

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУНУП ТЕТЯНА ВАСИЛІВНА

УДК 621.391:681.5

ДИСЕРТАЦІЯ
МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ
НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ
В МЕРЕЖАХ НАСТУПНОГО ПОКОЛІННЯ

Спеціальність: 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 відповідні джерела

_____ Т.В. Кунуп

Науковий керівник Князєва Ніна Олексіївна, доктор технічних наук, професор

Ідентичність всіх примірників дисертації засвідчую:

Учений секретар спеціалізованої вченої ради

/К.А. Трубчанінова/

Одеса – 2018

АНОТАЦІЯ

Кунун Т.В. Моделі та методи оцінки ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів в мережах наступного покоління. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі» (172 – Телекомунікації та радіотехніка). – Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, 2018.

Український державний університет залізничного транспорту, Харків, 2018.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню наукових питань дослідження і розробки моделей та методів оцінки ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів інтелектуальною надбудовою мереж наступного покоління. У першому розділі роботи представлено аналіз існуючих наукових досліджень за темою дисертації. На підставі аналізу ситуації в телекомунікаційній сфері України, що характеризується застосуванням концепції IPCC при побудові NGN, визначено зріст трафіку на інтелектуальні сервіси (IC), управління наданням яких здійснює інтелектуальна надбудова NGN. Визначено роль і місце IC в процесі переходу від інтелектуальної мережі до концепції NGN, а також концепції IMS, при реалізації якої інтелектуальна надбудова практично трансформувалася в рівень додатків. Показано, що при цьому переході завдання ефективного управління наданням нових (інтелектуальних) сервісів набуває все більшої актуальності. Аналіз сучасних наукових публікацій у сфері управління телекомунікаційними сервісами, в яких доведено, що в мережах пакетної комутації трафік має фрактальний (самоподібний) характер, показав, що питання оцінки ефективності управління

телекомунікаційними сервісами залишаються недостатньо дослідженими. Визначено, що особливість принципів надання ІС у порівнянні з наданням традиційних телекомунікаційних сервісів потребує дослідження трафіку, що створюється ІС. Визначено, що малодослідженою областю є формування оцінки якості надаваних ІС в мережах наступного покоління, а також ефективності управління наданням ІС. Доведено, що актуальним є питання дослідження факторів, що впливають на ефективність управління наданням ІС, і розробка комплексного критерію ефективності, в якому ураховується фактори, що впливають на ефективність управління наданням ІС, а також розробка моделей та методів оцінки ефективності управління наданням ІС інтелектуальною надбудовою (ІН) NGN, що враховують тип трафіку на ІС.

У другому розділі роботи запропоновано ефективність управління наданням ІС (ЕУНІС) оцінювати комплексним критерієм, що вміщує наступні підкритерії: час надання сервісу, ймовірність відмови в наданні сервісу, довжина черги, в яку потрапляє заявка для обслуговування, структурна та функціональна живучість та структурна надійність, а також вартість системи управління наданням ІС, яку слід розраховувати з урахуванням дисконтних ставок. Удосконалено метод формування комплексного критерію ЕУНІС, який, на відміну від відомих, дозволяє врахувати самоподібність трафіку на ІС, структурні мережні характеристики, а також надає можливість кількісної оцінки ефективності ІН з різними складністю та принципами управління. Набув подальшого розвитку метод оцінки функціональної живучості ІН NGN, що дозволяє визначити ймовірність виконання хоча би однієї функції деякого класу ІС. Розроблено методи розрахунку підкритеріїв комплексного критерію ЕУНІС, а саме – метод визначення структурної живучості ІН на основі запропонованих показників структурної живучості – нижньої та верхньої меж та метод визначення структурної надійності ІН, що заснований на використанні

потокowego підходу з застосуванням мінімальних шляхів і мінімальних розрізів. Побудовано вирази для точного або оцінного розрахунків шуканих показників структурної живучості і структурної надійності ІН – верхніх і нижніх оцінок. Використання наближених оцінок замість точних розрахунків дає можливість істотно прискорити аналіз структурної живучості і структурної надійності ІН з точністю, достатньою для практичних інженерних задач.

У третьому розділі роботи для розрахунку підкритеріїв ЕУНІС запропонована аналітична модель ІН у вигляді СМО $M/M/1/m$, коли всі заявки на обслуговування мають однаковий пріоритет. Представлена також ІН у вигляді системи масового обслуговування $M/M/1/3$ для трьох класів заявок – клас заявок на ІС, що потребує роботи з відео потоком; клас заявок, що потребує роботи з передачею мови; клас заявок, що працює з даними. Показана актуальність питання визначення ефекта самоподібності трафіку, що містить заявки на ІС. На основі аналізу існуючих методів визначення показника Херста для вхідного часового ряду обраний R/S метод, що не потребує занадто великого обсягу обчислень і дозволяє аналізувати велику кількість даних. Обрано спеціальне програмне забезпечення для реалізації R/S методу – AutoSignal. Проаналізовано дані для сервера, що надає послуги хостінгу сайтів, на прикладі ІС «Телеголосування». Досліджено трафік ІС впродовж року, місяця, протягом тижня, за добу. Визначено, що трафік, який містить заявки на ІС – це самоподібний процес. Ефект самоподібності проявляється в широкому діапазоні часу – від декількох годин до року.

Уперше розроблено аналітичну модель ІН з централізованим принципом управління наданням ІС з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС, що надає можливість визначити потрібні мережні ресурси для забезпечення необхідного значення ефективності управління наданням ІС.

У четвертому розділі роботи набули подальшого розвитку методи побудови імітаційних моделей процесів управління наданням ІС інтелектуальною надбудою, які, на відміну від існуючих, дозволяють урахувати самоподібність трафіку на ІС. На підставі аналізу алгоритмів функціонування ІН запропоновано її імітаційні моделі. Для імітаційного моделювання використано GPSS (General Purpose Simulation System) – загально-цільову систему імітаційного моделювання, призначену для розробки моделей складних систем з дискретним і безперервним характером функціонування у тих випадках, коли не враховується самоподібність потоку заявок на ІС, та Network Simulator-2 (NS-2) – у тих випадках, коли враховується самоподібність потоку заявок на ІС. Визначено способи моделювання окремих елементів ІН.

Запропоновано імітаційні моделі ІН з одним класом заявок без урахування самоподібності трафіку, з трьома класами заявок з відносними пріоритетами – без урахування самоподібності трафіку, з одним класом заявок – з урахуванням самоподібності трафіку. Зазначені моделі дозволяють визначити підкритерії ефективності управління наданням ІС на основі заданих вхідних даних.

В результаті аналізу отриманих результатів моделювання встановлено, що ймовірність відмови в наданні сервісу при врахуванні самоподібності потоку на ІС завжди більша ніж без врахування. Максимальна різниця, виходячи з отриманих даних, становить порядку 80%. Максимальна різниця довжини черги для самоподібного трафіку і для експоненціального складає порядку 65%.

За результатами моделювання встановлено, що значення критерію ефективності управління наданням ІС з урахуванням самоподібності трафіку зменшується у порівнянні з урахуванням експоненціального характеру трафіку не менш ніж на 60%. Тобто при самоподібному характері трафіку ефективність управління наданням ІС суттєво погіршується. Таким чином, при проектуванні NGN та її підсистеми – ІН обов'язковою умовою є дослідження характеру

прогнозованого трафіку в мережі і його урахування при визначенні потребних мережевих ресурсів. Результати імітаційного моделювання показали, що урахування самоподібності трафіку на ІС надає можливість більш точної оцінки ефективності управління наданням ІС в NGN.

Подальший розвиток розроблених моделей та методів оцінки ефективності управління наданням ІС в NGN передбачає розробку моделей та методів підвищення ефективності управління наданням ІС, а також ефективне застосування аналітичного та імітаційного моделювання з метою підвищення ефективності управління наданням ІС в NGN.

Обґрунтованість отриманих результатів базується на коректному застосуванні основних положень і принципів системного аналізу, теорії систем масового обслуговування, теорії марківських процесів, методів алгоритмічного моделювання. Достовірність отриманих результатів підтверджується заданими реальними вихідними даними, використанням апробованого математичного апарату, несуперечністю отриманих даних відомим підходам до оцінки ефективності управління наданням ІС, збіжністю теоретичних результатів з експериментальними даними, отриманими шляхом імітаційного моделювання процесу управління наданням ІС.

Отримані результати знайшли застосування в науково-дослідній та навчальній роботі Навчально-наукового інституту комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова Одеської національної академії харчових технологій, у проектній роботі Державного підприємства ДП УНДІРТ, що є головним галузевим інститутом, який відповідає за науково-технічне забезпечення галузі та координує проведення системних досліджень науково-дослідних організацій та підприємств Держспецзв'язку та захисту інформації України, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Ключові слова: NGN, інтелектуальні сервіси, інтелектуальна надбудова, комплексний критерій ефективності, підкритерії, трафік, самоподібність, показник Хьорста, аналітичні моделі, імітаційне моделювання.

ABSTRACT

Kunup T.V. Models and methods for assessing the effectiveness of management of providing intelligent services in next-generation networks. –Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in the specialty 05.12.02 "Telecommunication systems and networks". (172 – Telectronic communications and radio engineering). – Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 2018.

Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2018.

The first section of the paper presents an analysis of existing research on the topic of the dissertation. Based on the analysis of the situation in the telecommunication sphere of Ukraine, characterized by the application of the IPCC concept in the construction of NGN, the growth of traffic to intelligent services (IS), the management of which provides intelligent superstructure of NGN. The role and place of IP in the process of transition from the intellectual network to the concept of NGN, as well as the concept of IMS, in the implementation of which the intellectual add-in virtually transformed into the level of applications. It is shown that in this transition the task of efficient management of the provision of new (intelligent) services is becoming increasingly relevant. The analysis of modern scientific publications in the field of management of telecommunication services, which proved that in packet switching networks traffic has a fractal (self-similar) character, showed that the issues of evaluating the effectiveness of management of telecommunication services remain insufficiently researched. It is determined that the peculiarity of the principles of providing IP in comparison with the provision of traditional telecommunication services requires investigation of the traffic generated by the IP. It is determined that the research area is the formation of the assessment of the quality of the provided IP in the networks of the next generation, as well as the effectiveness of managing the provision of IP. It is proved that the issue of

researching the factors influencing the effectiveness of IP management and the development of a comprehensive performance criterion that takes into account both the type of IP traffic and the factors influencing the effectiveness of IP management, as well as the development of models and methods Assessing the Efficiency of Managing IP Provisioning Intel's Intelligent Superstructure (NG) NGN .

In the second section of the paper, the effectiveness of management of the provision of IP (Eunice) is proposed to be assessed by a complex criterion that includes the following subcriteria: the time of provision of the service, the probability of refusal to provide the service, the length of the queue, which receives the application for service, structural and functional survivability and the structural reliability, as well as the value of the IP management system, which should be calculated on the basis of discount rates. The method of forming a complex criterion is improved Eunice, which , unlike the known ones, allows us to take into account the self-similarity of IP traffic, structural network characteristics , and also provides an opportunity to quantify the effectiveness of INs with different complexity and management principles. The method for assessing the functional survivability of NG NG was further developed , which allows us to determine the probability of performing at least one function of some class of IP. The methods for calculating the subcriteria of the complex criterion E of UNIS, namely, the method for determining the structural survivability of IN on the basis of the proposed structural survivability indices - the lower and upper limits and the method for determining the structural reliability of the IN, based on the use of a stream approach with the use of minimal paths and minimum cuts, are developed. Expressions are constructed for exact or estimated calculations of the required indicators of structural survivability and structural reliability of IN - upper and lower grades. Using approximate estimates instead of accurate calculations enables to significantly accelerate the analysis of structural survivability and structural reliability of the IN with an accuracy that is sufficient for practical engineering tasks.

In the third section of the work for the calculation of sub-criteria E of UNIS proposed analytical model of IN in the form of Queueing systems (QS) $M /$

$M / 1 / m$, when all applications for service have the same priority. The information system is also presented as a QS $M / M / 1/3$ for the three classes of applications - the class of applications for IP that needs to work with video stream; a class of applications that needs to be translated; class of data entry, working with data.

The relevance of the question of determining the effect of self-similarity of traffic is shown, which is to file applications for IP. Based on the analysis of existing methods for determining the Hurst index for the input time series, an R / S method is chosen that does not require too much computation and allows to analyze a large amount of data. Selected special software for implementation of the R / S method - AutoSignal. The data is analyzed for the server providing the services of site hosting on the example of IC "Tele voting". The IP traffic was studied during the year, month, week, day. It is determined that traffic, which is to file applications for IP - is a self-similar process. The effect of self-expression manifests itself in a wide range of time - from several hours to a year.

For the first time an analytical model of IN with a centralized principle of IP management has been developed taking into account the self-similarity of the flow of IP applications, which enables the definition of the necessary network resources to provide the necessary value of the effectiveness of management of IP provision.

In the fourth section of the work n and the further development of methods for constructing simulation models of management processes providing IP intelligent add-in, which, in contrast to existing, allow you to take into account self-similarity of traffic to IP. Based on the analysis of the algorithms of the functioning of the IN, its simulation models are proposed.

For simulation, GPSS (General Purpose Simulation System) - General - target system simulation, designed for developing models of complex systems with discrete and continuous nature of the operation in cases where not considered self-similarity stream of applications for IP and Network Simulator-2 (NS-2) – in cases when account is taken of the self-similarity of the flow of applications for IP. The methods of modeling individual elements of the IN are determined.

The simulation models of IN with one class of applications are considered without taking into account the self-similarity of traffic, with three classes of applications with relative priorities - without taking into account the self-similarity of traffic, with one class of applications - taking into account the self-similarity of traffic. These models allow to determine the subcriteria of management effectiveness of providing IP based on given input data.

As a result of the analysis of the simulation results obtained, it was found that the probability of a failure to provide the service with the consideration of the self-similarity of the flow of the IP is always greater than without consideration. The maximum difference, based on the received data, is about 80%. The maximum difference between the queue length for self-similar traffic and for the exponential is roughly 65%.

According to the simulation results, it is established that the value of the criterion of the effectiveness of managing the provision of IPs taking into account the self-similarity of traffic decreases in relation to the exponential nature of traffic of at least 60%. That is, with the self-similar nature of traffic, the effectiveness of management of IP provision significantly deteriorates. Thus, in the design of NGN and its subsystem - IN, an obligatory condition is the study of the nature of predicted traffic in the network and its consideration in determining the required network resources. The results of imitation modeling have shown that taking into account the self-similarity of traffic on IP provides an opportunity to more accurately assess the effectiveness of managing the provision of IP in NGN.

The further development of developed models and methods for assessing the effectiveness of managing IP provision in NGN involves the development of models and methods for improving the management of IP provision, as well as the effective use of analytical and simulation modeling to improve the management of IP management in NGN .

The validity of the results obtained is based on the correct application of the basic principles and principles of system analysis, the theory of mass service systems, the theory of Markov processes, algorithmic modeling methods. The reliability of the

results obtained confirmed given the actual raw data, using proven mathematical apparatus nesuperechn th century and received data known approaches to assessing efektivnosti providing management of IP, convergence of theoretical results with experimental data obtained by means of simulation process management providing IP.

The results obtained have been used in the research and teaching work of the Educational and Scientific Institute of Cold, Cryotechnologies and Energy. V.S. Martynovsky, Odessa National Academy of Food Technologies, in the design work of the State Enterprise DP of UNIDRT , which is the main branch institute responsible for the scientific and technical support of the branch and coordinates the conducting of system researches of research organizations and enterprises of the State Service for Information and Communication Protection Ukraine, which is confirmed by the relevant implementation acts.

Keywords: NGN , Intelligent Services, Intelligent superstructure, Integrated Performance Criterion, Subcriteria, Traffic, Self-Similarity, Hirst's Indicator, Analytic Models, Simulation Modeling.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ У ВИДАННЯХ, ЯКІ ІНДЕКСУЮТЬСЯ У НАУКОМЕТРИЧНІЙ БАЗІ SCOPUS

1. Kniazieva N. Increasing the Structural Survivability of Telecommunication Networks [Текст] / N. Kniazieva, T. Kunup // Modern problems of radio engineering, telecommunication, and computer science. – Slavske, Ukraine: 2016. – P. 572-576.

2. Kniazieva N. Analytical model of application layer in NGN of mining industry enterprises [Текст] / N. Kniazieva, S. Shestopalov, T. Kunup // Науковий вісник національного гірничого університету. – Дніпро: 2017. – С. 145-150.

3. Kniazieva N. A. Research of Intelligent Network Services Traffic in NGN / Kniazieva N. A., Shestopalov S. V., Kunup T. V., Kondratenko A. A // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science.– Lviv-Slavske: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2018.– С. 995-1000.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ У МІЖНАРОДНИХ ВИДАННЯХ

4. Kniazieva N. The Method of Functional Survivability of the Control of the Intelligent Services [Текст] / N. Kniazieva, L. Zimenko, T. Kunup. // Natural and Technical Sciences. – Budapest: 2016. – Vol. IV(10), Issue: 91. – P.79-85.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ У ФАХОВИХ ВИДАННЯХ

5. Кунуп Т.В. Аналітична модель рівня сервісів та додатків мережі наступного покоління [Текст] / Т.В. Кунуп // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Северодонецьк: 2017. – С.145-150.

6. Кунуп Т.В. Метод формування комплексного критерію ефективності управління наданням телекомунікаційних сервісів [Текст] / Т.В. Кунуп //

Мультидисциплінарний научний журнал «Архивариус». – Київ: 2017 . – С. 49-55.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ТЕЗІВ ДОПОВІДЕЙ У ФАХОВИХ ВИДАННЯХ

7. Кунуп Т.В. Оценка структурной живучести телекоммуникационной сети / Т.В. Кунуп [Текст] // XV Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій», м. Одеса 29 квітня 2015. – Одеса: 2015р. – С.152-153.

8. Кунуп Т.В. Подход к определению функциональной живучести системы управления интеллектуальными услугами [Текст] / Т.В. Кунуп Б.Л. Пустовой // XVI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій», м. Одеса 25-26 квітня 2016р. – Одеса: 2016. – С.117-120.

9. Кунуп Т.В. Урахування самоподібності трафіку в аналітичній моделі рівня додатків в NGN [Текст] / Т.В. Кунуп // XVII Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів. «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій», м. Одеса 19 квітня 2017 р. – Одеса: 2017. Ч.2. – С. 44-47.

10. Пустовой Б.Л. Оценка эффективности управления интеллектуальными услугами [Текст] / Б.Л. Пустовой, Т.В. Кунуп // Десята міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» і Восьма Міжнародна науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем», м. Київ 19-22 квітня 2016р. – Київ: 2016. – С. 244-246.

ЗМІСТ

ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАНЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ	
УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ СЕРВІСІВ В NGN.....	28
1.1. Розвиток мультисервісних мереж	28
1.1.1. Архітектурна концепція інтелектуальної мережі	30
1.1.2. Архітектура та особливості NGN, FN.....	31
1.1.3. Існуючі концепції побудови NGN.....	39
1.2. Управління сервісами в NGN.....	43
1.2.1. Класифікація сервісів	43
1.2.2. Особливості управління наданням сервісів в NGN.....	46
1.2.3. Методи оцінки ефективності управління наданням сервісів в мережах наступного покоління	50
1.3. Визначення напрямку досліджень.....	59
Висновки до першого розділу.....	60
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ	
НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ	
НАДБУДОВОЮ NGN	61
2.1. Архітектура інтелектуальної надбудови з централізованим принципом управління.....	61
2.2. Розробка критерію ефективності управління інтелектуальними сервісами	64
2.3. Розробка методу формування комплексного критерію ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів.....	68
2.4. Розробка методів визначення підкритеріїв.....	73
2.4.1. Метод визначення структурної живучості ІН.....	73
2.4.2. Метод визначення функціональної живучості ІН	77

	16
2.4.3. Метод визначення структурної надійності ІН	89
2.4.4. Метод визначення вартості інтелектуальної надбудови з урахуванням дисконтної ставки	92
2.5 Урахування самоподібності потоку заявок на ІС при побудові аналітичної моделі ІНЦПУ	94
Висновки до другого розділу	95
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ В NGN.....	
	97
3.1. Обґрунтування вибору математичного апарату	97
3.2. Розробка аналітичної моделі інтелектуальної надбудови	98
3.3. Дослідження характеру потоку заявок на інтелектуальні сервіси в NGN ..	108
3.3.1. Методи розрахунку показника Херста	109
3.3.2. Дослідження характеру трафіку, що містить заявки на інтелектуальні сервіси	116
3.4. Розробка аналітичної моделі інтелектуальної надбудови з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС	121
Висновки до третього розділу	127
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ В NGN.....	
	129
4.1. Використання імітаційних моделей для дослідження інтелектуальних надбудов	129
4.2. Розробка імітаційної моделі інтелектуальної надбудови з одним класом заявок та без урахування самоподібності трафіку	130
4.3. Розробка імітаційної моделі інтелектуальної надбудови з трьома класами заявок з відносними пріоритетами та без урахування самоподібності трафіку	138

4.4. Розробка імітаційної моделі інтелектуальної надбудови з урахуванням самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси	142
4.5. Оцінка ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів	148
Висновки до четвертого розділу	156
ВИСНОВКИ.....	158
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	164
ДОДАТОК А. Інтелектуальні сервіси.....	179
ДОДАТОК Б. Розмічений граф переходів.....	181
ДОДАТОК В. Імітаційна модель інтелектуальної надбудови, що обслуговує один клас заявок без врахування самоподібності трафіку	183
ДОДАТОК Г. Імітаційна модель інтелектуальної надбудови, що обслуговує три класи заявок з відносними пріоритетами без врахування самоподібності трафіку	184
ДОДАТОК Д. Імітаційна модель інтелектуальної надбудови з врахуванням самоподібності трафіку.....	186

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

EIGRP – Enhanced Interior Gateway Routing Protocol

FN – Future Networks

IN – Intelligent Network

ITU – International Telecommunication Union

IGRP – Interior Gateway Routing Protocol

QS – Queueing Systems

NGN – Next Generation Networks

OSPF – Open Shortest Path First

TMN – Telecommunication Management Network

ІН — інтелектуальна надбудова

ІС — інтелектуальні сервіси

БД — база даних

ЗКС — загальний канал сигналізації

ЗНВ — зовнішній несприятливий вплив

ПЗ — програмне забезпечення

ЕУНІС — ефективність управління наданням інтелектуальних сервісів

СУНІС — система управління наданням інтелектуальних сервісів

СВ – середньозважена величина

ТКМ — телекомунікаційна мережа

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток телекомунікацій в світі забезпечив перехід до мультисервісних мереж, таких як NGN (Next Generation Network – мережа наступного покоління), FN (Future Network – мережа майбутнього) та нової специфікації передачі мультимедійного вмісту в електрозв'язку на основі протоколу IP – IMS (IP Multimedia Subsystem). Надалі в якості мережі наступного покоління будемо розглядати NGN [27, 32-33]. Виникає поняття потрібної послуги – Triple-Play Services та інтелектуальних сервісів (IC) – сервісів, котрі спроможна надавати інтелектуальна надбудова NGN. Одним з основних аспектів, який повинен братися до уваги при проектуванні NGN, є забезпечення відповідної якості надаваного сервісу, що безумовно пов'язано з ефективністю функціонування системи управління наданням сервісів в телекомунікаційних мережах (ТКМ).

Враховуючи постійний розвиток мережних технологій та зростання попиту на IC, найширший вибір котрих спроможна надати NGN, одним з важливих питань в сфері телекомунікацій можна вважати розробку моделей та методів оцінки ефективності управління наданням IC інтелектуальною надбудовою (ІН) NGN.

Аналіз науково-технічної літератури показує, що дослідженням архітектури NGN, розробкою комплексного критерію ефективності управління та моделей і методів оцінки ефективності займалася низка українських та зарубіжних вчених.

Огляду архітектури NGN присвячені роботи Б. Гольдштейна, О. Гольдштейна та М. Соколова [33-42, 101] О. Атцика [26], О. Пінчука [89], Ю. Ісаченка [51], Л. Лесіна [80], в яких розкриваються питання переходу до NGN, мобільної конвергенції, аналізуються дві конкуруючі концепції NGN – IPCC і

TISPAN, а також доповнюючі технології NGN – MPLS, Softswitch, Call-центри, протокол SIP. Практичному застосуванню технології NGN пмалвячені публікації О. Тітова, М. Глінникова, О. Антоняна, Є. Скуратовської, І. Бакланова [27], В. Макарова [81] і інших. Серед українських фахівців публікації щодо NGN належать С. Отроху [88], О. Єфремову, А. Дуднику та ін.

Питання стосовно оцінювання ефективності управління наданням сервісів та розрахунку мережних показників якості обслуговування зазвичай базуються на теорії телетрафіку. Значний внесок в розвиток зазначеного напрямку зробили такі вчені: Г. Башарін, Б. Лівшиц, В. Саморезов, Д. Потапов, В. Вишневський, С. Самохвалов, В. Крилов, У. Іверсен, Л. Клейнрок, П. Кюн, А. Росляков [93], Д. Агеев [23,24], Б. Цибаков [22,110], Н. Князева [58-67], С. Шестопапов [65,67,115] П. Фергюсон, Р. Хастон, М. Taqqu [17], В. Willinger, D. Wilson та ін.

В роботах XX століття вважалося, що трафік відповідає пуасонівським процесам. Стандартні методи мережних розрахунків і моделювання, засновані на пуасонівських моделях, припускали, що всі виклики, що надійшли в досліджувану систему, взаємно незалежні і інтервали часу між двома наступними викликами, що надходять, розподілені згідно експоненціального закону.

Останні дослідження довели, що в трафіку пакетних мереж наявний ефект самоподібності. В першу чергу це стосується IP-телефонії. Властивість самоподібності було знайдено в трафіку різних рівнів моделі OSI – транспортного (TCP/UDP/SCTP) і прикладного (FTP, Telnet, HTTP, RTP). В цілій низці робіт [52-54] враховується самоподібність трафіку при аналізі мультисервісних мереж. Однак при цьому не аналізується новий тип трафіку, що містить заявки на ІС.

Виникає актуальне питання розробки моделей та методів оцінки ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN як без врахування, так і з врахуванням самоподібності трафіку, що створюється заявками на ІС.

Науково-технічна задача дисертації – розробка і вдосконалення моделей та методів оцінки ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів в мережах наступного покоління.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження в дисертаційній роботі проводились згідно наступним нормативним актам:

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 Законами N 3421-IV (3421-15) від 09.02.2006, N 3610-VI (3610-17) від 07.07.2011, 406-VII (406-18) від 04.07.2013).

2. Концепція розвитку телекомунікацій в Україні, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 червня 2006 р., N 316-р (із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМ N 1612-р (1612-2008-р) від 27.12.2008)

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

4. Постанова про затвердження Правил надання та отримання телекомунікаційних сервісів від 11 квітня 2012 р. № 295 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 251 від 29.04.2015).

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

6. 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 2011-2015 роки», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України № 942 від 7 вересня 2011 р.

Дослідження, результати яких викладені в дисертації, проводились згідно з державними планами НДР, які виконуються на кафедрі Комп'ютерної інженерії Одеської національної академії харчових технологій:

– «Принципи створення інтелектуальної надбудови в мережах наступного покоління» (Одеська національна академія харчових технологій, ДР № 0115U000286 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 моделей та методів оцінки ефективності управління наданням ІС в NGN.

Мета та задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є розв'язання комплексу науково-технічних питань, пов'язаних з дослідженням, удосконаленням, моделей та методів оцінки ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів в мережах наступного покоління.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити сформульовану в роботі загальну науково-технічну задачу дисертації. У свою чергу, для вирішення загальної науково-технічної задачі дисертації необхідно вирішити наступні наукові задачі досліджень:

1. Дослідити принципи побудови NGN.

2. Проаналізувати існуючі методи і моделі оцінки ефективності управління наданням телекомунікаційних сервісів в мережах наступного покоління.

3. Визначити характер трафіку на ІС в мережах наступного покоління

4. Удосконалити метод визначення комплексного критерію якості управління наданням ІС інтелектуальною надбудовою NGN, який дозволить врахувати самоподібність трафіку на ІС, а також структурні мережні характеристики.

5. Розробити аналітичну модель інтелектуальної надбудови з централізованим принципом управління наданням інтелектуальних сервісів з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС.

6. Розвинути метод оцінки функціональної живучості ІН NGN, що дозволяє визначити ймовірність виконання хоча би однієї функції деякого класу ІС.

7. Розвинути методи побудови імітаційних моделей процесів управління наданням інтелектуальних сервісів інтелектуальною надбудовою, які дозволять врахувати самоподібність трафіку на ІС.

Об'єкт досліджень – процес управління наданням інтелектуальних сервісів в мережах наступного покоління.

Предмет досліджень – методи і моделі, що використовуються для оцінки ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів в мережах наступного покоління.

Методи досліджень. Під час вирішення частинних задач дисертації використовувались методи і принципи системного підходу, методи теорії систем масового обслуговування, теорії марківських процесів, методи алгоритмічного моделювання. Так, при розробці аналітичних моделей ІН з централізованим принципом управління наданням ІС без урахування і з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС використовувались методи і

принципи системного підходу, методи теорії систем масового обслуговування, теорії марківських процесів. При розробці імітаційних моделей управління наданням ІС використовувались методи алгоритмічного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів

1. **Уперше розроблено** аналітичну модель інтелектуальні надбудови з централізованим принципом управління наданням ІС з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС, що надає можливість визначити потрібні мережні ресурси для забезпечення необхідного значення ефективності управління наданням ІС.

2. **Удосконалено** метод визначення комплексного критерію ефективності управління наданням ІС інтелектуальною надбудовою NGN, який, на відміну від відомих, дозволяє врахувати самоподібність трафіку на ІС, а також структурні мережні характеристики.

3. **Набув подальшого розвитку** метод оцінки функціональної живучості інтелектуальної надбудови NGN, що дозволяє визначити ймовірність виконання хоча би однієї функції деякого класу ІС.

4. **Набули подальшого розвитку** методи побудови імітаційних моделей процесів управління наданням ІС інтелектуальною надбудовою, які, на відміну від існуючих, дозволяють врахувати самоподібність трафіку на ІС.

5. **Практичне значення отриманих результатів** досліджень полягає в наступному.

1. Результати імітаційного моделювання показали, що урахування самоподібності трафіку на ІС надає можливість більш точної оцінки ефективності управління наданням ІС в мережах наступного покоління, а саме – значення критерію ефективності зменшується не менш ніж на 38%.

2. Результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування в науково-дослідній роботі Навчально-наукового інституту комп'ютерних систем

і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова Одеської національної академії харчових технологій. Ряд положень дисертаційної роботи використані у науково-технічній діяльності Державного підприємства Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення (ДП УНДІРТ), зокрема, при проведенні НДР «Розроблення рекомендацій щодо єдиної методології визначення показників якості послуг телекомунікаційної мережі рухомого (мобільного) зв'язку загального користування» (№ДР 0117U006983).

3. У середовищах GPSS та NS-2 розроблено програмне забезпечення системи імітаційного моделювання управління наданням ІС в NGN, що реалізує удосконалені методи оцінки ефективності управління наданням ІС.

Вірогідність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дисертаційній роботі, обґрунтована коректним використанням математичного апарату та моделюванням на ЕОМ.

Результати наукових досліджень впроваджено в науково-дослідній та навчальній роботі Навчально-наукового інституту комп'ютерних систем і технологій «Індустрія 4.0» ім. П.М. Платонова Одеської національної академії харчових технологій, у проектній роботі Державного підприємства ДП УНДІРТ, що є головним галузевим інститутом, який відповідає за науково-технічне забезпечення галузі та координує проведення системних досліджень науково-дослідних організацій та підприємств Держспецзв'язку та захисту інформації України, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий вклад автора полягає в розробці та вдосконаленні моделей і методів оцінки ефективності управління наданням ІС в NGN. Отримані наукові результати забезпечують вирішення поставлених у дисертації окремих задач досліджень. Усі основні наукові та практичні результати дисертації отримані особисто автором. Роботи [72, 73, 74, 77] опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: розробка методу

визначення функціональної живучості інтелектуальної надбудови відносно надання хоча би одного виду ІС даного класу – [16], удосконалення методу підвищення структурної живучості інтелектуальної надбудови за рахунок використання потокового підходу [74], удосконалення методу визначення функціональної живучості інтелектуальної надбудови – [72], обґрунтування складових критерію ефективності управління ІС [10], розробка структури СМО для декількох класів ІС [16], визначення характеру трафіку, що створює ІС [15].

Апробація результатів дисертації. Основні результати наукових досліджень дисертації доповідались, обговорювались та були схвалені на міжнародних науково-технічних конференціях: XV, XVI, XVII Всеукраїнські науково-технічні конференції молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій» (Одеса 29 квітня 2015 р., Одеса 25-26 квітня 2016р., Одеса 19 квітня 2017 р., відповідно); X міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» (19-22 квітня 2016 р., Київ); VIII Міжнародна науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» (19-22 квітня 2016 р., Київ); XIII International Conference TCSET'2016 «Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science» (Lviv-Slavsko, Ukraine, 2016); XXV Международная научно-практическая конференция «Наука в современном мире» (Киев, Украина, 2017г.); XV International Conference TCSET'2018 «Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science». (Lviv-Slavsko, Ukraine, February 20-24, 2018).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано в 10 друкованих роботах, в тому числі 3 статті у виданнях, що індексуються у наукометричній базі SCOPUS [13, 14, 15], 1 стаття у зарубіжному журналі (Budapest) «Science and Education a new Dimension, Natural and Technical Science» [16], і 2 статті у

фахових збірниках наукових праць [72, 73], а також 4 тези доповідей у збірниках науково-технічних конференцій [74, 75, 76, 77].

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків по дисертації, списку використаної літератури та п'яти додатків. Повний обсяг дисертації складає 202 сторінок, у тому числі: 161 сторінки основного тексту, бібліографія зі 118 найменувань на 15 сторінках, 5 додатків на 23 сторінках. Дисертація написана українською мовою.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАНЬ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ СЕРВІСІВ В МУЛЬТИСЕРВІСНИХ МЕРЕЖАХ

1.1. Розвиток мультисервісних мереж

В історичному розвитку мереж та 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, FN (Future Network). Еволюцію мереж досліджено в роботах О. Гольдштейна [34], Б. Гольдштейна [40-42], О. Атцика [26], М. Соколова [101], С. Отроха [88], Л. Варакіна [30], О. Кучерявого та ін.

Перший етап – побудова телефонної мережі загального користування (PSTN). Телефонний зв'язок ототожнювався з єдиною послугою – передачею мовних повідомлень. Надалі по телефонним мережам за допомогою модемів стала здійснюватися передача даних.

Другий етап – цифровизація телефонної мережі: були створені інтегральні цифрові мережі IDN, які також надавали в основному послуги телефонного зв'язку на базі цифрових систем комутації та передачі.

Третій етап – інтеграція послуг: з'явилася концепція цифрової мережі з інтеграцією служб ISDN. У процесі розвитку мереж зв'язку особлива увага стала приділятися інтелектуальним послугам. Саме тому інтеграція служб починає замінюватися концепцією IN.

Четвертий етап – інтелектуальна мережа (IN). Ця мережа призначена для швидкого, ефективного та економічного надання інтелектуальних сервісів масовому користувачеві. Принципова відмінність IN від попередніх мереж – у гнучкості та економічності надання сервісів [33, 40, 41].

Подальшим розвитком стала поява мереж зв'язку наступного покоління. Основу мережі NGN складає мультипротокольна мережа – транспортна мережа зв'язку, яка входить до складу мультисервісної мережі, що забезпечує перенос різних типів інформації з використанням різних протоколів передачі. NGN являє собою єдину транспортну платформу, на базі якої об'єднуються різні види сервісів.

