

## ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПЕРЕДАЧЕЮ ПОТОКІВ ТРАФІКУ НА ФРАГМЕНТІ МЕРЕЖІ LTE

*В умовах швидкого зростання трафіку мобільного передавання даних, популярності Інтернету речей (Internet of Things, IoT) та міжмашинної взаємодії (Machine-to-Machine, M2M), оператори мобільного зв'язку постійно працюють над покращенням якості надання послуг, розвиваючи мережі 4G в напрямку майбутніх програмно-конфігурованих гетерогенних мереж 5G. Зв'язок четвертого покоління почали розробляти ще в 2000 році. В цей час вже з'явився стандарт 3G. Дослідження в галузі зв'язку показали, що з усього різноманіття технологій і стандартів 4G прийнятними для розгортання можуть бути тільки два: LTE і мобільна версія WiMAX, LTE спочатку розроблявся у вигляді доповнення до стільникових мереж 3G. На сьогоднішній день можна відзначити бурхливе зростання обсягу трафіку в мережах рухомого зв'язку 4 покоління, і щоб забезпечити необхідну швидкість всім своїм абонентам, операторам доводиться шукати різні методи щодо підвищення швидкості передачі даних або щодо підвищення ефективності використання частотного ресурсу. На відміну від 4G, новітні мережі 5G мають більш широкі сфери застосування. У зв'язку з цим, до основних завдань сучасних безпроводних мереж відноситься оптимізація розподілу обмеженої кількості частотно-часового ресурсу між користувачами та пристроями Інтернету речей за критерієм якості обслуговування. Метою створення концептуальної моделі наступного покоління 5G можна назвати нароцкування можливостей високошвидкісних систем мобільного зв'язку, зменшення вартості передачі даних, розширення спектра послуг, що надаються. На планування мережі 5G може вплинути цілий ряд факторів, обумовлених принциповою особливістю цієї технології. Крім пропускну здатності, важливою характеристикою системи є імовірність бітової помилки, яка впливає на використовувані алгоритми модуляції та кодування. Тому необхідно постійно підтримувати баланс між цими двома важливими для користувача характеристиками. Цього можна досягти за рахунок удосконалення методів та моделей розподілу ресурсів, а також ефективного планування мережі.*

*Ключові слова: Мобільний зв'язок, LTE, концептуальна модель, 5G, MM3, QoS.*

**Вступ.** Розвинуте і стабільне інформаційне суспільство характеризується можливістю та спроможністю держави створювати умови для вільного доступу своїх громадян до інформаційних ресурсів, та умінням захищати національні інформаційні ресурси, інтереси особи, суспільства та держави в цілому від внутрішнього і зовнішнього негативного впливу.

При цьому, у сфері захисту інформаційних ресурсів необхідно забезпечувати надійне, безпечне функціонування національної інформаційної інфраструктури та її подальший ефективний розвиток. Існуюча парадигма класичного технічного захисту інформації полягає в забезпеченні збереження заданих властивостей інформації та інформаційно-телекомунікаційної системи, а саме: конфіденційності й цілісності інформації, доступності ресурсу системи, цілісності і спостережності інформаційно-телекомунікаційної системи. Класична система технічного захисту інформації заснована, головним чином, на автономності і локальності інформаційних ресурсів інформаційної системи.

У міру зростання користувачів мобільного інтернету і постійно зростаючої потреби мати можливість мобільного ширококутного доступу (ШСД) не тільки в домашніх умовах або, скажімо на робочому місці, а в будь-якій точці знаходження сучасного користувача інтернету, мобільний ШСД стає з кожним днем більш поширеним [1,2].

Для ефективного планування мережі та підвищення якості надання послуг у мережах 5G на основі підвищення ефективності розподілу ресурсів та удосконалення необхідно виконати планування 5G мережі, що включає вимірювання параметрів та детальне планування мережі.

