

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

ПУСТОВИЙ БОГДАН ЛЕОНІДОВИЧ



УДК 621.391:681.5

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

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Одеській національній академії харчових технологій, Навчально-науковому інституті комп'ютерних систем і технологій "Індустрія 4.0" ім. П.М. Платонова Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник:

– доктор технічних наук, професор
Князева Ніна Олексіївна,
Одеська національна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України, професор кафедри «Комп'ютерна інженерія»

Офіційні опоненти:

– доктор технічних наук, професор
Кучук Георгій Анатолійович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Обчислювальна техніка та програмування»;

– кандидат технічних наук, доцент,
Соловська Ірина Миколаївна,
Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, доцент кафедри «Комутаційні системи».

Захист дисертації відбудеться « 07 » травня 2021 року о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.816.01 в Державному університеті інтелектуальних технологій і зв'язку за адресою: м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Державного університету інтелектуальних технологій і зв'язку за адресою: м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.

Автореферат розісланий « 31 » березня 2021 року.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради



В.І. Тіхонов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

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

Питання стосовно управління мережами, наданням сервісів та оцінювання ефективності функціонування систем управління піднімається в роботах Є. Кільчицького, В. Макарова, Б. Костіка та ін. Однак в них основна увага приділяється існуючим централізованим системам управління та їх вдосконаленню. В роботах Є. Штейнберга досліджені розподілені системи управління в інтелектуальних мережах. Деякі аспекти оцінки ефективності управління наданням сервісів аналізуються в працях В. Крилова, В. Лазарева. До питань оцінки ефективності управління наданням сервісів, підтримуваних мережею NGN, зверталися такі автори як П. Фергюсон, Р. Хастон. Розробці результуючого критерію ефективності управління наданням сервісів присвячені праці Л. Беркман, Н. Стародуба, Н. Паршенкова та ін. Питання, пов'язані з дослідженням методів оцінки ефективності управління наданням телекомунікаційних сервісів розглянуті в роботах Л. Беркман, Н. Князевої, С. Шестопалова та інших науковців. Однак, слід відмітити, що питання оцінки ефективності управління наданням ІС, що створюють самоподібний трафік в NGN, при організації децентралізованого управління залишаються недостатньо дослідженими, що і обумовлює актуальність дослідження.

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

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

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

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

Тема дисертаційної роботи пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, наведеними в «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових

досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року», затвердженому Постановою Кабінету міністрів України № 942 від 7 вересня 2011 р. (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 556 від 23 серпня 2016р.).

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

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

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

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні наукові задачі досліджень:

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

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

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

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

Наукова новизна отриманих результатів.

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

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

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

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

Практичне значення отриманих результатів полягає в наступному:

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

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

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

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

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

Особистий внесок здобувача. Роботи [1,2,7,8,11] опубліковані без співавторів. У роботах, виконаних у співавторстві, особисто Пустовому Б.Л. належать такі наукові

результати: у статті [6] автор брав участь у розробці методу оцінки ефективності управління ІС; у роботі [9] автор приймав участь у вдосконаленні методу розрахунку ймовірних станів системи управління ІС для автоматизації процесу побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей системи управління ІС; у свідоцтві про реєстрацію авторського права на твір [12] – участь у розробці комп'ютерної програми для автоматизації формування рівняння балансу марківського процесу; у роботі [3] – розроблені імітаційні моделі в системі NS-2 процесів управління наданням ІС; у роботі [4] – участь у вдосконаленні аналітичних моделей ІНДПУ NGN для врахування самоподібності вхідного потоку заявок; у роботі [5] – участь у вдосконаленні методу оцінки структурної живучості інтелектуальної надбудови NGN; у свідоцтві про реєстрацію авторського права на твір [13] – участь у розробці комп'ютерної програми для автоматизації розрахунку показників структурної живучості інтелектуальної надбудови в NGN.

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

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

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

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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

У першому розділі досліджено етапи розвитку та передумови виникнення NGN.

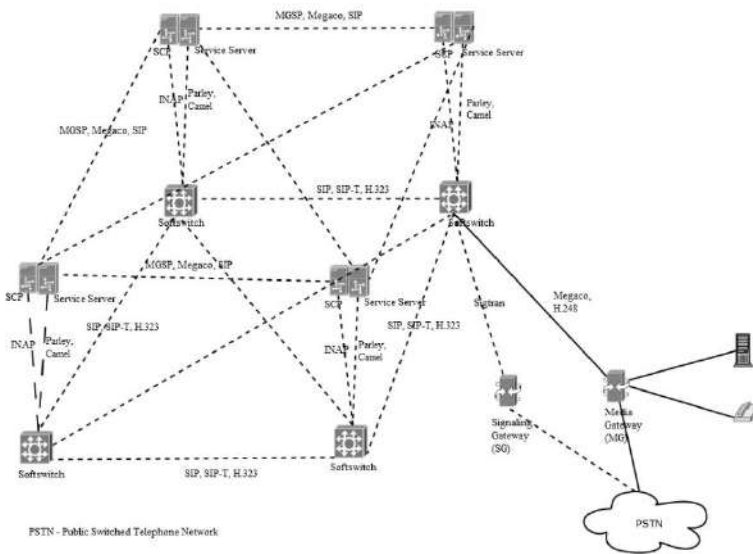


Рис.1. Архітектура NGN з ІНДПУ

розглянуто специфікації, основні принципи та базову модель NGN, представлену в рекомендаціях ІТУ. На підставі проведених досліджень ІС виявлено, що доходи від надання ІС, згідно інформації, наданої Національною комісією, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації, зростають з кожним роком, отже залишаються актуальними питання оцінки ефективності управління наданням ІС. Визначено, що в даний момент при управлінні наданням ІС в NGN використовується ІН з централізованим принципом управління (ІНЦПУ). Але при збільшенні навантаження на ІНЦПУ виникає проблема з обмеженою пропускнуою здатністю мережі сигналізації і продуктивністю серверів та може бути втрачена частина заявок на ІС. Для вирішення цієї проблеми запропонована архітектура ІНДПУ (рис.1). При ІНДПУ існує кілька вузлів комутації послуги (Softswitch) і кілька вузлів управління послугою (серверів). Пропонуються два підходи до реалізації ІНДПУ. При першому підході кожен сервер містить логіку обслуговування всіх класів ІС (універсальний сервер). Другий підхід передбачає використання спеціалізованих серверів (сервер містить логіку обслуговування лише деяких певних класів ІС). Передбачена можливість надання одного класу ІС на декількох серверах на випадок виходу з ладу будь-якого сервера.