Ключовими особливостями мережі NGN є [27, 33, 51, 80, 88, 101]:

- використання режиму комутації пакетів для передачі даних;
- поділ функцій управління на функції, пов'язані з управлінням транспортом, управлінням викликами/сесіями і додатками/сервісами;
- відділення процесу надання сервісів від процесу транспорту, використання відкритих інтерфейсів;
- підтримка великого набору сервісів, додатків і механізмів, заснованих на конструктивних блоках, включаючи потокові сервіси, сервіси в режимі реального та нереального часу, мультимедійні сервіси;
- підтримка широкосмугових технологій з наскрізним («з кінця в кінець», end-to-end) забезпеченням якості обслуговування;
- взаємодія з існуючими мережами через відкриті інтерфейси;
- мобільність в узагальненому сенсі (generalized mobility);
- необмежений доступ користувачів до різних постачальників сервісів;
- безліч схем ідентифікації абонента;
- одні й ті ж характеристики для однакових з погляду користувача сервісів;
- конвергенція сервісів мобільних і фіксованих мереж;
- незалежність сервісо-орієнтованих функцій від транспортних технологій;
- підтримка різних технологій для реалізації мережі доступу та ін.

На сьогоднішній день можна говорити про Пост-NGN, а, точніше, про використання підходів IMS.

Розглянемо більш детально основні етапи розвитку мультисервісних мереж.

1.1.1. Архітектурна концепція інтелектуальної мережі

В свій час концепція IN була досить поширеною. Навіть зараз не можна повністю забувати про неї, адже принципи її побудови (архітектура) серйозно вплинули на інфокомунікаційні процеси та на організацію більш сучасних підходів. Аналізу архітектури IN присвячені роботи [29, 30, 50, 67, 102] і ціла низка рекомендацій [1-9, 19, 32].

IN об'єднує інтереси трьох сторін – постачальників сервісів, постачальників обладнання, користувачів мережі. Вона передбачає швидке та ефективне надання сервісів. Особливістю IN є розподіл функцій комутації та функцій надання сервісів. Адже до цього надання сервісів здійснювалось на основі комутаційних систем.

Інтелектуальна мережа – це архітектура, для якої характерні такі принципи [103, 105, 30, 50]:

- широке використання сучасних засобів обслуговування інформації;
- ефективне використання мережних ресурсів;
- модульність мережних функцій з можливістю багаторазового їх використання;
- одночасне створення і впровадження сервісів завдяки модульним, повторно використовуваним мережним функціям;
- інваріантність засобів розміщення мережних функцій у різних фізичних об'єктах;

- взаємодія мережних функцій через незалежні від сервісів стандартизовані інтерфейси;
- можливість керування деякими атрибутами сервісів з боку абонентів і користувачів;
- стандартизоване керування логікою сервісів.

Функціональну архітектуру IN можна представити у вигляді формули: *інтелектуальна мережа=комутатор+комп'ютер* [103, 105]. Такий підхід дозволяє створювати та впроваджувати нові функції, не змінюючи комутаційного устаткування.

Інтелектуальна надбудова IN складається з наступних частин [103, 105]:

- Вузол комутації сервісів (ВКС);
- Вузол керування обслуговуванням (ВКО);
- Система керування сервісами (СКС);
- Вузли інтелектуальної периферії.

Інтерфейсом між базовою мережею та інтелектуальною надбудовою практично служить ВКС.

В IN, як уже зазначалося, відбувається розподіл функцій комутації та функцій надання сервісів. Взаємодія між вузлами комутації та керування здійснюється по протоколу INAP, який використовує підсистему ЗКС-7 (ЗКС – загальний канал сигналізації). Передавання інформації між ВКО та СКС здійснюється по протоколу X.25.

Наступницею IN стала мережа наступного покоління NGN.

1.1.2. Архітектура та особливості NGN, FN

Інтелектуальна мережа була першим кроком на шляху переходу до модульної архітектури мережі і дозволила відокремити шар комутації від шару

надання сервісів. Завдяки успіху IN, розвитку пакетних технологій на сучасному етапі виявилось можливим створити NGN (Next Generation Network – мереже наступного покоління). Перехід до NGN можна вважати радикальною модернізацією телекомунікаційної системи. Міняються не тільки технологічні принципи передачі і комутації. Вельми істотні зміни відбудуться на ринку інфокомунікаційних сервісів, в системі технічної експлуатації і не тільки.

Огляду архітектури NGN присвячені роботи багатьох сучасних вчених. У працях Б.Гольдштейна і О.Гольдштейна, М.Соколова, О.Атцика, О.Пінчука, Ю. Ісаченка, О. Кучерявого, Л. Лесіна та інших розкриваються питання переходу до мереж наступного покоління, аналізуються дві конкуруючі концепції NGN – IPCC і TISPAN, а також доповнюючі технології NGN – MPLS, Softswitch, Call-центри, протокол SIP. Основні положення зазначеного напрямку можна знайти в [26, 27, 33-39, 41, 42, 51, 80, 101]. Практичному застосуванню технології NGN присвячені публікації О. Тітова, М. Глінникова, О. Антоняна, Є.Скуратовської, І. Бакланова, В. Макарова і інших. Серед українських фахівців публікації щодо NGN належать С. Остроху, О. Єфремову, А. Дуднику, Н. Князевій, С. Шестопалову та іншим.

Для мережі NGN характерні істотні особливості, що виділяють її в новий клас телекомунікаційних систем [32, 67]:

- передача з пакетною комутацією;
- розділення функцій управління між пропускнуою спроможністю каналу-носія викликом/сеансом, а також додатком/сервісами;
- розмежування між наданням сервісів і транспортуванням і надання відкритих інтерфейсів;
- підтримка широкого спектру сервісів, додатків і механізмів на основі уніфікованих блоків обслуговування (включаючи сервіси в реальному масштабі часу, в потоковому режимі, в автономному режимі і мультимедійні сервіси);

- можливості широкосмугової передачі з скрізною функцією QoS (якості обслуговування);
- взаємодія з існуючими мережами за допомогою відкритих інтерфейсів;
- універсальна мобільність;
- необмежений доступ користувачів до різних постачальників сервісів;
- різноманітність схем ідентифікації;
- єдині характеристики обслуговування для одного і того ж сервісу з точки зору користувача;
- зближення сервісів між фіксованим і рухомим зв'язком;
- незалежність пов'язаних з обслуговуванням функцій від використовуваних технологій транспортування;
- підтримка різних технологій "останньої милі";
- виконання всіх регламентарних вимог, наприклад, для аварійного зв'язку, захисту інформації, конфіденційності, законного перехоплення і так далі.

З'ясувавши особливості мережі наступного покоління, слід дати визначення цього терміну.

Мережа зв'язку наступного покоління (NGN) – концепція побудови мереж зв'язку, що забезпечують надання необмеженого набору сервісів з гнучкими можливостями по їх управлінню, персоналізації і створенню нових сервісів за рахунок уніфікації мережних рішень, що припускає реалізацію універсальної транспортної мережі з розподіленою комутацією, винесення функцій надання сервісів в крайові мережеві вузли і інтеграцію з традиційними мережами зв'язку [48].

В роботі [35] Гольдштейн Б.С. запропонував дещо інший варіант трактування терміну NGN, в якому за основу була взята можливість мережею надавати потрійний сервіс ("Triple-play services" – мова, відео, дані): NGN – це мережа, здатна забезпечити обслуговування виду "Triple-play services" за

рахунок використання устаткування передачі і комутації, заснованого на пакетних технологіях.

В даній роботі, говорячи про NGN, маємо на увазі мультисервісну мережу на основі пакетів з відокремленням функцій надання сервісів від функцій комутації.

Архітектура мережі NGN представлена на рисунку 1.1 [42].

NGN запозичила в IN принцип відділення функції комутації від функції надання сервісів. Функції IN були розподілені між Softswitch та серверами. Відповідність IN та NGN представлена на рисунку 1.2.

В такому випадку Softswitch виконує функцію комутації інтелектуальних сервісів а функцію управління сервісом здійснює сервер додатків.

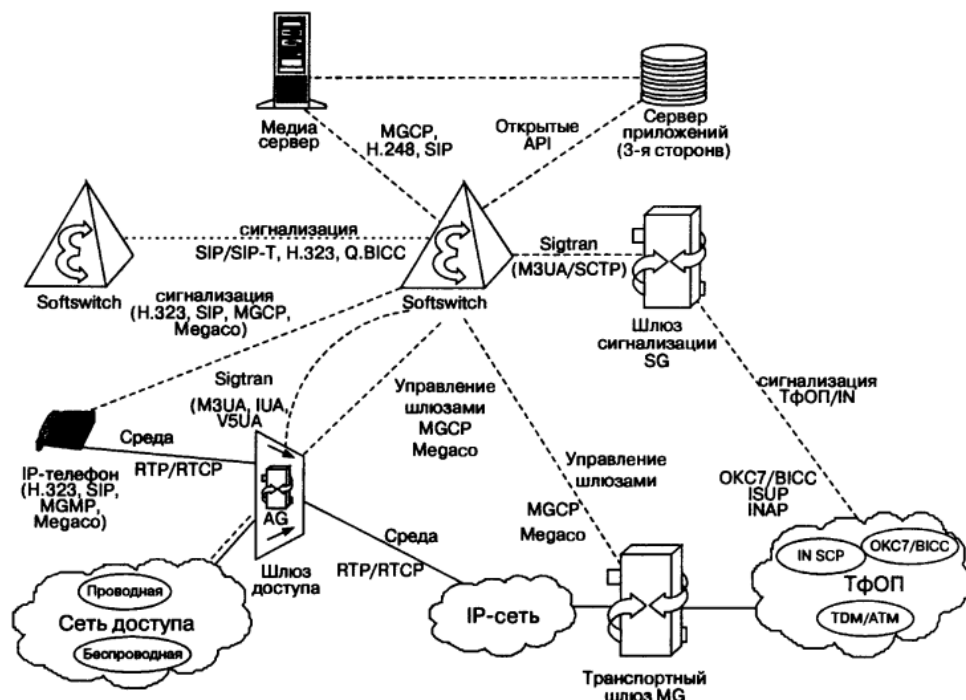


Рис.1.1. Архітектура мережі NGN

Вводиться новий елемент мережі: програмний комутатор Softswitch, що виконує функцію управління викликами і сесіями CSCF (Call Session Control

Function), яка, з одного боку, управляє з'єднанням, а з іншого – взаємодіє з серверами надання сервісів по SIP протоколу (Session Initiation Protocol) [42].

У термінах NGN платформа надання інтелектуальних сервісів називається SDP (Service Delivery Platform). Основа ідеології NGN – це відкриті стандарти консорціуму 3GPP (3rd Generation Partnership Project).



Рис. 1.2. Відповідність інтелектуальної мережі та NGN

Ідеологія побудови NGN забезпечує можливість надання абонентам сервісів Triple-Play (передача мови, даних і відео) на базі мультисервісних мереж.

На сьогоднішній день мова йде про об'єднання стільникового та стаціонарного зв'язку – у відповідності з концепцією IMS.

Для IMS розроблена багаторівнева архітектура з поділом транспорту для перенесення трафіку і сигнальної мережі IMS для управління сеансами (рис. 1.3 [42]). Таким чином, 3GPP при розробці IMS фактично переніс на мобільні мережі основну ідеологію Softswitch. Хоча деякі функції не завжди легко

віднести до того чи іншого рівня, але такий підхід забезпечує мінімальну залежність між рівнями. У IMS можна виділити [42]:

- User Plane – рівень користувачів, або рівень передачі даних;
- Control Plane – рівень управління;
- Application Plane – рівень додатків.

3GPP, за прикладом IN, а потім Softswitch в IPCC, специфікує не вузли мережі, а функції. Це означає, що IMS-архітектура, як і IN або Softswitch, теж являє собою набір функцій, з'єднаних стандартними інтерфейсами.

Розробники мають право комбінувати кілька функцій в одному фізичному об'єкті або, навпаки, реалізувати одну функцію розподілено, однак найчастіше фізичну архітектуру ставлять у відповідність функціональній і реалізують кожну функцію в окремому вузлі.

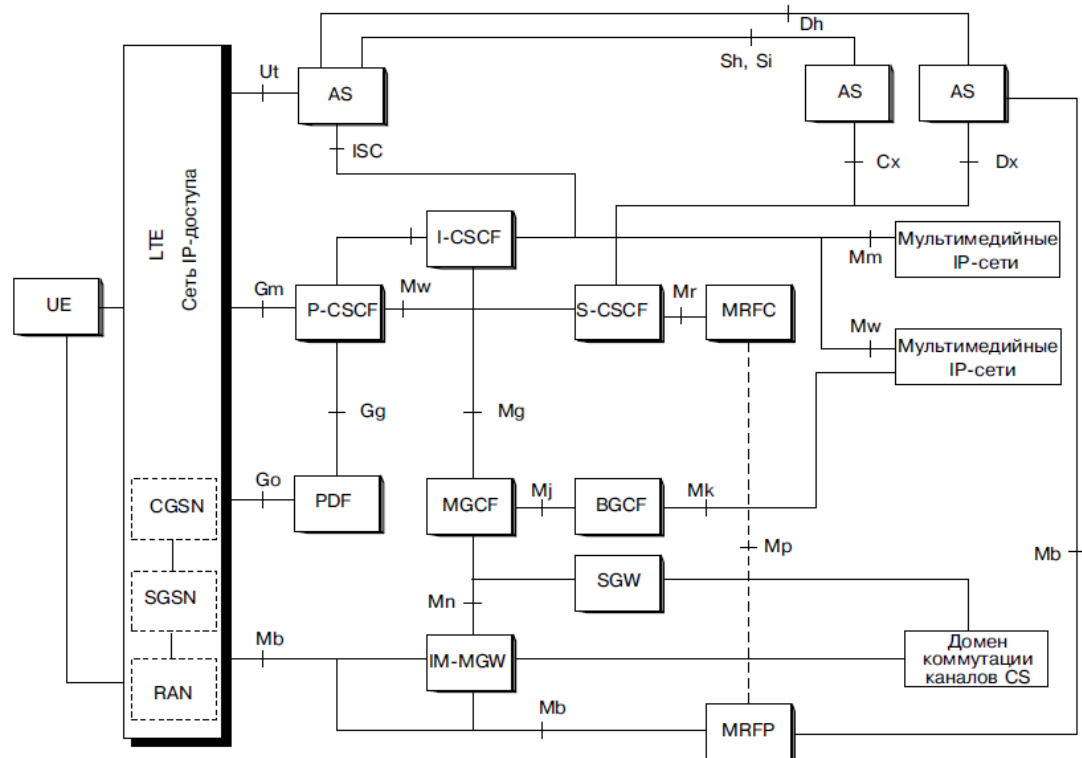


Рис. 1.3. Архітектура IMS

Таким чином, в IMS інтелектуальна надбудова практично трансформувалася в рівень додатків, що включає в себе три типи серверів додатків:

- SIP AS (SIP Application Server – сервер додатків);
- OSA-SCS (Open Service Access-Service Capability Server – сервер сервісів, який забезпечує інтерфейс до сервісів, які базуються на відкритому доступі до сервісів);
- IM-SSF (IP Multimedia Service Switching Function – платформа для надання сервісів IN мережі).

В IMS поняття інтелектуальний сервіс замінене поняттям «новий сервіс».

Наступницею NGN вважається мережа майбутнього (Future Network – FN).

Згідно рекомендації MCE-T Y.3001, мережа майбутнього – це мережа, здатна надавати сервіси, можливості і засоби, які важко надати з використанням існуючих мережевих технологій [32].

Мережею майбутнього є:

- або нова компонентна мережа чи вдосконалений варіант існуючої компонентної мережі;
- або різномірна група нових компонентних мереж чи група, що складається з нових та існуючих компонентних мереж, які працюють як єдина мережа.

Рекомендується, щоб FN надавали сервіси, функції яких спроектовані так, щоб відповідати потребам додатків і користувачів. Очікується, що в майбутньому кількість і вибір сервісів будуть стрімко зростати. Рекомендується, щоб FN забезпечувала можливість впровадження цих сервісів, не вимагаючи, наприклад, істотного додаткового розгортання і збільшення експлуатаційних витрат.

На рис. 1.4 зображені взаємозв'язки між чотирма цільовими установками та дванадцятьма цілями проектування FN [32].



Рис. 1.4. Чотири цільові установки та 12 задач проектування мереж майбутнього

Тематика даної роботи має безпосереднє відношення до наступних задач проектування:

– *різноманітність послуг* – у майбутніх мережах мають підтримуватись різноманітні послуги, пристосовані для передачі трафіку з широким вибором характеристик і властивостей;

– *функціональна гнучкість* – майбутні мережі мають бути функціонально гнучкими для підтримки та забезпечення стійкості нових послуг, які стануть відповіддю на потреби користувачів;

– *управління мережею* – у майбутніх мережах необхідно ефективно експлуатувати, обслуговувати та надавати все більше число послуг і додатків.

– *оптимізація* – майбутні мережі забезпечуватимуть достатню якість роботи шляхом оптимізації можливостей мережевого обладнання, виходячи з вимоги до послуги і потреб користувача;

– *надійність і безпека* – проектування, експлуатація та розвиток майбутніх мереж необхідно здійснювати таким чином, щоб забезпечити надійність і здатність до відновлення, з урахуванням складних умов.

Вважається, що приблизно до 2020 року повинні з'явитися мережі майбутнього – FN. В МСЕ був створений форум по мережах майбутнього, який зараз продовжує активно функціонувати.

1.1.3. Існуючі концепції побудови NGN

Існуючі концепції побудови NGN розглянуто детально в роботах Б. Гольдштейна [37, 38], О.Кучерявого.

Архітектура NGN, розроблена IPCC, розподілена на наступні рівні [37, 38].

На нижньому рівні архітектури знаходиться транспортний рівень (Transport Layer), що відповідає за перенесення по мережі сигнальних повідомлень і мультимедійної інформації. Крім того, він забезпечує взаємодію і обмін сигнальною і медіаінформацією з PSTN і іншими пакетними мережами.

Транспортний рівень, у свою чергу, підрозділяється на три підрівні: IP-транспорту, міжмережної взаємодії і відмінного від IP (NON-IP) доступу.

Підрівень IP-транспорту надає магістральну мережу передачі і структуру комутації/маршрутизації для транспортування пакетів по VoIP-мережі. До цього рівня відносяться маршрутизатори і комутатори, а також пристрої, що відповідають за забезпечення якості обслуговування (Quality of Service, QoS) і політики передачі даних.

Підрівень міжмережної взаємодії відповідає за перетворення сигнальної і мультимедійної інформації, що отримується із зовнішніх мереж, у форму,

придатну для передачі усередині VoIP-мережі, і навпаки. Тут функціонують такі пристрої, як шлюзи сигналізації (Signaling Gateways), медіашлюзи (Media Gateways) і міжмережні шлюзи (Interworking Gateways).

Підрівень NON-IP доступу об'єднує несумісні термінали і безпроводові радіомережі, що мають доступ до VoIP-мережі. До цього підрівня відносяться шлюзи доступу або резидентні шлюзи для несумісних терміналів або телефонів, ISDN-термінали, кабельні модеми або MTA (Multimedia Terminal Adaptors) для HFC-мереж (Hybrid /Fiber Coaxial), медіашлюзи мереж GSM/3G і мереж радіодоступу.

Наступний рівень – управління викликами і сигналізації (Call Control & Signaling). Управляє основними елементами VoIP-мережі, що знаходяться на транспортному рівні. Пристрої і функції цього рівня управляють викликом, ґрунтуючись на сигнальній інформації, отриманій від транспортного рівня, зокрема, здійснюють встановлення і розрив медіазв'язку в VoIP-мережі, передаючи команди мережевим компонентам. Рівень управління викликами і сигналізації містить такі пристрої, як контролери медіашлюзів (MGC, Call Agent, Call Controller), LDAP-сервери.

Третій рівень – сервісів і додатків (Service & Application) – забезпечує управління, логіку і виконання деякого числа сервісів або додатків. Пристрої, що відносяться до цього рівня, управляють потоком викликів, ґрунтуючись на запрограмованій логіці виконання сервісів, за допомогою взаємодії з пристроями рівня управління викликами і сигналізації. До самого рівня сервісів і додатків відносяться такі пристрої, як сервери додатків і сервери сервісів.

Останній рівень – управління (Management) виконує функції призначеного для користувача забезпечення, підтримку операцій і надання сервісів, а також вирішує завдання білінга і інші завдання мережевого управління. Рівень управління може взаємодіяти з будь-яким з трьох перерахованих,

Другою особливістю архітектури IMS є інноваційний підхід до надання сервісів, що дозволяє операторові створювати різні сервіси і інтегрувати їх один з одним, що забезпечує широкі можливості по персоналізації і збільшенню кількості сервісів.

Підхід IMS припускає горизонтальну архітектуру (рисунк 1.6 [37, 38]), що дозволяє операторові просто і економічно упроваджувати нові сервіси, які персоналізуються, причому користувачі можуть дістати доступ до різних сервісів в рамках однієї сесії зв'язку.

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

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

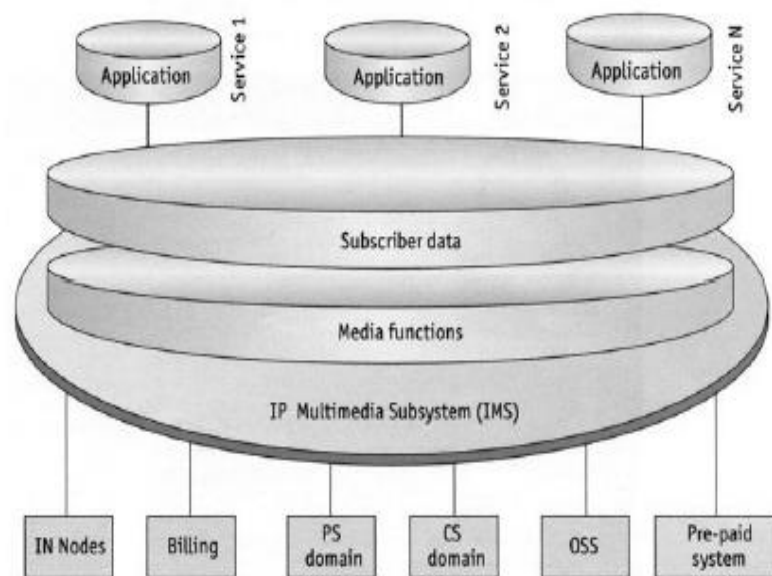


Рис. 1.6. Горизонтальні сервісні платформи

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

Надалі під NGN будемо підрозумівати мережу з архітектурою, запропонованою IPCC.

1.2. Управління сервісами в NGN

1.2.1. Класифікація сервісів

Мережа наступного покоління спроможна надати найширший спектр сервісів. Дамо визначення терміну “сервіс” та спробуємо класифікувати існуючі сервіси. У рекомендації MCE I.112 термін сервіс визначається як: “те, що пропонується споживачам для задоволення певної комунікаційної потреби”. У цій же рекомендації сервіс надання зв'язку визначений як “вид обслуговування, що повністю реалізує можливості (включаючи функції термінального устаткування) зв'язку між користувачами відповідно до протоколів, встановлених для відповідного виду зв'язку”. Під сервісами користувача розуміється те, що пропонується користувачеві, здається йому в оренду або оплачується ним.

На сьогоднішній день оператори часто класифікують сервіси по одному з критеріїв. Це в свою чергу приводить до певних труднощів, наприклад, при розрахунку тарифів. Тому інколи доцільно класифікувати сервіси, використовуючи систему класифікаторів.

Найбільш розповсюджені види класифікацій наступні:

1. Класифікація сервісів по типу інформації, котра передається (контенту).

2. Класифікація сервісів по способу забезпечення доступу клієнта до сервісу.

3. Класифікація сервісів по типу клієнта.

4. Класифікація сервісів по типу обміну інформацією.

Для кожного типу сервісів можливий їх підрозділ за наступними ознаками:

1. По пріоритету впровадження та важливості – базові (основні) сервіси та додаткові.

2. По маркетинговій функції – сервіси, орієнтовані в основному на отримання доходу, та сервіси, направленні на залучення нових клієнтів.

Особливий інтерес викликає розподіл сервісів на основні (basic services) і додаткові (supplementary services).

Основний сервіс визначається функціональним призначенням пристрою. Передача мови при з'єднанні двох користувачів телефонної служби є прикладом надання основного сервісу.

Додаткові сервіси (сервіси з додатковою вартістю) можуть бути постійними і разовими. Постійний додатковий сервіс надає на певний період часу власникові пристрою додаткові можливості, які для пристрою даного типу не є обов'язковими. Разовий додатковий сервіс надається клієнтові по його запиті.

Найбільш поширеними в даний час додатковими сервісами є:

1. Безумовне перенаправлення виклику (CFU) – можливість направляти всі вхідні виклики на інший номер.

2. Перенаправлення виклику при зайнятості абонента (CFB) – можливість направляти на інший номер всі вхідні виклики, що надходять під час зайнятості крайового пристрою користувача.

3. Перенаправлення виклику при невідповіді абонента (CFNR) – можливість всі вхідні виклики, на які немає відповіді впродовж певного проміжку часу, направляти на інший номер.

4. Конференц-зв'язок (CONF) – надає можливість брати участь і управляти одночасним зв'язком декількох користувачів.

5. Утримання виклику (HOLD) – дозволяє користувачеві переривати і відновлювати зв'язок на існуючому з'єднанні.

6. Інші.

У зв'язку з ускладненням сервісів з'являється нове устаткування, яке окрім стандартних функцій комутації виконує функції управління сервісами. В такому випадку використовується так званий мережний інтелект.

Мережний інтелект – це програмне забезпечення, призначене для управління процесами з'єднання крайового устаткування і надання користувачам інфокомунікаційних сервісів [60]. Використання мережного інтелекту та розподіл сервісної логіки і логіки комутації передбачає створення так званої інтелектуальної надбудови.

Додаткові сервіси, що надаються за допомогою інтелектуальної надбудови, називають інтелектуальними сервісами [5]. Інтелектуальні сервіси включають і персоніфіковані сервіси, що базуються на постійно оновлюваній інформації про місцеположення користувача, про його записи в органайзері, особистих перевагах і тому подібне, підказують цьому користувачеві найбільш доцільний напрям пересування, нагадують йому про покупку подарунка до дня народження, організують поїздки, бронювання квитків, отримання інформації про погоду у вказаному пункті, надають банківську інформацію, проводять фінансові операції і багато іншого.

У Рекомендаціях МСЕ з інтелектуальних сервісів специфіковано чотири набори IC: CS-1, CS-2, CS-3, CS-4 [7-9]. Набір сервісів CS1 (Capability Set 1) включає 25 сервісів і 38 властивостей (основоположних і допоміжних), які мають дві загальні характеристики, що стандартизовані МСЕ:

–сервіс замовлюється єдиним користувачем (single ended);

– виконання сервісу контролюється єдиною точкою контролю сервісу (single control).

В даний час перелік інтелектуальних сервісів збільшився ще більше. До найбільш популярних сервісів можна віднести Freephone (дзвінки за рахунок викликаємої сторони), Premium Rate Service (дзвінки з додатковою платою, наприклад, за участь в лотереях, голосуваннях тощо), VAS (Value Added Services, послуги з доданою вартістю) та інші.

Сервіси CS1 відносяться до сервісів типу А (однокінцеві) з централізованою логікою управління. CS1 включає 25 видів сервісів, підтримується мережами PSTN, ISDN. Найбільш поширені на сьогодні види сервісів CS-1 представлені в таблиці А.1. Додатку А.

Були розроблені сервіси CS-2, які доповнили CS-1. Основні з 17 сервісів представлені в таблиці А.2. Додатку А.

Визначення набору сервісів залежить від вимог, що склалися на місцевому ринку послуг зв'язку.

1.2.2. Особливості управління наданням сервісів в NGN

Концепція NGN в більшості випадків опирається на технічні рішення, вже розроблені організаціями стандартизації. Так, взаємодія серверів в процесі надання сервісів відбувається на базі протоколів, специфікованих IETF (MEGACO), ETSI (TIPHON), форумом 3GPP2 і т.д. Для управління сервісами використовуються протоколи H.323, SIP та підходи, що застосовуються в інтелектуальних мережах зв'язку.

Деякі аспекти управління сервісами розглядаються в роботах В. Стеклова, Л. Беркман і Н. Князевої, С. Шестопалова та ін. Напрацювання в даних питаннях зроблені також Е. Штейнбергом. У його роботах увага приділяється розподіленим системам управління в інтелектуальних мережах. Основні

положення зазначеного напрямку можна знайти в роботах [43, 46, 57, 81, 84, 87, 99, 102, 104, 108].

Принцип обслуговування (надання сервісу) описується в роботах [12, 57, 67, 81, 99, 102-104, 108, 115] за допомогою глобальної логіки послуги GSL (Global Service Logic). Сервіси декомпозуються на компоненти і об'єднуються в один або декілька конструктивних блоків SIB. Взаємодіючи, ці блоки і визначають глобальну логіку сервісу.

Базовий процес обслуговування викликів BCP описує процес обслуговування викликів базової мережі зв'язку, з якої здійснюється запит на ІС. У разі, коли при обслуговуванні виклику з'явилася одна з точок ініціювання POI, то виконується GSL, тобто звернення до послідовності блоків SIB. Після того, як виконано сценарій сервісу, процес потрапляє до точки повернення POR. Внаслідок такої послідовності дій надається сервіс, або компонент сервісу. Взаємодія між BCP та GSL показана на рис. 1.7 [67, 104, 105].

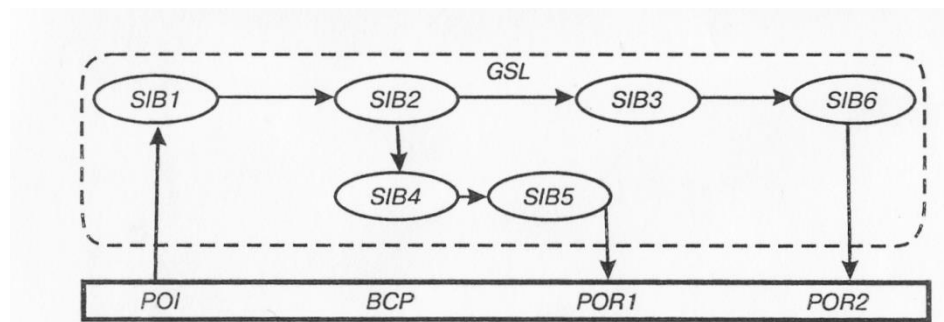


Рис. 1.7. Взаємодія між BCP та GSL

Як видно з рис.1.7, при появі POI процес проходить через певну послідовність блоків SIB залежно від сервісу. Якщо надається компонент сервісу, то після блоку SIB5 відбувається повернення в точці POR1. У випадку надання всього сервісу повернення відбувається після блоку SIB6 в точці POR2. Подібним чином відбувається надання будь-якого сервісу.

Точки ініціювання POI мають забезпечувати такі дії [104, 105]:

Call Originated – користувач зробив запит на сервіс, проте адресу абонента, якого викликають, ще не визначено;

Address Collected – користувач закінчив введення номера абонента, якого викликають;

Address Analyzed – введений номер має бути проаналізований для визначення його належності;

Prepared to Complete Call – мережа готова розпочати закінчення виклику з боку користувача;

Busy – виклик адресовано зайнятому абоненту;

No Answer – абонент не відповідає;

Call Acceptance – виклик активізовано, але з'єднання ще не встановлено;

Active State – виклик активізовано і з'єднання встановлено;

End of Call – з'єднання зруйновано.

Точки повернення POR забезпечують такі дії [104]:

Continue With Existing Data – BCP має продовжити обслуговування виклику в штатному режимі;

Proceed With New Data – BCP має продовжити обслуговування виклику лише після надходження нових даних;

Clear Call – BCP має роз'єднати зв'язок;

Initiate Call – BCP має розпочати встановлення з'єднання;

Handle as Transit – виклик варто розглядати таким, який щойно надійшов;

Enable Call Party Handling – потрібно здійснити дії, які допускають керування викликом з боку абонента;

Algorithm – застосовується математичний алгоритм до вхідних числових даних для отримання чисельного результату;

Charge – визначаються вимоги до спеціальних витрат за обслуговування виклику, не пов'язане з його оплатою;

Compare – порівнюється отримане значення ідентифікатора з заздалегідь визначеним значенням (більше, менше або дорівнює);

Distribution – розподіляються виклики залежно від параметрів, заданих користувачем; обмежується кількість викликів, що стосуються компонентів послуг;

Limit – залежно від параметрів, заданих користувачем, обмежується кількість викликів, які стосуються компонентів послуг;

Log Call Information – реєструється детальна інформація про виклик у файлі збирання статистичних даних;

Queue – упорядковується процес закінчення викликів з боку користувача;

Screen – перевіряється розміщення отриманого значення в заданому;

Service Data Management – надається можливість користувачеві замінити, відновити, зменшити або збільшити значення деяких параметрів;

Status Management – забезпечується запит про статус або зміну статусу мережних ресурсів;

Translate – визначається вихідна інформація залежно від вхідної інформації та значень деяких отриманих параметрів;

User Interaction – надається змога здійснювати обмін інформацією між мережею і користувачем;

Verity – підтверджується отримання інформації в потрібному вигляді

Одним з найважливіших питань, що виникають в процесі управління наданням сервісів, є формування оцінки якості надаваних сервісів в мережах наступного покоління, а також ефективності управління наданням сервісів.

1.2.3. Методи оцінки ефективності управління наданням сервісів в мережах наступного покоління

Відповідно до Рекомендацій МСЕ-Т Y.1541 якість послуг оцінюється за трьома показниками [107]:

Швидкість – це один з найважливіших показників, який характеризує якість надання більшості ІС. Показник швидкості визначається контрольними термінами. Контрольні терміни – це максимальний час, протягом якого повинен бути наданий сервіс.

Точність і достовірність – це характеристики споживчих властивостей сервісу, тобто наскільки він придатний для використання.

Надійність – це властивість засобів зв'язку надавати якісні сервіси.

В останніх працях даного напрямку зазначається, що надання сервісу залежить від таких мережних 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).

Питання стосовно оцінювання ефективності управління наданням сервісів піднімається в роботах Л. Беркман, Н. Князевої, Є. Кільчицького, В.В. Макарова, Б. Костіка, С. Шестопалова та ін.

До питань якості послуг, підтримуваних мережею NGN, зверталися такі автори як П. Фергюсон, Р. Хастон.

Згідно з Рекомендаціями МСЕ-TI.380 / Y.1540 [10] визначення якості функціонування NGN має спиратися на формування таких показників:

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

Згідно Рекомендації MCE-T E800 (09/2008) [6] якість обслуговування (QoS) визначено як сукупність характеристик послуги електрозв'язку, які стосуються її можливості задовольняти встановлені і передбачувані потреби користувача сервісу.

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

Показники роботи мережі (NP), зокрема, показники якості роботи інтелектуальної надбудови, характеризують здатність останньої або її частини забезпечувати функції, пов'язані з наданням ІС користувачам та управлінням цим сервісом.

Інколи критерії якості мають більш абстрактний вигляд, що затрудняє їх математичне представлення. Наприклад в роботах В. Стеклова та Л. Беркман [104] пропонуються наступні критерії:

$Q_1(x)$ – функція, яка характеризує кількість інформації, що забезпечує заданий спектр сервісів;

$Q_2(x)$ – функція, що характеризує затримку керування інформації при визначеній кількості контрольованих вузлів швидкодії центрів комутації пакетів системи управління;

$Q_3(x)$ – функція, яка характеризує надійність структури при заданих обмеженнях;

$Q_4(x)$ – функція, яка характеризує достовірність переданої інформації;

$Q_s(x)$ – функція, що характеризує вартість системи управління з урахуванням усіх перелічених властивостей.

Однак при цьому в усіх запропонованих варіантах просліджується дещо спільне. Тобто більшість критеріїв мають одне й те ж значення, хоча й можуть по різному називатися. Тому, перш за все, необхідно визначити підкритерії, які

будуть характеризувати управління наданням ІС інтелектуальною надбудою найбільш повно та об'єднати їх в єдиний результуючий критерій ефективності.