**Загальна концептуальна модель.** Під концептуальною моделлю будь-якої системи слід розуміти її абстрактну модель, яка визначає структуру та властивості її елементів, а також враховує вхідні, вихідні параметри, зовнішні фактори та керуючий вплив. Така модель в самому загальному вигляді визначається залежністю [1]:

$$Y^k = f(X^k(t), W^k(t), U^k(t), O^k(t)), \quad (1)$$

де  $Y^k$  - вихідні параметри системи, яка складається з  $k$  класів елементів;

$X^k$  - вхідні параметри;

$W^k$  - параметри внутрішнього стану;

$U^k$  - параметри керованого впливу;

$O^k$  - параметри зовнішніх факторів.

Всі параметри можуть змінюватися за часом  $t$ .

Будь-яка система зв'язку в загальному вигляді є розподіленою в просторі технічною системою з програмно-технічними засобами обробки та обміну інформації (підсистемами). Мережа мобільного зв'язку (ММЗ) не є виключною.

Наприклад, для ММЗ стандарту LTE на вході такої системи знаходяться пристрої UE (UserEquipment), внутрішній стан описується ядром мережі, керований вплив забезпечується в вузлах eNodeB, керувати необхідне і потоками, і ресурсами, зовнішніми факторами звично є інтерференція, багатопроменева відбиття сигналів, затухання сигналу та інші, вихідними параметрами системи будуть значна кількість показників якості обслуговування.

Концептуальна модель ММЗ може бути побудована як для загальної системи, так і для окремих її елементів. Так, у роботі пропонується підхід щодо побудови концептуальної моделі мережі мобільного зв'язку, яка дасть змогу забезпечити адаптивне управління ресурсами та окремими інформаційними потоками з метою гарантування наскрізної якості обслуговування в умовах тимчасової нестачі спектральних ресурсів та нестабільності радіоканалу.

Дана модель базується на використанні методу оптимального розподілу радіоресурсів. Проте, визнається, що запропоновані рішення стосуються лише розподілу ресурсів на рівні базової станції так званому каналному рівні з метою раціонального використання ресурсів для забезпечення якості обслуговування в межах архітектури LTE.

Насправді гарантування якості обслуговування з кінця в кінець мобільний оператор не може, оскільки вихід пакетних даних за межі рівня LTE ядра мережі, а саме у рівень зовнішніх IP-орієнтованих мереж не забезпечує жодних гарантій щодо якості обслуговування, це пов'язано з тим що політика управління інформаційними потоками в вузлах мережі (маршрутизатори) базується на окремих методах забезпечення QoS, до яких оператор мобільного зв'язку немає жодного впливу.

**Вхідні параметри.** Вектор вхідних параметрів  $X^k$  може бути заданий набором агрегатів, наприклад [1]:

$$X^k = [Q^{k,q}, y_{ij}^m], \quad (2)$$

де  $Q^{k,q}$  - кількість термінальних систем  $k$ -го класу трафіку  $q$ -го типу;

$y_{ij}^m$  - інтенсивність викликів між вузлами  $i$  та  $j$  мережі.

**Параметри внутрішнього стану.** Вектор параметрів внутрішнього стану  $W^k$  може бути заданий набором агрегатів, наприклад [3]:

$$W^k = [G, Z, H_h^k, V_{ij}, p_{ij}], \quad (3)$$

де  $G$  - тип структури мережі зв'язку, де  
 $Z$  - властивості системи зв'язку;  
 $H_h^k$  - типи протоколів зв'язку;  
 $V_{ij}$  - швидкість передачі;  
 $p_{ij}$  - вірогідність похибки передачі.

Структура мережі зв'язку  $G$  описується агрегатом

$$G = [G^*, U_s], \quad (4)$$

де  $G^*$  - множина структур функціональних підсистем;  
 $U_s$  - множина зв'язків між функціональними підсистемами.