Відмічено, що при переході до концепції ІМS функції, що виконуються ІН, переходять до рівня серверів сервісів та додатків.

Представлено існуючі підходи щодо формування векторного критерію ефективності управління наданням ІС \bar{Q} та методи переходу до результуючого скалярного критерію ефективності K_r – адитивної функції корисності.

У другому розділі на підставі рекомендацій ІТУ-Т та інших нормативних актів для формування векторного критерію ефективності управління наданням ІС, запропоновано використати наступні підкритерії:

Технічні: середній час перебування в ІН заявки на ІС – T , ймовірність втрати заявки на ІС при переповненні буфера серверу – P , кількість заявок, що очікують на обслуговування в буфері серверу (середня довжина черги) – L ; підкритерій, що враховує характер потоку заявок – H (показник Хьорста);

Економічний: вартість розгортання ІН – C ;

Евристичний: ступінь задоволення користувачів якістю надаваного ІС – P .

Тоді векторний критерій ефективності управління (ЕУ) наданням ІС \bar{Q} матиме наступний вигляд:

$$\bar{Q} = (T, P, L, H, C, P). \quad (1)$$

Визначення векторного критерію ЕУ (1), який містить декілька підкритеріїв, частина з яких може бути суперечливими (наприклад, T і P чи P і L), потребує рішення низки завдань за кожним із підкритеріїв при виконанні відповідних обмежень відносно інших підкритеріїв. Тому для отримання кількісного значення критерію ЕУ доцільно застосовувати узагальнений скалярний критерій – адитивну функцію корисності K_r (2):

$$K_r = \sum_{k=1}^S v_k Q_k, v_k > 0, \sum_{k=1}^S v_k = 1, \quad (2)$$

де Q_k – значення k -го підкритерію (нормованого або представленого в бальній шкалі); v_k – ваговий коефіцієнт, що визначає ступінь корисності, значимість k -го підкритерію; S – кількість підкритеріїв. При цьому вважатимемо, що більше значення критерію (1) відповідає більшій ефективності управління наданням ІС.

Проаналізовано існуючі методи формування значень вагових коефіцієнтів v_k : безпосередніх оцінок, послідовних порівнянь, парних порівнянь, ранжування, формування матриці пріоритетів. Перевагу надано методу формування матриці пріоритетів. Для визначення значень вагових коефіцієнтів підкритеріїв ЕУ використано експертні оцінки пріоритету та сформовано матрицю пріоритетів. Для об'єднання підкритеріїв, несумісних між собою, в результуючий скалярний критерій ЕУ їх необхідно привести їх до єдиної системи оцінювання. Це можна зробити, наприклад, за допомогою нормування або переведення в бальну шкалу. В роботі використано другий підхід – всі підкритерії переведено в бальну шкалу оцінювання. Формування бальної шкали здійснено у відповідності з логікою побудови адитивної функції корисності \bar{Q} , а саме – більшій ефективності управління відповідає більше значення функції \bar{Q} . В табл. 1 наведено приклад переведення значень підкритеріїв в п'ятибальну шкалу.

Таблиця 1

Переведення значень підкритеріїв в п'ятибальну шкалу

Оцінка в балах	T	P	L	H	C	Π
5	$0 \leq T < 200$ мс	$0 \leq P < 0,02$	$0 \leq L < 1100$	$0 \leq H < 0,2$	$0 \leq C < 6000$	Найвища
4	$200 \leq T < 400$ мс	$0,02 \leq P < 0,03$	$1100 \leq L < 1200$	$0,2 \leq H < 0,4$	$6000 \leq C < 7000$	Висока
3	$400 \leq T < 600$ мс	$0,03 \leq P < 0,04$	$1200 \leq L < 1300$	$0,4 \leq H < 0,6$	$7000 \leq C < 8000$	Середня
2	$600 \leq T < 800$ мс	$0,05 \leq P < 0,06$	$1300 \leq L < 1400$	$0,6 \leq H < 0,8$	$8000 \leq C < 9000$	Низька
1	$800 \leq T \leq 1000$ мс	$0,06 \leq P < 0,07$	$1400 \leq L \leq 1600$	$0,8 \leq H < 1$	$9000 \leq C \leq 10000$	Неприйнятна

Так, для переведення значення підкритерію T в 5-бальну шкалу прийнято: $0 \leq T < 200$ мс відповідає 5 балам, $200 \leq T < 400$ мс відповідає 4 балам і т.д. За таким же принципом створюється шкала для інших підкритеріїв.

Використовуючи вираз (2), розраховано значення результуючого скалярного критерію K_r для ІНЦПУ та ІНДПУ. Вхідні дані в бальній шкалі та результати розрахунків представлено в табл. 2. На основі отриманих результатів побудовані графіки залежності значень K_r для ІНЦПУ і ІНДПУ від інтенсивності заявок на ІС – λ (рис.2). Як видно з рис. 2, при інтенсивності надходження заявок на ІС до 20 Мбіт/с показник ЕУ при ІНЦПУ на 7,1% вищий, ніж при ІНДПУ. Але при збільшенні інтенсивності надходження заявок на ІС ситуація стрімко змінюється. При

інтенсивності надходження заявок на ІС у 100 Мбіт/с показник ЕУ при ІНЦПУ на 38% гірший, ніж при ІНДПУ.