На сьогоднішній день використовуються векторні та скалярні критерії якості. Векторним називається критерій, який містить декілька показників якості, тобто вектор показників. Скалярний критерій представляє собою єдиний критерій. Частіше всього спочатку формується векторний критерій, а потім здійснюється перехід до скалярного. Порівняння систем за допомогою векторного критерію не завжди можливе. Існує декілька методів об'єднання підкритеріїв, що входять до вектору, в єдиний.

Зведення векторного критерію до скалярного. Векторний критерій звести до скалярного можна двома методами. При застосуванні першого методу створюється цільова функція (ЦФ) – результуючий критерій K_p [104]:

$$K_p = f_p(k_1, \dots, k_m). \quad (1.1)$$

де m – кількість підкритеріїв.

Потрібно знайти таку систему S , яка зводить ЦФ до мінімуму при існуючих умовах U та обмеженнях O_s .

При застосуванні другого методу потрібно знайти систему S , яка б мінімізувала один із підкритеріїв K_i . При цьому всі інші підкритерії набувають вигляду рівностей, нерівностей чи змішаних обмежень [104]:

$$\begin{aligned} K_i &\leq K_{2m}, \\ &\dots\dots\dots \\ K_i &\leq K_m. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Потрібно врахувати сукупність вихідних даних $\{U, O_s, C, O_k\}$, де U – умова; O_s – обмеження, які накладаються на структуру і параметри системи; O_k – сукупність обмежень, які накладаються на підкритерії; C – символ, який означає, що мова йде не про розмір складового вектора K , а лише про його склад [104].

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

Необхідно відзначити, що в працях [104, 105] мова йде про підкритерії системи управління ТКМ як такої без урахування особливостей мультимедійних мереж та особливостей управління наданням нових сервісів, таких як ІС. Тобто в комплексному критерії враховуються класичні технічні мережні показники і вартість системи управління.

Більш детальний підхід до оцінки якості управління наданням ІС запропоновано в роботах [12, 67, 113].

Так, в [113] йдеться про якість управління наданням ІС й запропоновані наступні часткові критерії (підкритерії) комплексного критерію:

1. Загальний час обслуговування заявки на інтелектуальну послугу системою управління $\overline{T}_{30}$;
2. Ймовірність блокування заявки $\overline{P}_b$ (втрати заявки на ІС при переповненні черги). Цей частковий критерії суттєвий лише у випадку обмеженої черги;
3. Кількість заявок, що очікують на обслуговування в системі управління $\overline{L}$ (середня довжина черги);
4. Вартість системи управління $\overline{C}$.

Сформовано з визначених часткових критеріїв результируючий векторний критерій K_p [113]:

$$K_p = (\overline{T}_{30}, \overline{P}_B, \overline{L}, \overline{C}). \quad (1.3)$$

Подальший розвиток цей напрям дістав у роботах [12, 67], у яких мова також йдеться про управління наданням ІС. Авторами запропоновано якість управління наданням ІС оцінювати на підставі комплексного критерію QoS з урахуванням інтересів всіх сторін процесу – постачальників сервісів, постачальників обладнання, користувачів мережі.

Для отримання комплексного критерію якості управління наданням ІС, що враховує інтереси всіх учасників процесу надання ІС, запропонований методичний похід, що полягає у виконанні послідовності наступних етапів [12, 67]:

Етап 1. Визначення міри впливу кожного учасника процесу на значення комплексного критерію якості управління. Для врахування міри впливу кожного учасника процесу на комплексний критерій якості управління наданням ІС методом експертних оцінок кожному i -му учаснику процесу привласнюються "ваги" W_i у прийнятій системі оцінок [12, 67];

Етап 2. Визначення підкритеріїв для кожного учасника процесу. Для кожного учасника процесу визначаються показники, які необхідно враховувати при формуванні комплексного критерію – підкритерії [12, 67].

Етап 3. Формування вагових коефіцієнтів для підкритеріїв. Для урахування міри важливості кожного підкритерію кожного учасника процесу, а саме методом експертних оцінок визначаються вагові коефіцієнти K_{ij} , де j – номер підкритерію i -го учасника процесу. Значення отриманих вагових коефіцієнтів нормуються для кожного i -го учасника процесу, тобто $\sum_{ij}^{ni} K_{ij} = 1$ (ni – кількість підкритеріїв i -го учасника процесу [12, 67];

Етап 4. Оцінка значення, досягнутого кожним підкритерієм.

Знаходяться відносні оцінки O_{ij} для кожного підкритерію як добуток відношення поточного значення показника до його максимально (мінімально) можливого допустимого значення на ваговий коефіцієнт K_{ij} підкритерію, визначений на етапі 3 [12, 67];

Етап 5. Визначення результуючої оцінки для кожного учасника процесу. Визначається результуюча – сумарна зважена оцінка A_i по усіх підкритеріях для кожного i -го учасника процесу [12, 67];

Етап 6. Визначення комплексного критерію якості. Визначається значення результуючого комплексного критерію якості K з урахуванням інтересів усіх учасників процесу[12, 67]:

$$K = \sum_{i=1}^m A_i W_i. \quad (1.4)$$

Слід відзначити, що аналіз сучасних публікацій з питань оцінки ефективності управління наданням сервісів в NGN [12, 21, 41, 43, 57, 60, 84, 113] показав, що цей напрям активно розвивається, але в усіх роботах при розрахунку технічних підкритеріїв, а саме – середніх: часу перебування заявки в системі (чи часу обслуговування), довжини черги, ймовірності блокування заявки – вважається, що потік заявок, що надходить на обслуговування, розподілений за експоненціальним законом, в результаті чого отримане значення критерію ефективності може не відображати реальної ситуації в мережах, що стосується якості надаваного інтелектуального сервісу. Необхідно відзначити, що в сучасних наукових дослідженнях доведено, що в мережах пакетної комутації трафік має фрактальний характер.

Так, у роботі [21] наведено результати досліджень трафіку у локальній мережі, з яких випливає наступне:

Трафік в локальній мережі пакетної комутації – це самоподібний процес.

- Ефект самоподібності проявляється в широкому діапазоні часу: від декількох годин до декількох місяців.
- Коефіцієнт самоподібності трафіку змінюється в межах $H \approx 0.7 - 0.85$.
- У разі якщо зростає інтенсивність трафіку, також зростає коефіцієнт самоподібності.
- Для трафіку протягом доби значення коефіцієнта Хьорста однакове для будь-якої інтенсивності.
- Для трафіку протягом місяця коефіцієнт Хьорста дорівнює $H \approx 0.81$.
- Для трафіку протягом місяця коефіцієнт Хьорста дорівнює ≈ 0.81 .

У роботах [22, 110] на підставі використання моделі системи масового обслуговування з асимптотично самоподібним вхідним потоком, постійним часом обслуговування, із заданим числом обслуговуючих приладів і обмеженим обсягом буферного пристрою (тобто модель G/D/m/N), отримані верхня і нижня межі для ймовірності втрати повідомлення. Для моделювання самоподібного вхідного потоку використовувалося ON/OFF джерело з постійною швидкістю потоку і тривалістю періодів активності (ON-період), що мають розподіл типу Парето. Також в роботі отримано розподіл для часу очікування повідомлення в черзі. Дані результати можуть використовуватися для визначення параметрів комутаторів при проектуванні телекомунікаційних систем.

В роботі [24], базуючись на дослідженнях самоподібних потоків, отримані основні розрахункові вирази параметрів обслуговування потоків у вузлах телекомунікаційної мережі, наведені методи параметричного синтезу, що базуються на них, і досліджена їх ефективність, а також отримані рішення наступних задач:

- вибору оптимальних значень пропускних спроможностей каналів зв'язку відповідно до критерію мінімуму середнього часу затримки пакету в мережі при обмеженні на величину сумарних витрат на мережу.

- вибору оптимальних значень пропускних спроможностей каналів зв'язку і ємкостей буферних пристроїв згідно з критерієм мінімуму вартості мережі при обмеженні на максимально допустиму середньомережну затримку пакета в мережі і максимально допустиму ймовірність втрати пакета між кінцевими вузлами.

Крім того, в роботі [24] отримані функціональні залежності між параметрами якості обслуговування з параметрами переданих та обслуговуючих потоків з пріоритетами і без пріоритетів в обслуговуванні.

Отримані функціональні залежності дозволяють знаходити такі параметри обслуговування як: час затримки в вузлі і ймовірність відмови в обслуговуванні, прийняті при цьому допущення є досить загальними і здійсненими в реальних мережах.

У роботі [56] для систем масового обслуговування двох типів отримано аналітичні залежності, що показують ступінь впливу на основні показники мережі зростання самоподібності навантаження. Розглянуто випадки зростання навантаження мережі:

- тільки за рахунок властивостей самоподібності трафіку при різних значеннях показника Херста в одноканальній СМО, з можливістю повторного виклику;
- за рахунок зростання навантаження в мережі і з урахуванням властивостей самоподібності трафіка в багатоканальній СМО.

У роботах [52-56] наведено результати досліджень, які доводять необхідність урахування фрактальності (самоподібності) трафіку у мережах пакетної комутації. Так, у роботі [11] наведено динаміку втрачених пакетів при

пуасонівському і самоподібному вхідному трафіку для статичної маршрутизації та протоколів RIP і OSPF (рис.1.8). У цьому випадку параметр самоподібності $H=0.8$. Очевидно, що втрати при самоподібній навантаженості зростають більше ніж на порядок, але для різних протоколів різною мірою.

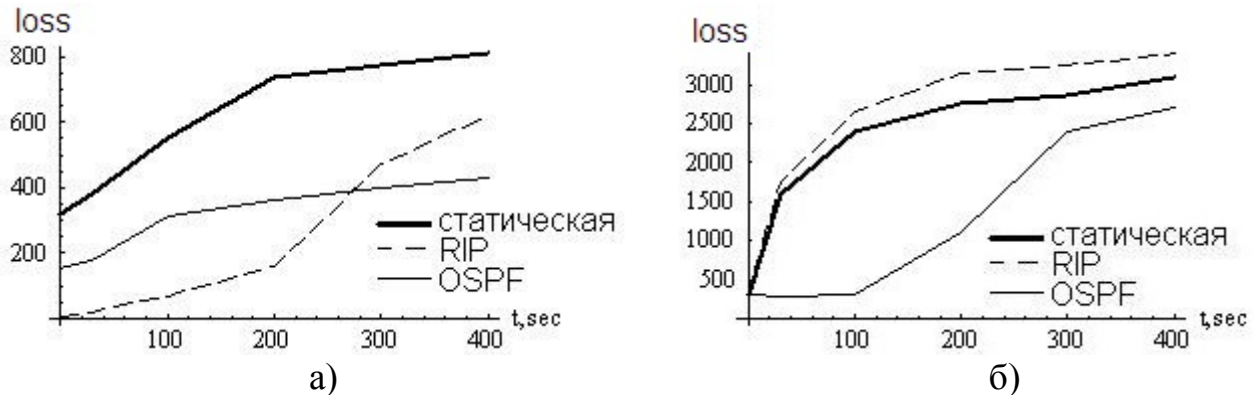


Рис. 1.8. Кількість втрачених пакетів: а) при пуасонівському вхідному трафіку; б) при самоподібному вхідному трафіку

Крім того, час затримки для самоподібного трафіку в середньому вдвічі більше, ніж для пуасонівського [11].

Але слід відзначити, що у наведеному переліку робіт мова йде лише про головні мережні показники, а також про зміну їх значень при урахуванні самоподібного характеру трафіку. При цьому дослідження характеру трафіку, що створюється інтелектуальним сервісом, а також питання оцінки ефективності управління інтелектуальним сервісом залишаються поза увагою дослідників.

Таким чином, виникає питання дослідження трафіку, що створюється інтелектуальним сервісом.

Крім того, виникає питання дослідження факторів, що впливають на ефективність управління наданням ІС, і розробки комплексного критерію ефективності, в якому ураховується як характер трафіку на ІС, так і фактори, що впливають на ефективність управління наданням ІС.

1.3. Визначення напрямку досліджень

Враховуючи поставлені задачі та проведений детальний аналіз області, що викликає інтерес, можна визначити напрямок досліджень.

На підставі аналізу ситуації в телекомунікаційній сфері України, що характеризується застосуванням концепції IPCC при побудові NGN, визначений зріст трафіку на ІС, що потребує оцінки ефективності управління наданням ІС. З цього випливає необхідність визначення принципів управління наданням ІС з урахуванням технології надання інтелектуальних сервісів.

На наступному етапі необхідно визначити підкритерії ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів, а також запропонувати метод об'єднання підкритеріїв в комплексний критерій ефективності.

Використовуючи поняття систем та мереж масового обслуговування, запропонувати методи розрахунку підкритеріїв. Показати необхідність врахування самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси. Розробити аналітичну модель ІН для розрахунку підкритеріїв з врахуванням самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси.

Основою на проведених дослідженнях, для найбільш складних ІН побудувати імітаційні моделі та з їх допомогою отримати значення як окремих підкритеріїв, так і комплексного критерію ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів.

На основі отриманих моделей провести дослідження та визначити ефективність управління наданням інтелектуальних сервісів без врахування та з врахуванням самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси. Порівняти та проаналізувати отримані результати. Визначити напрями подальших досліджень в даному напрямку.

Висновки до першого розділу

1. На підставі аналізу ситуації в телекомунікаційній сфері України, що характеризується застосуванням концепції IPCC при побудові NGN, визначено зріст трафіку на ІС, що потребує оцінки ефективності управління наданням ІС. З цього випливає необхідність визначення принципів управління наданням ІС з урахуванням технології надання інтелектуальних сервісів.

2. Визначена роль і місце інтелектуальних сервісів в процесі переходу від інтелектуальної мережі до концепції NGN і до концепції IMS, при реалізації яких інтелектуальна надбудова практично трансформувалася в рівень додатків. Показано, що при цьому переході завдання ефективного управління наданням нових (інтелектуальних) сервісів набуває все більшої актуальності.

3. Аналіз сучасних наукових публікацій у сфері управління телекомунікаційними сервісами, в яких доведено, що в мережах пакетної комутації трафік має фрактальний (самоподібний) характер, показав, що оцінка ефективності управління здійснюється лише з урахуванням ймовірності блокування заявок, довжини черги та часу знаходження заявок у системі обслуговування. При цьому питання оцінки ефективності управління ІС залишаються недостатньо дослідженими.

4. Визначено, що особливість принципів надання ІС у порівнянні з наданням традиційних телекомунікаційних сервісів потребує дослідження трафіку, що створюється інтелектуальним сервісом.

5. Доведено, що актуальним є питання дослідження факторів, що впливають на ефективність управління наданням ІС, і розробка комплексного критерію ефективності, в якому ураховується як характер трафіку на ІС, так і фактори, що впливають на ефективність управління наданням ІС.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЮ НАДБУДОВОЮ NGN

2.1. Архітектура інтелектуальної надбудови з централізованим принципом управління

В сучасних мережах NGN використовується інтелектуальна надбудова з централізованим принципом управління сервісами – ІНЦПУС. Фрагмент мережі з такою архітектурою представлений на рис. 2.1.

До інтелектуальної надбудови, яка відповідає за управління наданням інтелектуальних сервісів, входить частина Softswitch, що виконує функцію комутації сервісу SSF, та сервер, котрий виконує в першу чергу функцію обслуговування сервісу SCF. Припускається, що існує декілька територіально рознесених районів. Управління фрагментом мережі цього району здійснює встановлений Softswitch. Він одночасно управляє транспортною частиною мережі та являється точкою комутації інтелектуальних сервісів. Кожен район має свою мережу передачі даних та мережу сигналізації. На рисунку 2.1 більша увага приділяється мережі сигналізації. Районна мережа має бути підключена до окремого Softswitch. На рисунку 2.1 для зручності таке підключення зображене лише для одного Softswitch. Якщо в районній мережі використовується не лише технологія з комутацією пакетів, а й з комутацією каналів, то слід встановити шлюз сигналізації (SG) в мережі сигналізації та медіашлюз (MG) в мережі передачі даних.

Інтелектуальний сервіс надається наступним чином. Заявка на інтелектуальний сервіс надходить від користувача. Якщо пункт сигналізації знаходиться в ІР мережі, то пакети надходять безпосередньо на відповідний

Softswitch. Якщо ж в не IP мережі, тоді надходять лише після перетворень в MG та SG. Softswitch визначає, являється замовлений сервіс інтелектуальним чи ні. Якщо являється, то відбувається комутація інтелектуального сервісу та звернення до серверу для обслуговування (передається запит на інтелектуальний сервіс через мережу сигналізації). Якщо сервер вільний, то він починає обслуговувати заявку. В іншому випадку перевіряється, чи є вільне місце в буфері черги. Якщо вільних місць немає, то заявка втрачається. Якщо є, то заявка ставиться в чергу і чекає.

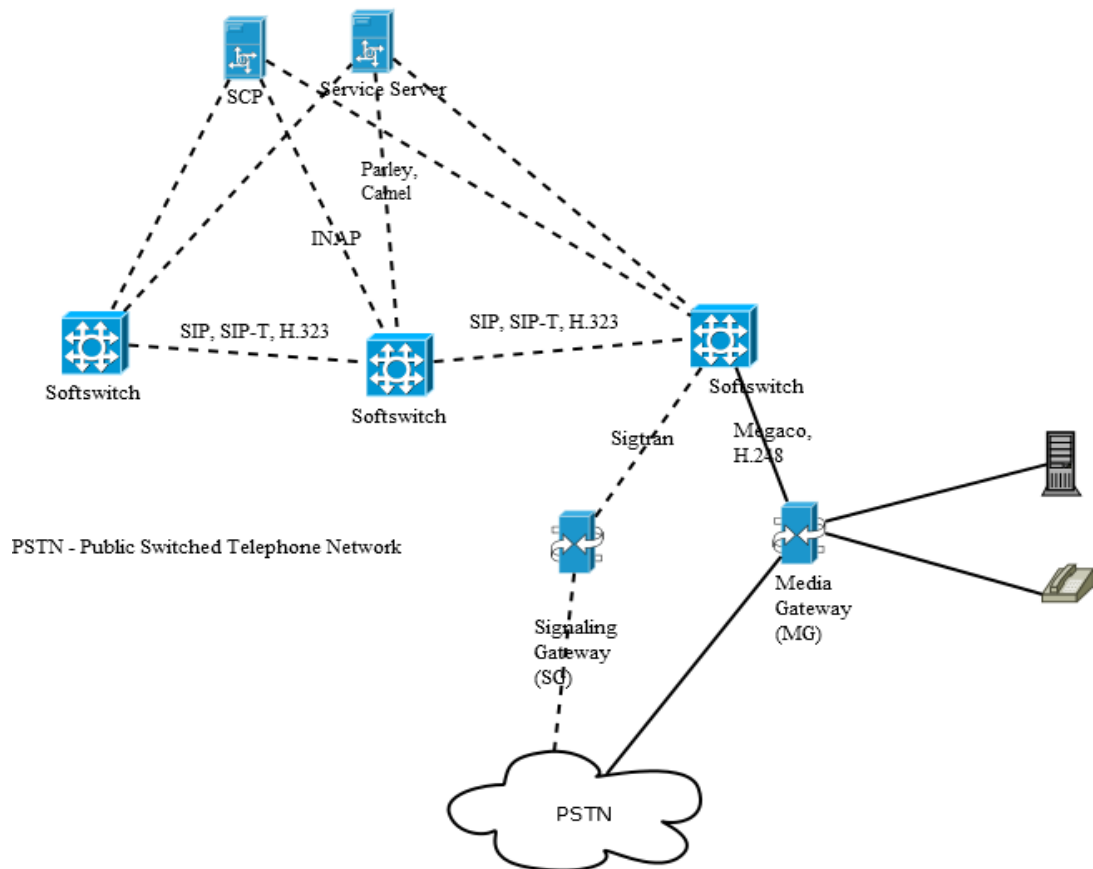


Рис. 2.1. Архітектура NGN з ІНЦПУ

В [27] детально проаналізовані недоліки ІНЦПУ в NGN:

1. Може виникнути проблема, пов'язана з обмеженими пропускнуою спроможністю мережі сигналізації і продуктивністю центрів управління інтелектуальними сервісами. Якщо зростає кількість користувачів, яким ІС потрібний, то відповідно зростає кількість запитів на інтелектуальні сервіси і результуюче навантаження, що припадає на мережу сигналізації та на центр управління ІС. Це може погіршити продуктивність до межі, яка стане неприйнятною для користувачів, або зробить неможливою підтримку централізованого принципу управління.

2. Окремі види ІС за своїми властивостями не призначені для централізованого виконання (наприклад, інтелектуальний сервіс, який за певними критеріями забезпечує заборону частини викликів, що надходять). Критерії можуть змінюватись залежно від стану мережі.

3. Можуть бути ІС, котрі не припускають затримки виконання.

Тому для підвищення ефективності управління ІС в NGN доцільно у деяких випадках замість ЦСУ використовувати децентралізовану систему управління (ДСУ). Досить важливо оцінити якість функціонування ЦСУ та ДСУ і надати перевагу одній з них. Для цього необхідно обрати критерії ефективності управління та запропонувати методику їх розрахунку. Проте перейти до критеріїв можна лише після того, як буде запропонована та проаналізована архітектура NGN з ДСУ.

Архітектура NGN з ДСУ детально проаналізована в роботах [12, 14, 65, 67, 113]. В мережі наступного покоління з ДСУ існує декілька вузлів комутації сервісів (Softswitch) та декілька вузлів керування сервісами (серверів). Можливо застосовувати два підходи до реалізації ДСУ. Як в першому, так і в другому випадку сервіси розбиваються на класи. Класифікація може відбуватися, наприклад, по технології надання сервісу. Окрім того, деякі сервіси не допускають затримки виконання. Очевидно, що управління такими сервісами

повинно бути децентралізованим. Такі сервіси слід об'єднати в окремий клас [12, 14, 65, 67, 113]. У першому випадку кожен сервер містить логіку обслуговування всіх класів сервісів (універсальний сервер). Тобто кожен з серверів повторює всі можливості того єдиного серверу, що функціонує при ЦСУ.

Другий підхід передбачає використання спеціалізованих серверів. В такому випадку можна проводити групування та класифікацію сервісів відповідно до потреб на певні їх види на відповідній території. Певний набір класів сервісів, логіка їх обслуговування розміщується в окремому вузлі управління наданням сервісів (сервері). Для кожного набору класів існує свій вузол. Потрібно передбачити можливість надання одного набору класів сервісів декількома серверами на випадок виходу з ладу будь-якого серверу. Такий варіант буде, напевне, найбільш оптимальним [67].

Досить важливо оцінити ефективність функціонування ЦСУ та ДСУ і надати перевагу одній з них. Для цього необхідно обрати критерії ефективності управління та запропонувати методику їх розрахунку. Крім того, слід визначити характер трафіку на інтелектуальний сервіс у сучасних мережах NGN.

2.2. Розробка критерію ефективності управління інтелектуальними сервісами

У зв'язку зі збільшеним попитом на сучасні інтелектуальні сервіси (ІС) виникає необхідність в підвищенні ефективності управління сервісами, що надаються. Ефективність управління ІС залежить від можливості забезпечити оптимальні значення критеріїв якості обслуговування заявок на ІС. Оцінка ефективності управління ІС пов'язана з аналізом архітектури мережі,

принципом побудови системи управління і розробкою результуючого критерію ефективності управління ІС.

Питання, пов'язані з дослідженням методів оцінки ефективності управління ІС, розглянуті в роботах [1, 2, 3, 90, 102-104, 108]. У роботах [65, 115] пристрої управління (ПУ) розглянуті як системи масового обслуговування – СМО (при централізованому принципі управління) або як мережі масового обслуговування – МеМО (при децентралізованому або змішаному принципах управління). Потоки заявок, що надходять на обслуговування вважаються експоненційними. В результаті використання цих моделей отримані характеристики СМО (МеМО) виявляються більш оптимістичнішими, ніж характеристики реальних мереж.

У роботах [13, 22, 52, 67, 78, 110] показано, що в мережах пакетної комутації трафік має яскраво виражені властивості самоподібності. Врахування цих властивостей дозволяє точніше характеризувати поведінку мережного трафіку, ніж при використанні пуасонівських моделей. Результати проведених досліджень [13, 22] показали, що трафік, формований ІС, має властивість самоподібності як в межах доби, так і по днях тижня. Крім того, ця властивість проявляється у будь-якому часовому інтервалі в межах року. Дані дослідження проводилися за даними вхідного та вихідного трафіку декількох років. Виходячи з цього, при оцінці ефективності управління ІС для отримання реальних результатів дослідження, що відповідають реальним мережам, обов'язковою умовою є врахування самоподібності трафіку.

Параметром, що характеризує міру самоподібності, являється параметр Херста H , $0 < H < 1$, що визначається для часового ряду $x(t_i)$, t_i – дискретні моменти часу, $1 \leq i \leq N$ [52]. Якщо $H > 0,5$, то досліджуваний потік має тривалу пам'ять і є самоподібним [78].

Як вже відзначалось, у роботах з оцінки ефективності управління ІС [65, 90, 102, 103, 115] на підставі рекомендацій МСЕ розглядаються наступні показники, які слід урахувати як часткові критерії (підкритерії): швидкість, точність і достовірність, надійність. Подібні критерії використовуються для найрізноманітніших систем та мереж. Узявши до уваги матеріали, надані в роботах [67, 113], як часткові критерії (підкритерії) ефективності управління наданням ІС слід використати:

1. Загальний година обслуговування заявки на ІС системою управління T ;
2. Ймовірність відмови в наданні сервісу $P_{\text{в}}$. Цей частковий критерії суттєвий лише у випадку обмеженої черги;
3. Кількість заявок, що очікують на обслуговування в системі управління L (середня довжина черги);

Ці часткові критерії є технічними. Крім необхідності врахування цих технічних підкритеріїв, виходячи з рекомендацій МСЕ [7], необхідно також урахувати важливість забезпечення живучості та надійності ТКМ та їх підсистем – інтелектуальної надбудови (ІН).

На підставі аналізу сучасних наукових публікацій з питань управління якістю надаваних сервісів та ефективності управління наданням телекомунікаційних сервісів [90, 102-104, 108] та досліджень автора з цих питань [73, 75] запропоновано ефективність управління наданням ІС оцінювати комплексним критерієм, що вміщує наступні підкритерії: час надання сервісу T , ймовірність відмови в наданні сервісу $P_{\text{в}}$, довжина черги, в яку потрапляє заявка для обслуговування L , структурна та функціональна живучість $P_{\text{сфж}}$ та структурна надійність $P_{\text{сн}}$ системи управління наданням ІС, а також вартість C системи управління наданням ІС, яку слід розраховувати з урахуванням дисконтних ставок [65, 90].

$P_{сфжс}$ – це загальна ймовірнісна характеристика структурної та функціональної живучості, якові запропоновано визначати наступним чином (2.1) :

$$P_{сфжс} = P_{сжс} W_{сжс} + P_{фжс} W_{фжс} . \quad (2.1)$$

Тут $P_{сжс}$ – показник структурної живучості, $P_{фжс}$ – показник функціональної живучості;

$W_{сжс}, W_{фжс}$ – вагові характеристики структурної та функціональної живучості, відповідно, які мають задовольняти умові (2.2) :

$$W_{сжс} + W_{фжс} = 1. \quad (2.2)$$

Ці показники доцільно визначати на основі експертизи.

Виходячи з проведених досліджень та аналізу існуючих видань по даній тематиці [58, 90], можна стверджувати, що запропоновані часткові критерії дають змогу визначати ефективність функціонування системи управління наданням ІС.

Таким чином, при формуванні оцінки (критерію) ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів (ЕУНІС) в цій роботі запропоновані наступні часткові критерії (підкритерії) критерію ЕУНІС [73]:

1. Технічні підкритерії: загальний час обслуговування заявки на ІС – T , ймовірність блокування заявки на ІС (ймовірність втрати заявки) – $P_{сжс}$, кількість заявок, котрі очікують обслуговування (довжина черги при сервері) – L , розрахунок яких має здійснюватися з урахуванням характеру потоку заявок, що надходять на обслуговування (самоподібності трафіку на ІС);

2. Підкритерій, що враховує структурну та функціональну живучість $P_{сфжс}$ системи управління наданням інтелектуальних сервісів (СУНІС) – інтелектуальної надбудови – ІН;
3. Підкритерій, що враховує структурну надійність $P_{сн}$ СУНІС;
4. Економічний підкритерій – загальна вартість СУНІС (при відповідному принципі управління) – C .

Критерій K ЕУНІС представляється у векторній формі (2.3) :

$$K = (T, P_v, L, P_{сфжс}, P_{сн}, C) . \quad (2.3)$$

Порівняння отриманих результатів – значення критерію K для СУНІС з різною структурою або принципами управління – дозволяє виконати оцінку ефективності управління наданням ІС.

2.3. Розробка методу формування комплексного критерію ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів

Як вже було визначено, при формуванні оцінки (критерію) ЕУНІС в даній роботі, на підставі проведених досліджень, запропоновано технічні підкритерії – T, P_v, L , а також підкритерії $P_{сфжс}, P_{сн}$ та C , які є складовими вектору (2.3).

Слід відзначити, що працювати з векторним критерієм досить незручно. При порівнянні ефективності ІН (СУНІС) з різними структурою чи принципами управління на основі векторного критерію у формі (2.3) необхідно, щоб всі підкритерії ЕУНІС ІН з певним принципом управління та складністю відповідали аналогічним підкритеріям ЕУНІС ІН з іншим принципом управління та складністю. Якщо ж ця умова не виконується, то

необхідно вводити додаткові умови для порівняння ефективності СУНТС з різними принципами управління та складністю.

Виходячи з обраних підкритеріїв, ІН S' краща або не гірша за ІН S'' лише в тому випадку коли виконуються наступні нерівності [73]:

$$\begin{aligned}
 T' &\leq T''; \\
 P'_\theta &\leq P''_\theta; \\
 L' &\leq L''; \\
 P'_{сфжс} &\geq P''_{сфжс}; \\
 P'_{сн} &\geq P''_{сн} \\
 C &\leq C.
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Якщо хоча б одна умова з (2.4) не виконується, то сказати що ІН S' ефективніше управляє наданням ІС, ніж ІН S'' не можна. Тому запропоновано перейти до скалярного комплексного критерію ефективності управління наданням ІС (цільової функції).

Для створення комплексного скалярного критерію ЕУНТС F , коли можна визначити вагомість кожного з підкритеріїв, використовують адитивну функцію корисності виду (2.5) :

$$F = \sum_{i=1}^n K'_i v_i, \tag{2.5}$$

де v_i – ваговий коефіцієнт i -го підкритерію; $v_i \geq 0, \sum_{i=1}^n v_i = 1$;

n – кількість підкритеріїв (в нашому випадку $n = 6$);

K'_i – нормоване значення i -го підкритерію.

Для визначення значень вагових коефіцієнтів v_i i -х підкритеріїв використаємо експертні оцінки пріоритету підкритеріїв та сформуємо матрицю пріоритетів. По матриці пріоритетів сформуємо систему рівнянь. Розв'язавши систему рівнянь, знайдемо значення вагових коефіцієнтів v_i .

Почнемо з формування матриці пріоритетів [103, 104, 113, 117]. Маємо шість підкритеріїв, зазначених вище. Їх порядковий номер відповідає послідовності в табл. 2.1, яка є матрицею пріоритетів. Для заповнення матриці пріоритетів на підставі експертних оцінок слід визначити співвідношення пріоритетів підкритеріїв відносно один одного. Так, якщо один підкритерій (i -й) вагоміший, ніж інший (j -й), скажимо, вдвічі, тоді у рядку i у стовпчику j записується значення пріоритету «2», а у рядку j у стовпчику i записується значення пріоритету «1». В останньому стовпчику табл. 2.1 записується сума елементів кожного рядка, що є сумою пріоритетів кожного з підкритеріїв, отриманих у результаті порівняння підкритеріїв.

Нехай в результаті отриманих експертних оцінок підкритерій P_6 вагоміший ніж підкритерій T вдвічі. На перетині першого рядка (T) та другого стовпчика (P_6) ставимо «1». На перетині другого рядка (P_6) та першого стовпчика (T) ставимо «2». Далі нехай підкритерій T вагоміший ніж підкритерій L вдвічі. Тоді на перетині першого рядка (T) та третього стовпчика (L) ставимо «2», а на перетині третього рядка L та першого стовпчика (T) ставимо «1». Таким чином заповнюється матриця пріоритетів. Значення діагональних елементів встановлюємо в «0». Як вже визначалося, останній стовпчик (восьмий у даному випадку) містить суми елементів рядків.

Таблиця 2.1

Матриця пріоритетів

		T	P_e	L	$P_{сфжс}$	$P_{сн}$	C	π_k
1	T	0	1	2	2	2	3	10
2	P_e	2	0	3	3	3	5	16
3	L	1	1	0	2	2	3	9
4	$P_{сфжс}$	1	1	1	0	1	2	6
5	$P_{сн}$	1	1	1	0	1	2	6
6	C	1	1	1	1	1	0	5

Для визначення вагових коефіцієнтів $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$ слід сформувати систему рівнянь (2.6) .

$$\left. \begin{aligned} \frac{v_1}{v_2} = \frac{10}{16}; \frac{v_1}{v_3} = \frac{10}{9}; \frac{v_1}{v_4} = \frac{10}{6}; \frac{v_1}{v_5} = \frac{10}{6}; \frac{v_1}{v_6} = \frac{10}{5}; \\ \frac{v_2}{v_3} = \frac{16}{9}; \frac{v_2}{v_4} = \frac{16}{6}; \frac{v_2}{v_5} = \frac{16}{6}; \frac{v_2}{v_6} = \frac{16}{5}; \\ \frac{v_3}{v_4} = \frac{9}{6}; \frac{v_3}{v_5} = \frac{9}{6}; \frac{v_3}{v_6} = \frac{9}{5}; \\ \frac{v_4}{v_5} = 1; \frac{v_4}{v_6} = \frac{6}{5}; \\ \frac{v_5}{v_6} = \frac{6}{5} \\ \sum_{i=1}^6 v_i = 1 \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Розв'язавши систему рівнянь, отримаємо: $v_1 = 0.2, v_2 = 0.3, v_3 = 0.17, v_4 = 0.115, v_5 = 0.115, v_6 = 0.1$.

Перевіримо: $0.2 + 0.3 + 0.17 + 0.115 + 0.115 + 0.1 = 1$.

Тоді комплексний критерій ЕУНТС для запропонованого в табл. 2.1 випадку можна представити наступним чином:

$$F = 0.2K'_1 + 0.3K'_2 + 0.17K'_3 + 0.115K'_4 + 0.115K'_5 + 0.1K'_6, \quad (2.7)$$

де K'_1 – деяке нормоване значення T ;

K'_2 – деяке нормоване значення P_{ϵ} ;

K'_3 – деяке нормоване значення L ;

K'_4 – деяке нормоване значення $P_{сфж}$;

K'_5 – деяке нормоване значення $P_{сн}$;

K'_6 – деяке нормоване значення C .

Тепер залишилося розібратися з нормуванням показників.

Вважаючи на те, що чим більшого значення набуває комплексний критерій ефективності F , тим ефективніше відбувається управління наданням ІС, а також виходячи з того, що загальний час обслуговування заявки на ІС T , ймовірність блокування заявки P_{ϵ} , кількість заявок, які очікують на обслуговування L , загальна вартість СУНТС (при відповідному принципі управління) – C є підкритеріями, значення яких мають бути мінімізованими для підвищення ефективності управління наданням телекомунікаційних сервісів, а значення підкритеріїв, що ураховують структурну та функціональну живучість $P_{сфж}$ СУНІС і структурну надійність $P_{сн}$ СУНТС мають бути максимізованими для підвищення ефективності управління наданням телекомунікаційних сервісів [12, 65, 67, 73] для розрахунку нормованих значень підкритеріїв запропоновано наступні вирази (2.8):

$$K_1' = \frac{T(\max)}{T}; K_2' = \frac{P_e(\max)}{P_e}; K_3' = \frac{L(\max)}{L} \quad (2.8)$$

$$K_4' = \frac{P_{сфжс}}{P_{сфжс}(\min)}; K_5' = \frac{P_{сн}}{P_{сн}(\min)}; K_6' = \frac{C(\max)}{C}$$

Тут $K_i(\max)$ – максимально допустиме значення підкритерію K_i , $K_i(\min)$ – мінімально допустиме значення підкритерію K_i .

