

        set t1 [expr $total_obslug / $count_obslug];
        #puts $f_ave_obsug "$r $t1";
    }
    if {$count_in_net > 0} {
        set t2 [expr $total_in_net / $count_in_net];
        puts $f_ave_in_net "$r;$t2";
    }
    if {$count_in_queue > 0} {
        set t3 [expr $total_in_queue / $count_in_queue];
        puts $f_ave_in_queue "$r;$t3";
    }
    puts $f_cur_receive "$r;$current_receive_packets";
    puts $f_cur_drop "$r;$current_droplet_packets";

    set current_receive_packets 0;
    set current_droplet_packets 0;

}

}

close $f_cur;
close $f_ave;

close $f_cur_receive;
close $f_cur_drop;

close $f_ave_in_net;
close $f_ave_in_queue;

set quantity_of_succ_apps 0;
set quantity_of_dell_apps 0;
set total_time_in_net 0;
set total_time_in_queue 0;
set total_time_of_service 0;

foreach {k v} [array get application_abonent_] {

    if {[info exists application_finish_($k)]} {

        if {[info exists applications_add_to_queue_($k)]} {
            #puts "App add to queue: $applications_add_to_queue_($k)";
            set total_time_in_queue [expr
($applications_remove_to_queue_($k) - $applications_add_to_queue_($k) +
$total_time_in_queue)];
        }
        #puts "App remove to queue: $applications_remove_to_queue_($k)";
        #puts "App finish: $application_finish_($k)";
        #puts "App total time of service:
$application_total_time_of_service_($k)"
        set quantity_of_succ_apps [expr ($quantity_of_succ_apps)+1 ];
        set total_time_in_net [expr ($application_finish_($k) -
$application_start_($k) + $total_time_in_net)];

        set total_time_of_service [expr
($application_total_time_of_service_($k) + $total_time_of_service)];
    } elseif {[info exists application_delete_($k)]} {

```

```

        set quantity_of_dell_apps [expr ($quantity_of_dell_apps)+1 ];
    }

}

puts "Pareto 60Mb_60sec On Off"
puts "Total count of packets = $count_of_packets"
puts "Total count of droplet packets = $count_of_droplet_packets"

puts "Quantity of successfully apps = $quantity_of_succ_apps"
puts "Quantity of lost apps = $quantity_of_dell_apps"
puts "Total time in net = $total_time_in_net"
set average_time_app_in_net 0
set average_time_app_in_queue 0
set average_time_of_service 0
if {$quantity_of_succ_apps > 0} {
    set average_time_app_in_net [expr ($total_time_in_net /
$quantity_of_succ_apps)]
    set average_time_app_in_queue [expr ($total_time_in_queue /
$quantity_of_succ_apps)]
    set average_time_of_service [expr ($total_time_of_service /
$quantity_of_succ_apps)]
}
puts "Average time app in net = $average_time_app_in_net"
puts "Average time app in queue = $average_time_app_in_queue"
puts "Average time of service = $average_time_of_service"
set blok [expr $quantity_of_dell_apps / ($quantity_of_succ_apps +
$quantity_of_dell_apps)]
puts "Application blocking probability = $blok"

puts "Count of downtime = $count_of_downtime"
puts "Count of uptime = $count_of_uptime"
set p [expr ([expr 100 / ([expr $count_of_downtime + $count_of_uptime]))] *
$count_of_downtime ]
puts "Procent zagruzki = $p"
set qv [expr $ave_queue_size / $count_curr_queue_size];
puts "Ave queue size = $qv";