Таблиця 2

Вхідні дані в балах та результати розрахунків

λ (Мбіт/с)	ІНЦПУ							ІНДПУ						
	T	P	L	C	H	П	K_r	T	P	L	C	H	П	K_r
10	3	5	5	3	3	5	3,92	3	5	5	1	3	5	3,66
20	3	5	5	3	3	5	3,92	3	5	5	1	3	5	3,66
30	3	5	4	3	2	4	3,58	3	5	5	1	2	5	3,60
40	3	4	3	3	2	4	3,18	3	5	4	1	2	4	3,32
50	3	4	2	3	2	3	2,90	3	4	4	1	2	4	3,14
60	2	3	2	3	1	3	2,31	2	4	3	1	2	4	2,57
70	2	3	2	3	1	2	2,25	2	4	3	1	1	3	2,45
80	1	2	1	3	1	2	1,50	2	2	3	1	1	2	2,03
90	1	1	1	3	1	1	1,26	2	2	3	1	1	2	2,03
100	1	1	1	3	1	1	1,26	2	2	3	1	1	2	2,03

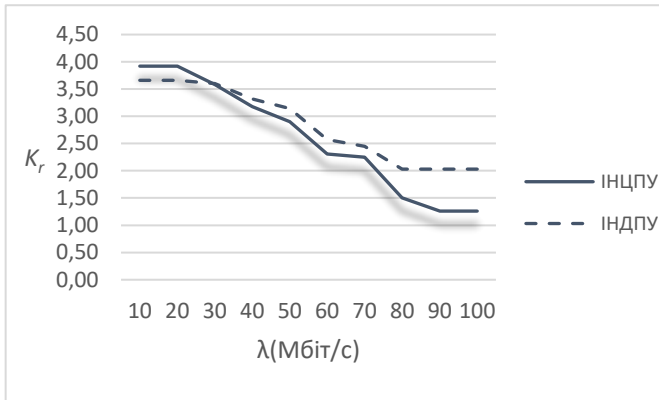


Рис. 2. Графік залежності результуючого скалярного критерію K_r від інтенсивності надходження заявок на ІС λ

$H > 0,5$, то досліджуваний трафік є самоподібним.

Розглянуто існуючі методи оцінки показника Хьорста. Перевагу надано R/S методу, оскільки він характеризується високою точністю при обробці великих масивів даних. Для доведення властивості самоподібності трафіку, що містить заявки на ІС в NGN, досліджено вхідний та вихідний трафік компанії ТОВ «Геонік нет» протягом року. Основні результати досліджень представлено в таблицях 3-5.

Графіки вхідного та вихідного трафіків компанії ТОВ «Геонік нет» протягом року представлені на рис. 3 та рис. 4.

Як видно з таблиць 3-5, і для вхідного, і для вихідного трафіку значення показника Хьорста $H > 0,5$ в широкому діапазоні часу: від одного дня до року.

Відмічено, що на сьогоднішній день при оцінці ЕУ наданням ІС при розрахунку технічних підкритеріїв вважається, що трафік в мережі представляє собою найпростіший потік. Однак таке твердження призводить до занадто оптимістичної оцінки ефективності.

В сучасних мультисервісних мережах типу NGN трафік має яскраво виражені властивості самоподібності. Урахування характеру вхідного та вихідного потоку здійснюється за допомогою введення показника Хьорста H ($0 < H < 1$). Якщо

Таблиця 3
Показник Хьорста досліджуваного трафіку за тиждень

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

Таблиця 4
Показник Хьорста досліджуваного трафіку за місяць

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

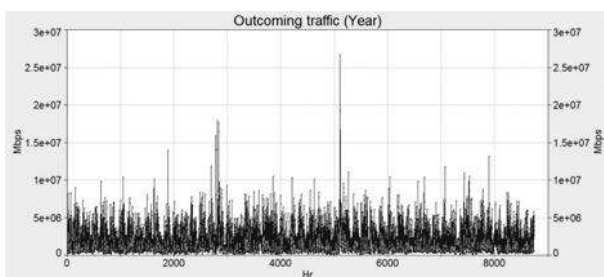


Рис.4. Вихідний трафік за рік

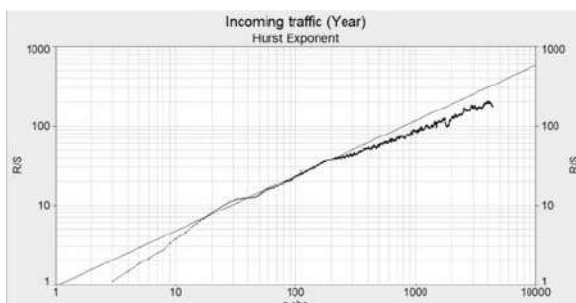


Рис. 5. Графічне відображення залежності $\log(R/S)$ від $\log(n)$ для вхідного трафіку

Таблиця 5.
Показник Хьорста досліджуваного трафіку за рік

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

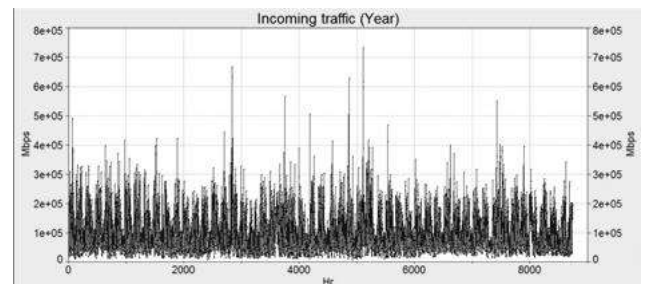


Рис. 3. Вхідний трафік за рік

Графічне відображення залежностей $\log(R/S)$ від $\log(n)$, де n – це кількість складових часового ряду, для розрахунку показника Хьорста вхідного та вихідного трафіку за річний період зображено на рис. 5 та рис. 6.

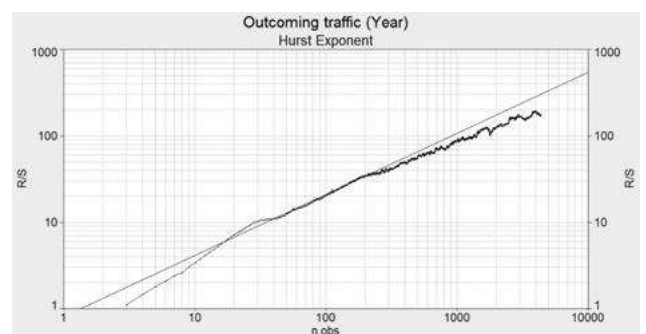


Рис.6. Графічне відображення залежності $\log(R/S)$ від $\log(n)$ для вихідного трафіку

У третьому розділі основна увага приділяється розробці аналітичних моделей ІН NGN. При цьому наведено два методичних підходи до формування моделей:

- 1) Показник Хьорста $0 < H \leq 0,5$;
- 2) Показник Хьорста $H > 0,5$.