Вибір $K_i(\max)$ чи $K_i(\min)$ для підкритеріїв K_i залежить від змісту підкритеріїв, а саме – від того, яке зі значень підкритеріїв є кращим – максимальне чи мінімальне [58, 97].

Запропонований метод формування комплексного критерію ЕУНТС, що оснований на формуванні адитивної функції корисності, в якій ураховані вагові коефіцієнти підкритеріїв, а також ураховано зміст окремих підкритеріїв при нормуванні значень підкритеріїв, надає можливість кількісної оцінки ефективності СУНТС з різними складністю та використовуваними принципами управління.

2.4. Розробка методів визначення підкритеріїв

2.4.1. Метод визначення структурної живучості ІН

Питання забезпечення живучості ТКМ стають усе більш актуальними у зв'язку з інтенсивним розвитком телекомунікацій – переходом до мереж наступного покоління – NGN (Next Generation Network) і мереж майбутнього покоління FN (Future Network). Стосовно FN в документах ITU [91] рекомендується, щоб проектування, експлуатація і розвиток FN здійснювалися так, щоб забезпечити надійність, безпеку, а також живучість, що визначає

можливість системи своєчасно виконувати свою місію – забезпечувати виконання критичної підмножини функцій для досягнення мети функціонування, а також прийнятний рівень обслуговування, навіть якщо нормальна експлуатація мережі ускладнюється різними проблемами.

Під живучістю ТКМ розуміють властивість, що характеризує здатність мережі ефективно функціонувати при отриманні ушкоджень (руйнувань) внаслідок деяких несприятливих зовнішніх дій або відновлювати цю здатність впродовж заданого часу. У розробку питань теорії живучості систем різного призначення істотний вклад внесли праці [45, 48, 59, 61, 69, 106]. Слід зазначити, що на цьому етапі розвитку теорії живучості доки не склалися умови, що дозволяють сформулювати і реалізувати єдиний підхід до розробки завдань оптимізації характеристик живучості різних типів систем. Проте, сформульовані принципи, керівництво якими призводить до позитивного ефекту у справі забезпечення живучості систем різного призначення [59, 61, 106]:

Принцип 1. Елементи системи повинні мати малу структурну значущість і високу стійкість.

Принцип 2. Структура системи повинна забезпечувати як можна більше або достатнє (у завданнях оптимізації) число станів здатності.

Принцип 3. Стани здатності системи повинні забезпечуватися можливо меншим числом елементів.

Принцип 4. Різні стани здатності системи повинні забезпечуватися різними елементами.

Відповідно до принципів забезпечення живучості систем різного призначення [59, 61, 106] найбільшу ефективність при забезпеченні живучості набуває потоковий підхід, на основі якого існує можливість оцінити структурну живучість ІН. Так, в роботі [59] в якості показника, що дозволяє оцінити структурну живучість ТКМ, запропонована нижня межа структурної живучості (НМСЖ) ТКМ. НМСЖ

визначається як середньозважене значення вірогідності невраження безлічі допустимих перерізів мережі, що розділяють множину допустимих шляхів, які організовані для обслуговування потоків вимог котрі надходять в мережу.

Вірогідність невраження π_{st}^l l -го перерізу $\sigma_{st}^l \in \sigma_{st}^{don} (l = \overline{1, L}, L - \text{кількість перерізів, що становлять безліч допустимих перерізів } \sigma_{st}^{don})$ розраховується як ймовірність паралельного з'єднання гілок b_{xy} , які складають переріз σ_{st}^l :

$$\pi_{st}^l = 1 - \prod_{b_{xy} \in \sigma_{st}^l} (1 - p_{xy}) . \quad (2.9)$$

Вірогідність невраження π_{st} усіх допустимих перерізів σ_{st}^{don} розраховується як вірогідність послідовного з'єднання перерізів π_{st}^l з використанням виразу (2.9):

$$\pi_{st} = \prod_{\sigma_{st}^l \in \sigma_{st}^{don}} (1 - \prod_{b_{xy} \in \sigma_{st}^l} (1 - p_{xy})) . \quad (2.10)$$

Слід зазначити, що інтерес при оцінці структурної живучості представляє не лише визначення НМСЖ, що забезпечує гарантоване стійке функціонування ІН, але також і визначення максимально можливого значення показника структурної живучості.

У роботах автора [15, 73, 74]: запропонований показник – верхня межа структурної живучості (ВМСЖ) ІН, що характеризує граничні можливості ІН по забезпеченню структурної живучості. Запропонований показник ВМСЖ визначається як середньозважене значення вірогідності невраження безлічі допустимих шляхів мережі, організовуваних для обслуговування потоків вимог на

ІС, що надходять в мережу.

Вірогідністю непоразки p_{st}^k k -го шляху $\mu_{st}^k \in m_{st}^{don}$ назвемо вірогідність непоразки усіх ребер β_{xy} , що становлять шлях μ_{st}^k ($k = \overline{1, K}$, K – кількість допустимих шляхів між пунктами s і t , $s, t = \overline{1, n}$, $s \neq t$, n – число пунктів мережі). Оскільки ребра β_{xy} шляху μ_{st}^k включені послідовно, вірогідність невраження шляху p_{st}^k виразимо так:

$$p_{st}^k = \prod_{\beta_{xy} \in \mu_{st}^k} p_{xy}, \quad (2.11)$$

де p_{xy} – вірогідність невраження ребра β_{xy} .

Вірогідністю невраження P_{st} зв'язку з s в t (безліч допустимих шляхів m_{st}^{don}) назвемо вірогідність невраження хоч би одного шляху з безлічі m_{st}^{don} . Таким чином, показник P_{st} може бути виражений як показник вірогідності невраження при паралельному з'єднанні об'єктів (шляхів $\mu_{st}^k \in m_{st}^{don}$):

$$P_{st} = (1 - \prod_{\mu_{st}^k \in m_{st}^{don}} (1 - \prod_{\beta_{xy} \in \mu_{st}^k} p_{xy})). \quad (2.12)$$

ВМСЖ ІН визначається як середньозважена величина по усіх розрахованих значеннях P_{st} для безлічі шляхів m_{st}^{don} , при цьому ваги w_{st} , з якими враховуються значення P_{st} у виразі (2.12), залежать від класу потоків вимог φ_{st} на ІС (виду ІС) :

$$\text{ВМСЖ} = \sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n P_{st} \cdot w_{st}. \quad (2.13)$$

Вираз (2.13) для розрахунку ВМСЖ використовується за умови (2.14) :

$$\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n w_{st} = 1 . \quad (2.14)$$

Якщо значення w_{st} не пов'язані умовою нормування (2.14) , то ВМСЖ розраховується відповідно до виразу (2.15) :

$$\text{ВГСЖ} = (\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n P_{st} \cdot w_{st}) / (\sum_{s=1}^n \sum_{t=1}^n w_{st}) . \quad (2.15)$$

Використання показників структурної живучості – НМСЖ і ВМСЖ – дозволяє визначити можливості ІН по забезпеченню необхідної якості обслуговування потоків вимог на ІС, а також виробити необхідні рекомендації відносно існуючих вимог і обмежень відносно структурної живучості для ІН і допустимих показників якості обслуговування окремих ІС (видів ІС).

2.4.2. Метод визначення функціональної живучості ІН

Методи забезпечення структурної і функціональної живучості систем різного призначення, у тому числі і ТКМ, надано у працях [45, 48, 59, 61, 69, 106]. В той же час слід зазначити, що методи визначення та підвищення функціональної живучості ІН практично не розглядаються в науковій літературі, незважаючи на інтенсивний розвиток ІС.

У роботах автора [15, 16, 76] запропонований метод визначення функціональної живучості ІН, що здійснює управління процесом надання ІС.

При аналізі функціональної живучості систем різного призначення розглядаються наступні характеристики системи: мета функціонування,

множина задач, на рішення яких система орієнтована, і множина ресурсів, використовуваних в процесі рішення завдань [16, 106].

Визначимо характеристики системи управління – інтелектуальної надбудови.

Мета функціонування – надання ІС.

Множина задач (функцій системи) – управління процесом надання ІС.

Множина ресурсів – безліч функціональних елементів, використовуваних в процесі надання ІС.

Для забезпечення мети функціонування систем зазвичай застосовують одну із стратегій: забезпечення відмовостійкості, f -стратегію (fault- tolerance), або забезпечення живучості, s -стратегію (survivability).

При формуванні s -стратегії слід визначити безліч станів системи $S = \{s_i\}$ у кожному з яких здійснюється процес управління наданням ІС i -го виду (IC_i) ($i = \overline{1, n}$, n – число станів системи (видів ІС)).

Відповідно до [16, 106] можуть бути використані наступні рішення (механізми) відносно мети функціонування:

1. Множина функцій системи не може бути змінена, тобто повинні використовуватися усі функції f_i ;
2. У будь-якому стані системи повинна виконуватися деяка підмножина функцій f^* які реалізують мету функціонування системи;
3. У довільному стані системи повинна виконуватися хоч би одна функція з множини f^* .

Визначимо множину функцій системи: $F = \{f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n\}$ де f_i – функція управління ІС i -го виду – IC_i , n – кількість видів функцій системи.

Множина функціональних елементів $R = \{r_1, r_2, \dots, r_j, \dots, r_m\}$ де r_j – функціональний елемент j -го виду, m – кількість видів функціональних

елементів. Під j -м функціональним елементом розумітимемо j -й вид ресурсів системи. Ресурси R використовуються в процесі виконання функцій F системи. При цьому для кожної f_i -їй функції використовується відповідний набір ресурсів системи:

$$\{r_j^{(i)}\} \subset R(j = \overline{1, m}).$$

Крім того, задається безліч функціональних зв'язків $Y = \{y_{st}\}$ між функціональними елементами r_j ($s, t = \overline{1, m}$, $s \neq t$, $j = \overline{1, m}$).

Відповідно до логіки і складності надання ІС об'єднаємо ІС в класи $K = \{K_1, K_2, \dots, K_q, \dots, K_Q\}$ де q – клас ІС, Q – кількість класів. Відмітимо, що K_1 – клас ІС максимальної складності, K_Q – мінімальної.

Для кожного класу K_q використовується відповідний набір ресурсів $R^q = \{r_j^q\}$. Тут $j = \overline{1, m}$, $R^q \subset R$, $q = \overline{1, Q}$.

$$r_j^q = \begin{cases} 1, & \text{якщо } j - \text{й ресурс використовується для} \\ & \text{надання ІС } q - \text{го класу;} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases}$$

Для кожного класу K_q задається $Y^q = \{y_f^q\}$ – безліч функціональних зв'язків між елементами r_j^q використовуваних в процесі управління наданням ІС, що належать q -му класу. Для кожного q -го класу ІС формується орієнтований граф без петель $G^q = (R^q, Y^q)$ де $R^q = \{r_j^q\}$ – вершини графа, $Y^q = \{y_f^q\}$ – функціональні зв'язки між вершинами графа.

Процес управління наданням ІС q -го класу може бути представлений маршрутом μ_{AB}^q що включає безліч використовуваних ресурсів вершин (пунктів) і безліч гілок функціональних зв'язків :

$$\mu_{AB}^q = (\{r_j^q\} \{y_{st}^q\}). \quad (2.16)$$

Відмітимо, що у виразі (2.16) безліч використовуваних зв'язків $\{y_f^q\}$ позначено $\{y_{st}^q\}$ для вказівки, між якими ресурсами (s і t) цей зв'язок існує (оскільки кожен елемент y_{st}^q цієї множини є елемент матриці M^q).

Представимо маршрут μ_{AB}^q у виді:

$$\mu_{AB}^q = (r_{jA}^q, y_{A,1}^q, r_{j1}^q, y_{1,2}^q, r_{j2}^q, y_{2,3}^q, \dots, y_{(t-1),B}^q, r_{jB}^q) \quad (2.17)$$

Графічно маршрут (2.17) представлений на рис. 2.2:

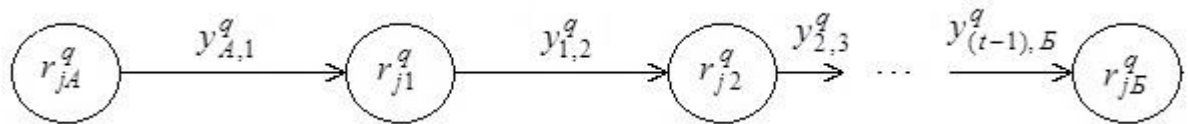


Рис.2.2. Графічна інтерпретація процесу надання ІС
 q -го класу

Тут $(r_{jA}^q, r_{j1}^q, r_{j2}^q, \dots, r_{jB}^q) \subset R^q$, $(y_{A,1}^q, y_{1,2}^q, y_{2,3}^q, \dots, y_{(t-1),B}^q) \subset Y^q$.

Кожен елемент, що становить маршрут μ_{AB}^q (2.14) – що належить безлічі ресурсів $R^q = \{r_j^q\}$ (вершин, пунктів) і функціональних взаємозв'язків $Y^q = \{y_{st}^q\}$ може знаходитися під зовнішньою несприятливою дією.

Відповідно до організації ІН і з принципами надання ІС ресурси R взаємодіють на основі ієрархічного принципу (рис. 2.1) [59, 61, 106]:

Тут множину R складають наступні ресурси: сервер послуг, SG, MG, Softswitch, SCP. Множина Y – зв'язки взаємодії між цими ресурсами.

Тоді вираз (2.17) може бути представлений таким чином:

$$\mu_{AB}^q = (r_{jA(l_A)}^q, y_{A,1(l_A+\delta_A)}^q, r_{j1(l_1)}^q, y_{1,2(l_1+\delta_1)}^q, r_{j2(l_2)}^q, y_{2,3(l_2+\delta_2)}^q, \dots, y_{(t-1),B(l_{(t-1)}+\delta_{(t-1)})}^q, r_{jB(l_B)}^q), \quad (2.18)$$

де $l_A, l_1, l_2, \dots, l_B$ – характеристики приналежності ресурсів $r_{jA}^q, r_{j1}^q, r_{j2}^q, \dots, r_{jB}^q$ відповідному рівню ієрархії, $l = \overline{1, L}$;

$(l_A + \delta_A), (l_1 + \delta_1), (l_2 + \delta_2), \dots, (l_{(t-1)} + \delta_{(t-1)})$ – характеристики приналежності функціональних зв'язків, що виходять з пунктів (ресурсів) $A, 1, 2$, використовуваних при наданні ІС по маршруту μ_{AB}^q відповідному рівню ієрархії. Відмітимо, що при переході від ресурсу r^q до функціонального зв'язку рівень ієрархії може змінюватися на δ_s , ($s = A, 1, 2, \dots$) що демонструє рис. 2.4.

Процес надання ІС будь-якого класу представимо у вигляді ієрархічної системи (рис. 2.4) :



Рис. 2.4. Яруси ієрархічної системи

Визначимо наступні кількісні характеристики системи:

N – загальна кількість пунктів (може співпадати зі значенням m : $N \geq m$);

B – загальна кількість гілок;

L – кількість рівнів ієрархії;

L_r – кількість рівнів пунктів;

L_y – кількість рівнів функціональних зв'язків;

l – номер ярусу (рівня), $l = \overline{1, L}$;

l_r – номери рівнів, на яких розташовані пункти;

l_y – номери рівнів функціональних зв'язків.

Вважатимемо, що рівні ієрархічної системи рівновразливі. Крім того, рівновразливими є пункти (вузли) і гілки (функціональні зв'язки) на кожному рівні.

Відповідно до рис. 2.4 номер верхнього рівня ієрархії позначимо «1», рівень, що йде за ним – «2» і так далі. На кожному рівні l ($l = \overline{1, L}$) кількість пунктів r_j чи гілок (функціональних зв'язків) y_{st} різна. Позначимо цю кількість

g_{l_r} і g_{l_y} для рівня пунктів і гілок, відповідно; $l_r = \overline{1, L_r}$, $l_y = \overline{1, L_y}$.

Вважатимемо, що при несприятливій зовнішній дії на рівень l_r усі пункти q_l

цього рівня рівновразливі, а також що при негативній дії на рівень l_y усі функціональні зв'язки цього рівня рівновразливі.

Введемо наступні події: E_{HB} , E_L , E_{l_r} , E_{l_y} .

1. E_{HB} – виникнення зовнішнього несприятливого впливу (ЗНВ). Вірогідність настання цієї події може бути скільки завгодно малою, проте, завжди $P(E_{HB}) > 0$.

2. E_L – здійснення ЗНВ на l -й рівень системи. Ця подія може статися тільки при настанні події E_{HB} .

Умовна ймовірність настання події E_L - $P\{E_L / E_{HB}\}$ – за умови здійснення події E_{HB} визначається аксіомою ймовірності про поєднання подій $E_L \cap E_{HB}$:

$$P\{E_L \cap E_{HB}\} = P(E_{HB})P(E_L / E_{HB}).$$

При цьому, $P(E_L / E_{HB}) = \frac{P(E_L \cap E_{HB})}{P(E_{HB})}$ звідси і вимога: $P(E_{HB}) > 0$.

3. E_{l_r} – здійснення ЗНВ на пункт r_j l -го рівня. Ця подія може статися тільки в результаті настання події E_L .

Вірогідність настання події E_{l_r} може бути визначена як вірогідність поєднання усіх подій E_{HB} , E_L , E_{l_r} :

$$P\{E_{HB} \cap E_L \cap E_{l_r}\} = P(E_{HB})P(E_L / E_{HB})P(E_{l_r} / E_{HB} \cap E_L) \quad (2.19)$$

4. E_{l_y} – здійснення ЗНВ на гілку y_{st} l -го рівня. Ця подія може статися тільки в результаті настання події E_l .

Ймовірність настання події E_{l_y} може бути визначена як ймовірність поєднання усіх подій E_{HB} , E_l , E_{l_y} :

$$P\{E_{HB} \cap E_l \cap E_{l_y}\} = P(E_{HB})P(E_l / E_{HB})P(E_{l_y} / E_{HB} \cap E_l) \quad (2.20)$$

Визначивши ймовірність настання подій E_{l_r} і E_{l_y} відповідно до виразів (2.19) і (2.20) і вважаючи, що при настанні події E_{l_r} чи E_{l_y} відбувається функціональна відмова елементу r_j чи елементу y_{st} можемо визначити ймовірність відмови в наданні ІС відповідного q -го класу $P_{IC(q)}$.

Вважаючи, що функціональна відмова хоч би одного елементу, що становить маршрут (2.18), призводить до відмови в наданні ІС q -го класу, отримаємо вираз для розрахунку $P_{IC(q)}$ як ймовірність логічно пов'язаних подій, а саме, як ймовірність здійснення хоч би одного з K незалежних в сукупності подій $E_1, E_2, \dots, E_k, \dots, E_K$ де E_k – подія, що полягає у функціональній відмові k -го елементу маршруту (2.18), K – кількість елементів маршруту:

$$\begin{aligned} P(E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_k \cup \dots \cup E_K) = \\ = 1 - (1 - P(E_1))(1 - P(E_2)) \dots (1 - P(E_k)) \dots (1 - P(E_K)) \end{aligned} \quad (2.21)$$

$P(E_k)$ – ймовірність функціональної відмови k -го елементу маршруту (2.18).

Позначимо подію, що полягає у функціональній відмові при ЗНВ елементів маршруту (2.18) так :

1. $E(r_{js(l_s)}^q)$ – відмова ресурсу j -го виду, використовуваного в процесі надання ІС q -го класу по маршруту (2.18), що включає пункт s розташований на рівні ієрархії l_s . Позначення « l_s » використовується у вигляді вказівки приналежності пункту s маршруту (2.18) рівню l ($l = \overline{1, L}$).

2. $E(y_{js(l_s+\delta_s)}^q)$ – відмова функціонального зв'язку, що належить маршруту (2.18) і розташованого на рівні $(l_s + \delta_s)$, пов'язаним з рівнем l_s .

Аналогічно позначимо усі інші події. Тоді вираз (2.21) може бути представлене у виді:

$$\begin{aligned}
 & P(E(r_{jA(l_A)}^q) \cup E(y_{A,1(l_A+\delta_A)}^q) \cup E(r_{j1(l_1)}^q) \cup E(y_{1,2(l_1+\delta_1)}^q) \cup \\
 & \cup E(r_{j2(l_2)}^q) \cup E(y_{2,3(l_2+\delta_2)}^q) \cup \dots \cup E(y_{(t-1),B(l_{t-1}+\delta_{t-1})}^q) \cup E(r_{jB(l_B)}^q)) = \\
 & = 1 - (1 - P(E(r_{jA(l_A)}^q)))(1 - P(E(y_{A,1(l_A+\delta_A)}^q))) \dots \\
 & \dots (1 - P(E(y_{(t-1),B(l_{t-1}+\delta_{t-1})}^q)))(1 - P(E(r_{jB(l_B)}^q)))
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

Тут $\delta_A, \delta_1, \delta_2, \dots$ – визначають зміну номера рівня l при русі від пункту до гілки по маршруту μ_{AB}^q .

Для розрахунку ймовірності функціональної відмови системи в результаті ЗНВ на будь-який елемент маршруту (2.18) слід визначити значення усіх ймовірностей подій, що входять у вираз (2.22). При цьому повинні виконуватися умови (2.23) :

$$\left. \begin{aligned} \sum_{l_r=1}^{L_r} n_{L_r} &= N; \\ \sum_{l_y=1}^{L_y} n_{L_y} &= B; \\ L_r + L_y &= L. \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Виходячи з гіпотези про рівновразливість усіх рівнів системи, розрахуємо умовну ймовірності події, що полягає в несприятливій дії на рівень l_r пунктів системи $P(E_{l_r})$ (2.24) і рівень l_y функціональних зв'язків $P(E_{l_y})$ (2.25):

$$P(E_{l_r}) = P(E_{HB}) \cdot \frac{L_r}{L_r + L_y}; \quad (2.24)$$

$$P(E_{l_y}) = P(E_{HB}) \cdot \frac{L_y}{L_r + L_y}. \quad (2.25)$$

Виходячи з гіпотези про рівновразливість усіх елементів кожного рівня при ЗНВ на цей рівень, отримаємо вираз для розрахунку умовної ймовірності враження елементів рівнів l_r і l_y – $P_{l_r}^q$ і $P_{l_y}^q$ використовуваних в процесі надання ІС q -го класу.

Вважатимемо відомою кількість видів ресурсів $l_r(g_{l_r}^q)$ і функціональних зв'язків $l_y(g_{l_y}^q)$ використовуваних для надання ІС q -го класу, що знаходяться на рівнях l_r і l_y відповідно.

З використанням введених позначень, отримаємо:

$$P_{l_r}^q = \frac{l_r(g_{l_r}^q)}{g_{l_r}} \cdot P(E_{l_r}) = \frac{l_r(g_{l_r}^q)}{g_{l_r}} \cdot \frac{L_r}{L_r + L_y} \cdot P(E_{HB}), \quad (2.26)$$

$$P_{l_y}^q = \frac{l_y(g_{l_y}^q)}{g_{l_y}} \cdot P(E_{l_y}) = \frac{l_y(g_{l_y}^q)}{g_{l_y}} \cdot \frac{L_y}{L_r + L_y} \cdot P(E_{HB}). \quad (2.26)$$

Ймовірності здійснення хоч би однієї з двох подій E_1 – функціональної відмови ресурсів рівня l_r (2.26) чи E_2 – відмови функціональних зв'язків рівня l_y (2.27) використовуваних при наданні послуг k -го класу, може бути розрахована як ймовірності здійснення хоч би однієї з двох подій E_1 і E_2 :

$$P\{E_1 \cup E_2\} = P\{E_1\} + P\{E_2\} - P\{E_1 \cap E_2\}. \quad (2.28)$$

В результаті ймовірності виконання деякої підмножини функцій f^* – надання ІС q -го класу $P_{f_q}^*$ – визначається відповідно до виразу (2.29):

$$P_{f_q}^* = 1 - (P\{E_1\} + P\{E_2\} - P\{E_1 \cap E_2\}). \quad (2.29)$$

Тут $P(E_1)$ розраховується відповідно до (2.26), $P(E_2)$ – відповідно до (2.27).

Для розрахунку ймовірності виконання хоч би однієї функції з множини f^* – надання хоч би одного i -го сервісу q -го класу – вважатимемо відомою кількість видів ресурсів $l_r(g_{l_{ri}}^q)$ і функціональних зв'язків $l_y(g_{l_{yi}}^q)$ використовуваних для надання ІС i -го виду q -го класу, що знаходяться на рівнях l_r і l_y відповідно.

З використанням введених позначень отримаємо спосіб розрахунку умовної ймовірності враження елементів рівнів l_r і l_y - $P_{l_{ri}}^q$ (2.30) і $P_{l_{yi}}^q$ (2.31) використовуваних в процесі надання ІС i -го виду q -го класу:

$$P_{l_{ri}}^q = \frac{l_r(g_{l_{ri}}^q)}{l_r(g_{l_r}^q)} \cdot \frac{l_r(g_{l_r}^q)}{g_{l_r}} \cdot \frac{L_r}{L_r + L_y} \cdot P(E_{HB}), \quad (2.30)$$

$$P_{l_{yi}}^q = \frac{l_y(g_{l_{yi}}^q)}{l_y(g_{l_y}^q)} \cdot \frac{l_y(g_{l_y}^q)}{g_{l_y}} \cdot \frac{L_y}{L_r + L_y} \cdot P(E_{HB}). \quad (2.31)$$

Тут $i = \overline{1, n}$, $l_r = \overline{1, L_r}$, $l_y = \overline{1, L_y}$, $q = \overline{1, Q}$.

Розрахувавши у відповідності до (2.30) і (2.31) значення ймовірності враження ресурсів і функціональних зв'язків, використовуваних для надання ІС i -го виду, що належить до q -го класу, і підставивши отримані результати у вираз (2.22), отримаємо шуканий показник ймовірності функціональної відмови системи хоч би одного елементу, що становить маршрут надання цього ІС i -го виду, тобто отримаємо ймовірність порушення функціональної живучості системи відносно надання ІС i -го виду q -го класу.

Ймовірність збереження функціональної живучості системи $P_{f_{qi}}^*$ – виконання хоч би однієї функції з множини f^* (надання хоч би одного i -го ІС q -го класу) – отримаємо як ймовірність протилежної події (2.32) :

$$P_{f_{qi}}^* = 1 - (P(E(r_{jA(l_A)}^q) \cup E(y_{A,1(l_A+\delta_A)}^q) \cup E(r_{j1(l_1)}^q) \cup E(y_{1,2(l_1+\delta_1)}^q) \cup E(r_{j2(l_2)}^q) \cup E(y_{2,3(l_2+\delta_2)}^q) \cup \dots \cup E(y_{(t-1),B(l_{t-1}+\delta_{t-1})}^q) \cup E(r_{jB(l_B)}^q))) \quad (2.32)$$

Таким чином, отримані вирази для оцінки функціональної живучості системи надання ІС – виконання деякої підмножини функцій f^* , які реалізують мету функціонування системи (надання ІС q -го класу), а також виконання хоч би однієї функції з множини f^* (надання i -ого ІС q -го класу).

Отримані вирази можуть бути використані при проектуванні системи управління ІС, при виборі принципу управління, при рішенні завдань підвищення функціональної живучості системи управління ІС.

2.4.3. Метод визначення структурної надійності ІН

Методи визначення структурної надійності технічних систем, а також ТКМ надано в роботах [12, 18, 62, 63, 66, 67, 94, 83, 109, 116]. В даному підрозділі надамо лише коротку характеристику цим методам.

У відповідності до держстандарту ДСТУ 2860-94 [49] поняття надійності охоплює властивості безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і збережуваності, кожне з яких може бути охарактеризоване своїми одиничними показниками. Для оцінки надійності як комплексної властивості використовуються комплексні показники, зокрема, ймовірність і середній час безвідмовної роботи, інтенсивність відмов (для відновлюваних систем – параметр потоку відмов), коефіцієнт готовності й оперативної готовності, коефіцієнт збереження ефективності та інші.

ТКМ, а також ІН як її складова, зазвичай являють собою складні технічні системи з великою кількістю елементів і розвиненою структурою, які створюються для надання різноманітних сервісів користувачам. Надійність ТКМ (ІН) може оцінюватися з боку розробників та експлуатаційників – технічна надійність, а також з боку користувачів – функціональна надійність [67, 95]. По-друге, надійність ТКМ (ІН) залежить від надійності її елементів –

елементна надійність, а також від конкретної структури або низки структурних параметрів ТКМ (ІН) – структурна надійність.

ІН являє собою досить складну (як структурно, так і функціонально) систему, що складається, в загальному випадку, з великої кількості елементів апаратного і програмного забезпечення. Оцінка надійності такої системи проводиться на основі певної сукупності вихідних даних і характеристик системи. Серед них важливе місце займають структурні характеристики, які визначають структурну надійність системи.

Для аналізу надійності ТКМ (ІН) придатна більша частина відомих методів аналізу надійності технічних систем взагалі. Загальні особливості цих методів, що стали класикою теорії і практики надійності, а також рекомендації до їхнього використання описані у вітчизняних і світових нормативних документах [44].

Метою оцінки надійності ІН є отримання значень обраних показників надійності ІН тим чи іншим шляхом: розрахунку, імітаційного або натурного моделювання, експертного оцінювання тощо.

Одним з найпростіших способів оцінки надійності для системи, що складається з n однотипних елементів (у припущенні експоненційного розподілу відмов елементів) є використання показників лише елементної надійності. Приблизна оцінка нижньої границі δ_e середнього часу безвідмовної роботи T_{cp} в цьому випадку визначається виразами (2.33) [85]:

$$\delta_e = \frac{T_{cp}}{t_{cp}} > \frac{1}{\sqrt{n}}, \quad T_{cp} > \frac{t_{cp}}{\sqrt{n}}, \quad (2.33)$$

де t_{cp} – середній час безвідмовної роботи елементів системи;

n – кількість однотипних елементів.

Більш детальний аналіз надійності структурно складних систем і уточнення попередньо отриманих значень показників надійності потребує урахування способів взаємного з'єднання елементів ІН.

На сьогодні широко відомі такі методи оцінки структурної надійності ТКМ, що застосовуються і для оцінки структурної надійності ІН:

- метод прямого перебору;
- метод структурних перетворень;
- метод розкладання відносно особливого елемента;
- метод розрахунку за сукупністю шляхів і розрізів;
- метод приблизної двосторонньої оцінки (з використанням відомих оцінок);
- метод статистичного моделювання станів елементів та його аналітичні модифікації (зниження дисперсії);
- логіко-ймовірнісний метод.

У роботах автора [73, 74], виходячи з необхідності урахування у комплексному критерії показників структурної надійності ІН, розроблені методи оцінки і забезпечення структурної надійності ІН, що засновані на використанні потокового підходу за критеріями точності і трудомісткості. Особливої уваги при розробці методів було приділено методу мінімальних шляхів і мінімальних розрізів. На основі знайдених множин шляхів і розрізів будується вираз для точного або оцінного розрахунків шуканого показника надійності ІН. Розгляд множини шляхів як незалежних дає оцінку зверху $R_{ij \text{ в}}$ (2.34) [62, 67, 73]:

$$R_{ij \text{ в}} = 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^k \in m_{ij}} \left(1 - \prod_{\forall b_{xy} \in \mu_{ij}^k} p_{b_{xy}} \right), \quad (2.34)$$

де μ_{ij}^k – k -й шлях у множині шляхів m_{ij} ,

b_{xy} – гілка, яка знаходиться між вузлами x і y ,

$p_{b_{xy}}$ – показник надійності гілки b між вузлами x і y .

Розгляд множини розрізів як незалежних дає оцінку знизу $R_{ij \text{ н}}$ (2.35) [62, 67, 73]:

$$R_{ij \text{ н}} = \prod_{\forall l_{ij}^q \in l_{ij}} \left(1 - \prod_{\forall b_{xy} \in l_{ij}^q} (1 - p_{b_{xy}}) \right), \quad (2.35)$$

де l_{ij}^q – q -й розріз у множині l_{ij} ;

$p_{b_{xy}}$ – показник надійності гілки між вузлами x і y .

Верхні і нижні оцінки також можна одержати на основі підмножин реберно-непересічних шляхів і розрізів. Верхня оцінка може бути отримана шляхом представлення структури аналізованої системи у вигляді паралельного з'єднання реберно-непересічних мінімальних шляхів. Нижня оцінка може бути отримана шляхом представлення структури у вигляді послідовного з'єднання реберно-непересічних мінімальних розрізів.

Використання наближених оцінок замість точних розрахунків дає можливість істотно прискорити аналіз надійності ІН з точністю, достатньою для практичних інженерних задач.

2.4.4. Метод визначення вартості інтелектуальної надбудови з урахуванням дисконтної ставки

Одним із часткових критеріїв (підкритеріїв) є вартість ІН – C , точніше кажучи чиста приведена вартість (ЧПВ). Для розрахунку ЧПВ введемо наступні позначення:

P – обсяг доходів від впровадження ІН;

B_u – інвестиційний капітал;

B_e – поточні витрати на ІН;

T – період реалізації та експлуатації ІН (кількість років);

t – порядковий номер кожного року;

r – річна дисконтна ставка.

ЧПВ можна визначити як загальну різницю між приведеними доходами та витратами на ІН за всі роки реалізації та експлуатації[64, 113, 114, 117]: (2.36):

$$\text{ЧПВ} = \sum_{t=1}^T \frac{(P_t - B_{ut} - B_{et})}{(1+r)^{t-1}}. \quad (2.36)$$

Для позитивної оцінки створення ІН потрібно, щоб $\text{ЧПВ} > 0$.

Доходи отримують за рахунок наданих споживачам ІС за чинними тарифами (2.37):

$$P = \sum_{z,j} T_{zj} N_{zj}, \quad (2.37)$$

де T_{zj} – тариф на z -й ІС j -го класу;

N_{zj} – обсяг наданих таких ІС (у натуральному виразі).

2.5 Урахування самоподібності потоку заявок на ІС при побудові аналітичної моделі ІНЦПУ

Для побудови аналітичної моделі ІНЦПУ та розрахунку підкритеріїв доцільно скористатися підходами теорії масового обслуговування. Однак, поява NGN призвела до того, що використання класичних підходів теорії масового обслуговування для розрахунку показників мережі є досить проблематичним. В першу чергу це пов'язано з виявленням властивостей самоподібності трафіку. Використання при побудові аналітичних моделей та розрахунку підкритеріїв властивостей найпростішого потоку призводить до занадто «оптимістичних» результатів. Тобто при формуванні аналітичної моделі ІНЦПУ необхідно брати до уваги самоподібність потоку заявок на ІС.

Самоподібність і фрактали – поняття, вперше введені Бенуа Мандельбротом. Фрактали описують явище, при якому деяка властивість об'єкта (наприклад, реального зображення, часового ряду) зберігається при масштабуванні простору і/або часу. Об'єкт являється самоподібним або фрактальним, якщо його частини при збільшенні подібні, в певному сенсі, образу оригінального об'єкта.

Одними із можливих причин самоподібності трафіку в мережі являються особливості розподілу файлів по серверам, їх розміри, а також типова поведінка користувачів [13, 14, 17, 21-23, 52-56, 67, 78, 96, 110]. Спочатку потоки даних, що не проявляють властивостей самоподібності, пройшовши обробку на вузлових серверах і активних мережних елементах, починають проявляти яскраво виражені ознаки самокореляції.

Ключовим параметром виявлення самоподібних процесів є показник Хьорста H , який знаходиться у межах $0.5 < H < 1$. Це міра, яку використовують при аналізі часових рядів. Велика наближеність значення до 1

свідчить про самоподібність, тобто ймовірність того, що якщо процес зростав/спавав в попередні проміжки часу, то він буде продовжувати зростання/спадання і далі. Стохастичний процес характеризується значенням $H = 0.5$ та відсутністю довгострокової залежності.