Відокремлюють [4] сім типів структур  $G^*$ :

$$G^* = [G_d, G_f, G_a, G_m, G_v, G_p, G_g], \quad (5)$$

де  $G_d$  - структура дій;  
 $G_f$  - структура функцій;  
 $G_a$  - структура абстрактна;  
 $G_m$  - структура морфологічна;  
 $G_v$  - структура варіантна;  
 $G_p$  - структура просторова;  
 $G_g$  - структура геометрична.

Властивості системи зв'язку  $Z$  визначаються властивостями її структурних складових  $Z^i$ , які можуть значно відрізнятися від властивостей системи зв'язку в цілому.

**Параметри керованого впливу.** Параметрами керованого впливу можуть бути показники керованості та спостережуваності (моніторингу). Параметри керованого впливу відображають тип системи адміністрування системи зв'язку, у т.ч. системи керування безпекою:

$$U^k = [A^k, S^k_h(M_h)], \quad (6)$$

де  $A^k$  - характеризує систему керування мережею;  
 $S^k_h(M_h)$  - базові  $S$  - послуги безпеки, які реалізуються  $M$  - механізмами захисту на  $h$  - рівні логічної структури [5].

**Параметри зовнішніх факторів.**  $O^k$  - це фізичний або технологічний процес внутрішнього або зовнішнього характеру, який може порушити функціонування елементів мережі: інформаційний вплив на обладнання мережевих вузлів, електромагнітний вплив на радіоканал та ін. Дуже часто в сучасних мережах мобільного зв'язку, зокрема у радіо сегменті виникає ситуація при якій виникають короточасні відмови каналу за рахунок тимчасового погіршення відношення сигнал/шум різними зовнішніми факторами, інтерференція, багатопроменева відбиття сигналів, затухання сигналу та інші, що значно впливає на якість обслуговування.

**Вихідні параметри системи.** Вихідними параметрами  $Y^k$  концептуальної моделі мереж мобільного зв'язку, наприклад стандарту LTE, можуть бути параметри якості обслуговування QoS:

1. Тип виділеного ресурсу: з гарантованою швидкістю передачі даних (GBR) або з негарантованою швидкістю передачі (Non-GBR);
2. Параметри QoS:
  - QCI (QoS Class Identifier) - ідентифікатор класу якості обслуговування.

- ARP (Allocation and Retention Priority) - пріоритетність призначення і утримання каналів.
- GBR (Minimum Guaranteed Bit Rate) - гарантована швидкість передачі.
- MBR (Maximum Bit Rate) - максимальна швидкість передачі.
- APN-AMBR (Access Point Name Aggregate Maximum Bit Rate) – загальна максимальна швидкість передачі для однієї точки доступу.
- UE-AMBR (User Equipment Aggregate Maximum Bit Rate) – загальна максимальна швидкість передачі для одного користувачького обладнання [2,4].

Зупинимося на цих параметрах більш детально. Для кожного віртуального з'єднання повинні бути визначені такі параметри, як ідентифікатор класу якості обслуговування (QCI) і пріоритетність призначення і утримання каналів (ARP). Параметр QCI є дуже важливим, оскільки служить довідковою інформацією у визначенні рівня QoS для кожного наскрізного каналу EPS. У разі смуги пропускання (бітрейта) GBR і MBR визначаються тільки в потоках EPS з гарантованою швидкістю передачі даних, тоді як AMBR (APN-AMBR і UE-AMBR) визначаються тільки в потоках EPS з негарантованою швидкістю. Нижче ми пояснимо окремо кожен з параметрів QoS в LTE-мережі.

Тип ресурсу GBR (з гарантованою швидкістю передачі даних):

Наявність типу ресурсу GBR в віртуальному з'єднанні EPS означає, що пропускна здатність каналу зв'язку гарантована. Очевидно, GBR-тип потоку EPS має пов'язану гарантовану швидкість даних (що буде пояснено нижче) як один з параметрів QoS.

Тільки виділений тип віртуальних з'єднань може бути GBR-поток, а тип EPS за замовчуванням ним не може бути. Ідентифікатор QoS EPS-поток з гарантією швидкості передачі даних може знаходитися в діапазоні від 1 до 4.