Методичний підхід 1. Для створення аналітичної моделі ІН для розрахунку технічних підкритеріїв показана можливість застосування апарату теорії масового обслуговування та теорії марківських випадкових процесів. ІНДПУ представлена як мережа масового обслуговування (МеМО) а її окремі вузли – як системи масового обслуговування (СМО). ІНДПУ представляє собою розімкнену мережу, оскільки заявки в неї надходять із зовнішнього середовища і йдуть після обслуговування в зовнішнє середовище. Заявки з виходів одного серверу можуть надходити на входи інших. Вхідним потоком заявок називатимемо потік заявок, що приходить на вхід окремого серверу із зовнішнього середовища, тобто не з виходу якого-небудь іншого серверу. Сервери ІН мають буфери обмеженої ємкості, саме тому доцільно скористатися підходами теорії марківських процесів.

ІНДПУ представлено у вигляді розімкненої експоненційної МеМО з G вузлами, що відповідають серверам. Вузли i МеМО – одноканальні – $K_i = 1$, де $i = \overline{1, G}$. Накопичувачі в вузлах мають обмежену ємкість r_i . Задано $r_i = W$, де $i = \overline{1, G}$. Вхідний потік заявок – *неоднорідний*: у систему надходить N класів заявок з інтенсивностями λ_i^k , де $i = \overline{1, G}$ – номер серверів, $k = \overline{1, N}$ – клас заявок. Дисципліни буферизації у вузлах – з втратами заявок, якщо накопичувачі заповнені. Дисципліна обслуговування – *з відносними пріоритетами*: чим менше значення N , тим вищий пріоритет заявок. Всякий раз з накопичувача на обслуговування вибирається заявка з найвищим пріоритетом. При цьому під час надходження до системи високопріоритетної заявки обслуговування низькопріоритетної не уривається. Задані матриці $S^k = \|s_{ij}^k\|$ ймовірностей передач заявки з поточного серверу i на інші сервери j або обслуговування поточним сервером, де $i, j = \overline{1, G}$ – номер серверів, для класів заявок $k = \overline{1, N}$. При $i \neq j$ s_{ij}^k відповідає ймовірності передачі, при $i = j$ s_{ij}^k відповідає ймовірності обслуговування поточним сервером. Враховано наступні припущення і допущення. Тривалість обслуговування заявок у вузлах МеМО розподілена по експоненційному закону з інтенсивностями обслуговування $\mu_i^k = 1/b_i^k$, де $i = \overline{1, G}$ – номер серверів, $k = \overline{1, N}$ – клас заявок. b_i^k – середня тривалість обслуговування заявок k -го класу на i -му сервері. У розімкненій МеМО з обмеженими буферами при будь-якому навантаженні існує стаціонарний режим, оскільки у вузлах мережі не може бути нескінченних черг.

Для визначення підкритеріїв ЕУ наданням ІС ІН, представленої у вигляді узагальненої МеМО, запропонований алгоритм, що містить наступні етапи:

1. *Кодування станів системи.* Кодуються стани E_τ , де $\tau = \overline{1, J}$, J – кількість станів системи, таким чином: $(Syst_1/Syst_2/.../Syst_i/... Syst_G)$, де $i = \overline{1, G}$ – кількість серверів. $Syst_i = (П, Ч)$, де $П = \overline{0, N}$ – стан обслуговуючого приладу, що задається

класом заявки, яка знаходиться на обслуговуванні, $Ч$ – стан накопичувача, представлений, як множина з W елементів: $Ч = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_r, \dots, c_W\}$. При цьому c_r , де $r = \overline{1, W}$ може приймати значення $c_r = \overline{0, N}$. При формуванні черги $Ч$ необхідно враховувати пріоритети заявок.

2. *Формування розміченого графу переходів системи.* Граф переходів будується по закодованих станах E_τ . При цьому слід враховувати ймовірності передачі чи обслуговування заявок поточним сервером. В такому разі вага дуги розраховується як добуток відповідних інтенсивності та ймовірності s_{ij}^k .

3. *Формування системи рівнянь та визначення стаціонарних ймовірностей.* По графові переходів формується система рівнянь та визначаються стаціонарні ймовірності станів p_τ .

4. *Розрахунок технічних підкритеріїв для ІНДПУ.* Знайшовши всі необхідні стаціонарні ймовірності станів p_τ , можна розрахувати необхідні підкритерії для ІНДПУ.

Середня кількість заявок в черзі i -го серверу \bar{L}_i розраховується як сума ймовірностей станів, при яких в черзі i -го серверу є заявка. Якщо в певному стані в черзі знаходиться m заявок, то ймовірність стану необхідно помножити на m :

$$L_i = \sum_z m_z p_z, \quad (3)$$

де z – порядковий номер станів, при яких в черзі i -го серверу є заявка.

Тоді загальна довжина черги при ІНДПУ:

$$L_{\text{ІНДПУ}} = \sum_{i=1}^G L_i. \quad (4)$$

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

$$\rho_i^k = \min\left(\sum_l p_l; 1\right), \quad (5)$$

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

Продуктивності вузлів (інтенсивність обслужених заявок відповідного класу на виході вузлів) визначаються за формулою (6):

$$\lambda_i^{k'} = \rho_i^k \mu_i^k. \quad (6)$$

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

$$P_i^k = 1 - \frac{\lambda_i^{k'}}{\lambda_\Sigma}, \quad (7)$$

де λ_Σ – сума інтенсивностей всіх потоків заявок k -го класу, що надійшли на i -й сервер.

Ймовірність втрати заявок відповідного класу в ІН:

$$P^k = 1 - \frac{\sum_{i=1}^G \lambda_i^{k'}}{\sum_{i=1}^G \lambda_i^k} . \quad (8)$$

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

$$M_i^k = \sum (m_n + 1) p_n , \quad (9)$$

де n – порядковий номер зазначених вище станів.

Методичний підхід 2. Вводиться поняття самоподібності вхідного та циркулюючого всередині ІН трафіку, що містить заявки на ІС. Представлено формування аналітичної моделі ІН в загальному вигляді для розрахунку технічних підкритеріїв ефективності надання ІС з врахуванням самоподібності трафіку.