Урахування самоподібності трафіку, що формується ІС, при розрахунках технічних підкритеріїв комплексного критерію ЕУНІС – загального часу обслуговування заявки на ІС T , вероятність блокування заявки $P_{\text{б}}$, количества заявок, которые ожидают обслуговування L , – має здійснюється на основі розробки відповідних аналітичних моделей оцінки ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN.

Висновки до другого розділу

1. Сучасні вимоги до ефективності управління ІС роблять необхідним введення додаткових параметрів при виборі принципу управління ІС. На підставі аналізу сучасних наукових публікацій з питань управління якістю надаваних сервісів та ефективності управління наданням ІС та досліджень автора з цих питань запропоновано ефективність управління наданням ІС оцінювати комплексним критерієм, що вміщує наступні підкритерії: час надання сервісу T , ймовірність відмови в наданні сервісу $P_{\text{в}}$, довжина черги, в яку потрапляє заявка для обслуговування L , структурна та функціональна живучість $P_{\text{сфж}}$ та структурна надійність $P_{\text{сн}}$, а також вартість C системи управління наданням ІС, яку слід розраховувати з урахуванням дисконтних ставок.

2. Удосконалено метод формування комплексного критерію ЕУНІС, який, на відміну від відомих, дозволяє врахувати самоподібність трофіку на ІС, структурні мережні характеристики, а також надає можливість кількісної

оцінки ефективності ПУНІС з різними складністю та використовуваними принципами управління.

3. Набув подальшого розвитку метод оцінки функціональної живучості інтелектуальної надбудови NGN, що дозволяє визначити ймовірність виконання хоча би однієї функції деякого класу ІС.

4. Розроблено методи розрахунку підкритеріїв комплексного критерію ЕУНІС:

- метод визначення структурної живучості інтелектуальної надбудови на основі запропонованих показників структурної живучості – НМСЖ і ВМСЖ, який дозволяє визначити можливості ІН з забезпечення необхідної якості обслуговування потоків вимог на ІС, а також розробити необхідні рекомендації з урахуванням існуючих вимог та обмежень відносно структурної живучості для ІН і допустимих показників якості обслуговування окремих ІС (видів ІС);

- метод визначення структурної надійності інтелектуальної надбудови, що заснований на використанні потокового підходу з застосуванням методів мінімальних шляхів і мінімальних розрізів. На основі знайдених множин шляхів і розрізів побудовано вираз для точного або оцінного розрахунків шуканих показників надійності ІН – верхніх і нижніх оцінок. Використання наближених оцінок замість точних розрахунків дає можливість істотно прискорити аналіз надійності ІН з точністю, достатньою для практичних інженерних задач.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ В NGN

3.1. Обґрунтування вибору математичного апарату.

З огляду на особливості досліджуваної мультисервісної мережі, котра надає низку ІС, до моделі ІН, що здійснює управління наданням ІС, і математичного апарату моделювання пред'являються такі вимоги:

- адекватно відображати процеси, що проходять при управлінні наданням ІС з урахуванням особливостей ІС;
- забезпечувати можливість оцінювати такі технічні підкритерії ефективності як час надання сервісу T , ймовірність відмови в наданні сервісу P_v , довжину черги, в яку потрапляє заявка для обслуговування L ;
- забезпечувати вивчення поведінки інтелектуальної надбудови в різних режимах роботи.

Розробку аналітичної моделі ІНЦПУ потрібно здійснювати на основі комплексного використання різних типів математичного апарату відповідно до їх достоїнств та недоліків. Теорія масового обслуговування (ТМО) задовольняє багатьом наведеним вище вимогам, тобто її використання в даному випадку дозволить виконати завдання адекватного моделювання процесів управління наданням ІС. Деякі обмеження на параметри потоку, прийняті в ній, можуть бути зняті за рахунок використання методів теорії фракталів, шляхом врахування параметра Хьорста [25].

Відомо, що застосування математичного апарату ТМО дає хороші результати для потоків, яким притаманні наступні властивості: стаціонарність і ординарність вхідного і вихідного потоків заявок; відсутність післядії і т.д.

Однак застосування математичного апарату теорії телетрафіка, коли вхідні і вихідні потоки мають різні властивості, потребує врахування різнорідності потоку заявок на ІС. Фрактальний аналіз може бути застосований тільки по відношенню до самоподібного трафіку, ступінь самоподібності якого може бути оцінена по корельованості значень параметрів трафіку в широкому часовому діапазоні.

Застосування ТМО одночасно з методами теорії фракталів та врахування показника Хьорста дозволяє будувати адекватні моделі ІН для оцінки ефективності управління наданням ІС.

При ІНЦПУ існує єдиний центр, який виконує функції управління наданням ІС. Таку ІН представимо у вигляді системи масового обслуговування (СМО).

3.2. Розробка аналітичної моделі інтелектуальної надбудови

Для побудови аналітичної моделі інтелектуальної надбудови та розрахунку технічних підкритеріїв ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів доцільно скористатися підходами теорії масового обслуговування.

Інтелектуальну надбудову доцільно представити за допомогою 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 ємкості* [25].

В якості вхідного потоку заявок на інтелектуальні сервіси розглядається простий потік. Вхідний потік називають простим, якщо ймовірність надходження того або іншого числа вимог протягом інтервалу часу t залежить тільки від протяжності цього інтервалу і не залежить від його розташування на осі часу (стаціонарність), причому вимоги надходять поодинокі (ординарність) і незалежно одна від одної (відсутність післядії) [97].

Хоча багато індивідуальних процесів і не задовольняють повністю цим вимогам, поняття простого потоку грає велику роль, оскільки близькі до нього потоки часто зустрічаються на практиці. Але найбільш важлива та обставина, що в результаті об'єднання деякого числа стаціонарних ординарних потоків з практично будь-якою післядією виходить потік, близький до простого [97]. Саме тому в якості вхідного потоку будемо поки розглядати простий потік заявок.

Спочатку представимо інтелектуальну надбудову у вигляді СМО $M/M/1/m$. Будемо вважати, що всі заявки на ІС мають однаковий пріоритет. Представимо всі можливі стани системи $M/M/1/m$ [72, 86]:

- E_0 – прилад вільний;
- E_1 – прилад зайнятий, черги немає;
- E_2 – прилад зайнятий, одна заявка знаходиться в черзі;
-

- E_i – прилад зайнятий, $i-1$ заявка знаходиться в черзі;
-
- E_{m+i} – прилад зайнятий, m заявок знаходиться в черзі (накопичувач повністю заповнений).

Заявка, що приходить в момент, коли система знаходиться в стані E_{m+i} , отримує відмову. Граф станів даної системи наведено на рис. 3.1.

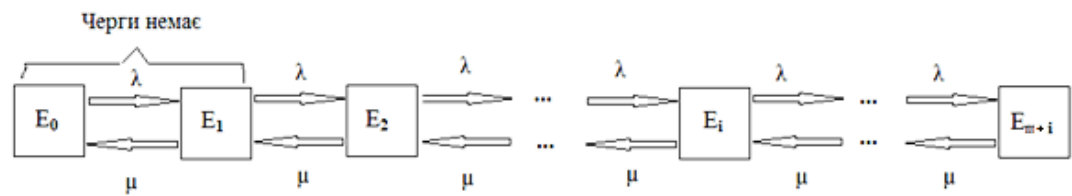


Рис. 3.1. Граф станів системи

Виходячи зі станів даної системи (рис. 3.1), для граничних ймовірностей станів можна записати систему рівнянь (3.1), застосовуючи результати робіт [72, 86]:

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \rho \cdot P_0 \\ P_2 &= \rho^2 \cdot P_0 \\ &\dots\dots\dots \\ P_i &= \rho^i \cdot P_0 \\ &\dots\dots\dots \\ P_{m+1} &= \rho^{m+1} \cdot P_0 \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де

$$P_0 = [1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^{m+1}] \quad (3.2)$$

Тут P_i – ймовірність знаходження системи у i -му стані. Вираз в дужках являє собою геометричну прогресію з першим членом, що дорівнює одиниці, і знаменником прогресії, рівним ρ – завантаженню системи. Підсумовуючи члени цієї прогресії, знаходимо [72, 86]:

$$P_0 = \left[\frac{(1 - \rho^{m+2})}{(1 - \rho)} \right]^{-1} = \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{m+2}} \quad (3.3)$$

Формула (3.3) справедлива лише при $\rho \neq 1$. При $\rho = 1$ отримуємо невизначеність вигляду $\frac{0}{0}$, розкладаючи яку за правилом Лопіталя, отримаємо [72, 86]:

$$P_0 = \frac{1}{m + 2} \quad (3.4)$$

Вірогідність втрати заявки на інтелектуальний сервіс P_s [72, 86]:

$$P_s = p_{m+1} = \rho^{m+1} \cdot P_0 = \frac{\rho^{m+1}(1 - \rho)}{1 - \rho^{m+2}} \quad (3.5)$$

Абсолютна пропускна здатність [72, 86]:

$$q = 1 - P_{\text{від}} = 1 - \frac{\rho^{m+1}(1-\rho)}{1-\rho^{m+2}} = \frac{1-\rho^{m+1}}{1-\rho^{m+2}} \quad (3.6)$$

Відносна пропускна здатність [72, 86]:

$$A = \lambda \cdot q \quad (3.7)$$

Середнє число заявок L , що знаходяться в черзі, визначимо як математичне очікування дискретної випадкової величини R – числа заявок, що знаходяться в черзі. Величину можна отримати, помножуючи число заявок в черзі на відповідні ймовірності і здійснюючи сумування [72, 86]:

$$L = 1 \cdot P_2 + 2P_3 + \dots + (i-1)P_i + \dots + mP_m \quad (3.8)$$

Після деяких перетворень отримаємо [72, 86]:

$$L = \frac{\rho^2 [1 - \rho^m (m+1 - m\rho)]}{(1 - \rho^{m+2})(1 - \rho)} \quad (3.9)$$

Загальна кількість заявок в системі: $M = l + w$, де w – математичне очікування числа заявок, що знаходяться на обслуговуванні [72, 86]:

$$M = L + \frac{\rho - \rho^{m+2}}{1 - \rho^{m+2}} \quad (3.10)$$

де L визначається з (3.9).

Тоді [72, 86]:

$$w = 0 \cdot P_0 + 1(1 - P_0) = \frac{\rho - \rho^{m+2}}{1 - \rho^{m+2}}, \quad (3.11)$$

Середній час очікування $\bar{T}_{оч}$ буде дорівнювати середній довжині черги, помноженій на середнє значення часу в потоці заявок. Для найпростішого потоку заявок середній час $\bar{T}_{сер} = \frac{1}{\lambda}$. Таким чином маємо час очікування [72, 86]:

$$\bar{T}_{оч} = \frac{L}{\lambda} \quad (3.12)$$

Середній час обслуговування однієї заявки – $\bar{T}_{обс} = \frac{1}{\mu}$. Математичне очікування часу обслуговування – $q \frac{1}{\mu}$. Тоді загальний час перебування заявки в системі [72, 86]:

$$T = \frac{L}{\lambda} + \frac{q}{\mu} \quad (3.13)$$

В даному випадку вважалось, що всі заявки на інтелектуальні сервіси мають однаковий пріоритет.

Вважаючи на те, що в *NGN* існує декілька класів заявок на ІС з різними пріоритетами, введемо три класи заявок – клас заявок на ІС, що потребує

роботи з відео потоком; клас заявок на ІС, що потребує роботи з передачею мови; клас заявок на ІС, що працює з даними. Відповідно найбільш пріоритетним буде перший клас, а найменш пріоритетним – останній.

Представимо ІН у вигляді системи масового обслуговування $M/M/1/3$.

Опис системи (рис. 3.2):

1. Система – *одноканальна*.
2. Вхідний потік заявок – *неоднорідний*: при цьому у систему надходить обмежена кількість класів (три класи) заявок.
3. Накопичувач для заявок – *обмеженою ємністю* $m = 3$.
4. Дисципліна буферизації – *без витіснення* заявок: якщо при надходженні в систему заявки будь-якого класу накопичувач заповнений до кінця, то заявка втрачається.
5. Дисципліна обслуговування – *з відносними пріоритетами*.

Припущення:

1. Заявки трьох класів, що надходять в систему, утворюють *найпростіші* потоки з інтенсивностями λ_1, λ_2 та λ_3 , відповідно.
2. Тривалість обслуговування заявок кожного класу розподілена по *експоненційному* закону з інтенсивностями $\mu_1 = 1/b_1, \mu_2 = 1/b_2, \mu_3 = 1/b_3$, де b_1, b_2 і b_3 – середня тривалість обслуговування заявок класу 1, 2 і 3, відповідно.

У СМО завжди існує стаціонарний режим, оскільки не може бути нескінченних черг [25].

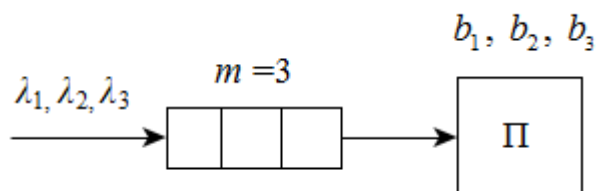


Рис. 3.2. Представлення ІН у вигляді СМО виду $M/M/1/3$ з пріоритетами

Тепер можна перейти до кодування станів випадкового процесу. Це можна зробити наступним чином – $(\Pi, \mathcal{C})$, де $\Pi = \{0, 1, 2, 3\}$ – стан обслуговуючого приладу, що задається класом заявки, яка знаходиться на обслуговуванні («0» – прилад вільний; «1», «2» або «3» – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 1, 2 або 3, відповідно). Стан накопичувача може бути представлений таким чином: $\mathcal{C} = \{0, 1, 2, 3, 11, 12, 13, 22, 23, 33, 111, 112, 113, 122, 123, 222, 223, 233, 333\}$. Тоді марківський процес у будь-який момент часу може знаходитися в одному з наступних станів [72]:

$E_0(0,000)$ – у системі немає жодної заявки;

$E_1(1,000)$ – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 1;

$E_2(2,000)$ – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 2;

$E_3(3,000)$ – на обслуговуванні в приладі знаходиться заявка класу 3;

$E_4(1,100)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 1 чекає обслуговування в накопичувачі;

$E_5(1,200)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 1 і одна заявка класу 2 чекає обслуговування в накопичувачі;

.....

$E_{59}(3,233)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 3 і одна заявка класу 2 та дві заявки класу 3 чекають обслуговування в накопичувачі;

$E_{60}(3,333)$ – на обслуговуванні знаходиться заявка класу 3 і три заявки класу 3 чекають обслуговування в накопичувачі.

Використовуючи стани випадкового процесу, сформуємо розмічений граф переходів (Додаток Б).

По розміченому графу переходів складемо систему рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей:

$$\left. \begin{aligned}
 p_1\mu_1 + p_2\mu_2 + p_3\mu_3 &= p_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\
 p_0\lambda_1 + p_4\mu_1 + p_7\mu_2 + p_{10}\mu_3 &= p_1(\mu_1 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\
 p_0\lambda_2 + p_5\mu_1 + p_8\mu_2 + p_{11}\mu_3 &= p_2(\mu_2 + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \\
 \dots \\
 p_{30}\lambda_3 &= p_{60}\mu_3 \\
 \sum_{i=0}^{60} p_i &= 1
 \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

Розв'язавши систему рівнянь, знайдемо значення всіх ймовірностей.

Характеристики при знайдених значеннях стаціонарних ймовірностей станів випадкового процесу на підставі [25,72] можуть бути розраховані за наступними виразами:

Середнє число заявок кожного класу в черзі [72]:

$$\begin{aligned}
 L_1 = & p_4 + p_7 + p_{10} + p_{13} + p_{14} + 2p_{16} + p_{19} + p_{20} + 2p_{22} + p_{25} + p_{26} + 2p_{28} + \sum_{i=31}^{33} p_i + \\
 & 3p_{24} + 2p_{35} + p_{36} + 2p_{37} + p_{38} + 3p_{43} + 2p_{44} + 2p_{45} + p_{46} + p_{47} + 3p_{52} + \\
 & 2p_{53} + 2p_{54} + p_{55} + p_{56}
 \end{aligned} \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned}
 L_2 = & p_5 + p_8 + p_{11} + p_{13} + p_{15} + 2p_{17} + p_{19} + p_{21} + 2p_{23} + p_{25} + p_{27} + 2p_{29} + \sum_{i=31}^{33} p_i + \\
 & p_{35} + 2p_{36} + p_{36} + 3p_{39} + 2p_{40} + p_{41} + p_{44} + 2p_{46} + 3p_{48} + 2p_{49} + p_{50} + \\
 & p_{53} + 2p_{55} + 3p_{57} + 2p_{58} + p_{59}
 \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned}
 L_3 = & p_6 + p_9 + p_{12} + p_{14} + p_{15} + 2p_{18} + p_{20} + p_{21} + 2p_{24} + p_{27} + 2p_{30} + \sum_{i=31}^{33} p_i + \\
 & p_{37} + 2p_{38} + p_{40} + 2p_{41} + 3p_{42} + p_{45} + 2p_{47} + p_{49} + 2p_{50} + 3p_{51} + p_{54} +
 \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$2p_{56} + p_{58} + 2p_{59} + 3p_{60}$$

Завантаження пристрою відповідним класом заявок визначаються як суми ймовірностей станів, у яких відповідний пристрій зайнятий обслуговуванням заявок відповідного класу [72]:

$$\begin{aligned}\rho_1 &= p_1 + \sum_{i=4}^6 p_i + \sum_{i=13}^{18} p_i + p_{31} + \sum_{i=34}^{42} p_i \\ \rho_2 &= p_2 + \sum_{i=7}^9 p_i + \sum_{i=19}^{24} p_i + p_{32} + \sum_{i=43}^{51} p_i \\ \rho_3 &= p_3 + \sum_{i=10}^{12} p_i + \sum_{i=25}^{30} p_i + p_{33} + \sum_{i=52}^{60} p_i\end{aligned}\tag{3.18}$$

Продуктивності пристрою (інтенсивність обслугованих заявок відповідного класу на виході пристрою) [72]:

$$\lambda'_1 = \frac{\rho_1}{b_1}; \lambda'_2 = \frac{\rho_2}{b_2}; \lambda'_3 = \frac{\rho_3}{b_3}.\tag{3.19}$$

Ймовірність втрати заявок відповідного класу [72]:

$$P_{e1} = P_{e2} = P_{e3} = \sum_{i=31}^{60} p_i.\tag{3.20}$$

Середнє число заявок відповідного класу [72]:

$$M_1 = \rho_1 + L_1; M_2 = \rho_2 + L_2; M_3 = \rho_3 + L_3.\tag{3.21}$$

Знайдемо час надання ІС кожного класу ІН [72]:

$$T_1 = \frac{M_1}{\lambda_1}; T_2 = \frac{M_2}{\lambda_2}; T_3 = \frac{M_3}{\lambda_3}. \quad (3.22)$$

Отримані вирази можуть бути застосовані проектувальниками мереж для визначення ефективності управління наданням ІС.

Створення аналітичних моделей більш складних інтелектуальних надбудов несе за собою певні ускладнення у зв'язку з трудомісткістю процесу.

3.3. Дослідження характеру потоку заявок на інтелектуальні сервіси в NGN

Протягом довгого часу вважалося, що мережний трафік відповідає Пуасонівським процесам. Станадртні методи мережних розрахунків і моделювання, засновані на Пуасонівських моделях, припускали, що всі виклики, що надійшли в досліджувану систему, взаємно незалежні і інтервали часу між двома наступними викликами, що надходять, розподілені згідно експоненційного закону.

Подальші дослідження довели, що в трафіку деяких мереж наявний ефект самоподібності. В першу чергу це стосується ІР-телефонії. Властивість самоподібності було знайдено в трафіку різних рівнів моделі OSI – транспортного (TCP / UDP / SCTP) і прикладного (FTP, Telnet, HTTP, RTP) [93].

Самоподібний трафік має повільно спадаючу автокореляційну функцію, щільність розподілу ймовірності інтервалів між моментами приходу двох послідовних викликів підпорядковується степеневим законам. Одна з важливих властивостей самоподібності трафіку – збереження своєї структури в різних масштаби часу. Через такі властивості самоподібного трафіку традиційні

методи розрахунку характеристик функціонування мереж дають занадто оптимістичні результати і призводять до недооцінки реального навантаження.

З появою мультисервісних мереж, таких як NGN, та нової специфікації передачі мультимедійного вмісту в електрозв'язку на основі протоколу IP – IMS, з'являються ІС і, відповідно, новий тип трафіку. Виникає питання наявності ефекта самоподібності трафіку, що містить заявки на ІС.

3.3.1. Методи розрахунку показника Хьорста

Для доведення самоподібності трафіку використовують показник Хьорста (Herst) – H . Значенням показника Хьорста, близьким до 0.5 відповідають стохастичні ряди. Показник Хьорста, близький до 1, говорить про те, що даний часовий ряд породжений деякою хаотичною системою. Таким чином у випадку коли $H \leq 0.5$ маємо несамоподібний трафік, що відповідає Пуасонівським процесам. Якщо ж $0.5 < H < 1$ – в трафіку наявний ефект самоподібності.

На сьогоднішній день існує декілька методів, що дозволяють для вхідного часового ряду розрахувати показник Хьорста.

Метод дисперсійного аналізу. Це метод статистичної оцінки надійності прояву залежності результативної ознаки від одного або декількох факторів. За допомогою методу дисперсійного аналізу 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; оцінку вірогідності різниці між середніми і формулювання висновків [47].

Дисперсія агрегованого процесу може бути обчислена в такий спосіб [13, 47]:

$$\sigma_m^2 = \sigma^2 / m^\beta \quad (3.23)$$

де $0 < \beta < 1$; $\beta = 2 - 2H$.

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 $H = 1 - \beta/2$. Варто зазначити, що даний метод дає дуже грубу оцінку параметра H .

Періодограмний метод. Це один із методів непараметричного спектрального аналізу. Метод визначення величини H на основі періодограмного аналізу полягає в наступному. Для самоподібного випадкового процесу $X = \{X_i\}$ обчислюється періодограма за формулою (3.24) [13, 96]:

$$I_N(\omega) = \frac{1}{2\pi N} \left| \sum_{k=1}^N x_k e^{jk\omega} \right|^2, \quad \omega \in [0; \pi] \quad (3.24)$$

де N – довжина часового ряду.

З огляду на те, що самоподібність впливає на характер спектру $S(\omega)$ при $\omega \rightarrow 0$, повинен виходити графік залежності спектральної щільності виду [13, 96]:

$$I_N(\omega) \approx [\omega]^{1-2H}, \quad \text{при } \omega \rightarrow 0. \quad (3.25)$$

З останнього виразу випливає, що безліч випадкових точок $(\log[I_N(\omega)]; \log(\omega))$ розташовуватимуться лінійно з коефіцієнтом нахилу лінії $1-2H$. На практиці для обчислення оцінки повинні використовуватися тільки нижні 10% частот, тому що описана вище поведінка справедлива тільки для області частот, близьких до нуля. Основним недоліком даного методу є великий обсяг обчислень при побудові оцінки показника Хьорста.

Метод абсолютних моментів. При невеликому обсязі обчислень дає досить точні результати. Методика перевірки наступна: вихідна послідовність X з довжиною N розділяється на блоки з довжиною m . На межах блоку послідовність має середнє значення, яке визначається як [13, 98]:

$$\bar{X}(k) = \frac{1}{m} \sum_{i=(k-1)m+1}^{km} X_i, k=1,2,\dots,[N/m] \quad (3.26)$$

Для кожного блоку необхідно розрахувати дисперсію $X^{(m)}$ і математичне очікування $\bar{X}$ для всієї послідовності. Після цього для кожного блоку визначається момент n [13, 98]:

$$D_n^{(m)} = \frac{1}{N/m} \sum_{k=1}^{N/m} |X^{(m)}(k) - \bar{X}^n| \quad (3.27)$$

У даному виразі $n=1$ (абсолютно середнє значення). Далі будується графік в логарифмічному масштабі – залежність абсолютних моментів для послідовності від m . Після чого по 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.

Метод Віттла. Агрегована оцінка Віттла (Whittle) забезпечує отримання більш точної оцінки показника Херста H . Застосовується у випадку великої довжини часового ряду. Ідея полягає в об'єднанні даних, що створюють нові, коротші ряди [13, 17]:

$$X_i^{(m)} := \frac{1}{m} \sum_{j=m(j-1)+1}^{mi} X_j. \quad (3.28)$$

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. Часто на практиці вивчаються системи, що не є нормально-розподіленими або близькими до них. Для аналізу таких систем Хьорстом був запропонований метод нормованого розмаху (*RS-аналіз*) [20]. Головним чином цей метод дозволяє розрізнити випадковий і фрактальний (самоподібний) часові ряди, а також робити висновки про наявність неперіодичних циклів, довготривалої пам'яті, і т.д.

RS метод полягає в наступному [13, 20]:

Нехай наданий вхідний ряд інтенсивності потоку трафіку S_t . Необхідно розрахувати логарифмічне відношення [13, 20]:

$$N_t = \ln \frac{S_t}{S_{t-1}} \quad (3.29)$$

На наступному кроці необхідно розділити ряд N на A суміжних періодів довжиною n . Позначити кожний період I_a , де $a = 1, 2, \dots, A$. Далі необхідно визначити для кожного I_a середнє значення [13, 20]:

$$E(I_a) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n N_{k,a} \quad (3.30)$$

Після цього треба знайти відхилення від середнього значення для кожного I_a [13, 20]:

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - E(I_a)) \quad (3.31)$$

Далі розраховується розмах в межах кожного періоду [13, 20]:

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a}) \quad (3.32)$$

На наступному кроці розраховується стандартне відхилення для кожного періоду I_a [13, 20]:

$$S_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - E(I_a))^2} \quad (3.33)$$

Потім кожен R_{I_a} необхідно поділити на S_{I_a} та розрахувати середнє значення R/S [13, 20]:

$$R/S(n) = \frac{\sum_{a=1}^A R/S(A)}{A} \quad (3.34)$$

Далі необхідно збільшити n і повторювати алгоритм доти, поки $n \leq N/2$.

Після цього будуємо графік залежності $\log(R/S(n))$ від $\log(n)$ та знаходимо регресію вигляду [13, 20]:

$$\log(R/S(n)) = H \log(n) + c \quad (3.35)$$

де H – показник Херста (рис.3.3. [13, 20]).

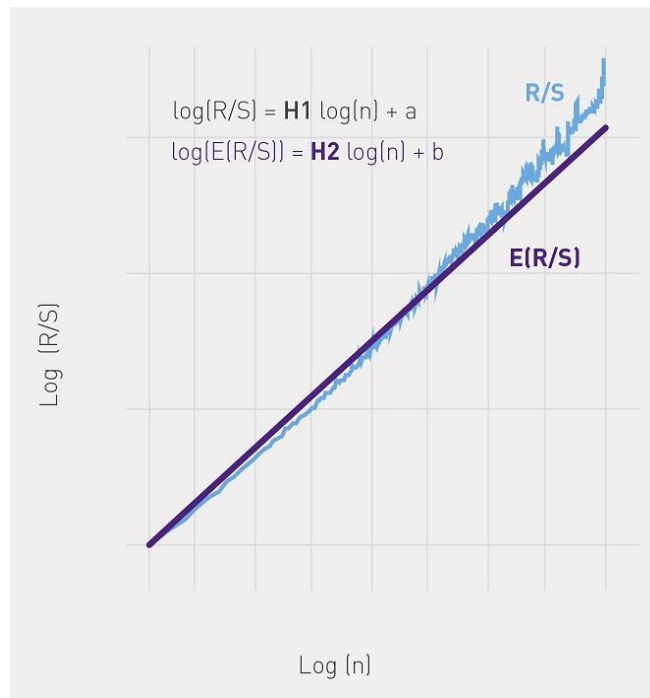


Рис. 3.3. Графік залежності $\log (R/S(n))$ від $\log(n)$

Далі необхідно перевірити отриманий результат на значимість. Для цього перевіряємо гіпотезу про те, що аналізована структура є нормально-розподіленою. R/S є випадковими змінними, нормально розподіленими, тоді можна припустити, що значення H також розподілені нормально. Асимптотичною межею для незалежного процесу є показник Хьорста, рівний 0.5. Еніс і Ллойд, а також Петерс запропонували використовувати такі очікувані показники R/S [13, 20]:

$$E(R / S(n)) = \frac{n - 0.5}{n} \cdot \left(n \cdot \frac{\pi}{2}\right)^{-0.5} \cdot \sum_{r=1}^{n-r} \sqrt{\frac{n-r}{n}} \quad (3.36)$$

Для n спостережень далі можна знайти очікуваний показник Херста $E(H)$.

Існують також інші методи оцінки параметра Хьорста. Наприклад, метод Ербі-Вітча, вейвлет аналіз і метод дисперсії залишків.

В даній роботі пропонується застосувати R/S метод, оскільки його застосування дозволяє аналізувати велику кількість даних, не містить занадто великого обсягу обчислень при побудові оцінки показника Хьорста. Разом з тим незначна похибка при розрахунку показника Хьорста H R/S методом суттєво не вплине на результат. Адже ціллю є оцінка наявності самоподібності в досліджуваному процесі. Крім того, існує спеціальне програмне забезпечення для реалізації R/S методу.

3.3.2. Дослідження характеру трафіку, що містить заявки на інтелектуальні сервіси

Аналіз проводився в мережі компанії «Х», яка постачає послуги хостингу сайтів. Максимальна швидкість передачі даних в мережі дорівнює 100 Mbit/s. Аналізувалися дані для серверу, котрий надає ІС. Основна увага приділялася ІС «Телеголосування».

Апаратне забезпечення системи:

- CPU Intel(R) Xeon(R) CPU E3-1230 v3;
- RAM 16 ГБ;
- NET 100 mbit/s.

Програмне забезпечення системи:

- OS Ubuntu 14.04.4 LTS;
- Web Server Apache 2.4.7;
- Language php 5.5.

Результати вимірювань трафіку були отримані за допомогою програмного забезпечення Zabbix. Дані збиралися протягом року, 24 години на добу (Рис.

3.4). Для подальшого аналізу отримані дані були розділені на групи: трафік протягом місяця, протягом тижня, за добу.

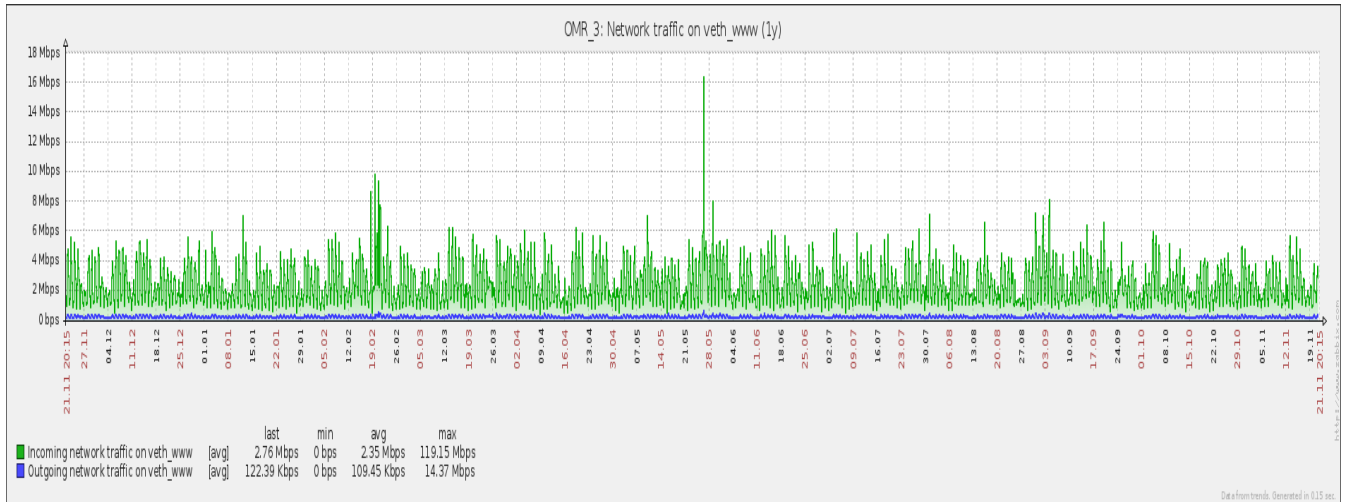


Рис. 3.4. Вхідний та вихідний трафіки за рік

Припускаємо, що трафік є самоподібним. Мета – довести це твердження. Для цього скористаємося R/S методом.

Даний метод реалізований за допомогою програми AutoSignal.

За допомогою даної програми були побудовані графіки залежності $\log(R/S(n))$ від $\log(n)$ і був визначений показник Хьорста для кожного дня тижня, неділі, місяця, року.

Значення показника Хьорста, розраховані за допомогою R/S методу для кожного дня тижня, представлені в таблиці 3.1. Як видно з таблиці, і вхідний трафік і вихідний трафік кожного дня мають властивість самоподібності.

Таблиця 3.1

Дані вимірювань за тиждень

	Показник Хьорста	
	<i>Вхідний трафік</i>	<i>Вихідний трафік</i>
Понеділок	0.75	0.73
Вівторок	0.76	0.75
Середа	0.83	0.71
Четверг	0.82	0.77
Пятниця	0.80	0.75
Субота	0.77	0.71
Неділя	0.79	0.69

Для аналізу трафіку впродовж місяця було обрано місяць листопад. Як видно з таблиці 3.2, значення показника Хьорста H завжди більше 0,5. Отже трафік також самоподібний.

Таблиця 3.2

Дані вимірювань за місяць (листопад)

	Показник Хьорста	
	<i>Вхідний трафік</i>	<i>Вхідний трафік</i>
Перша неділя	0.56	0.68
Друга неділя	0.64	0.57
Третя неділя	0.72	0.75
Четверта неділя	0.70	0.77

Аналізуючи таблицю 3.3, можна стверджувати, що і вхідний і вихідний трафік кожного місяця мають властивість самоподібності.

Таблиця 3.3

Дані вимірувань за рік

	Показник Хьорста	
	<i>Вхідний трафік</i>	<i>Вихідний трафік</i>
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

Для вхідного та вихідного трафіку за рік представлено графіки залежності $\log(R/S(n))$ від $\log(n)$ на рис. 3.5 та рис. 3.6.

Показник Хьорста H в обох випадках приблизно дорівнює 0,69. А отже річний трафік також є самоподібним.

