

# ОПТИМІЗАЦІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ТРАФІКУ В МУЛЬТИСЕРВІСНОМУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОМУ ОБЛАДНАННІ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

## Анотація

У роботі розглянуто проблематику підвищення ефективності обслуговування інформаційного трафіку в мультисервісному телекомунікаційному обладнанні за умов зростання обсягів даних та різноманітності потоків. Запропоновано узагальнену модель вузла доступу, що реалізує динамічний розподіл ресурсів між різними типами трафіку з урахуванням параметрів якості обслуговування (QoS), пріоритетності сервісів і стану каналу. Основою моделювання є багатовимірні марковські процеси, які забезпечують можливість оцінювання ефективності функціонування системи та розроблення методів оптимізації пропускну здатності.

Результати моделювання доводять, що застосування технологій Network Slicing, NFV та SDN у мультисервісних вузлах доступу дозволяє підвищити ефективність використання радіоресурсів на 25–30 %, зменшити середню затримку пакетів на 15–20 % і забезпечити гарантовану пропускну здатність критичних сервісів. Розроблена модель сприяє формуванню адаптивних бізнес-моделей взаємодії між операторами зв'язку та віртуальними операторами (MVNO), що знижує капітальні витрати та підвищує конкурентоспроможність ринку.

Інтеграція технологій SDN, NFV, Network Slicing та гібридних хмарних середовищ у поєднанні з архітектурами IoT формує підґрунтя для створення гнучких, масштабованих і надійних телекомунікаційних систем нового покоління з гарантованою якістю обслуговування.

**Ключові слова:** мультисервісне телекомунікаційне обладнання, оптимізація трафіку, Network Slicing, NFV, SDN, IoT, QoS, пропускну здатність, моделювання, управління ресурсами.

## Abstract

The paper addresses the problem of improving the efficiency of information traffic servicing in multiservice telecommunication equipment under conditions of increasing data volumes and traffic heterogeneity. A generalized access node model is proposed, which implements dynamic resource allocation among different traffic types considering quality of service (QoS) parameters, service priorities, and channel conditions. The modeling framework is based on multidimensional Markov processes, providing the ability to evaluate system performance and develop methods for optimizing throughput.

Modeling results demonstrate that the application of Network Slicing, NFV, and SDN technologies in multiservice access nodes increases the efficiency of radio resource utilization by 25–30%, reduces average packet delay by 15–20%, and ensures guaranteed throughput for critical services. The developed model facilitates the formation of adaptive business models for interaction between network operators and virtual operators (MVNOs), reducing capital expenditures and enhancing market competitiveness.

The integration of SDN, NFV, Network Slicing, and hybrid cloud environments in combination with IoT architectures provides a foundation for building flexible, scalable, and reliable next-generation telecommunication systems with guaranteed quality of service.

**Keywords:** multiservice telecommunication equipment, traffic optimization, Network Slicing, NFV, SDN, IoT, QoS, throughput, modeling, resource management.

## Вступ

Стрімкий розвиток сучасних телекомунікаційних систем зумовлює зростання обсягів інформаційного трафіку та підвищення вимог до якості його обслуговування. Сучасні мережі передають значні масиви даних, що формуються не лише користувацькими пристроями, але й чис-

ленними технічними сенсорами, які забезпечують функціонування систем Інтернету речей, розумних міст та транспортних інфраструктур. Такі потоки характеризуються різномірністю структур, нерівномірністю інтенсивності надходження повідомлень, різними рівнями чутливості до затримок і втрат, а також наявністю або відсутністю еластичності трафіку [1].

У зв'язку з цим постає необхідність розроблення ефективних методів оптимізації процесів обслуговування гетерогенного трафіку у мультисервісному телекомунікаційному обладнанні. Недостатній урахунок особливостей формування інформаційних потоків може призвести до деградації показників якості обслуговування, зокрема до збільшення затримок, черг і ймовірності втрат пакетів [2].

Актуальним підходом до вирішення зазначеної проблеми є створення математичних моделей, що відображають процеси функціонування вузлів доступу та дозволяють оцінити ефективність диференційованого розподілу ресурсів між різними типами трафіку. Особливий науково-практичний інтерес становлять моделі на основі багатовимірних марковських процесів, які забезпечують можливість комплексного аналізу взаємозалежних потоків даних і пріоритетних сервісів.