Сутність методичного підходу 2 надана для ІНДПУ, яка представлена у вигляді розімкненої МеМО з G вузлами. Вузли МеМО – одноканальні. Накопичувачі в вузлах мають обмежену ємкість r_i , де $i = \overline{1, G}$ – кількість пристроїв (серверів). Сервери ІНДПУ являються спеціалізованими, тобто кожен сервер може обслуговувати лише певний набір класів заявок на ІС. Заявки інших класів перенаправляються на сервери, котрі містять необхідну логіку обслуговування. З урахуванням цього позначено інтенсивності потоків в ІНДПУ як λ_{ij}^k , де $i, j = \overline{1, G}$ – номери серверів, $k = \overline{1, N}$ – клас заявок. i та j можуть також приймати значення «0». Якщо $i = 0$, то це означає, що заявка на сервіс надходить на сервер від Softswitch. У випадку, коли $j = 0$, заявка на сервіс обслуговується і залишає мережу.

Приймається, що інтенсивність обслуговування у вузлах МеМО μ_i , де $i = \overline{1, G}$ для різних класів ІС на сервері i однакова. Дисципліни буферизації у вузлах – з втратами заявок, якщо накопичувачі заповнені. Дисципліна обслуговування – *FIFO*

В розглянутій моделі до кожного серверу надходить груповий (агрегований) потік від декількох джерел (*Softswitch*, інші сервери). Особливої уваги потребує наступний факт: при агрегуванні потоків від декількох джерел в разі, якщо хоча б один з потоків має властивість самоподібності, то властивістю самоподібності буде володіти і результуючий агрегований потік. Об'єднання потоків від джерел, генеруючих трафік, що описується процесом з нескінченною дисперсією, призводить до самоподібного мережевого трафіку, який наближається до трафіку, описуваного моделлю фрактального броунівського руху. Самоподібність також зберігається при об'єднанні потоків і від однорідних, і від різнорідних джерел трафіку. Визначення параметра Хьорста H для випадку, коли об'єднуються k потоків з ефектом самоподібності, що володіють різними значеннями цього параметру, здійснюється за виразом (10):

$$H = \max(H_1, H_2, \dots, H_k) . \quad (10)$$

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

Фрактальний броунівський рух (гаусівський випадковий процес) $B_H(t)$, де $0 < H < 1$ – показник Хьорста, можна задати в інтегральному вигляді (11):

$$B_H(t) = B_H(0) + \frac{1}{r(H + \frac{1}{2})} \left\{ \int_{-\infty}^0 \left[(t-s)^{H-\frac{1}{2}} - (-s)^{H-\frac{1}{2}} \right] dB(s) + \int_0^t (t-s)^{H-\frac{1}{2}} dB(s) \right\}. \quad (11)$$

Дисперсія процесу має вигляд (12):

$$DB_H(t) = t^{2H}. \quad (12)$$

Коваріаційна функція процесу:

$$R(t,s) = MB_H(t)B_H(s) = \frac{1}{2} \left\{ t^{2H} + s^{2H} - |t-s|^{2H} \right\}. \quad (13)$$

Значенню $H = 0,5$ відповідає звичайний броунівський рух (вінерівський процес) з незалежними приростами. Якщо $H \neq 0,5$, то прирости процесу $B_H(t)$ на часових інтервалах, що не перетинаються, є стохастично залежними, причому значенням $H > 0,5$ відповідає додатна кореляція приростів, а значенням $H < 0,5$ – від’ємна.

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

$$\zeta(t) = \lambda t + \sqrt{\zeta \lambda} B_H(t), \quad (14)$$

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

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

Модель фрактального броунівського руху має три параметри – $\{\lambda, \zeta, H\}$, які описують такі характеристики реальних потоків як середня інтенсивність потоку λ , яка вимірюється в пакет/с або біт/с, і яка є кількісною характеристикою трафіку, а також параметр ζ (пакет/с або біт/с) і безрозмірна величина H , які описують якісні характеристики трафіку. Параметр ζ є коефіцієнтом дисперсії:

$$\zeta = \sigma^2 / \lambda. \quad (15)$$

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

Використаний у виразі (11) процес $B_H(t)$ – нормований фрактальний броунівський рух з нульовим математичним очікуванням $MB_H(t) = 0 \forall t$. $B_H(t)$ є математичним об’єктом, який не має фізичної розмірності та його аргумент t – також

безрозмірний. Тому при моделюванні інформаційних потоків більш коректно використовувати $B_H(t/t_u)$, де t – фізичний час, а t_u – одиниця виміру часу.

Комбінація параметрів $\{\lambda, \zeta, H\}$ в повній мірі описує модель групового трафіку, тобто використання цих параметрів для оцінки ймовірнісно-часових характеристик потоку для серверів мережі призводить до того, що будь які два потоки в мережі, охарактеризовані однаковими параметрами $\{\lambda, \zeta, H\}$, мають однакові ймовірнісно-часові характеристики, а значить однакові технічні підкритерії.

Для оцінки таких параметрів як інтенсивність Λ та коефіцієнт дисперсії ζ запропоновано використати формули математичної статистики (16-17):

$$\Lambda_i = \sum_j \sum_k \lambda_{ij}^k, \quad i = \overline{1, G}. \quad (16)$$

$$\zeta_i = \frac{\sum_j \sum_k \zeta_{ij}^k \lambda_{ij}^k}{\sum_j \sum_k \lambda_{ij}^k}, \quad i = \overline{1, G}. \quad (17)$$

Використовуючи модель фрактального броунівського руху, Норрос отримав вирази, котрі пов'язують ймовірність втрат заявок на сервіси, необхідну інтенсивність обслуговування заявок, середню довжину черги, об'єм буфера. Базуючись на результатах, отриманих Норросом для системи $fBM/D/1/\infty$, в даній роботі для системи $fBM/D/1/r$ представлені наступні вирази для часу обслуговування заявки на i -му сервері T_i та ймовірності втрати заявки на сервіс через переповнення буфера P_i при вхідному трафіку з ефектом самоподібності (18-19):

$$T_i = \frac{1}{\mu} \left[1 + \frac{\Lambda_i^{2H-1/2(1-H)}}{(\mu - \Lambda_i)^{H/(1-H)}} \right], \quad i = \overline{1, G}, \quad (18)$$

$$P_i = \exp \left[\frac{(\mu_i - \Lambda_i)^{2H}}{2F(H)^2 \zeta_i \Lambda_i} r^{2-2H} \right], \quad i = \overline{1, G}, \quad (19)$$

де $F(H) = H^H (1 - H^{1-H})$.