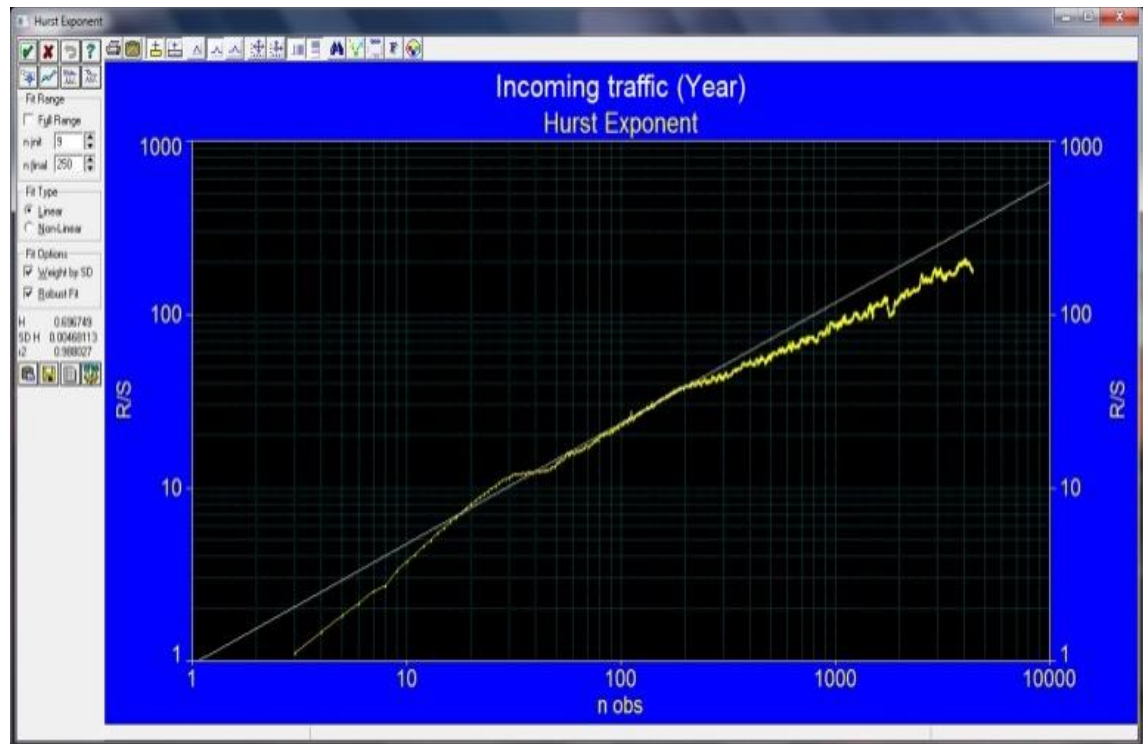


Рис. 3.5. Графік залежності $\log(R/S(n))$ від $\log(n)$ вхідного трафіка за рік

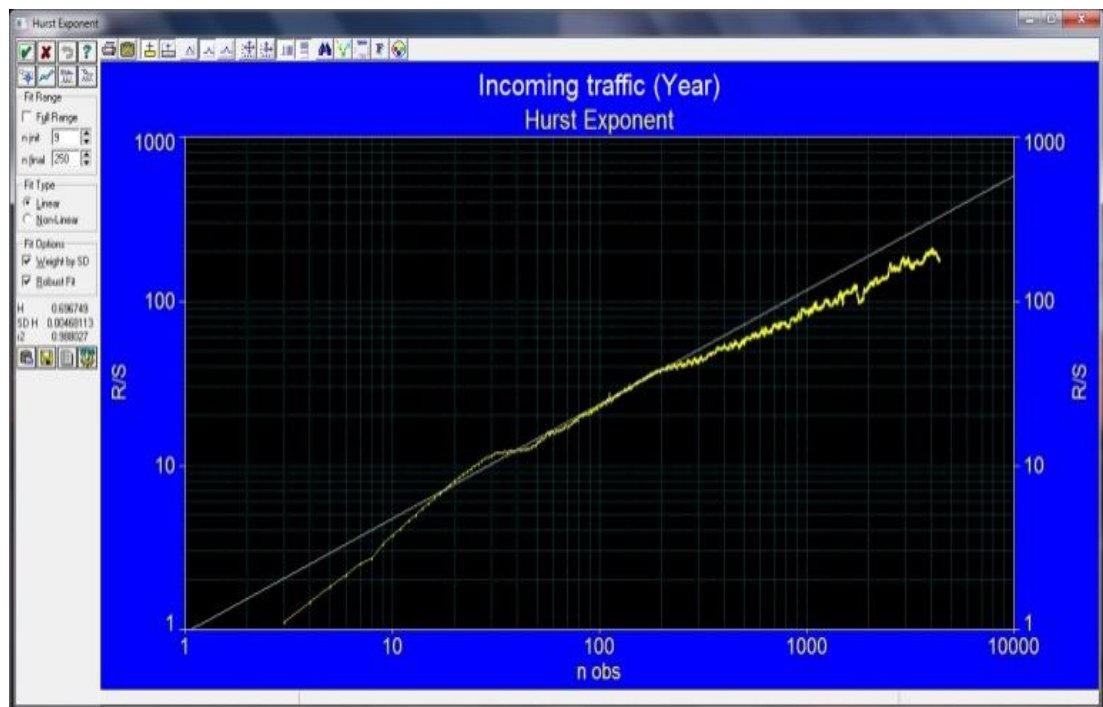


Рис. 3.6. Графік залежності $\log(R/S(n))$ від $\log(n)$ вихідного трафіка за рік

Виходячи з аналізу наведених таблиць, можна стверджувати, що трафік, що містить заявки на ІС (в даному випадку ІС «Телеголосування») – це самоподібний процес. Ефект самоподібності проявляється в широкому діапазоні часу – від декількох годин до року.

Проведені дослідження свідчать про те, що досить актуальною задачею є розробка аналітичної моделі ІН NGN, яка відповідає за управління наданням ІС, з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС.

3.4. Розробка аналітичної моделі інтелектуальної надбудови з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС

Представимо ІН як СМО) виду $M/M/1/m$.

Будемо спочатку вважати, що в ІН надходить однорідний потік заявок. Тоді рівень додатків можна описати у вигляді наступної СМО:

1. Система (рис. 3.7) містить один обслуговуючий прилад (П) та є *одноканальною*.
2. Потік заявок, що надходить в систему, *однорідний*. Хоча й існують заявки декількох класів, однак поки що вважатимемо, що λ та μ для них однакові (λ – інтенсивність надходження заявок, μ – інтенсивність обслуговування заявок).
3. Тривалість обслуговування заявок в приладі – величина *випадкова*.
4. Перед приладом є r місць для заявок, очікуючих на обслуговування і утворюючих чергу, тобто в системі є накопичувач *обмеженої* ємкості: $r = m$.

Припущення:

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.

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

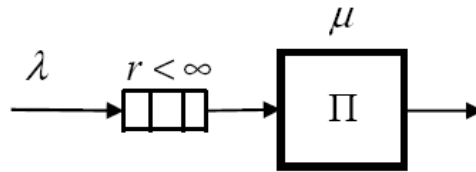


Рис. 3.7. СМО з накопичувачем обмеженої ємкості

СМО виду $M/M/1/m$ є класичною і досить дослідженою. Однак результати розрахунків у випадку з визначенням якості управління наданням ІС інтелектуальною надбудовою без урахування самоподібності трафіку в мережах NGN будуть мати значну похибку. Для врахування самоподібності трафіку введемо функцію $f(H)$, котра залежить від коефіцієнта самоподібності H (коефіцієнта Херста) і визначається як $f(H) = 2H$ [14, 79]. При $H=0,5$ властивість самоподібності відсутня. При зростанні H від 0.5 до 1 вплив самоподібності трафіку зростає.

Розрахуємо підкритерії ІН:

Завантаження системи ρ [14, 79]:

$$\rho = \frac{\alpha \cdot \lambda}{\mu} \quad (3.37)$$

де α – доля обслуженого трафіка.

$$\alpha = \frac{\lambda'}{\lambda} \quad (3.38)$$

Інтенсивність потоку обслужених заявок [14, 79]:

$$\lambda' = (1 - \overline{P_B}) \cdot \lambda \quad (3.39)$$

Довжина черги L [14, 79]:

$$L = \frac{\frac{\rho}{\pi} f(H)}{1 - \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+2}} \cdot \frac{\left\{ 1 - (m+1) \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^m + m \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+1} \right\}}{1 - \frac{\rho}{\pi} f(H)} \quad (3.40)$$

де π – вірогідність відсутності повторного запиту на ІС.

Загальний час обслуговування заявки на ІС інтелектуальною надбудовою T [14, 79]:

$$T = \frac{\overline{L}}{\lambda f(H)} + \frac{1}{\mu} = \frac{\frac{1}{\pi \mu}}{1 - \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+2}} \cdot \frac{\left\{ 1 - (m+1) \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^m + m \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+1} \right\}}{1 - \frac{\rho}{\pi} f(H)} + \frac{1}{\mu} \quad (3.41)$$

Ймовірність втрати заявки на ІС при переповненні черги P_B [14, 79]:

$$P_e = \frac{1 - \frac{\rho}{\pi} f(H)}{1 - \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+2}} \cdot \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+1} \quad (3.42)$$

Ускладнимо задачу та розглянемо ІН, в яку надходить K класів заявок на нові сервіси. Тоді рівень додатків можна описати у вигляді наступної СМО (рис. 3.8):

6. Система – *одноканальна*.
7. Вхідний потік заявок – *неоднорідний*: при цьому у систему надходить обмежена кількість класів заявок K .
8. Накопичувач для заявок – *з обмеженою ємністю*: $r = m$.
9. Дисципліна буферизації – *без витіснення* заявок: якщо при надходженні в систему заявки будь-якого класу накопичувач заповнений до кінця, то заявка втрачається
10. Дисципліна обслуговування – *в порядку надходження* за правилом «першим прийшов – першим обслужений» (FIFO).

Припущення:

3. Заявки K класів, що надходять в систему, утворюють *самоподібні* потоки з інтенсивностями $\lambda_1, \dots, \lambda_K$, відповідно.

4. Тривалість обслуговування заявок кожного класу розподілена по *експоненційному* закону з інтенсивностями $\mu_1 = 1/b_1, \dots, \mu_K = 1/b_K$ де $b_1, \dots, b_K$ – середня тривалість обслуговування заявок відповідного класу.

У СМО завжди існує стаціонарний режим, оскільки не може бути нескінченних черг.

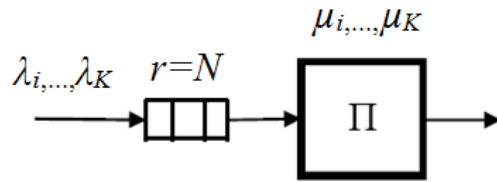


Рис. 3.8. СМО з накопичувачем обмеженої ємкості та K класами заявок

Аналітична модель представленої ІН матиме наступний вигляд:

Завантаження системи ρ [14]:

$$\rho = \sum_{i=1}^K \frac{x_i \cdot \alpha_i \cdot \lambda_i}{\mu_i} \quad (3.43)$$

де λ_i – інтенсивність заявок i -го класу ($i = \overline{1..K}$);

α_i – доля обслужених заявок i -го класу;

$$\alpha_i = \frac{\lambda'_i}{\lambda_i} \quad (3.44)$$

λ'_i – інтенсивність потоку обслужених заявок i -го класу;

x_i – доля i -го класу в загальному потоці заявок [14]:

$$x_i = \frac{\lambda_i}{\lambda}, \quad (3.45)$$

де $\lambda = \sum_{i=1}^K \lambda_i$ – сумарна інтенсивність всіх класів заявок.

Тоді довжина черги L [14]:

$$L = \frac{\frac{\rho}{\pi} f(H)}{1 - \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+2}} \cdot \frac{\left\{ 1 - (m+1) \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^m + m \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+1} \right\}}{1 - \frac{\rho}{\pi} f(H)} - \frac{\rho}{\pi} f(H) \quad (3.46)$$

де π – вірогідність відсутності повторного запиту на ІС для всіх класів заявок.

Загальний час обслуговування заявки на інтелектуальний сервіс ІН T [14]:

$$T = \frac{\bar{L} + \frac{\rho}{\pi} f(H)}{f(H) \cdot \sum_{i=1}^K x_i \cdot \lambda_i} + \frac{1}{\mu} = \frac{\frac{1}{\pi \mu}}{1 - \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+2}} \cdot \frac{\left\{ 1 - (m+1) \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^m + m \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+1} \right\}}{1 - \frac{\rho}{\pi} f(H)} + \frac{1}{\mu} \quad (3.47)$$

де $\bar{\mu}$ – усереднене значення інтенсивності обслуговування заявок на ІС [14]:

$$\bar{\mu} = \sum_{i=1}^K \frac{\sigma_i \mu_i}{K} \quad (3.48)$$

σ_i – доля обслужених заявок i -го класу [14]:

$$\sigma_i = \frac{\lambda'_i}{\lambda'} \quad (3.49)$$

Ймовірність втрати заявки на ІС при переповненні черги P_ϵ [14]:

$$P_e = \frac{1 - \frac{\rho}{\pi} f(H)}{1 - \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+2}} \cdot \left[\frac{\rho}{\pi} f(H) \right]^{m+1} \quad (3.50)$$

Висновки до третього розділу

1. Для розрахунку підкритеріїв ефективності управління наданням ІС запропонована аналітична модель ІН у вигляді СМО $M/M/1/m$, коли всі заявки на обслуговування мають однаковий пріоритет. Представлена також ІН у вигляді системи масового обслуговування $M/M/1/3$ для трьох класів заявок – клас заявок на ІС, що потребує роботи з відео потоком; клас заявок на НСД, що потребує роботи з передачею мови; клас заявок на НСД, що працює з даними.

2. Показана актуальність питання визначення ефекта самоподібності трафіку, що містить заявки на ІС. На основі аналізу існуючих методів визначення показника Хьорста для вхідного часового ряду обраний R/S метод, що не потребує занадто великого обсягу обчислень і дозволяє аналізувати велику кількість даних. Окрім того, існує спеціальне програмне забезпечення для реалізації R/S методу.

3. Проаналізовано дані для сервера на прикладі ІС «Телеголосування». Досліджено трафік впродовж року, місяця, протягом тижня, за добу. Визначено, що трафік, що містить заявки на ІС – це самоподібний процес. Ефект самоподібності проявляється в широкому діапазоні часу – від декількох годин до року.

4. Уперше розроблено аналітичну модель інтелектуальної надбудови з централізованим принципом управління наданням ІС з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС, що надає можливість визначити потрібні

мережні ресурси для забезпечення необхідного значення ефективності управління наданням ІС.

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ НАДАННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СЕРВІСІВ В NGN

4.1. Використання імітаційних моделей для дослідження інтелектуальних надбудов

В розділі 3 були запропоновані аналітичні моделі інтелектуальних надбудов як без врахування, так і з врахуванням самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси. При цьому зазначалося, що створення аналітичних моделей більш складних інтелектуальних надбудов несе за собою певні ускладнення у зв'язку з трудомісткістю процесу. В такому випадку для визначення підкритеріїв ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів можна скористатися імітаційним моделюванням інтелектуальних надбудов, для яких розроблені аналітичні моделі, порівняти результати, отримані при їх використанні і при незначних похибках надалі використовувати імітаційні моделі у випадку складності створення аналітичних моделей.

Дамо визначення терміну моделювання. Заміщення одного об'єкту іншим з метою отримання інформації про найважливіші властивості об'єкта-оригіналу за допомогою об'єкту-моделі називається моделюванням. Таким чином, моделювання може бути визначене як заміщення об'єкту моделлю для отримання інформації про цей об'єкт шляхом проведення експериментів з його моделлю. Теорія заміщення одних об'єктів (оригіналів) іншими об'єктами (моделями) і дослідження властивостей об'єктів на їх моделях називається теорією моделювання [31, 100, 112]. В нашому випадку моделюємо процеси управління наданням інтелектуальних сервісів інтелектуальними надбудовами.

Для моделювання інтелектуальних надбудов у вигляді СМО на ПК доцільно скористатися *GPSS*, *AnyLogic* або *NS2*.

GPSS (General Purpose Simulation System) – загально-цільова система імітаційного моделювання, призначена для розробки моделей складних систем з дискретним і безперервним характером функціонування.

NS (network simulator) – назва ряду мережних симуляторів дискретних подій, зокрема, *NS-1*, *NS-2* та *NS-3*. Всі вони є дискретно-подієвими комп'ютерними мережними тренажерами.

AnyLogic – програмне забезпечення для імітаційного моделювання бізнес-процесів. Інструмент забезпечений сучасним графічним інтерфейсом та дозволяє використовувати мову програмування Java для розробки моделей.

При моделюванні інтелектуальних надбудов без врахування самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси доцільно скористатися *GPSS*, оскільки ця система досить проста, процес моделювання не трудомісткий, дає точні результати.

4.2. Розробка імітаційної моделі інтелектуальної надбудови з одним класом заявок та без урахування самоподібності трафіку

Представимо таку ІН у вигляді одноканальної СМО з накопичувачем обмеженою ємності ($M/M/1/r$). В такому випадку отримаємо.

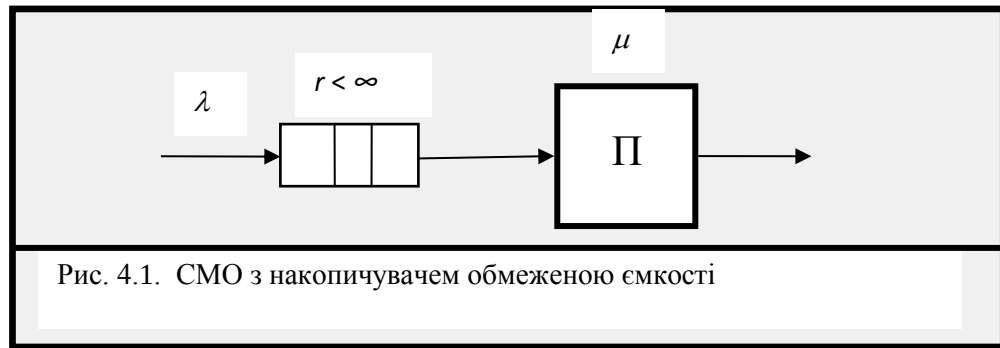
1. Опис системи

1.1. Система (рис.4.1) містить один обслуговуючий прилад (П), тобто є одноканальною.

1.2. Потік заявок, що надходять у систему, однорідний.

1.3. Тривалість обслуговування заявок в приладі – величина випадкова.

1.4. Перед приладом мається r місць для заявок, які очікують обслуговування і утворюють чергу, тобто в системі є накопичувач обмеженої ємності: $r < \infty$.



2. Припущення і допущення

2.1. Заявки, що надходять в систему, утворюють найпростіший потік з інтенсивністю λ .

2.2. Тривалість обслуговування заявок в приладі розподілена за експоненційним законом з інтенсивністю $\mu = 1/b$, де b – середня тривалість обслуговування заявок в приладі.

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

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

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

Аналітичну модель описаної інтелектуальної надбудови представлено в підрозділі 3.1.

Для побудови імітаційної моделі, як вже зазначалося, скористаємося загально-цільовою системою імітаційного моделювання *GPSS*. Будемо вважати, що довжина черги обмежена $r = 4$.

Алгоритм функціонування інтелектуальної надбудови з заданими параметрами представлено на рис. 4.2.

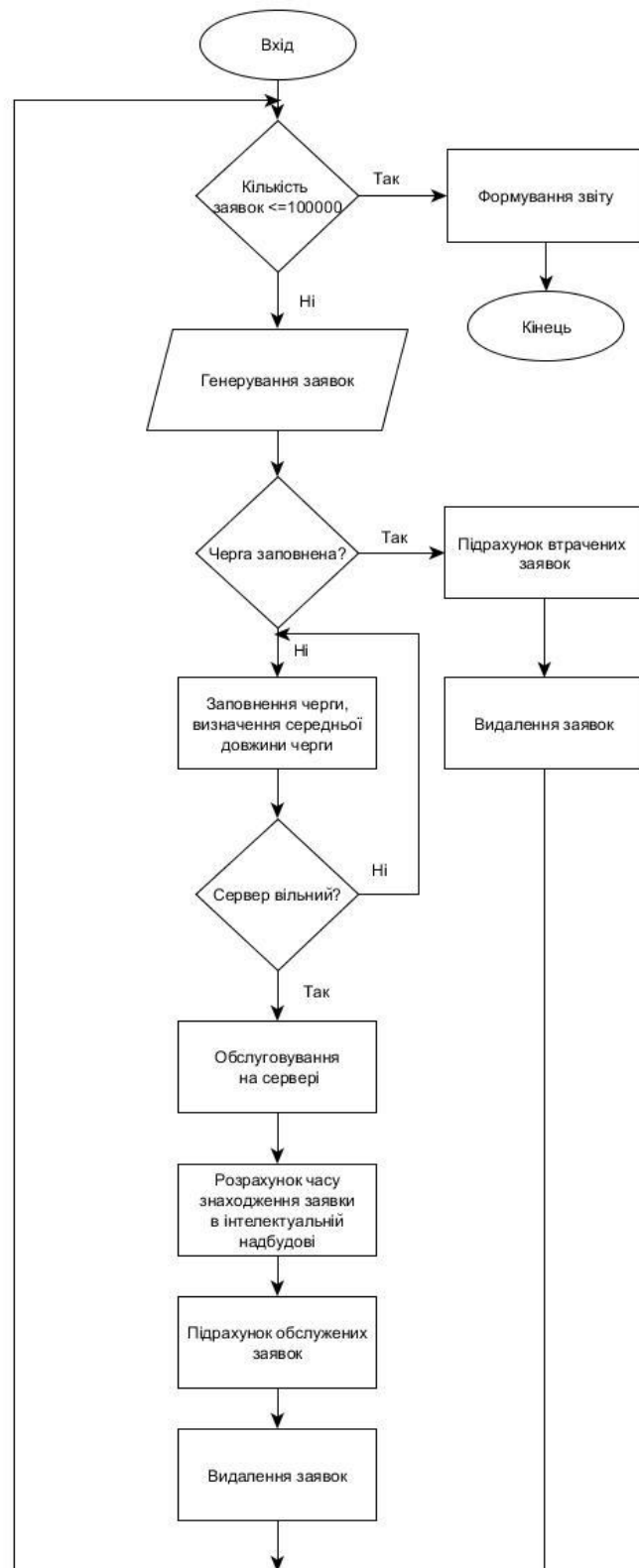


Рис. 4.2. Алгоритм функціонування інтелектуальної надбудови

Реалізація процесу моделювання полягає в переміщенні в моделі деяких рухомих об'єктів, так званих транзактів. В нашому випадку в якості транзактів виступають заявки на інтелектуальні сервіси. Транзакти послідовно переміщаються від блоку до блоку в заданій алгоритмом моделювання послідовності. Транзакти створюються і знищуються в моделі за допомогою операторів (блоків): **GENERATE** і **TERMINATE**. На початку моделювання в GPSS-моделі немає жодного транзакта. У процесі моделювання транзакти формуються в моделі в певні моменти часу відповідно до умов, заданих за допомогою блоку **GENERATE**.

Призначення оператора **GENERATE**: генерування транзактів відповідно до заданих правилом формування інтервалів між транзактами.

Формат оператора [25, 71]:

GENERATE [A][B][C][D][E]

Значення операндів:

A – середній інтервал часу між транзактами, що генеруються або імовірнісний розподіл інтервалу з вбудованої бібліотеки процедур, поміщений в круглі дужки; [за умовчанням – нуль];

B – величина напівінтервалу рівномірно розподіленого інтервалу або модифікатор таблично заданої функції; [за умовчанням – нуль];

C – зміщення – момент формування першого транзакта; [за умовчанням – нуль];

D – обмежувач – число транзактів, що генеруються даним оператором; [за умовчанням – не обмежено];

E – рівень пріоритету від 0 до 127 (чим більше номер, тим вище пріоритет); [за умовчанням – нуль].

Оскільки час надходження заявок розподілений за експоненційним законом, то в якості першого операнда слід використати бібліотечну функцію **EXPONENTIAL (G,Min,Mean)**. Тут G – номер генератора рівномірно розподілених випадкових чисел (від 1 до 999) – використовується як аргумент для формування випадкових величин із заданим законом розподілу, Mean – математичне очікування (середнє значення) випадкової величини, розподіленої за експоненційним законом, Min – зміщення розподілу щодо нуля (мінімальне значення випадкової величини) [25, 71].

Тоді для генерування заявок оператор буде мати вигляд **GENERATE (Exponential(1,0,1/λ))**.

Наступним елементом системи, до якого потрапляють заявки є черга. Черга – об'єкт, котрий використовується для накопичення транзактів, що знаходяться в стані очікування якоїсь події. В нашому випадку при моделюванні інтелектуальної надбудови черга використовується для імітації процесів очікування перед обслуговуванням на сервері. Насправді транзакти, чекаючи звільнення серверу, заносяться в список затримки відповідного серверу (приладу), при цьому формування списків затримки, тобто занесення в чергу і видалення з черги відбувається автоматично, незалежно від наявності операторів **QUEUE** і **DEPART**. Останні використовуються тільки з метою збору статистики по чергам шляхом фіксації моментів надходження транзакта в чергу і видалення його з черги [25]. Для перевірки вільного місця в черзі доцільно скористатися оператором:

TEST X A,B,[C]

Призначення оператора: перевірка значення і передача активного транзакта в блок, відмінний від подальшого, якщо вказана умова не виконується.

Значення операндів:

A – значення, що перевіряється;

B – контрольне значення;

C – ім'я (мітка) блоку призначення **C**; [за умовчанням – режим відмови];

X – оператор відношення, що визначає умову перевірки операнда **A** з операндом **B**. Значення оператора **X** представлені в таблиці 4.1 [25, 71].

Таблиця 4.1

Значення оператора **X**

Значення X	Інтерпретація в сенсі блоку TEST
G	A більше B ?
GE	A більше або рівне B ?
E	A рівне B ?
NE	A не рівне B ?
LE	A менше або рівне B ?
L	A менше B ?

В нашому випадку існує єдина черга з назвою **1**. За довжину черги відповідає стандартний системний числовий атрибут **Q**. Як вже зазначалося довжина черги $r=4$. Тоді оператор для перевірки вільного місця в черзі для заявок матиме вигляд: **TEST L Q1,4,M**. У разі заповнення черги заявка передається до мітки **M** для підрахунку необслужених заявок та їх видалення.

При існуючих припущеннях та обмеженнях сервер необхідно моделювати за допомогою приладу. Прилади (одноканальні пристрої) – об'єкти, які можуть знаходитися в одному з двох станів: вільному або зайнятому. При моделюванні систем масового обслуговування використовуються для імітації процесів заняття і звільнення приладу, тобто для моделювання одноканальних СМО;

заняття і звільнення приладу транзактом виконується за допомогою операторів **SEIZE** і **RELEASE** [25, 71].

Для імітації часу обслуговування заявки сервером доцільно скористатися оператором **ADVANCE**.

Призначення оператора: затримка транзакта на заданий час.

Формат оператора:

ADVANCE [A][B]

Значення операндів:

A – середній час затримки або імовірнісний розподіл з вбудованої бібліотеки процедур, поміщеної в круглі дужки; [за умовчанням – нуль];

B – величина напівінтервалу рівномірно розподіленого інтервалу затримки або модифікатор таблично заданої функції; [за умовчанням – нуль] [25, 71].

Середній час затримки розподілений також за експоненційним законом. Тоді для моделювання часу обслуговування заявки на сервері оператор матиме вигляд **ADVANCE (Exponential(1,0,b))**.

Для визначення загального часу обслуговування заявки (часу перебування заявки в системі) необхідно скористатися оператором **TABULATE**. З його допомогою в таблицю буде заноситися стандартний системний числовий атрибут **M1** – резидентний час транзакта (абсолютний модельний час мінус час появи транзакта в моделі).

Транзакти покидають модель (знищуються), потрапляючи у блок **TERMINATE**. Функціонування моделі припиняється після надходження до неї необхідної кількості заявок, котра визначається користувачем.

По завершенню моделювання результати формуються автоматично у вигляді стандартного звіту, котрий містить значення середньої довжини черги,

часу знаходження заявки в системі. Ймовірність блокування заявки можна розрахувати як відношення кількості необслужених заявок до кількості обслужених, використовуючи для підрахунку та видалення кожної з них окремі блоки **TERMINATE**.

Імітаційну модель ІН, що обслуговує один клас заявок без врахування самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси представлено в додатку В.

Скористаємося отриманою в підрозділі 3.1 аналітичною та в підрозділі 4.2 імітаційною моделями для інтелектуальної надбудови .

Змінюючи значення інтенсивності потоку заявок на інтелектуальні сервіси λ , будемо порівнювати результати, отримані за допомогою аналітичної та імітаційної моделей. Результати тестування внесені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати тестування аналітичної та імітаційної моделей інтелектуальної надбудови

	r	λ	μ	a	b	ρ	P_e	L	T
Аналітична	4	4	8	0,25	0,128	0,492	0,016	0,413	0,23
Імітаційна	4	4	8	0,25	0,128	0,500	0,018	0,445	0,24
Аналітична	4	6	8	0,17	0,128	0,696	0,072	1,005	0,306
Імітаційна	4	6	8	0,17	0,128	0,698	0,072	1,009	0,315
Аналітична	4	10	8	0,1	0,128	0,911	0,271	2,22	0,43
Імітаційна	4	10	8	0,1	0,128	0,919	0,285	2,29	0,45
Аналітична	4	15	8	0,07	0,128	0,979	0,478	3,019	0,51
Імітаційна	4	15	8	0,07	0,128	0,978	0,467	2,988	0,52

В результаті тестування моделей на основі табл. 4.2 було встановлено, що різниця результатів, отриманих за допомогою аналітичної та імітаційної моделей становить в середньому 1%.

Отримані значення похибки дозволяють говорити про достовірність та ідентичність результатів, отриманих за допомогою аналітичної та імітаційної моделей. Це твердження дозволяє в тих випадках, коли інтелектуальна надбудова має досить складну структуру і практичне використання її аналітичної моделі пов'язане з певними труднощами, використовувати імітаційну модель.

4.3. Розробка імітаційної моделі інтелектуальної надбудови з трьома класами заявок з відносними пріоритетами та без урахування самоподібності трафіку

Представимо ІН у вигляді системи масового обслуговування $M/M/1/3$.

Опис системи (рис. 4.3):

11. Система – *одноканальна*.
 12. Вхідний потік заявок – *неоднорідний*: при цьому у систему надходить обмежена кількість класів (три класи) заявок.
 13. Накопичувач для заявок – *обмеженою ємністю* $m = 3$.
 14. Дисципліна буферизації – *без витіснення* заявок: якщо при надходженні в систему заявки будь-якого класу накопичувач заповнений до кінця, то заявка втрачається.
 15. Дисципліна обслуговування – *з відносними пріоритетами*.
- Припущення:
5. Заявки трьох класів, що надходять в систему, утворюють *найпростіші* потоки з інтенсивностями λ_1 , λ_2 та λ_3 , відповідно.

6. Тривалість обслуговування заявок кожного класу розподілена по експоненційному закону з інтенсивностями $\mu_1 = 1/b_1$, $\mu_2 = 1/b_2$, $\mu_3 = 1/b_3$, де b_1 , b_2 і b_3 – середня тривалість обслуговування заявок класу 1, 2 і 3, відповідно.

У СМО завжди існує стаціонарний режим, оскільки не може бути нескінченних черг [25].

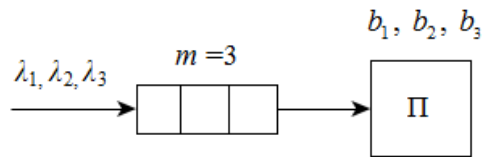


Рис. 4.3. Представлення ІН у вигляді СМО виду М/М/1/3 з пріоритетами

Аналітична модель ІН, що розглядається, представлена в підрозділі 3.3. Для побудови імітаційної моделі також скористаємося середовищем GPSS.

Представимо алгоритм (правила) функціонування ІН (рис. 4.4). Для досягнення необхідної точності результатів модель повинна працювати протягом певного часу або до неї має надійти відповідна кількість заявок. Спочатку відбувається генерування заявок трьох класів з різними пріоритетами, які надходять до системи. Система перевіряє, чи є місце в черзі. Якщо місця немає, то заявка втрачається. Ведеться підрахунок втрачених заявок першого, другого та третього класів, що є необхідним для розрахунку ймовірності блокування. Якщо ж місце в черзі є, то заявка потрапляє до черги і перевіряється, чи вільний сервер. Якщо сервер вільний, то заявка, не чекаючи в черзі, обслуговується. Інакше поки що залишається в черзі на першому місці доти, поки не надійде заявка з вищим пріоритетом. Паралельно відбувається підрахунок середньої довжини черги та часу знаходження у черзі заявки кожного класу. Після обслуговування заявки відбувається розрахунок часу знаходження заявки в системі, визначення кількості обслужених заявок та їх видалення.

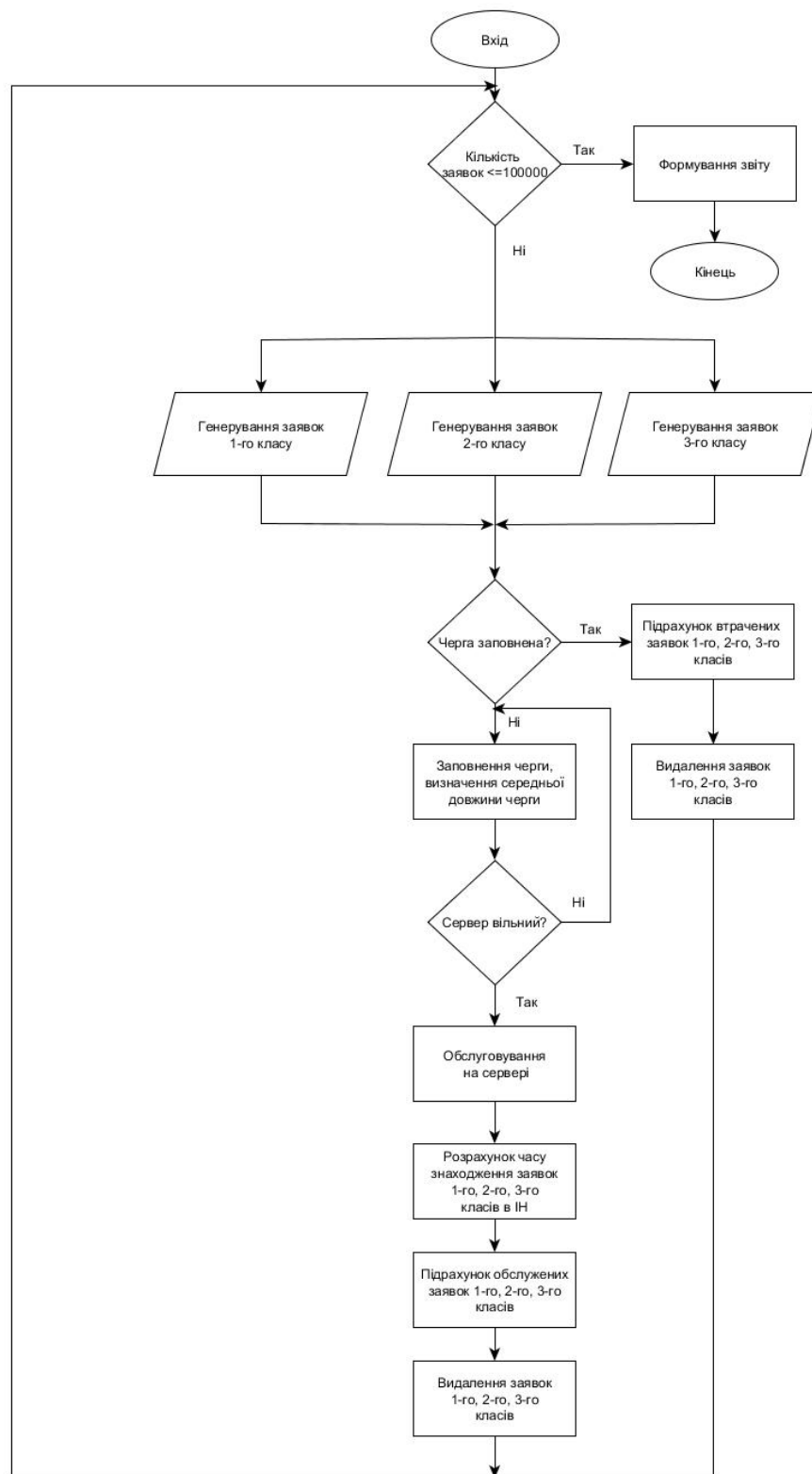


Рис. 4.4. Алгоритм функціонування ІН

Імітаційна модель буде містити три модулі – окремий модуль для кожного класу. Оскільки час надходження заявок розподілений за експоненційним законом, то в якості першого операнда в кожному з модулів слід використати бібліотечну функцію **EXPONENTIAL**. Тоді для генерування заявок першого класу оператор буде мати вигляд **GENERATE (Exponential(1,0,1/ λ_1)),,,,5**, для другого класу – **GENERATE (Exponential(1,0,1/ λ_2)),,,,3**, для третього класу – **GENERATE (Exponential(1,0,1/ λ_3))**.