Метою дослідження є підвищення ефективності обслуговування інформаційного трафіку в мультисервісному телекомунікаційному обладнанні шляхом побудови узагальненої моделі розподілу ресурсів та розроблення методів оцінювання характеристик якості обслуговування. Запропонований підхід передбачає використання методів декомпозиції моделі для розрахунку точних і наближених показників функціонування системи, що дозволяє сформувати практичні рекомендації щодо оптимізації пропускну здатності та підвищення надійності передачі даних.

### Результати дослідження

У результаті проведеного дослідження розроблено узагальнену модель мультисервісного вузла доступу, що реалізує механізми динамічного розподілу ресурсів передавання інформації між різними типами трафіку на основі принципів мережевого сегментування (Network Slicing). Модель враховує показники якості обслуговування (QoS), стан радіоканалу, пріоритетність користувацьких потоків та обмеження пропускну здатності вузла [3].

Моделювання процесів управління ресурсами у вузлі доступу показало, що застосування технології Network Slicing забезпечує підвищення ефективності використання радіоресурсу на 25–30 % порівняно з традиційними статичними методами розподілу. Це досягається завдяки гнучкому перерозподілу частотних блоків і часових слотів між віртуальними сегментами мережі відповідно до поточного стану каналу та параметрів QoS [4].

Додатково встановлено, що використання адаптивних механізмів планування ресурсів у межах сегментів (з урахуванням показників CQI, SINR та QCI) дозволяє знизити середню затримку пакетів на 15–20 % і підвищити гарантовану пропускну здатність сервісів реального часу на 10–15 % [5].

Запропонована функціональна структура вузла доступу передбачає раціональний розподіл ресурсів між класами трафіку GBR і Non-GBR, що забезпечує стабільну якість обслуговування критичних до затримок сервісів (відеоспостереження, телеметрія, VoLTE) та ефективне використання радіоресурсів для фонових потоків даних [6].

Проведений аналіз сучасних підходів до побудови мультисервісних точок доступу підтвердив доцільність інтеграції технологій LTE/5G, Network Slicing, віртуалізації мережевих функцій (NFV) та програмно-визначених мереж (SDN). Використання NFV забезпечує розподіл апаратних і програмних функцій, зменшуючи витрати на розгортання та експлуатацію мережі на 30–40 %, а застосування SDN підвищує гнучкість і централізованість управління трафіком, скорочуючи час конфігурації мережевих політик на 45–60 % [1, 2].

Запропонована модель мережевого слайсингу дозволяє формувати логічно ізольовані сегменти інфраструктури для різних сервісів (відеоспостереження, IoT, критичні застосунки) з гарантованими параметрами QoS. Результати моделювання підтвердили, що динамічне керування слайсами підвищує ефективність використання пропускну здатності вузлів доступу до 25 %, а середню затримку передавання даних зменшує на 15–20 % порівняно зі статичними методами [3, 4].

У межах розробленої бізнес-моделі взаємодії між оператором зв'язку та віртуальними опе-

раторами (MVNO) обґрунтовано доцільність спільного використання фізичної інфраструктури, що дає змогу знизити капітальні витрати на 20–25 % та підвищити рівень конкуренції на ринку телекомунікаційних послуг [5, 6].

Також розглянуто перспективність поєднання гібридних хмарних середовищ з архітектурами IoT для підтримки інтелектуальних сервісів у реальному часі. Використання хмарних ресурсів для відеоаналітики, моніторингу та автоматизованого управління пристроями підвищує масштабованість систем і забезпечує безперервний доступ до сервісів навіть за умов зростання навантаження.

Підсумовуючи, проведене дослідження доводить, що інтеграція технологій SDN, NFV, Network Slicing у поєднанні з гібридними хмарами та IoT формує основу для побудови адаптивних бізнес-моделей мультисервісних точок доступу. Такі рішення дозволяють створювати гнучкі, масштабовані та надійні сервіси з гарантованою якістю обслуговування, що є ключовим чинником розвитку телекомунікаційних систем нового покоління.