Представлено вирази для розрахунку економічного підкритерію – вартості розгортання $И - С$ та евристичного підкритерію – ступеню задоволення користувачів якістю надаваного ІС – $П$.

У четвертому розділі основна увага приділена автоматизації розробки аналітичних моделей та розробці імітаційних моделей ІНДПУ NGN для розрахунку ефективності надання ІС. Як зазначалося у третьому розділі (методичний підхід 1), для розрахунку технічних підкритеріїв необхідно закодувати стани системи, побудувати граф переходів, сформуванати систему рівнянь та вирішити її. Слід відзначити, що трудомісткість даних задач суттєво зростає при зростанні кількості класів заявок на ІС та при зростанні довжини черги. На рис. 7 та рис. 8 зображено, як змінюється кількість станів системи в залежності від кількості класів заявок на ІС, а також від довжини черги. Значне збільшення кількості станів унеможлиблює використання ручних розрахунків.

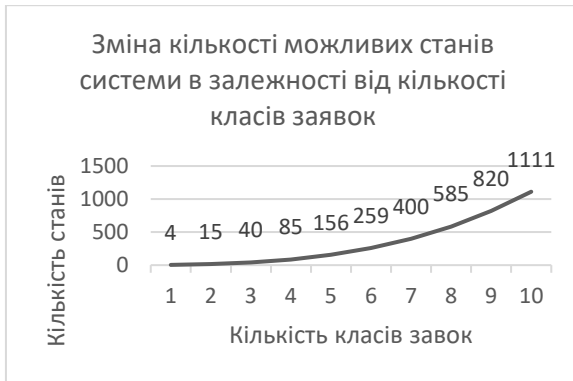


Рис. 7. Графік залежності кількості можливих станів системи від кількості класів заявок в системі з одним обслуговуючим приладом та розміром буфера $r=2$

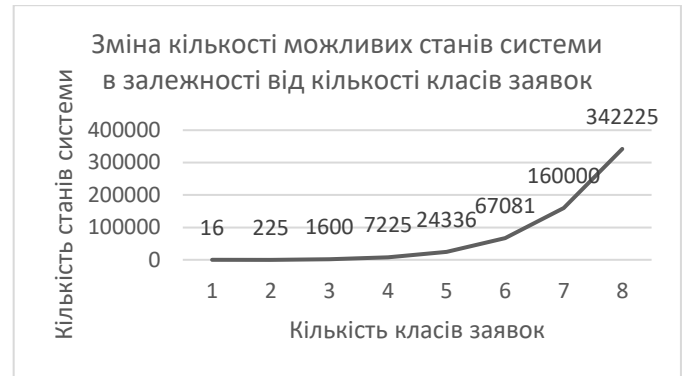


Рис. 8. Графік залежності кількості можливих станів системи від кількості класів заявок в системі з двома обслуговуючими приладами та розміром буфера $r=2$

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

В якості вхідних даних використовуються: кількість серверів, тип серверів, розмір буфера, кількість класів заявок на ІС, назва класів та пріоритет для кожного з класів. На основі введених даних ПЗ автоматично кодує всі можливі стани системи, формує розмічений граф переходів (приклад представлено на рис. 9), формує систему рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей знаходження системи у відповідних станах та представляє вирази для розрахунку технічних підкритеріїв.

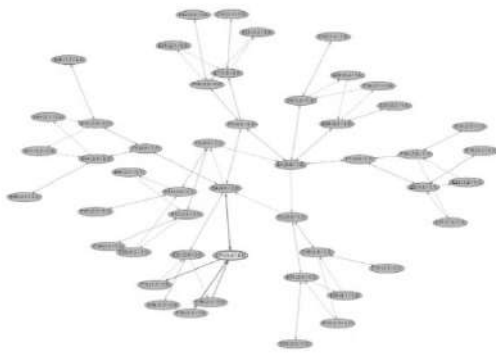


Рис. 9. Розмічений граф переходів

В системі моделювання NS-2 у вигляді сценарію мовою TCL розроблено імітаційну модель ІН NGN. В розробленій імітаційній моделі представлена структура з декількох вузлів-абонентів, які генерують заявки на ІС і відправляють їх на програмні комутатори Softswitch, які переадресовують їх на сервери обслуговування. При генеруванні заявок на ІС вказується розмір пакетів даних (packetSize), інтервал їх відправки (rate) і розмір вікна TCP. (window_). Відправка заявок відбувається через

протокол TCP. В імітаційній моделі допущено, що мережа має необмежену пропускну здатність. Абоненти можуть генерувати як експоненційний, так і самоподібний трафік. Для генерації трафіку в системі NS-2 використовуються об'єкти типу Traffic. Вони створюються методами Traffic/type, де type – Exponential, Pareto або Tracer. Об'єкт Traffic/Pareto – ON/OFF генератор трафіку згідно розподілення 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.

В результаті моделювання отримана низка важливих графіків. На рис. 10 та рис. 11 представлено графіки зміни середньої довжини черги заявок в буфері L в моделях

з п'ятьма і 100 абонентами при експоненційному, самоподібному і змішаному трафіку.

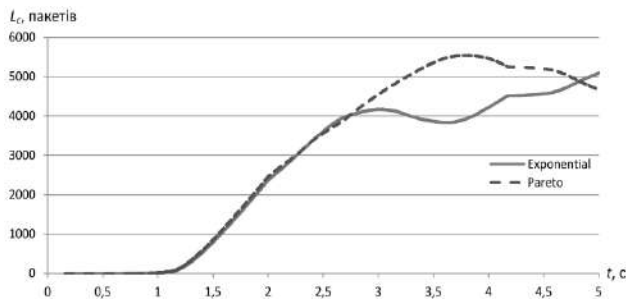


Рис. 10. Середня довжина черги заявок від 5 абонентів

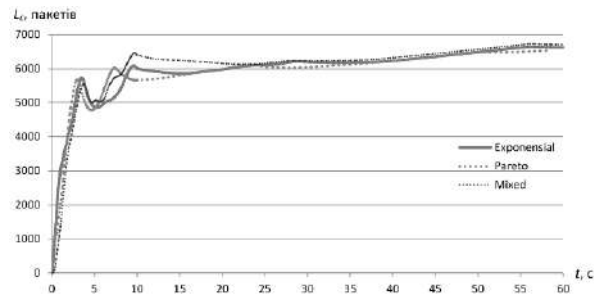


Рис. 11. Середня довжина черги заявок від 100 абонентів

При самоподібному трафіку середня довжина черги L в буфері досягає свого локального екстремуму за 4 с роботи мережі. При експоненційному трафіку значення середньої довжини черги L на 28% менше ніж при самоподібному. Довжина черги L при експоненційному трафіку має експоненте зростання. У той же час при самоподібному трафіку відбуваються коливання значення середньої довжини черги L , але значення екстремумів функції більше, ніж при експоненційному трафіку. Як видно з графіку на рис. 13, при зростанні кількості абонентів значення середньої довжини черги L при різних типах мережевого трафіку зрівнюється. На різних часових проміжках роботи мережі спостерігається зростання середньої довжини черги L . Але середнє значення L при самоподібному трафіку на 6% більше ніж при змішаному, та на 9% більше, ніж при експоненційному.