В нашому випадку існує єдина черга з назвою **1**. За довжину черги відповідає стандартний системний числовий атрибут **Q**. Як вже зазначалося довжина черги $r=3$. Тоді оператор для перевірки вільного місця в черзі для заявок матиме вигляд: **TEST L Q1,3,M**. У разі заповнення черги заявка передається до мітки **M** для підрахунку необслужених заявок та їх видалення. Оператор **TEST** необхідно розмістити у кожному з трьох модулів.

Імітація обслуговування на сервері в кожному модулі описується операторами **SEIZE**, **RELEASE** та **ADVANCE**.

Для визначення часу знаходження в черзі та загального часу обслуговування заявки (часу перебування заявки в системі) необхідно скористатися операторами **TABULATE**.

По завершенню моделювання результати формуються автоматично у вигляді стандартного звіту, котрий містить значення середньої довжини черги, часу знаходження заявки в системі для кожного класу. Ймовірність блокування заявки можна розрахувати як відношення кількості необслужених заявок до кількості обслужених, використовуючи для підрахунку видалення кожної з них окремі блоки **TERMINATE**. Імітаційну модель ІН, що обслуговує три класи заявок з відносними пріоритетами, представлено в додатку Г.

Моделювання будь-якої ІН з іншими параметрами відбувається подібним чином.

4.4. Розробка імітаційної моделі інтелектуальної надбудови з урахуванням самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси

Для моделювання ІН з урахуванням самоподібності потоку заявок на інтелектуальні сервіси використаємо «Network Simulator-2» (NS-2). У порівнянні з іншими системами імітаційного моделювання – Cisco Packet Tracer, Riverbed Modeler (у минулому OPNET), OMNeT++, QualNet, SimPy, AnyLogic, GPSS та іншими – NS-2 вигідно відрізняється вдалою комбінацією низки характеристик: безкоштовністю, широкими можливостями, відкритою архітектурою, наявністю засобів анімації модельних процесів тощо.

При генеруванні заявок на ІС необхідно вказати 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 генерують самоподібний трафік.

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

Об'єкт Traffic/Pareto – ON/OFF генератор трафіку згідно розподіленню Парето. 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:

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

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

Щільність розподілення Парето задається функцією:

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

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

Середнє значення випадкової величини визначається з формули:

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

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):

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

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 змінюється в залежності від її розміру. 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 імітаційна модель ІН, що містить 100 абонентських вузлів 0 – 99, які генерують мережний трафік, один Softswitch, а також сервер, який складається з основного вузла і допоміжного вузла, введенного для реалізації певного алгоритму обробки заявок.

Імітаційна модель реалізована в системі NS-2 у вигляді сценарію мовою TCL. Блок-схема алгоритму цього сценарію наведена на рис. 4.5. Повний текст сценарію наведений у Додатку Д.

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]
```

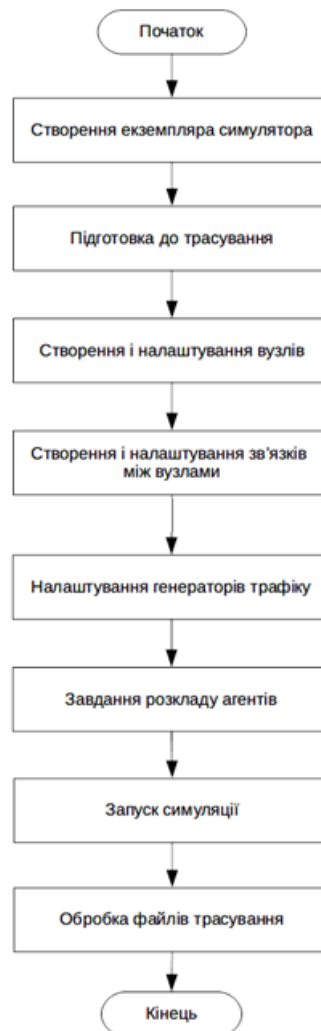



Рис. 4.3. Загальний алгоритм сценарію моделювання ІН в системі NS-2

В описаних командах S_c – кількість абонентів;

S_j – номер вузла Softswitch;

S_m – номер вузла сервера обслуговування;

S_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 добуток 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.

4.5. Оцінка ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів

Використаємо імітаційні моделі без врахування та з врахуванням самоподібності трафіку, запропоновані в даному розділі для інтелектуальної надбудови, що обслуговує один клас заявок на ІС для розрахунку підкритеріїв ефективності управління наданням ІС.

Використовуючи вирази 2.3-2.6, розрахуємо комплексний критерій та порівняємо оцінку ефективності управління наданням ІС з врахуванням та без врахування самоподібності трафіку.

При моделюванні ІН будемо вважати, що сервери мають постійний середній час обслуговування заявки, тобто час від початку обслуговування на сервері до завершення, не враховуючи час очікування в черзі. Довжина черги $r=2$. Змінюватимемо значення часу обслуговування заявок на ІС b . Результати моделювання представлено в таблиці 4.3 та таблиці 4.4.

Таблиця 4.3

Результати імітаційного моделювання інтелектуальної надбудови без врахування самоподібності потоку заявок на ІС

λ	4	6	8	10	15	30
μ	8	8	8	8	8	8
P_e	0.006	0.019	0.039	0.064	0.126	0.312
L	0.224	0.339	0.443	0.525	0.651	0.76
T	0.265	0.266	0.266	0.256	0.233	0.188

Таблиця 4.4

Результати імітаційного моделювання інтелектуальної надбудови з
врахуванням самоподібності потоку заявок на ІС

λ	4	6	8	10	15	30
μ	8	8	8	8	8	8
H	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
P_e	0.154	0.296	0.415	0.5	0.62	0.774
L	0.686	0.759	0.738	0.697	0.587	0.393
T	0.239	0.209	0.187	0.171	0.151	0.134

Використовуючи таблиці 4.3 та 4.4, побудуємо графіки, що відображають залежність значення підкритеріїв з врахуванням та без врахування самоподібності трафіку від інтенсивності надходження заявок на ІС – λ .

На рис. 4.4 представлено графіки залежності ймовірності відмови в наданні ІС P_e з врахуванням та без врахування самоподібності трафіку від інтенсивності надходження заявок на ІС. Як видно з графіків, ймовірність відмови в наданні сервісу P_e при врахуванні самоподібності потоку на ІС завжди більша ніж без врахування. Максимальна різниця, виходячи з отриманих даних, становить порядку 80% при значенні $\lambda = 15\text{--}30$ од./год. Тобто в реальній мережі буде втрачатися значно більше заявок, ніж при визначенні без врахування самоподібності трафіку за допомогою імітаційного чи аналітичного моделювання.

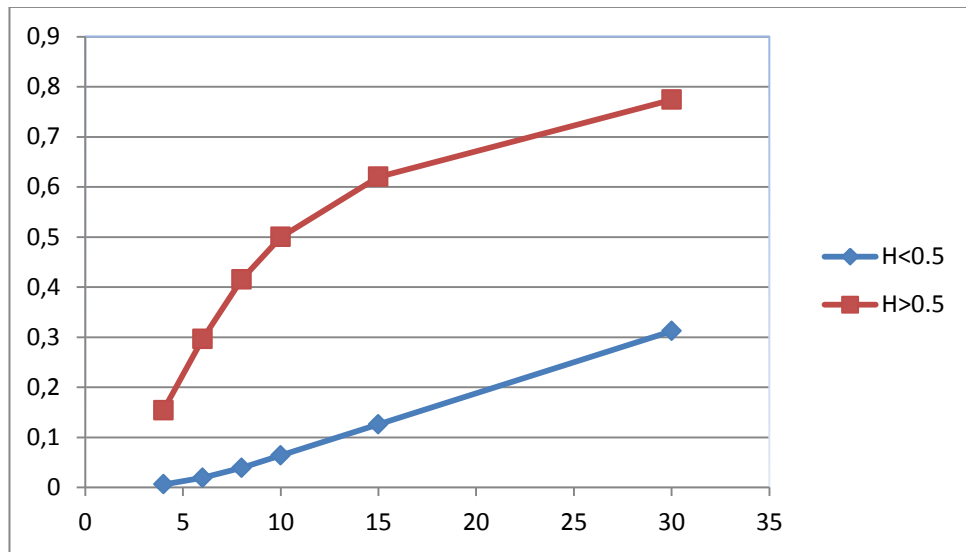


Рис. 4.4. Графіки залежності ймовірності відмови в наданні ІС від інтенсивності надходження заявок

На рис. 4.5 представлено графіки залежності довжини черги L при сервері з врахуванням та без врахування самоподібності трафіку від інтенсивності надходження заявок на ІС. Як видно з графіків, при значенні $\lambda < 15$ од./год. довжина черги L для самоподібного трафіку більша, ніж для експоненційного (максимальне відхилення складає порядку 65 % при значенні $\lambda = 5$ од./год., але починаючи зі значення $\lambda = 15$ од./год. і при подальшому збільшенні значення λ довжина черги L для самоподібного трафіку поступово стає меншою, ніж для експоненційного. Це пов'язано з характером трафіку (фрактальність), а також з тим, що істотно збільшується показник – ймовірність втрати заявки P_e для самоподібного трафіку (рис. 4.4).

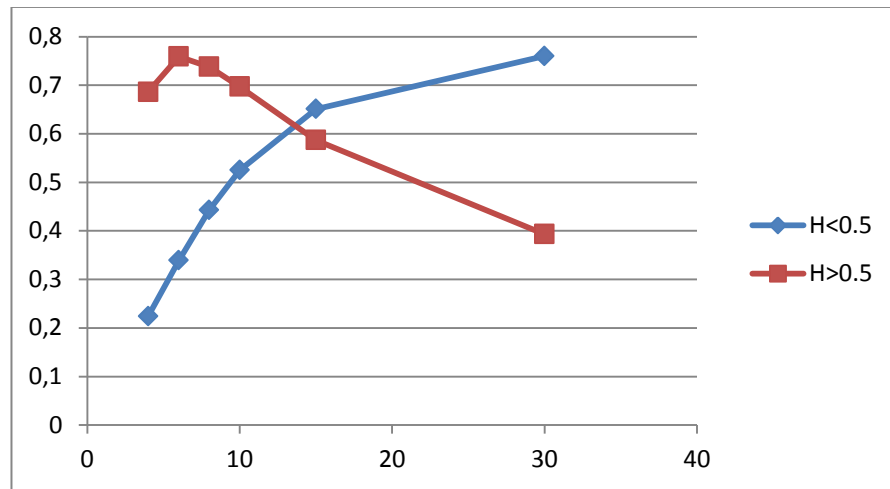


Рис. 4.5. Графіки залежності довжина черги при сервері від інтенсивності надходження заявок

На рис. 4.6 представлено графіки залежності часу обслуговування заявки в ІН T з врахуванням та без врахування самоподібності трафіку від інтенсивності надходження заявок на ІС. Як видно з графіків час обслуговування спочатку буде майже однаковим. При збільшенні інтенсивності надходження заявок на ІС суттєво зростає ймовірність втрати заявки P_e при врахуванні самоподібності трафіку і, відповідно, зменшується середній час обслуговування.

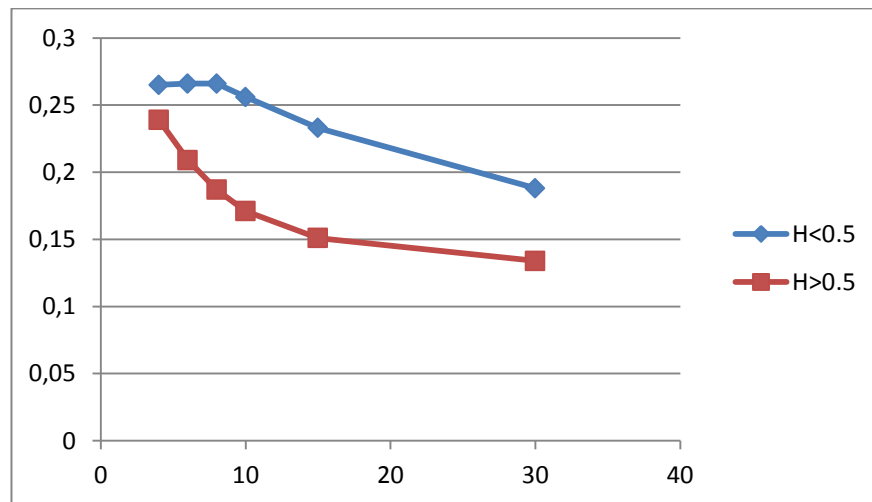


Рис. 4.6. Графіки залежності часу обслуговування заявки в ІН від інтенсивності надходження заявок

Використовуючи значення, коли ІН слабо навантажена (третій стовбець таблиць 4.3 та 4.4) та коли ІН перенавантажена (шостий стовбець таблиць 4.3 та 4.4) розрахуємо значення комплексного критерію ефективності. Поточні значення та значення для нормування підкритеріїв при слабкому навантаженні представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5

Поточні значення та значення для нормування підкритеріїв

Підкритерії якості	Значення для нормування	Поточне значення без врахування самоподібності	Поточне значення з врахуванням самоподібності
1. Час надання сервісу T	0,5 с	0,266 с	0,209 с
2. Довжина черги L	2	0,339	0,759
3. Ймовірність відмови в наданні сервісу P_v	0,8	0.019	0,296
4. Структурна та функціональна живучість $P_{сфж}$	70%	95%	95%
5. Структурна надійність $P_{сн}$	70%	90%	90%
6. Вартість інтелектуальної надбудови C	5млн. у.о.	3млн. у.о.	3млн. у.о.

Розрахуємо значення комплексного критерію ефективності без врахування самоподібності потоку заявок на ІС:

$$K'_1 = \frac{0,5}{0,266} = 1,88; K'_2 = \frac{0,8}{0,019} = 42; K'_3 = \frac{2}{0,339} = 5,9$$

(4.5)

$$K'_4 = \frac{95}{70} = 1,34; K'_5 = \frac{90}{70} = 1,28; K'_6 = \frac{5}{3} = 1,67$$

$$F = 0.2 \cdot 1.88 + 0.3 \cdot 42 + 0.17 \cdot 5.9 + 0.115 \cdot 1.34 + 0.115 \cdot 1.28 + 0.1 \cdot 1.67 = 14.446 \quad (4.6)$$

Розрахуємо значення комплексного критерію ефективності з врахуванням самоподібності потоку заявок на ІС:

$$K'_1 = \frac{0,5}{0,209} = 2,39; \quad K'_2 = \frac{0,8}{0,296} = 2,7; \quad K'_3 = \frac{2}{0,759} = 2,63 \quad (4.7)$$

$$K'_4 = \frac{95}{70} = 1,36; \quad K'_5 = \frac{90}{70} = 1,28; \quad K'_6 = \frac{5}{3} = 1,67$$

$$F = 0.2 \cdot 2.39 + 0.3 \cdot 2.7 + 0.17 \cdot 2.63 + 0.115 \cdot 1.34 + 0.115 \cdot 1.28 + 0.1 \cdot 1.67 = 2.205 \quad (4.8)$$

Критерій ефективності повинен мати як можна більше значення. Розрахунки (4.5)-(4.8) показують, що неврахування самоподібності потоку заявок на ІС призводить до занадто оптимістичних результатів. Значення критерію ефективності управління наданням ІС без врахування та з врахуванням самоподібності трафіку при слабкому навантаженні ІН відрізняється на 85%, що досить суттєво впливає на прийняття рішення під час проектування NGN.

Проведемо розрахунки для випадку, коли ІН перевантажена. Поточні значення та значення для нормування підкритеріїв при перенавантаженні представлено в табл. 4.6

Таблиця 4.6

Поточні значення та значення для нормування підкритеріїв

Підкритерії якості	Значення для нормування	Поточне значення без врахування самоподібності	Поточне значення з врахуванням самоподібності
1. Час надання сервісу T	0,5 с	0,233 с	0,151 с
2. Довжина черги L	2	0,651	0,587
3. Ймовірність відмови в наданні сервісу P_6	0,8	0.126	0,62
4. Структурна та функціональна живучість $P_{сфж}$	70%	95%	95%
5. Структурна надійність $P_{сн}$	70%	90%	90%
6. Вартість інтелектуальної надбудови C	5млн. у.о.	3млн. у.о.	3млн. у.о.

Розрахуємо значення комплексного критерію ефективності без врахування самоподібності потоку заявок на ІС при перенавантаженні ІН:

$$K'_1 = \frac{0,5}{0,233} = 2,14; K'_2 = \frac{0,8}{0,126} = 6,35; K'_3 = \frac{2}{0,651} = 3 \quad (4.9)$$

$$K'_4 = \frac{95}{70} = 1,34; K'_5 = \frac{90}{70} = 1,28; K'_6 = \frac{5}{3} = 1,67$$

$$F = 0.2 \cdot 2.14 + 0.3 \cdot 6.35 + 0.17 \cdot 3 + 0.115 \cdot 1.34 + 0.115 \cdot 1.28 + 0.1 \cdot 1.67 = 3.308 \quad (4.10)$$

Порівнюючи значення, отримані в виразах 4.6 та 4.10 можна стверджувати, що при зростанні інтенсивності надходження заявок на ІС ефективність управління наданням ІС погіршується.

Розрахуємо значення комплексного критерію ефективності з врахуванням самоподібності потоку заявок на ІС при перенавантаженні ІН:

$$K'_1 = \frac{0,5}{0,151} = 3,31; K'_2 = \frac{0,8}{0,62} = 1,29; K'_3 = \frac{2}{0,587} = 3,4 \quad (4.11)$$

$$K'_4 = \frac{95}{70} = 1,36; K'_5 = \frac{90}{70} = 1,28; K'_6 = \frac{5}{3} = 1,67$$

$$F = 0,2 \cdot 3,31 + 0,3 \cdot 1,29 + 0,17 \cdot 3,4 + 0,115 \cdot 1,34 + 0,115 \cdot 1,28 + 0,1 \cdot 1,67 = 2,052 \quad (4.12)$$

Як вже зазначалося, критерій ефективності повинен мати як можна більше значення. Розрахунки (4.9)-(4.12) також доводять, що неврахування самоподібності потоку заявок на ІС призводить до оптимістичних результатів. Значення критерію ефективності управління наданням ІС без врахування та з врахуванням самоподібності трафіку при перенавантаженні ІН відрізняється на 38%. Таке відхилення значно менше ніж при слабко навантаженій ІН, однак, все таки досить суттєве для прийняття рішень при проектуванні NGN.

Значення, отримані в виразах (4.8) та (4.12) підтверджують, що при зростанні інтенсивності надходження заявок на ІС ефективність управління наданням ІС погіршується.

Висновки до четвертого розділу

1. Набули подальшого розвитку методи побудови імітаційних моделей процесів управління наданням інтелектуальних сервісів інтелектуальною надбудовою, які, на відміну від існуючих, дозволяють урахувати самоподібність трафіку на ІС.

2. На підставі аналізу алгоритмів функціонування ІН запропоновано її імітаційні моделі. Для імітаційного моделювання використано GPSS (General Purpose Simulation System) – загально-цільову систему імітаційного моделювання, призначену для розробки моделей складних систем з дискретним і безперервним характером функціонування у тих випадках, коли не враховується самоподібність потоку заявок на ІС та Network Simulator-2 (NS-2) – у тих випадках, коли враховується самоподібність потоку заявок на ІС. Визначено способи моделювання окремих елементів ІН.

3. В результаті тестування аналітичних та імітаційних моделей було встановлено, що різниця результатів, отриманих за допомогою аналітичних та імітаційних моделей становить в середньому 1%, що дозволяє вважати результати імітаційного моделювання вірогідними. Тому в тих випадках, коли ІН має досить складну структуру і практичне використання її аналітичних моделей пов'язане з певними труднощами, використовувати імітаційні моделі.

4. Запропоновано імітаційні моделі ІН з одним класом заявок без урахування самоподібності трафіку, з трьома класами заявок з відносними пріоритетами без урахування самоподібності трафіку, з одним класом заявок з урахуванням самоподібності трафіку. Зазначені моделі дозволяють визначити підкритерії ефективності управління наданням ІС на основі заданих вхідних параметрів – інтенсивність надходження заявок на ІС, інтенсивність обслуговування заявок сервером, кількість класів заявок та їх пріоритети.

5. Використовуючи імітаційні та аналітичні моделі без урахування та з урахуванням самоподібності трафіку для ІН, що обслуговує один клас заявок на ІС, розраховано підкритерії ефективності управління наданням ІС. В результаті аналізу отриманих результатів встановлено, що ймовірність відмови в наданні сервісу при врахуванні самоподібності потоку на ІС завжди більша ніж без врахування. Максимальна різниця, виходячи з отриманих даних, становить порядку 80%. Максимальна різниця довжини черги для самоподібного трафіку і для експоненціального складає порядку 65%.

6. Для випадків, коли ІН обслуговує потоки з малою та великою інтенсивностями, розраховано значення комплексного критерію ефективності. Значення критерію ефективності управління наданням ІС з урахуванням самоподібності трафіку зменшується у порівнянні з урахуванням експоненціального характеру трафіку не менш ніж на 60%. Тобто при самоподібному характері трафіку ефективність управління наданням ІС суттєво погіршується. Таким чином, при проектуванні NGN та її підсистеми – ІН обов'язковою умовою є дослідження характеру прогнозованого трафіку в мережі і його урахування при визначенні потрібних мережевих ресурсів.

ВИСНОВКИ

Науковий результат дисертаційної роботи знашов свою конструктивну реалізацію в наступному комплексі положень, методичних рішень і практичних рекомендацій з оцінки ефективності управління наданням ІС сервісів в NGN:

1. На підставі аналізу ситуації в телекомунікаційній сфері України, що характеризується застосуванням концепції IPCC при побудові NGN, визначено зріст трафіку на ІС, що потребує оцінки ефективності управління наданням ІС. З цього випливає необхідність визначення принципів управління наданням ІС з урахуванням технології надання інтелектуальних сервісів.

2. Визначена роль і місце інтелектуальних сервісів в процесі переходу від інтелектуальної мережі до концепції NGN і до концепції IMS, при реалізації яких інтелектуальна надбудова практично трансформувалася в рівень додатків. Показано, що при цьому переході завдання ефективного управління наданням нових (інтелектуальних) сервісів набуває все більшої актуальності.

3. Аналіз сучасних наукових публікацій у сфері управління телекомунікаційними сервісами, в яких доведено, що в мережах пакетної комутації трафік має фрактальний (самоподібний) характер, показав, що оцінка ефективності управління здійснюється лише з урахуванням ймовірності блокування заявок, довжини черги та часу знаходження заявок у системі обслуговування. При цьому питання оцінки ефективності управління ІС залишаються недостатньо дослідженими.

4. Визначено, що особливість принципів надання ІС у порівнянні з наданням традиційних телекомунікаційних сервісів потребує дослідження трафіку, що створюється інтелектуальним сервісом.

5. Доведено, що актуальним є питання дослідження факторів, що впливають на ефективність управління наданням ІС, і розробка комплексного

критерію ефективності, в якому ураховується як характер трафіку на ІС, так і фактори, що впливають на ефективність управління наданням ІС.

6. Сучасні вимоги до ефективності управління ІС роблять необхідним введення додаткових параметрів при виборі принципу управління ІС. На підставі аналізу сучасних наукових публікацій з питань управління якістю надаваних сервісів та ефективності управління наданням ІС та досліджень автора з цих питань запропоновано ефективність управління наданням ІС оцінювати комплексним критерієм, що вміщує наступні підкритерії: час надання сервісу T , ймовірність відмови в наданні сервісу P_e , довжина черги, в яку потрапляє заявка для обслуговування L , структурна та функціональна живучість $P_{сфж}$ та структурна надійність, а також вартість C системи управління наданням ІС, яку слід розраховувати з урахуванням дисконтних ставок

6. Удосконалено метод формування комплексного критерію ЕУНІС, який, на відміну від відомих, дозволяє врахувати самоподібність трафіку на ІС, структурні мережні характеристики, а також надає можливість кількісної оцінки ефективності ПУНІС з різними складністю та використовуваними принципами управління.

7. Набув подальшого розвитку метод оцінки функціональної живучості інтелектуальної надбудови NGN, що дозволяє визначити ймовірність виконання хоча би однієї функції деякого класу ІС.

8. Розроблено методи розрахунку підкритеріїв комплексного критерію ЕУНІС:

– метод визначення структурної живучості інтелектуальної надбудови на основі запропонованих показників структурної живучості – НМСЖ і ВМСЖ, який дозволяє визначити можливості ІН з забезпечення необхідної якості обслуговування потоків вимог на ІС, а також розробити

необхідні рекомендації з урахуванням існуючих вимог та обмежень відносно структурної живучості для ІН і допустимих показників якості обслуговування окремих ІС (видів ІС);

– метод визначення структурної надійності інтелектуальної надбудови, що заснований на використанні потокового підходу з застосуванням методів мінімальних шляхів і мінімальних розрізів. На основі знайдених множин шляхів і розрізів побудовано вираз для точного або оцінного розрахунків шуканих показників надійності ІН – верхніх і нижніх оцінок. Використання наближених оцінок замість точних розрахунків дає можливість істотно прискорити аналіз надійності ІН з точністю, достатньою для практичних інженерних задач.

9. Для розрахунку підкритеріїв ефективності управління наданням ІС запропонована аналітична модель ІН у вигляді СМО $M/M/1/m$, коли всі заявки на обслуговування мають однаковий пріоритет. Представлена також ІН у вигляді системи масового обслуговування $M/M/1/3$ для трьох класів заявок – клас заявок на ІС, що потребує роботи з відео потоком; клас заявок на НСД, що потребує роботи з передачею мови; клас заявок на НСД, що працює з даними.

10. Показана актуальність питання визначення ефекта самоподібності трафіку, що містить заявки на ІС. На основі аналізу існуючих методів визначення показника Хьорста для вхідного часового ряду обраний R/S метод, що не потребує занадто великого обсягу обчислень і дозволяє аналізувати велику кількість даних. Окрім того, існує спеціальне програмне забезпечення для реалізації R/S методу.

11. Проаналізовано дані для сервера на прикладі ІС «Телеголосування». Досліджено трафік впродовж року, місяця, протягом тижня, за добу. Визначено, що трафік, що містить заявки на ІС – це самоподібний процес. Ефект

самоподібності проявляється в широкому діапазоні часу – від декількох годин до року.

12. Уперше розроблено аналітичну модель інтелектуальні надбудови з централізованим принципом управління наданням ІС з урахуванням самоподібності потоку заявок на ІС, що надає можливість визначити потрібні мережні ресурси для забезпечення необхідного значення ефективності управління наданням ІС.

13. Набули подальшого розвитку методи побудови імітаційних моделей процесів управління наданням інтелектуальних сервісів інтелектуальною надбудовою, які, на відміну від існуючих, дозволяють урахувати самоподібність трафіку на ІС.

14. На підставі аналізу алгоритмів функціонування ІН запропоновано її імітаційні моделі. Для імітаційного моделювання використано GPSS (General Purpose Simulation System) – загально-цільову систему імітаційного моделювання, призначену для розробки моделей складних систем з дискретним і безперервним характером функціонування у тих випадках, коли не враховується самоподібність потоку заявок на ІС та Network Simulator-2 (NS-2) – у тих випадках, коли враховується самоподібність потоку заявок на ІС. Визначено способи моделювання окремих елементів ІН.

15. В результаті тестування аналітичних та імітаційних моделей було встановлено, що різниця результатів, отриманих за допомогою аналітичних та імітаційних моделей становить в середньому 1%, що дозволяє вважати результати імітаційного моделювання вірогідними. Тому в тих випадках, коли ІН має досить складну структуру і практичне використання її аналітичних моделей пов'язане з певними труднощами, використовувати імітаційні моделі.

16. Запропоновано імітаційні моделі ІН з одним класом заявок без урахування самоподібності трафіку, з трьома класами заявок з відносними

пріоритетами без урахування самоподібності трафіку, з одним класом заявок з урахуванням самоподібності трафіку. Зазначені моделі дозволяють визначити підкритерії ефективності управління наданням ІС на основі заданих вхідних параметрів – інтенсивність надходження заявок на ІС, інтенсивність обслуговування заявок сервером, кількість класів заявок та їх пріоритети.

17. Використовуючи імітаційні та аналітичні моделі без урахування та з урахуванням самоподібності трафіку для ІН, що обслуговує один клас заявок на ІС, розраховано підкритерії ефективності управління наданням ІС. В результаті аналізу отриманих результатів встановлено, що ймовірність відмови в наданні сервісу при врахуванні самоподібності потоку на ІС завжди більша ніж без врахування. Максимальна різниця, виходячи з отриманих даних, становить порядку 80%. Максимальна різниця довжини черги для самоподібного трафіку і для експоненціального складає порядку 65%.

18. Для випадків, коли ІН обслуговує потоки з малою та великою інтенсивностями, розраховано значення комплексного критерію ефективності. Значення критерію ефективності управління наданням ІС з урахуванням самоподібності трафіку зменшується у порівнянні з урахуванням експоненціального характеру трафіку не менш ніж на 60%. Тобто при самоподібному характері трафіку ефективність управління наданням ІС суттєво погіршується. Таким чином, при проектуванні NGN та її підсистеми – ІН обов'язковою умовою є дослідження характеру прогнозованого трафіку в мережі і його урахування при визначенні потребних мережевих ресурсів.

19. Визначено, що значення критерію ефективності управління наданням ІС з урахуванням самоподібності трафіку зменшується у порівнянні з урахуванням експоненціального характеру трафіку не менш ніж на 38%, тобто при самоподібному характері трафіку ефективність управління наданням ІС суттєво погіршується. Таким чином, при проектуванні NGN та її підсистеми –

ІН обов'язковою умовою є дослідження характеру прогнозованого трафіку в мережі і його урахування при визначенні потрібних мережних ресурсів.

19. Подальший розвиток розроблених моделей та методів оцінки ефективності управління наданням ІС в NGN передбачає розробку моделей та методів підвищення ефективності управління наданням ІС, а також эффективное использование аналітичного та імітаційного моделювання з метою підвищення ефективності управління наданням ІС в NGN.

20. Обґрунтованість отриманих результатів ґрунтується на коректному застосуванні основних положень і принципів системного аналізу, теорії систем масового обслуговування, теорії марківських процесів, методів алгоритмічного моделювання.

21. Достовірність отриманих результатів підтверджується заданими реальними вихідними даними, використанням апробованого математичного апарату, несуперечливістю отриманих даних щодо управління наданням ІС відомим підходам до оцінки ефективності управління наданням ІС, збіжністю теоретичних результатів з експериментальними даними, отриманими шляхом імітаційного моделювання процесу управління наданням ІС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. General aspects of the Intelligent Network Application protocol [Text]: ITU-T. – Q.1208. – Женева, 1997. – 9 с.
2. Intelligent Network – Global functional plane architecture [Text]: ITU-T. – I.329/Q.1203. – Женева, 1999. – 9 с.
3. Intelligent network distributed functional plane architecture [Text]: ITU-T. – Q.1204. – Женева, 1993. – 28 с.
4. Intelligent network physical plane architecture [Text]: ITU-T. – Q.1205. – Женева, 1993. – 10 с.
5. Introduction of intelligent network capability set 1 [Text]: ITU-T. – Q.1211. – Женева, 1993. – 34 с.
6. 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”. – Approved in 2008. – 30 p.
7. ITU-T Recommendation Q.1215 [Text] – Physical plane for intelligent network CS-1, Helsinki, 1993.
8. ITU-T Recommendation Q.1220 [Text] – Series intelligent network capability Set-2, Helsinki, 1993.
9. ITU-T Recommendation Q.1230 [Text] – Series intelligent network capability Set-3, Helsinki, 1993.
10. ITU-T Recommendation Y.1540 – Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters – Approved in 2007. – 46 p.
11. Kirichenko, L. Modeling telecommunications traffic using the stochastic multifractal cascade process // L. Kirichenko, T. Radivilova, E. Kayali //

- Problems of Computer Intellectualization / ed. K. Markov, V. Velychko, O. Voloshin. – Kiev–Sofia: ITHEA. – 2012. – P. 55–63. (стаття у колективній монографії).
12. Kniazieva N. Complex quality criterion of control of the intellectual services provision in NGN [Text] / N. Kniazieva, S. Shestopalov // Refrigeration engineering and technology. – Odessa: ONAFT, 2016. – Vol. 52(3). – pp. 42-47
 13. Kniazieva N. A. Research of Intelligent Network Services Traffic in NGN / Kniazieva N. A., Shestopalov S. V., Kunup T. V., Kondratenko A. A // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Proceedings of the 14 International Conference TCSET'2018. – Lviv-Slavske: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2018.
 14. Kunup T. Analytical model of application layer in NGN of mining industry enterprises [Текст] / T. Kunup, N. Kniazieva, S. Shestopalov // Науковий вісник національного гірничого університету. – Дніпро: 2017р. – С. 145-150
 15. Kunup T. Increasing the Structural Survivability of Telecommunication Networks [Текст] / T. Kunup, N. Kniazieva // Modern problems of radio engineering, telecommunication, and computer science. – Slavske, Ukraine:2016. – P.572-576.
 16. Kunup T. The Method of Functional Survivability of the Control of the Intelligent Services [Текст] / T. Kunup, N. Kniazieva, L. Zimenko // Natural and Technical Sciences. – Budapest: 2016. – Vol. IV(10), Issue: 91. – P.79-85.
 17. M. S.Taqqu and V. Teverovsky. Robustness of Whittle-type estimates for time series with long-range dependence. Preprint, 1995. – p. 6-7.

18. Nenov A. Approach to the Complex Estimation of Factors, Influencing on Communication Networks' Reliability / Alexey Nenov // Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science Proceedings of the Xth International Conference TCSET'2010. — Lviv: Publishing House of Lviv Polytechnic, 2010. — P. 190.
19. Principles of intelligent network architecture [Text]: ITU-T. – I.312 / Q.1201. – Женева, 1992. – 33 с.
20. RS-анализ (анализ фрактальной структуры временных рядов) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/post/256381/> – Загл. с экрана. (Дата обращения: 21.11.2017).
21. S.Ilnickis, Research of the network server in self-similar traffic environment, RTU, Riga, 2003.
22. Tsybakov B., Georganas N.D. On self-similar traffic in ATM queues: definition, overflow probability bound, and cell delay distribution // IEEE/ACM Trans. on Networking. – 1997. – Vol. 5, No 3. – P. 397–408.]
23. Агеев Д. В. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия / Д. В. Агеев, А. А. Игнатенко, А. Н. Копылев // – Електронне наукове фахове видання - журнал «Проблеми телекомунікацій» – № 3 (5) – 2011 – С. 18 – 35
24. Агеев Д.В. Параметрический синтез мультисервисных телекоммуникационных систем при передаче группового трафика с эффектом самоподобия / Д.В. Агеев. // Проблемы телекоммуникаций. – Харьков, 2013.– №1(10). – С. 46-65.
25. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем / Алиев Т.И. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.

26. Атцик А. Еще один взгляд на NGN: мобильная конвергенция / А. Атцик, А. Гольдштейн // Мобильные телекоммуникации. – 2006. – № 2. – С. 46-51.
27. Бакланов И.Г. NGN. Принципы построения и организации / И.Г. Бакланов. – Эко-Трендз, 2008. – 400 с.
28. Беркман Л.Н. Концепция построения системы управления интеллектуальной сетью / Л.Н. Беркман // Харьков-Туапсе: 3 Международная конференция “Теория и техника передачи, приема и обработки информации”. – 1997. – С. 28-30.
29. Беркман Л.Н. Построение интеллектуальной сети [Текст] / Л.Н. Беркман // Зв’язок. – 1998. – №2. – С. 14-16.
30. Варакин Л. Е. Интеллектуальная сеть: эволюция сетей и услуг связи [Текст] / Л. Е. Варакин // Электросвязь. – 1992. – №1. – С. 22-24.
31. Веников В. А. Теория подобия и моделирования / В. А. Веников, Г. В. Веников. – М.: Высшая школа, 1984. – 439 с.
32. Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети последующих поколений [Текст]. – Recommendation MCE–T Y.3001 (05/2011), ITU–T Study Group. Серия Y.. утв. 2011. – 26с.
33. Гольдштейн А. Б. Еще раз о Softswitch или сравнение реализаций трехгранной пирамиды / А. Б. Гольдштейн // Вестник связи. – 2003. – №9. – С. 40-53.
34. Гольдштейн А. Б. На пути к Next Generation Networks. Сколько шагов осталось пройти к сети будущего? / А. Гольдштейн, Н. Соколов // Connect! Мир связи.— 2006.— № 11.— С. 128-134.
35. Гольдштейн А. Б., Гольдштейн Б. С. SOFTSWITCH / А. Б. Гольдштейн, Б. С. Гольдштейн. – СПб.: БХВ, 2006. – 368 с.

36. Гольдштейн А.Б. Подводная часть айсберга по имени NGN / А.Б. Гольдштейн, Н.А. Соколов // Технологии и средства связи. – 2006. – № 2. – С. 12-21.
37. Гольдштейн А.Б. Подводная часть айсберга по имени NGN. [Ч.2] / А.Б. Гольдштейн, Н.А. Соколов // Технологии и средства связи. – 2006. – № 3. – С. 22-29.
38. Гольдштейн А.Б. Построение NGN: IPCC vs. TISPAN / А.Б. Гольдштейн, А. Атцик // Connect! Мир связи. – 2006. – № 4. – С. 90-95.
39. Гольдштейн Б. С. Сети связи [Текст]: учебник для ВУЗов / Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г.Г. Яновский. – СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2010. – 400 с.
40. Гольдштейн Б.С. Интеллектуальные сети. [Текст] / Б.С.Гольдштейн, И.М. Ехриель, Р.Д. Рерле. – М.: Радио и связь, 2000. – 504 с.
41. Гольдштейн Б.С. Проблемы анализа BBX Softswitch в архитектуре IMS / Б.С. Гольдштейн, Д.Н. Николаев // Научно–техническая конференция профессорско–преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов: Материалы, 23 – 27 января 2006 г. / Минсвязи России, СПбГУТ им. проф. М.А.Бонч–Бруевича. – СПб.: [Б.и.], 2006. – С. 4.
42. Гольдштейн Б.С. Сети связи пост-NGN [Текст] / Б. С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый – СПб.: БХВ: Петербург, 2014. – 160 с.
43. Гордеев Э. Н. Новые технологии в системах управления сетями связи / Э. Н. Гордеев // Вестник связи. – 2000. – №1. – С. 29-32.
44. ГОСТ Р 51901.5-2005 (МЭК 60300-3-1:2003) Менеджмент риска. Руководство по применению методов анализа надежности [Текст]. – М.: Стандартиформ, 2005. – 49 с.

45. Громов Ю. Ю. Синтез и анализ живучести сетевых систем [Текст]: учеб. пособие / Ю. Ю. Громов, В. О. Драчев, К. А. Набатов, О. Г. Иванова. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 2007. – 88с.
46. Деякі особливості управління мережами NGN / [Беркман Л.Н., Слюсар В.О., Колченко Г.Ф., Варфоломеева О.Г.] // Зв'язок. – 2007. – №7. – С. 19-25.
47. Дисперсійний аналіз [Електронний ресурс] – Режим доступа: http://pidruchniki.com/1929100153035/statistika/dispersiyniy_analiz – Загол. з екрану. (Дата звернення: 21.11.2017).
48. Додонов А.Г. Живучесть информационных систем. / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
49. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення [Текст]. – Чинний від 1996–01–01. – К. : Держспоживстандарт України, 1996. – 76 с. – (Національний стандарт України).
50. Интеллектуальные сети связи [Текст] / Б.Я. Лихтциндер, М.А. Кузякин, А.В. Росляков, С.М Фомичев. – Эко-Трендз, 2002. – 206 с.
51. Исаченко Ю.С. Анализаторы протоколов для NGN: Статья содержит сравнительный анализ платформ тестирования: Tektronix (K1297/K1205), SNT (SNT7531, SNTlite, NetTest (Lite 3000), LinkBit (AnyTest), RADCOM (PrismLite, PrismUltraLite), SunriseTelecom (NeTracker) / Ю.С. Исаченко // Вестник связи. – 2006. – № 9. – С. 40-45.
52. Кириченко Л.О., Чалая Л.Э. Комплексный подход к исследованию фрактальных временных рядов // International Journal “INFORMATION TECHNOLOGIES & KNOWLEDGE”. - 2014. - Vol.8., №1. - С.22-28

53. Кириченко, Л. О. Анализ методов повышения QoS в сетях MPLS с учетом самоподобия трафика / Л. О. Кириченко, Э. Кайали, Т. А. Радивилова // Системні технології. – 2011. – Вип. 3. – С. 52–59.
54. Кириченко, Л. О. Влияние методов маршрутизации на качество обслуживания в мультисервисных сетях при самоподобной нагрузке / Л. О. Кириченко, Т. А. Радивилова, Э. Кайали // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 1/2 (49). – С. 15–18. (Входит до міжнародних наукометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Index Copernicus, WorldCat, ПИНЦ, Directory of Open Access Journals (DOAJ), EBSCO, American Chemical Society, ResearchBib, Directory Indexing of International Research Journals.)
55. Кириченко, Л. О. Исследование нелинейной динамики изменения окна перегрузки TCP протокола / Л. О. Кириченко, Т. А. Радивилова, А. В. Карпухин, А. В. Борисов, Э. Кайали // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №5. – С. 281–286.
56. Кириченко, Л. О. Моделирование телекоммуникационного трафика с использованием стохастических мультифрактальных каскадных процессов / Л. О. Кириченко, К. А. Демерчян, Э. Кайали, А. Ю. Хабачёва // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2012. – №1 (26). – С. 48–53. (Входит до міжнародних наукометричних баз Index Copernicus, INSPEC, INIS, EBSCO, DOI, Ulrich's).
57. Кільчицький Є. В. Технології управління / Є. В. Кільчицький // Вісник УБЕНТЗ. – 2000. – №1. – С. 38–43.
58. Князева Н. А. Метод оценки структурной надежности сети при изменении ее структуры / Н. А. Князева, А. Л. Ненов // Вісник ДУІКТ, Т. 9, № 4, 2011. — С. 318–325.

59. Князева Н.А. Метод обеспечения структурной живучести телекоммуникационной сети. / Н.А. Князева // International Journal “Information Technologies & Knowledge”. — 2014. — №. 8. — С. 152-166.
60. Князева Н.А. Оценка качества услуг связи с позиций удовлетворенности потребителей / Н.А. Князева, А.С. Кальченко // Science and Education a New Dimension: Natural and Technical Science. Vol. 8. – Budapest: 2013. – P. 156-161.
61. Князева Н.А. Повышение структурной живучести телекоммуникационной сети / Н.А. Князева // International Journal “Information Models and Analyses”. — 2013. — №. 2. — С. 275-284.
62. Князева Н. О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Ч.2. Методи аналізу і синтезу комп'ютерних систем і мереж [Текст]: навч. посібник / Н. О. Князева. – Одеса: СПД, 2012. – 240 с.
63. Князева Н. О. Оцінка структурної надійності телекомунікаційної мережі [Текст] / Н. О. Князева, О. Л. Нєнов // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – № 688. Комп'ютерні системи та мережі. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – С. 129–137.
64. Князева Н.О. Оцінка ефекту від побудови мережі синхронних передавачів вздовж автомагістралі / Н. О. Князева, Л. О. Бескровна. // Праці УНДІРТ. – 2008. – №4 (51) - 1(53). – С. 33-36.
65. Князева Н.О. Підвищення якості управління послугами при застосуванні децентралізованої системи управління / Н.О. Князева, С.В. Шестопапов, // Вісник ДУІКТ. – т.8. – №1 – К.: ДУІКТ, 2010. – С. 21-28.

66. Князева Н.О. Теорія проектування комп'ютерних систем і мереж. Ч.2. Методи аналізу і синтезу комп'ютерних мереж / Н.О. Князева. Одеса: СПД Бровкін О.В., 2012. -240 с.
67. Князева Н.О. Управління інтелектуальними сервісами в мережах наступного покоління / Князева Н.О. Шестопапов С.В. – Одеса: ТОВ Плутон, 2017. – 268 с.
68. Концептуальное положение по построению мультисервисных сетей [Электронный ресурс]/ Министерство по связи и информатизации, 15.12.2017. Режим доступа <http://niits.ru/public/2003/064.pdf>, свободный. – Яз. Рус.
69. Кривошея Д.О. Подход к оценке функциональной живучести иерархической системы видеоконференцсвязи на беспроводной ячеистой сети / Д.О. Кривошея //Интернет-журнал «Науковедение». — 2014. — №. 5(24).
70. Крюков Ю.С. Использование существующей сетевой инфраструктуры для реализации функций СОРМ в сетях связи следующего поколения / Крюков Ю.С. // Защита информации. Инсайд. – 2006. –№ 6. – С. 38-42.
71. Кудрявцев Е.М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е.М. Кудрявцев. – М: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.
72. Кунуп Т.В. Аналітична модель рівня сервісів та додатків мережі наступного покоління [Текст] / Т.В. Кунуп // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Северодонецьк: 2017р. – С.1-58.
73. Кунуп Т.В. Імітаційна модель інтелектуальної надбудови з трьома класами заявок з відносними пріоритетами [Текст] / Т.В. Кунуп//
74. Кунуп Т.В. Метод формування комплексного критерію ефективності управління наданням телекомунікаційних сервісів [Текст] / Т.В. Кунуп

- // Мультидисциплинарный научный журнал «Архивариус». – Київ: 2017 р. – С. 49-55.
75. Кунуп Т.В. Оценка структурной живучести телекоммуникационной сети / Т.В. Кунуп [Текст] // XV Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій», м. Одеса 29 квітня 2015р. – Одеса: 2015р. – С.152-153.
 76. Кунуп Т.В. Оценка эффективности управления интеллектуальными услугами [Текст] / Т.В. Кунуп, Б.Л. Пустовой // Десята міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми телекомунікацій» і Восьма Міжнародна науково-технічна конференція студентів і аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем», м. Київ 19-22 квітня 2016р. – Київ: 2016. – С. 244-246.
 77. Кунуп Т.В. Подход к определению функциональной живучести системы управления интеллектуальными услугами [Текст] / Т.В. Кунуп Б.Л. Пустовой // XVI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій», м. Одеса 25-26 квітня 2016р. – Одеса: 2016р. – С.117-120.
 78. Кунуп Т.В. Урахування самоподібності трафіку в аналітичній моделі рівня додатків в NGN [Текст] / Т.В. Кунуп // XVII Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих вчених, аспірантів та студентів. «Стан, досягнення і перспективи інформаційних систем і технологій», м. Одеса 19 квітня 2017 р. – Одеса: 2017р. Ч.2. – С. 44-47.
 79. Ладыженский Ю.В., Моргайлов Д.Д., Моатаз Юнис. Моделирование самоподобного входного трафика сетевых процессоров в системе NS-2

// Наукові праці ДонНТУ випуск 16 (204) Серія “Інформатика, кібернетика 2012 та обчислювальна техніка”

80. Лемешко А. В. Разработка и исследование потоковой модели адаптивной маршрутизации в программно-конфигурируемых сетях с балансировкой нагрузки / А. В. Лемешко, Т. В. Вавенко // Доклады ТУСУР. – 2013. – № 3(29). – С. 100-108.
81. Лесин Л.М. TDM vs. NGN: выбор очевиден? / Л.М. Лесин, А.В. Александров // Технологии и средства связи. – №4. – 2005. – (http://www.protei.ru/company/pdf/publications/2005/TSS_4_2005.pdf)
82. Макаров В.В. Создание системы управления мультисервисными сетями / В.В. Макаров, Л.З. Гильченко // Вестник связи. – 2006. – № 4. – С. 136-138.
83. Международный союз электросвязи (ITU) официальное Интернет-представительство. — Режим доступа: <http://www.itu.int> (дата обращения 20.03.2015 г.).
84. Ненов А. Л. Имитационная модель оценки структурной надежности сети связи / А. Л. Ненов // Холодильна техніка і технологія. — 2010. — № 6 (128). — С. 85–89. — ISSN 0453-8307.
85. Нетес В.А. Управление сетями: стандарты, проблемы и перспективы // Вестник связи. – 2000. – №2. – С. 83-88.
86. Нечипоренко В. И. Структурный анализ систем (эффективность и надежность) [Текст] / В. И. Нечипоренко. – М. : Сов. радио, 1977. – 216 с.
87. Одноканальная СМО с ожиданием. – Режим доступа: http://stu.sernam.ru/book_rop.php?id=54 (дата обращения 06.10.2017 г.).
88. Оперативно-техническое управление телекоммуникационными сетями и услугами Единой национальной системы связи / [Кильчицкий

- Е.В., Копейка О.В., Слюсарь В.А., Колченко Г.Ф., Сумський А.И.] // Вісник Українського будинку економічних та науково-технічних знань. – 2003. – №2. – С. 6-11.
89. Отрох С. І. Архітектура мережі нового покоління NGN / С. І. Отрох, О. С. Єфремов // Вісник ДУІКТ. Спецвипуск. – 2007. – С. 65-71.
 90. Пинчук А.В. Прагматическая стратегия перехода к NGN: Модернизация телефонной сети, подразумевающая переход к NGN / А.В. Пинчук, Н.А. Соколов // Вестник связи. – 2006. – № 6. – С. 66-72.
 91. Проектування телекомунікаційних мереж / [В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман]. – Техніка, 2002. – 792 с.
 92. Рекомендация ITU-T Y.3001: Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети последующих поколений [Электронный ресурс] / [ITU: Committed to connecting the world](http://www.itu.int).— Режим доступа: \www/ <http://www.itu.int> / — 10.03.2012 г. — Загл. с экрана.
 93. Рекомендация ITU-T Y.3001: Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола интернет и сети последующих поколений [Электронный ресурс] / ITU: Committed to connecting the world.— Режим доступа: \www/ <http://www.itu.int> / — 10.03.2012 г. — Загл. с экрана.
 94. Росляков А.В., Кашин М.М. Исследование свойств сигнального трафика протокола SIP / А.В. Росляков, М.М. Кашин // TComm, №5, 2009, с. 26-29.
 95. Рябинин И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем [Текст] / И. А. Рябинин. – СПб.: Политехника, 2001. – 248 с.

96. Самойленко Н. И. Функциональная надежность трубопроводных транспортных систем [Текст] / Н. И. Самойленко, И. А. Гавриленко. ; под ред. Н. И. Самойленко. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 193 с.
97. Самоподобные (фрактальные) случайные последовательности [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://sernam.ru/t_62.php – Загл. с экрана. (Дата обращения: 21.11.2017).
98. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера / В. П. Сигорский. – Техника, 1977. – 768 с.
99. Сидоренко И.А. Агентное моделирование трафика телекоммуникационной компании / И.А. Сидоренко, И.В. Солдатов // Белгородский государственный университет // Научные ведомости – 2009. – №9(64). – с. 2-3.
100. Система управления сетью связи второго уровня TMN с комбинированным принципом управления / [В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Л.В. Рудык, А.С. Стец.] // Зв'язок. – 2005. – № 5. – С. 66-69.
101. Советов Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 2005. – 295 с.
102. Соколов Н. А. Качество обслуживания трафика речи в сети NGN / Н. А. Соколов // Connect! Мир связи. – 2006. – № 7. – С. 127-131.
103. Стеклов В. К. Особенности проектирования системы управления интеллектуальной сетью / В. К. Стеклов, Л.Н. Беркман // Вісн. держ. ун-ту Львівська політехніка. – 2000. – № 387. – С. 19-22.
104. Стеклов В. К. Проектування систем автоматичного керування / В. К. Стеклов. – К.: Вища школа, 1995. – 231 с.
105. Стеклов В. К. Проектування телекомунікаційних мереж [Текст]: підруч. для студ. вищ. навч. закл. за напрямком «Телекомунікації» /

- Стеклов В. К., Беркман Л. Н.; за ред. В. К. Стеклова. – К.: Техніка, 2002.– 792с .
106. Стеклов В.К. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій [Текст] / В.К.Стеклов, Є.В. Кільчицький. – К.: Техніка, 2002.– 348с.
 107. Стекольников Ю.И. Живучесть систем – СПб.: Политехника, 2002. – 155с.
 108. Требования к сетевым показателям качества для служб, основанных на протоколе IP: МСЭ-Т. – У.1541. – [Переизд. Фев. 2007 с изм.]. – Женева, 2007. – 43 с.
 109. Управління телекомунікаціями із застосуванням новітніх технологій/ [В.Г. Кривуца, В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман, Б.Я. Костік, В.Ф. Олійник]. – Техніка, 2007. – 384 с.
 110. Филин Б. П. Методы анализа структурной надежности сетей связи [Текст] / Б. П. Филин. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
 111. Цыбаков Б.С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса // Радиотехника. – 1999. – № 5. – С. 24–31.
 112. Черкесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов [Текст]: учебное пособие / Г. Н. Черкесов. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
 113. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 420 с.
 114. Шестопапов С.В. Оцінка якості децентралізованої системи керування / С.В. Шестопапов // Світ інформації та телекомунікацій – 2008. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді: тези доп. – К.: ДУІКТ. – 2008. – С. 46-47.
 115. Шестопапов С.В. Визначення складової “вартість” критерію якості функціонування систем управління / С. В. Шестопапов // Світ

інформації та телекомунікацій – 2010. Матеріали VII Міжнародної науково-технічної конференції студентства та молоді: тези доп. – К.: ДУІКТ, 2010 – С. 146-147.

116. Шестопапов С.В. Качество управления интеллектуальными услугами в сетях последующего поколения // International Journal «Information Models and Analyses» Vol.2/2013, Number 3. – 2013. – с.262-274
117. Шестопапов С.В. Качество управления интеллектуальными услугами в сетях последующего поколения // International Journal «Information Models and Analyses» Vol.2/2013, Number 3. – 2013. – с.262-274
118. Шестопапов С.В. Результуючий критерій якості системи управління додатковими послугами в NGN / С.В. Шестопапов // Науковий Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – №2 (5Е). – Краматорск: Издательство ДГМА, 2009р. – С. 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
FPN	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.

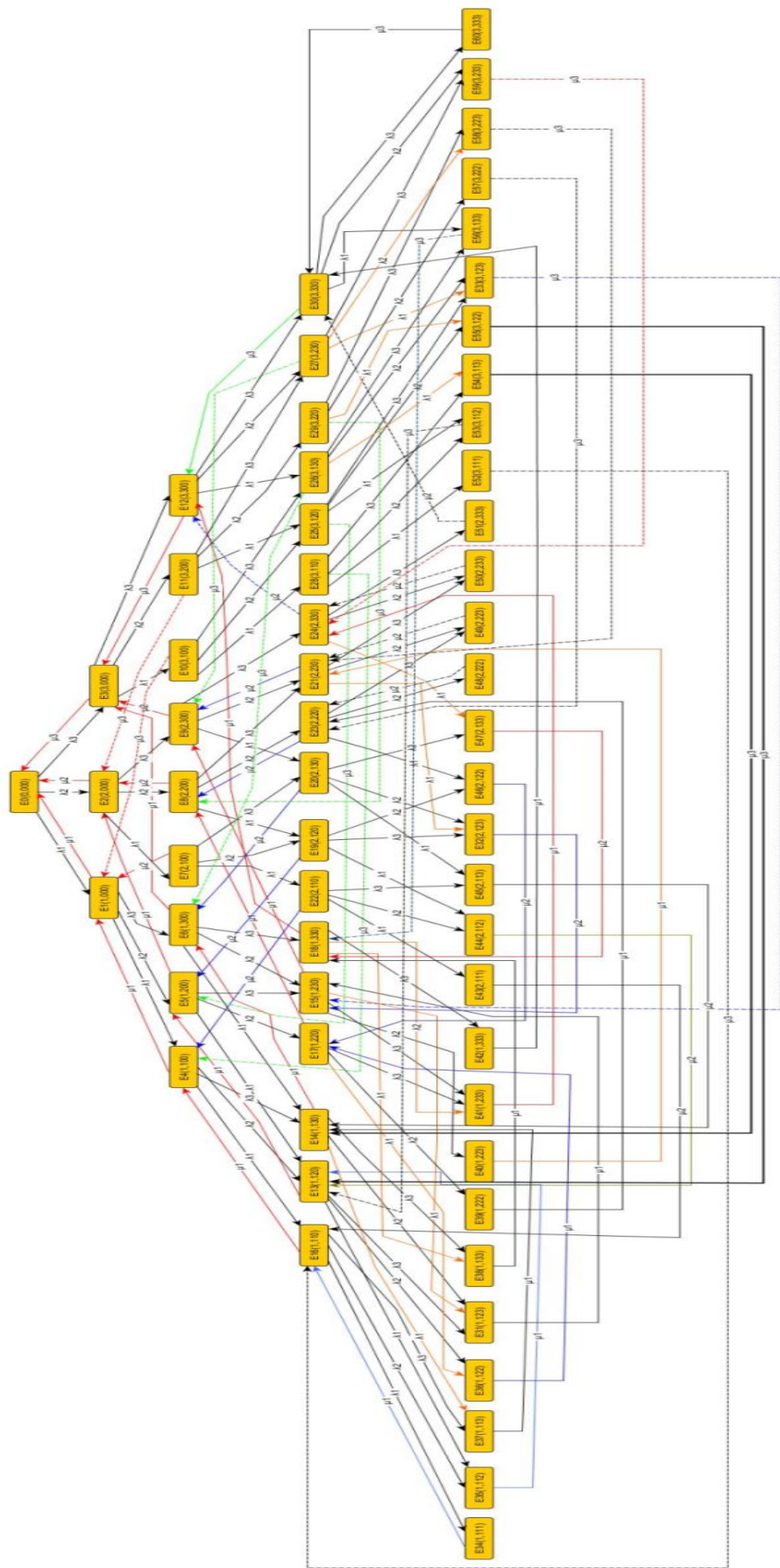
Таблиця А.2

Деякі сервіси CS-2

Сервіси	Термін	Значення
IFPH	InterworkFreephone	Міжмережне забезпечення виклику
TRA	CallTransfer	Передача виклику
IPRM	InternetworkPremiumRate	Міжмережна доплата
CW	CallWaiting	Очікування виклику

ДОДАТОК Б

Розмічений граф переходів



ДОДАТОК В

Імітаційна модель інтелектуальної надбудови, що обслуговує один клас заявок
без врахування самоподібності трафіку

Tw_1 TABLE M1,50,4,40

Tu_1 TABLE M1,50,4,40

*Модуль 1: моделирование процессов поступления и обслуживания заявок
1-го класса - видео

GENERATE (Exponential(1,0,0.07)); формирование простейшего потока

TEST L Q1,4,Otk_1; проверка длины очереди

QUEUE 1; регистрация момента поступления заявки в очередь 1

SEIZE Uzel; попытка занять прибор Uzel

DEPART 1; регистрация момента покидания заявки очереди 1

TABULATE Tw_1

ADVANCE (Exponential(1,0,0.128)); задержка заявки на 50 единиц

модельного времени

RELEASE Uzel; освобождение прибора Uzel

TABULATE Tu_1

Obs_1 TERMINATE 1; удаление из модели обслуженной заявки 1-го класса

Otk_1 TERMINATE 1; удаление не обслуженной заявки 1-го класса

START 100000

ДОДАТОК Г

Імітаційна модель інтелектуальної надбудови, що обслуговує три класи заявок з відносними пріоритетами без врахування самоподібності трафіку

Tw_1 TABLE M1,50,4,40

Tw_2 TABLE M1,50,4,40

Tw_3 TABLE M1,50,4,40

Tu_1 TABLE M1,50,4,40

Tu_2 TABLE M1,50,4,40

Tu_3 TABLE M1,50,4,40

**Модуль 1: моделирование процессов поступления и обслуживания заявок*

1-го класса - видео

GENERATE (Exponential(1,0,20)),,,,5; *формирование простейшего потока*

TEST L Q1,3,Otk_1; *проверка длины очереди*

QUEUE 1; *регистрация момента поступления заявки в очередь 1*

SEIZE Uzel; *попытка занять прибор Uzel*

DEPART 1; *регистрация момента покидания заявки очереди 1*

TABULATE Tw_1

ADVANCE (Exponential(1,0,20)); *задержка заявки на 50 единиц модельного времени*

RELEASE Uzel; *освобождение прибора Uzel*

TABULATE Tu_1

Obs_1 TERMINATE 1; *удаление из модели обслуженной заявки 1-го класса*

Otk_1 TERMINATE 1; *удаление не обслуженной заявки 1-го класса*

**Модуль 2: моделирование процессов поступления и обслуживания заявок*

2-го класса - речь

GENERATE (Exponential(1,0,20)),,,,3; *формирование простейшего потока*

TEST L Q1,3,Otk_2; *проверка длины очереди*

QUEUE 1; *регистрация момента поступления заявки в очередь 1*

SEIZE Uzel; *попытка занять прибор Uzel*

DEPART 1; *регистрация момента покидания заявки очереди 1*

TABULATE Tw_2

ADVANCE (Exponential(1,0,20)); *задержка заявки на 50 единиц модельного времени*

RELEASE Uzel; *освобождение прибора Uzel*

TABULATE Tu_2

Obs_2 TERMINATE 1; *удаление из модели обслуженной заявки 2-го класса*

Otk_2 TERMINATE 1; удаление *не* обслуженной заявки 2-го класса

**Модуль 3: моделирование процессов поступления и обслуживания заявок
2-го класса - данные*

GENERATE (Exponential(1,0,20)); *формирование простейшего потока*

TEST L Q1,3,Otk_3; *проверка длины очереди*

QUEUE 1; *регистрация момента поступления заявки в очередь 1*

SEIZE Uzel; *попытка занять прибор Uzel*

DEPART 1; *регистрация момента покидания заявки очереди 1*

TABULATE Tw_3

ADVANCE (Exponential(1,0,20)); *задержка заявки на 50 единиц модельного
времени*

RELEASE Uzel; *освобождение прибора Uzel*

TABULATE Tu_3

Obs_3 TERMINATE 1; *удаление из модели обслуженной заявки 3-го класса*

Otk_3 TERMINATE 1; удаление *не* обслуженной заявки 3-го класса

START 100000

ДОДАТОК Д

Імітаційна модель інтелектуальної надбудови з врахуванням самоподібності трафіку