    exit 0
}

#Crapr
$ns run

```



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Державного підприємства
«Український науково-дослідний
інститут радіо і телебачення»,
Голова НТР ДП «УНДІРТ»
канд. техн. наук, доцент

Микола МИХАЙЛОВ
2020 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Пустового Богдана Леонідовича

за темою «Ефективність децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю: 05.12.02 - Телекомунікаційні системи та мережі

Фахівцями Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення» Бедрієм Д., заступником директора з наукової роботи ДП «УНДІРТ», канд. техн. наук; Гуцалюком А., ученим секретарем НТР ДП «УНДІРТ», канд. техн. наук, с..н. с., доцентом; Маковецькою Д., начальником відділу радіочастот ДП «УНДІРТ», канд. техн. наук, доцентом; Кожухарем І., старшим науковим співробітником відділу радіозв'язку, канд. техн. наук, розглянуті результати дисертаційної роботи Пустового Б. Л., яка подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук та встановлено наступне.

Питання, що вирішуються у дисертаційній роботі є актуальними, тому що сприяють подальшому вдосконаленню проблем оцінки якості послуг телекомунікаційних мереж рухомого зв'язку.

Вагомим позитивним фактором слід вважати використання здобувачем програмного забезпечення для автоматизації розрахунку ймовірних станів системи, на яке ним отримано Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №83843. Комп'ютерна програма «Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу».

Із застосуванням математичного апарату теорії марківських процесів подальшого розвитку набув метод формування аналітичної моделі децентралізованої системи управління, який надає можливість урахування стохастичного характеру заявок на обслуговування та метод побудови імітаційних моделей системи управління наданням інтелектуальних сервісів, що надає можливість отримати показники якості надаваних інтелектуальних сервісів у мережі з самоподібним трафіком.

Отримані наукові здобутки мають усі підстави для широкого їх впровадження при виконанні науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у сфері телекомунікацій.

Зокрема, у науково-технічній діяльності ДП “УНДІРТ” при виконанні НДР “Розроблення рекомендацій щодо єдиної методології визначення показників якості послуг телекомунікаційної мережі рухомого (мобільного) зв’язку загального користування”, № ДР 0117U006983, використані наукові положення здобувача (посилання на стор. 55), що стосуються визначення основних показників якості надаваного телекомунікаційного сервісу, які опубліковані у науковій статті:

Pustovyi B. The intelligent service control efficiency evaluation method // Natural and Technical Sciences. Budapest. - 2017, v.14. P. 35-41.

Заступник директора з наукової роботи
ДП “УНДІРТ”, канд. техн. наук



Дмитро БЕДРІЙ

Начальник відділу радіочастот
ДП “УНДІРТ”, канд. техн. наук, доцент



Дмитро МАКОВЕЄНКО

Старший науковий співробітник
відділу систем радіозв'язку
ДП “УНДІРТ”, канд. техн. наук



Ігор КОЖУХАР

Акт обговорено та затверджено на засіданні НТР ДП “УНДІРТ”,
протокол № 6 від 23.11.2020

Учений секретар НТР ДП “УНДІРТ”,
канд. техн. наук, с.н.с., доцент



Анатолій ГУЦАЛЮК

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Науково-навчального інституту комп'ютерних систем і технологій "Індустрія 4.0" ім. П.М. Платонова
Одеської національної академії харчових технологій, доцент



Котлик С.В.

2020р.

АКТ

з використання результатів дисертаційної роботи Пустового Богдана Леонідовича на тему: «Ефективність децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних за спеціальністю: 05.12.02 - телекомунікаційні системи та мережі у навчальному процесі Науково-навчального інституту комп'ютерних систем і технологій "Індустрія 4.0" ім. П.М. Платонова Одеської національної академії харчових технологій.

Комісія у складі: зав. кафедрою Комп'ютерної інженерії д.т.н., проф. Артеменко С.В., доцент кафедри Комп'ютерної інженерії к.т.н. Шестопапов С.В., доцент кафедри Комп'ютерної інженерії к.т.н. Сахарова С.В. у період з 02 по 06 березня 2020 р. провела роботу з встановлення фактичного використання в навчальному процесі Одеської національної академії харчових технологій положень наукових розробок дисертаційної роботи Пустового Богдана Леонідовича.




Комісія розглянула наступні матеріали:

1. Дисертаційну роботу аспіранта Пустового Богдана Леонідовича на тему: «Ефективність децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку».
2. Статті аспіранта Пустового Б.Л., приведені в списку використаних джерел до дисертаційної роботи.

На підставі аналізу представлених матеріалів комісія установила:

Результати дисертаційної роботи та опублікованих наукових праць аспіранта Пустового Б.І. використовуються в навчальному процесі Науково-навчального інституту комп'ютерних систем і технологій "Індустрія 4.0" ім. П.М. Платонова Одеської національної академії харчових технологій при дипломному і курсовому проектуванні, при викладанні розділів курсів лекцій, а також при проведенні лабораторних занять, що пов'язані з управлінням наданням телекомунікаційних сервісів в мережах інфокомунікацій з дисциплін: «Теорія проектування комп'ютерних систем та мереж», «Дослідження і проектування інтелектуальних систем» та «Інтелектуальний аналіз даних».

Комісія:

	проф., д.т.н. Артеменко С.В.
	доц., к.т.н. Шестопапов С.В.
	доц. к.т.н. Сахарова С.В.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Науково-навчального
інституту комп'ютерних систем і
технологій "Індустрія 4.0" ім.
П.М. Платонова
Одеської національної академії
харчових технологій, доцент



Котлик С.В.

2020р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи Пустового Богдана Леонідовича на тему: «Ефективність децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку», представленого на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі, в науково-дослідній діяльності Науково-навчального інституту комп'ютерних систем і технологій "Індустрія 4.0" ім. П.М. Платонова Одеської національної академії харчових технологій, пов'язаної з держбюджетним планом.

Комісія в складі: зав. кафедрою Комп'ютерної інженерії д.т.н., проф. Артеменко С.В., доцент кафедри Комп'ютерної інженерії к.т.н. Шестопалов С.В., доцент кафедри Комп'ютерної інженерії к.т.н. Сахарова С.В. у період з 14 по 17 квітня 2020 р. розглянула наступні матеріали:

1. Дисертаційну роботу здобувача Пустового Б.Л. «Ефективність децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку».
2. Статті здобувача Пустового Б.Л., приведені в списку використаних джерел до дисертаційної роботи.

Комісія установила, що окремі положення наукових розробок, сформульованих і обґрунтованих у дисертаційній роботі здобувача Пустового Б.Л.,

використані при розробці системних рішень щодо оцінки ефективності децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку в науково-дослідних роботах на теми МК15-05, 2015 р. «Принципи створення інтелектуальної надбудови в мережах наступного покоління» (ОНАХТ, ДР № 0115 U 000286) та теми МК 15-07, 2015 р. «Підвищення ефективності функціонування телекомунікаційних мереж» (ОНАХТ, ДР № 0115 U 004197.).




Зокрема використано:

1. Метод побудови імітаційних моделей системи управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності мережевого трафіку, що надає можливість отримати показники якості надаваних інтелектуальних сервісів в мережі з самоподібним трафіком.

2. Метод оцінки ефективності управління інтелектуальних сервісів з різними видами управління інтелектуальної надбудови, що надає можливість урахувати самоподібність мережевого трафіку.

3. Аналітична модель інтелектуальної надбудови децентралізованого принципу управління NGN з урахуванням самоподібності вхідного потоку заявок на основі концепції IPCC з використанням моделі фрактального Броунівського руху.

Комісія в складі:

	проф., д.т.н. Артеменко С.В.
	доц., к.т.н. Шестопалов С.В.
	доц., к.т.н. Сахарова С.В.