На рис. 12 та рис. 13 показані графіки зміни середнього значення часу знаходження абонентських заявок в системі T і очікування в черзі W в моделі зі 100 абонентами.

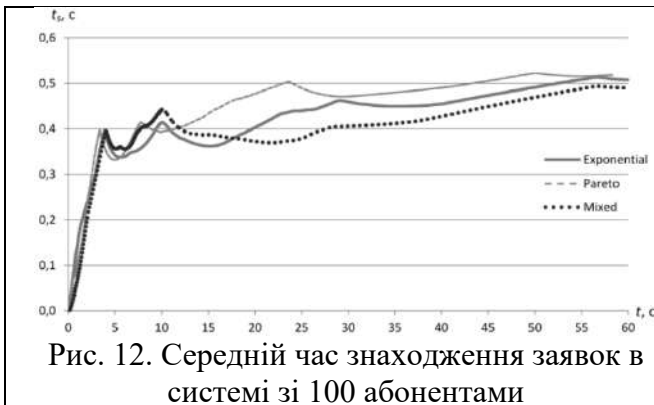


Рис. 12. Середній час знаходження заявок в системі зі 100 абонентами

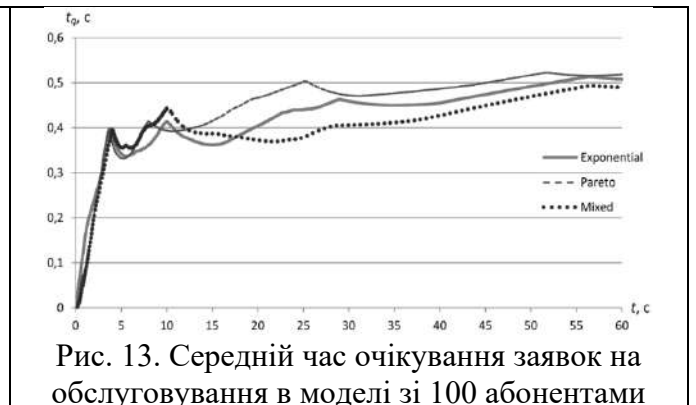


Рис. 13. Середній час очікування заявок на обслуговування в моделі зі 100 абонентами

Як видно з графіків на рис. 12 середнє значення часу знаходження заявки в системі T при самоподібному трафіку на 9% більше, ніж при експоненційному та змішаному. Подібна тенденція до погіршення середнього показника при самоподібному трафіку спостерігається і на рис. 13. На різних часових проміжках роботи імітаційної моделі, показники при різному типі мережевого трафіку можуть погіршуватись або покращуватись, але чим довше працює система, тим середнє значення технічних підкритеріїв при самоподібному трафіку погіршується відносно експоненційного. На рис. 13 середнє значення часу очікування заявки на обслуговуванні W на 13% більше ніж при експоненційному.

ВИСНОВКИ

1. На підставі проведених досліджень виявлено, що в даний момент при управлінні наданням ІС використовується централізована система. Але при збільшенні завантаження системи виникає проблема з обмеженою пропускну здатністю мережі сигналізації і продуктивністю центрів управління послугами. Для вирішення цієї проблеми запропонована архітектура ІНДПУ, котра призначена для зменшення навантаження на ІН, що забезпечує підвищення ЕУ.

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

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

4. Проведено розрахунки ефективності централізованого та децентралізованого методів управління наданням ІС. Показано, що при інтенсивності надходження заявок на ІС до 20 Мбіт/с показник ЕУ при ІНЦПУ на 7,1% вищий, ніж при ІНДПУ. Але при збільшенні інтенсивності надходження заявок на ІС ситуація стрімко змінюється. При інтенсивності надходження заявок на ІС у 100 Мбіт/с, показник ЕУ при ІНЦПУ на 38% гірший, ніж при ІНДПУ.

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

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

7. Розроблено програмне забезпечення для автоматизації розрахунку ймовірних станів системи, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для визначення стаціонарних ймовірностей системи. На запропоноване програмне забезпечення отримано Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №83843. Комп'ютерна програма «Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу».

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

9. Розроблені імітаційні моделі системи управління ІС з можливістю зміни кількості абонентів в мережі, а також типу мережевого трафіку. Проведено модельні експерименти з метою визначення показників роботи мережі при збільшенні кількості абонентів та зміни характеру мережевого трафіку. В результаті моделювання

отримані графіки інтенсивності потоку заявок на обслуговування, зміни середньої довжини черги заявок, середнього часу знаходження заявок в системі та середнього часу очікування заявок на обслуговування.

10. В результаті моделювання було визначено, що середній час знаходження заявки в системі при самоподібному трафіку на 9% гірший, ніж при експоненційному та змішаному. Показник середнього часу на обслуговуванні заявки при самоподібному трафіку на 13% гірший, ніж при експоненційному.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ У МІЖНАРОДНИХ ВИДАННЯХ

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

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

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ У ФАХОВИХ ВИДАННЯХ

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

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

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

СПИСОК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ НА МІЖНАРОДНИХ КОНФЕРЕНЦІЯХ

6. Пустовой Б.Л. Оценка эффективности управления интеллектуальными услугами / Б.Л. Пустовой, Т.В. Кунуп. – Десятая международной научно-технической конференция «Проблемы телекоммуникаций» и Восьмой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Перспективы развития информационно-телекоммуникационных технологий и систем» ко Дню науки и Всемирному Дню телекоммуникаций 19-22 апреля 2016 года. – г. Киев, 2016. – с.244-247.