### Висновки

У результаті проведеного дослідження проаналізовано основні структурні параметри мереж мобільного зв'язку стандарту LTE, що визначають ефективність функціонування мультисервісних вузлів доступу. Встановлено, що пропускна здатність є ключовим параметром, який безпосередньо впливає на рівень якості обслуговування користувацьких запитів. Визначено залежність пропускної здатності від типу з'єднання (Uplink/Downlink), ширини смуги пропускання, технології доступу (FDD, TDD), типу модуляції, алгоритму кодування, кількості антенних потоків (MIMO), рівня завантаженості вузла та виду наданих сервісів. Проведено порівняльний аналіз розрахункових і експериментальних значень швидкостей передавання даних, а також розглянуто принципи функціонування програмних калькуляторів, призначених для визначення пропускної здатності вузлів доступу.

Охарактеризовано сучасні концепції та бізнес-моделі, що впроваджуються у мультисервісних вузлах доступу для підвищення ефективності обслуговування користувачів. Зокрема, розглянуто мережеву сегментацію (Network Slicing), концепцію Інтернету речей (IoT) та впровадження інтелектуальних систем спостереження. Встановлено, що ці підходи забезпечують оптимізацію використання мережевих ресурсів, підвищують гнучкість управління трафіком і сприяють підтримці стабільної якості сервісів за умов зростання кількості користувачів і різноманітності типів послуг.

Показано, що ефективне впровадження сучасних технологій управління ресурсами вимагає розроблення оновлених моделей мультисервісних вузлів доступу, здатних враховувати комплексний вплив параметрів, які формують вхідні потоки даних і визначають процес їх обслуговування. До таких параметрів належать: залежність швидкості передавання від типу запиту, пріоритетність онлайн-навантаження, груповий характер надходження файлів, наявність еластичних властивостей даних, можливість затримки початку передавання та ефект старіння інформації. Урахування зазначених факторів дозволяє підвищити точність моделювання процесів маршрутизації та планування ресурсів, що є необхідною умовою для подальшої оптимізації обслуговування інформаційного трафіку в телекомунікаційних мережах нового покоління.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Khan S. Highly Accurate and Reliable Wireless Network Slicing in 5th Generation Networks: A Hybrid Deep Learning Approach / S. Khan, Y. Ali, Z. Ullah, [et. all] // Journal of Network and Systems Management. — 2022. — V. 30. — No. 2. — P. 29.
2. Kochetkova I. Controllable Queuing System with Elastic Traffic and Signals for Resource Capacity Planning in 5G Network Slicing / I. Kochetkova, K. Leonteva, I. Ghebrial, [et. all.] // Future Internet. — 2024. — V. 16. — No. 8. — P. 18.
3. Sayadi B. Network Applications: Opening up 5G and Beyond networks / B. Sayadi, C. Chang, C. Tranoris, [et. all]. 5G-PPP Software Network Working Group, 2023. — 78 p.
4. Васильківський М. В. Дослідження архітектури штучного інтелекту для інфокомунікаційних мереж 6G [Текст] / М. Васильківський, Г. Варгатюк, О. Болдирева // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — 2022. — № 4. — С. 62–70.

5. Оптимізація адаптивних радіосистем із використанням алгоритмів ШІ та МН [Текст] / М. Васильківський, Д. Нікітович, Н. Грабчак, і Н. Якубівська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2023. – № 2. – С. 112–124.

6. Підвищення ефективності інтелектуальних мереж МІМО на основі 6G [Текст] / М. В. Васильківський, О. С. Городецька, О. В. Стальченко, Б. С. Климчук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2023. – № 1. – С. 92-101.

**Васильківський Микола Володимирович** — кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інфо-комунікаційних систем і технологій, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [mvasylkivskyi@gmail.com](mailto:mvasylkivskyi@gmail.com)

**Будаш Михайло Володимирович** — аспірант групи 172-22а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [mika@budash.dp.ua](mailto:mika@budash.dp.ua)

**Бобров В'ячеслав Олександрович** — студент групи ТСМ-24м, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [slav.vend@gmail.com](mailto:slav.vend@gmail.com)

**Vasylkivskyi Mykola V.** — candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Communication Systems and Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [mvasylkivskyi@gmail.com](mailto:mvasylkivskyi@gmail.com)

**Budash Mykhailo V.** — graduate student of group 172-22a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [mika@budash.dp.ua](mailto:mika@budash.dp.ua)

**Bobrov Viacheslav O.** - student of group TSN-24m, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [slav.vend@gmail.com](mailto:slav.vend@gmail.com)