Тип ресурсу Non-GBR (з негарантованою швидкістю передачі даних): Для віртуального з'єднання EPS тип non-GBR означає виділення ресурсів за принципом «краще з можливого» (best effort), а пропускна здатність з'єднання не гарантовано. Віртуальне з'єднання за замовчуванням завжди є потоком з негарантованою швидкістю передачі, в той час як виділене віртуальне з'єднання може бути як потоком з гарантованою, так і з негарантованою швидкістю передачі. Ідентифікатор QoS EPS-поток без гарантованої швидкості передачі даних може знаходитися в діапазоні від 5 до 9.

Параметр QCI, ціле число від 1 до 9, вказує на 9 різних робочих характеристик QoS кожного IP-пакета. Значення QCI є стандартизованими для окремих вихідних характеристик QoS, і кожен QCI містить такі стандартні робочі характеристики (значення):

Якість обслуговування, що гарантується для наскрізного каналу EPS або логічного потоку даних, змінюється в залежності від зазначених значень QCI [3,5].

Параметр QCI, хоча це ціле число, являє собою специфічні вузлові параметри, які надають деталі щодо того, як вузол LTE управляє пересилкою пакетів (наприклад, параметрами зваженого планування, вхідними порогами, порогами черги, конфігурацією протоколу каналного рівня і т.д.) Визначаючи заздалегідь робочі характеристики кожного значення QCI і стандартизуючи їх, оператори мережі можуть гарантувати, що такий же мінімальний рівень QoS, який потрібно стандартами LTE, надається різним службам/додатків. Ці служби і додатки використовуються в мережі LTE, яка складається з різних вузлів. Значення QCI цілком ймовірно використовуються в основному eNB (базовими станціями мережі стандарту LTE) для контролю пріоритету пакетів, переданих через радіоканали. ARP розглядається тільки при прийнятті рішення, чи потрібно створювати новий наскрізний канал EPS чи ні. Після створення нового каналу і передачі через нього пакетів ARP не впливає на пріоритет отриманого пакета і, таким чином, мережевий вузол пересилає пакети незалежно від їх значень ARP. GBR (UL/DL) цей параметр використовується для віртуального з'єднання типу GBR і визначає ширину смуги пропускання (швидкість передачі даних в бітах), гарантовану LTE-мережею. Він не використовується для non-GBR потоку з негарантованою пропускною здатністю (UL для трафіку висхідної лінії зв'язку і DL для низхідної лінії зв'язку). MBR (UL/DL) MBR використовується для потоку типу GBR і визначає максимальну бітову

швидкість передачі даних, яка дозволена в LTE-мережі. Будь-які пакети, які надходять в наскрізний канал, відкидаються після того як зазначена швидкість MBR стає перевищеною.

**Концептуальна модель мережі мобільного зв'язку.** Таким чином, концептуальна модель мережі мобільного зв'язку в загальному випадку буде зайве громіздка, тому таку модель краще будувати для дослідження конкретної проблеми з обмеженим переліком параметрів. Так, наприклад, модель мережі мобільного зв'язку стандарту 5G може бути такою (рис.1).