7. Пустовий Б. Моделювання процесів надання інтелектуальних сервісів у системі NS-2 – Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та студентів, Івано-Франківськ, 10–12 квіт. 2017 р. – с.38-43.

8. Пустовий Б.Л. Використання системи NS-2 для моделювання самоподібного трафіку. - VI Міжнародна науково-практична конференція (I

Міжнародний симпозіум) "Практичне застосування нелінійних динамічних систем в інфокомунікаціях". - 9-11 листопада 2017 м. Чернівці.

9. Пустовий Б.Л., Князева Н.О., Автоматизація формування рівняння балансу марківського процесу. – Дванадцята міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" і Десята міжнародна науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Перспективи розвитку інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем» до Дня науки та Всесвітнього Дня телекомунікацій 16-20 квітня 2018 року. – м. Київ, 2018. – с.230-232.

СПИСОК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ НА ВСЕУКРАЇНСЬКИХ КОНФЕРЕНЦІЯХ

10. Кунуп Т.В., Пустовой Б.Л. – XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених «Состояние, достижения и перспективы информационных систем и технологий», аспирантов и студентов. – г. Одесса, ОНАХТ, 2016. – с.131-134.

11. Пустовой Б.Л. Особенности имитации децентрализованного принципа управления в системе NS-2. – XVI Всеукраїнська науково-технічна конференція молодих учених «Состояние, достижения и перспективы информационных систем и технологий», аспирантов и студентов. – г. Одесса, ОНАХТ, 2016. – с. 61-63.

СПИСОК СВДОЦТВ ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

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

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

АНОТАЦІЯ

Пустовий Б. Л. Ефективність децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі. – Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Міністерство освіти і науки України. – Одеса, 2021.

У дисертаційній роботі досліджуються питання ефективності децентралізованого управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN з урахуванням самоподібності трафіку. Удосконалено аналітичну модель інтелектуальної надбудови NGN з децентралізованим принципом управління, що ураховує самоподібність вхідного та циркулюючого в інтелектуальній надбудові потоку заявок на основі використання моделі фрактального броунівського руху. Удосконалено метод розрахунку ймовірних станів інтелектуальної надбудови, побудови графу переходів марківського процесу та формування системи рівнянь для

визначення ймовірностей знаходження інтелектуальної надбудови у відповідному стані, який, на відміну від існуючих, дозволяє на підставі запропонованого кодування станів системи застосовувати автоматизовані засоби формування рівнянь балансу. Дістав подальшого розвитку метод оцінки ефективності управління наданням інтелектуальних сервісів в NGN, який надає можливість урахування самоподібності мережевого трафіку, а також найбільш впливових факторів, включаючи ступень задоволеності користувачів якістю інтелектуальних сервісів. Дістав подальшого розвитку метод формування аналітичної моделі інтелектуальної надбудови з децентралізованим принципом управління наданням інтелектуальних сервісів як мережі масового обслуговування, який надає можливість урахування стохастичного характеру надходження заявок на обслуговування на підставі використання математичного апарату теорії марківських процесів.

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

АННОТАЦІЯ

Пустовой Б. Л. Эффективность децентрализованного управления предоставлением интеллектуальных сервисов в NGN с учетом самоподобия трафика. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 - Телекоммуникационные системы и сети. – Государственный университет интеллектуальных технологий и связи, Министерство образования и науки Украины. – Одесса, 2021.

В диссертационной работе исследуются вопросы эффективности децентрализованного управления предоставлением интеллектуальных сервисов в NGN с учетом самоподобия трафика. Усовершенствована аналитическая модель интеллектуальной надстройки NGN с децентрализованным принципом управления, которая учитывает самоподобие входящего и циркулирующего в интеллектуальной надстройке потока заявок, на основе использования модели фрактального броуновского движения. Усовершенствован метод расчета вероятных состояний интеллектуальной надстройки, построения графа переходов марковского процесса и формирования системы уравнений для определения вероятностей нахождения интеллектуальной надстройки в соответствующем состоянии, который, в отличие от существующих, позволяет на основании предложенного кодирования состояний системы применять автоматизированные средства формирования уравнений баланса. Получил дальнейшее развитие метод оценки эффективности управления предоставлением интеллектуальных сервисов в NGN, который предоставляет возможность учета самоподобия сетевого трафика, а также наиболее влияющих факторов, включая степень удовлетворенности пользователей качеством интеллектуальных сервисов. Получил дальнейшее развитие метод формирования аналитической модели интеллектуальной надстройки с децентрализованным принципом управления предоставлением интеллектуальных сервисов как сети

массового обслуживания, который предоставляет возможность учета стохастического характера поступления заявок на обслуживание на основе использования математического аппарата теории марковских процессов.

Ключевые слова: NGN, интеллектуальный сервис, интеллектуальная надстройка, критерий эффективности управления, методы управления, самоподобный сетевой трафик, марковский процесс, броуновское движение.

ABSTRACT

Pustovyi B. L. Efficiency of decentralized control of providing intelligent services in NGN considering the self-similarity of traffic. - Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.12.02 - Telecommunication systems and networks. – State university of intelligent technologies and telecommunications, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Odessa, 2021.

The dissertation work investigates the effectiveness of decentralized control of the providing of intelligent services in NGN considering the self-similarity of traffic. The analytical model of the intelligent NGN superstructure with a decentralized control principle considering the self-similarity of the entering and circulating in the intelligent superstructure flow of requests based on the use of the fractal Brownian motion model has been improved. The method for calculating the probable states of an intelligent superstructure, constructing a transition graph of the Markov process and forming a system of equations for determining the probabilities of finding an intelligent superstructure in a corresponding state, which, unlike the existing ones, allows using automated means of generating balance equations based on the proposed coding of system states, has been improved. The method for assessing the efficiency of intelligent service provision control in NGN has been further developed, which makes it possible considering the self-similarity of network traffic, as well as the most influential factors, including the degree of user satisfaction with the quality of intelligent services. The method of forming an analytical model of an intelligent superstructure with a decentralized principle of controlling the provision of intelligent services as a queuing network was further developed, which makes it possible considering the stochastic nature of the receipt of service requests based on the use of the mathematical apparatus of the theory of Markov processes.

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