```
#Create a simulator object
#remove-all-packet-headers; # removes all packet headers
#add-packet-header IP TCP; # adds TCP/IP 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 shape triangle
$serv1_ob1_n9 color red
#Создание связей между узлами
for {set i 0} {$i <= 99} {incr i} {
    $ns duplex-link $sp_($i) $ss_(0) 20000Mb 0ms DropTail
}
# $ns duplex-link $sp_(0) $ss_(0) 20000Mb 15ms DropTail
# $ns duplex-link $sp_(1) $ss_(0) 20000Mb 15ms DropTail
# $ns duplex-link $sp_(2) $ss_(0) 20000Mb 15ms DropTail
# $ns duplex-link $sp_(3) $ss_(0) 20000Mb 15ms DropTail
# $ns duplex-link $sp_(4) $ss_(0) 20000Mb 15ms DropTail
$ns duplex-link $ss_(0) $serv1_n8 90000Mb 0ms DropTail
# $ns duplex-link $ss_(0) $serv1_n8 20000Mb 15ms DropTail
# $ns duplex-link $ss_(0) $serv1_n8 20000Mb 15ms DropTail
# $ns duplex-link $ss_(0) $serv1_n8 20000Mb 15ms DropTail
# $ns duplex-link $ss_(0) $serv1_n8 20000Mb 15ms 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 $ss_(1) $serv1_n8 50000
# $ns queue-limit $ss_(2) $serv1_n8 50000
# $ns queue-limit $ss_(3) $serv1_n8 50000
# $ns queue-limit $ss_(4) $serv1_n8 50000
$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 $sp_(0) $ss_(0) orient up
# $ns duplex-link-op $sp_(1) $ss_(0) orient up
# $ns duplex-link-op $sp_(2) $ss_(0) orient up
# $ns duplex-link-op $sp_(3) $ss_(0) orient up
# $ns duplex-link-op $sp_(4) $ss_(0) orient up
# $ns duplex-link-op $ss_(0) $serv1_n8 orient right

```

```

#Nns duplex-link-op $ss_(1) $serv1_n8 orient right-up
#Nns duplex-link-op $ss_(2) $serv1_n8 orient up
#Nns duplex-link-op $ss_(3) $serv1_n8 orient left-up
#Nns duplex-link-op $ss_(4) $serv1_n8 orient left
$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_($i) stop"
}
#$ns at 0.0 "$pareto_(0) start"
#$ns at 0.0 "$pareto_(1) start"
#$ns at 0.0 "$pareto_(2) start"
#$ns at 0.0 "$pareto_(3) start"
#$ns at 0.0 "$pareto_(4) start"

```

```

#Ns at 5.0 "$pareto_(0) stop"
#Ns at 5.0 "$pareto_(1) stop"
#Ns at 5.0 "$pareto_(2) stop"
#Ns at 5.0 "$pareto_(3) stop"
#Ns at 5.0 "$pareto_(4) stop"
#Отсоединение агентов по расписанию
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $sp_(0) $tcp_(0)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $serv1_ob1_n9 $sink_(0)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $sp_(1) $tcp_(1)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $serv1_ob1_n9 $sink_(1)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $sp_(2) $tcp_(2)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $serv1_ob1_n9 $sink_(2)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $sp_(3) $tcp_(3)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $serv1_ob1_n9 $sink_(3)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $sp_(4) $tcp_(4)"
#Ns at 5.0 "$ns detach-agent $serv1_ob1_n9 $sink_(4)"
#Вызов спустя 5 секунд после начала симуляции
Ns at 60.0 "finish"
#puts "Queue = [[Ns link $ss1_n6 $serv1_n8] queue]"
proc finish {} {
    global ns tracefd
    $ns flush-trace
    #Закрывать файл
    #close $nf
    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_ {};
#array set receive_packets_ {};
#array set droplet_packets_ {};
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"]
#puts $f_cur "LineWidth: 2";
#puts $f_cur "Background: white";
#puts $f_cur \"curr_queues
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"]
#puts $f_ave "LineWidth: 2";
#puts $f_ave "Background: white";
#puts $f_ave \"ave_queues

#exec rm -f obsulg_ave_expoo_24.trqueue
#exec touch obsulg_ave_expoo_24.trqueue
#set f_ave_obsug [open "obsulg_ave_expoo_24.trqueue" "w"]
#puts $f_ave_obsug "LineWidth: 2";
#puts $f_ave_obsug "Background: white";
#puts $f_ave_obsug \"ave_obsug
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"]
#puts $f_ave_in_net "LineWidth: 2";
#puts $f_ave_in_net "Background: white";
#puts $f_ave_in_net \"ave_in_net
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"]
#puts $f_ave_in_queue "LineWidth: 2";
#puts $f_ave_in_queue "Background: white";
#puts $f_ave_in_queue \"ave_in_queue
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 {$sevent == "+" && $from_node < 100} {
        set count_of_packets [expr $count_of_packets + 1];
    }
}

#puts "PP $count_of_packets";
#set e [llength $data];
#puts "WW $e";
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;
}

#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 {$sevent == "+" && $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_obslog [expr $total_obslog + ($finish_($pkt_fid) - $remove_to_queue_($pkt_fid))];
    set count_obslog [expr $count_obslog + 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 ave_queue_arr_($r) [expr ($sum_curr_queue_size / $count_curr_queue_size)];
    set b [expr (($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_obslog > 0 } {
        set t1 [expr $total_obslog / $count_obslog];
        #puts $f_ave_obslog "$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;$current_droplet_packets";
    #set receive_packets_($r) $current_receive_packets;
    #set droplet_packets_($r) $current_droplet_packets;

    set current_receive_packets 0;
    set current_droplet_packets 0;
    }
}
#puts "curr $current_count_packets";
close $f_cur;

```

```

close $f_ave;
close $f_cur_receive;
close $f_cur_drop;
#close $f_ave_obsug;
close $f_ave_in_net;
close $f_ave_in_queue;
#exec rm -f temp_buf.trqueue
#exec touch temp_buf.trqueue
#set fb [open "temp_buf.trqueue" "w"]
#set f_ave_obsug [open "temp_obsulg_ave.trqueue" r]
#set f_ave_in_net [open "temp_in_net_ave.trqueue" r]
#set f_ave_in_queue [open "temp_in_queue_ave.trqueue" r]
#set file_data_ave_obsug [read $f_ave_obsug]
#set file_data_ave_in_net [read $f_ave_in_net]
#set file_data_ave_in_queue [read $f_ave_in_queue]
#close $f_ave_obsug;
#close $f_ave_in_net;
#close $f_ave_in_queue;
#puts $fb $file_data_ave_obsug;
#puts $fb $file_data_ave_in_net;
#puts $fb $file_data_ave_in_queue;
#close $fb
#exec rm -f temp_queue.trqueue
#exec touch temp_queue.trqueue
#set fo [open "temp_queue.trqueue" "w"]
#set f_cur [open "temp_queue_cur.trqueue" r]
#set f_ave [open "temp_queue_ave.trqueue" r]
#set file_data_cur [read $f_cur]
#set file_data_ave [read $f_ave]
#close $f_cur
#close $f_ave
#puts $fo $file_data_cur;
#puts $fo \n\;
#puts $fo $file_data_ave;
#close $fo
#foreach {k v} [array get start_] {
#   puts "Pid: $k;";
#   puts "Start: $start_($k);";
#   puts "App: $app_($k);";

```

```

# puts "Abonent: $abonent_($k);";
# puts "Current size of apps : $current_size_of_apps_($k)"
# if {[info exists add_to_queue_($k)]} {
# puts "Add_to_Queue: $add_to_queue_($k);";
# }
# if {[info exists remove_to_queue_($k)]} {
# puts "Remove_to_queue: $remove_to_queue_($k);";
# }
# if {[info exists finish_($k)]} {
# puts "Finish: $finish_($k);";
# }
#
# if {[info exists delete_($k)]} {
# puts "Finish: $delete_($k);";
# }
#
#}

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_] {
    #puts "";
    #puts "*****";
    #puts "App ID: $k;";
    #puts "App abonent: $application_abonent_($k);";
    #puts "App begin size: $application_begin_size_($k);";
    #puts "App start: $application_start_($k);";
    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";
    #exec rm -f temp_queue.trqueue
    #exec touch temp_queue.trqueue
    #set fo [open "temp_queue.trqueue" "w"]

```

```

#puts $fo "LineWidth: 2";
#puts $fo "Background: white";
#puts $fo "\"curr_queues
#foreach {k v} [array get current_queue_arr_] {
# lappend x [list $k $v];
#}
#foreach e [lsort -index 0 $x] {
# lassign $e k v
# if {$k != ""} {
# puts $fo "$k $v"
#}
#}

```

```

#puts $fo "\n\
#puts $fo "\"ave_queues
#foreach {k v} [array get ave_queue_arr_] {
#append d [list $k $v];
# puts $fo "$k $v"
#}
#foreach e [lsort -index 0 $d] {
# lassign $e k v
# if {$k != ""} {
# puts $fo "$k $v"
# }
#}
#close $fo;
#foreach name [lsort [array names packets_]] {
# puts "Data on \"$name\": $packets($name)"
#}
#foreach {k v} [array get packets_] {
#puts "$k $v";
# foreach {k2 v2} [array get v] {
# puts "$k2 $v2";
#}
#}
#foreach {k v} [array get drop_] {
# lappend x [list $k $v];
#}

```



```

#puts $fo "LineWidth: 2"
#puts $fo "Background: white"
#if {[info exists x]} {
#puts $fo "color = blue"
#puts $fo "\"dropped_packets"
#puts $fo "0 0"
#foreach e [lsort -index 0 $x] {
# lassign $e k v
#if {$k != ""} {
#puts $fo "$k $v"
#}
#}
#puts $fo "5.0 0"
#puts $fo "\n\
#}
#exec xgraph -bb -tk -x time -y queue temp_queue.trqueue &
# exec xgraph -bb -tk -x time -y q temp_buf.trqueue &
exit 0
}
#Crapt
$ns run

```