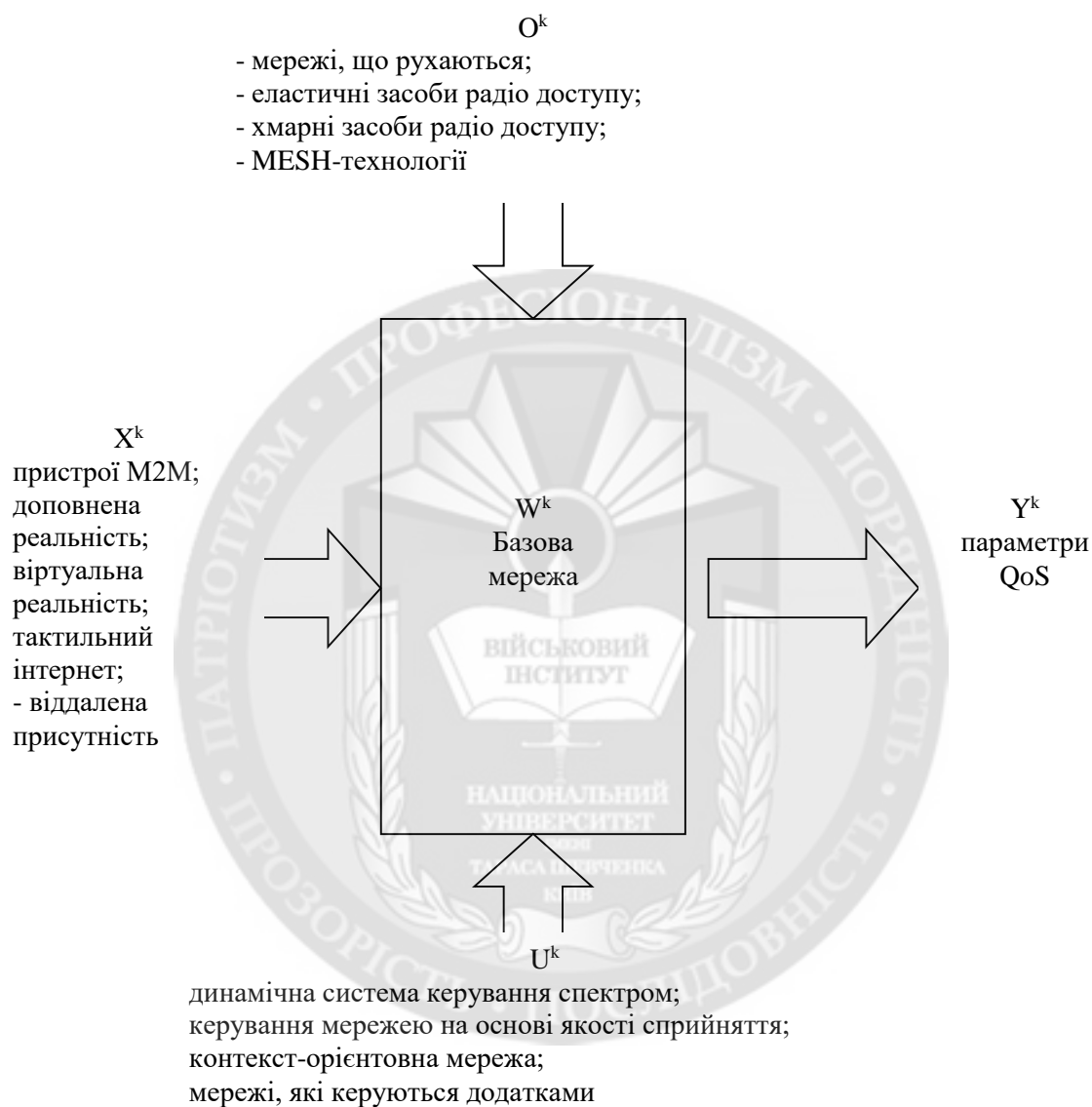


Рисунок 1 – Концептуальна модель мережі мобільного зв'язку стандарту 5G

**Висновки.** На даний момент мережа 5G не розвинена в Україні, тоді як потреби населення в високошвидкісному бездротовому доступі в Інтернет постійно зростають. 5G здатна найбільш повно задовольнити потреби і очікування абонентів мобільного зв'язку в нових сервісах. Запропонована концептуальна модель мережі мобільного зв'язку може бути застосована для розробки методології її подальшого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пылинский М.В., Мякотин А.В., Кривцов С.П., Байсаитов Г.Н. Концептуальна модель сети связи специального назначения. // Радиотехника и связь. Серия «Естественные и технические науки». - № 11. - 2018. – С.65-68.

2. Бешлей Г. В. Моделі та метод оптимального розподілу мережних ресурсів в програмно-конфігурованих гетерогенних мережах мобільного зв'язку: дис. ... доктора філософії: спец. 172. Львів: НУ «Львівська політехніка». - 2021. - 240 с.

3. Пирогов Ю.А. Методология исследования систем и сетей военной связи: Учебное пособие. – СПб.: ВАС, 2016. – 164 с.

4. Исаков Е.Е., Мякотин А.В., Губская О.А., Кривцов С.П. Оптимальная цифровизация военных систем связи // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки». - № 3-4. – 2017. – С.22-26.

5. Исаков Е.Е., Мякотин А.В., Жадан А.П., Кривцов С.П., Басулин Д.В. Оценка необходимых и достаточных значений реальной пропускной способности военных систем передачи информации. Информация и космос. // Радиотехника и связь. Серия «Естественные и технические науки». - 2017. – С.133-136.

#### REFERENCES:

1. Pylinsky M.V., Myakotin A.V., Krivtsov S.P., Baysaitov G.N. (2018). Conceptual model of a special purpose communication network. Radio engineering and communication. Natural and Technical Sciences Series. № 11. Pp.65-68.

2. Beshley G.V. (2021). Models and method of optimal distribution of network resources in software-configured heterogeneous mobile networks: dis. ... Doctor of Philosophy: special. 172. Lviv: Lviv Polytechnic National University. 240 p.

3. Pirogov Yu.A. (2016). Methodology for the study of military communication systems and networks: A textbook. Publ. : ВАС, - 164 p.

4. Isakov E.E., Myakotin A.V., Gubskaya O.A., Krivtsov S.P. (2017). Optimal digitalization of military communication systems. Modern science: current issues of theory and practice. Natural and Technical Sciences Series. - № 3-4. Pp.22-26.

5. Isakov E.E., Myakotin A.V., Zhadan A.P., Krivtsov S.P., Basulin D.V. (2017). Estimation of necessary and sufficient values of real capacity of military information transmission systems. Information and space. Radio engineering and communication. Natural and Technical Sciences Series. Pp.133-136.

#### **PhD Qasim N. H., Doctor of Technical Science, Professor Khlaponin Y.I., Vlasenko M.M. FORMALIZATION OF THE PROCESS OF MANAGING THE TRANSMISSION OF TRAFFIC FLOWS ON A FRAGMENT OF THE LTE NETWORK**

*With the rapid growth of mobile data traffic, the popularity of the Internet of Things (IoT) and machine-to-machine (M2M), mobile operators are constantly working to improve the quality of service, developing 4G networks in the direction of future software-configured heterogeneous 5G networks. The fourth generation of communication began to be developed in 2000. At this time, the 3G standard has already appeared. Research in the field of communications has shown that of all the variety of 4G technologies and standards, only two can be acceptable for deployment: LTE and the mobile version of WiMAX, LTE was originally developed as an adjunct to 3G cellular networks. Today, there is a rapid increase in traffic in 4th generation mobile networks, and to ensure the necessary speed for all their subscribers, operators have to look for different methods to increase data rates or to increase the efficiency of frequency resource use. Unlike 4G, the latest 5G networks have wider applications. Therefore, the main task of modern wireless networks is to optimize the distribution of a limited amount of frequency and time resources between users and devices of the Internet of Things on the basis of quality of service. The purpose of creating a conceptual model of the next generation of 5G can be called increasing the capabilities of high-speed mobile communication systems, reducing the cost of data transmission, expanding the range of services provided. The planning of the 5G network can be influenced by a number of factors due to the fundamental feature of this technology. In addition to bandwidth, an important characteristic of the system is the probability of bit error, which affects the modulation and coding algorithms used. Therefore, it is necessary to constantly maintain a balance between these two important characteristics for the user. This can be achieved by improving resource allocation methods and models, as well as effective network planning.*

**Key words:** Mobile Communication, LTE, conceptual model, 5G, Mobile network, QoS.