

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ПОЛІГЕНЬКО ОЛЕГ ОЛЕГОВИЧ

УДК 621.396.43

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
БАЗОВИХ СТАНЦІЙ СТІЛЬНИКОВОГО ОПЕРАТОРА**

Спеціальність 05.13.06 – Інформаційні технології

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Черкаси 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі телекомунікаційних та радіоелектронних систем Національного авіаційного університету.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Одарченко Роман Сергійович,
завідувач кафедри телекомунікаційних та
радіоелектронних систем
Національного авіаційного університету

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кучук Георгій Анатолійович,
професор кафедри обчислювальної техніки та
програмування
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»


кандидат технічних наук
Чолишкіна Ольга Геннадіївна,
декан факультету комп'ютерно-інформаційних
технологій
ПрАТ «Вищий навчальний заклад «Міжрегіональна
Академія управління персоналом»»

Захист дисертації відбудеться «11» лютого 2021 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.73.052.04 у Черкаському державному технологічному університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 18000, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Черкаського державного технологічного університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 18000, м. Черкаси, бульвар Шевченка, 460

Автореферат розісланий « 08 » січня 2021 року.

Учений секретар
спеціалізованої ради Д73.052.04
кандидат технічних наук, доцент



Бондаренко Ю.Ю.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із головних напрямків розвитку інформаційно-комунікаційних систем є удосконалення існуючих і створення нових поколінь стільникових мереж зв'язку, зокрема, 5-го покоління (5G). Вони найбільш придатні для забезпечення високошвидкісного доступу до інформаційних ресурсів, що є дуже важливим для розширення ринку телекомунікаційних послуг. Впровадження новітніх високоефективних стільникових мереж нового покоління можна вважати стратегічним напрямком забезпечення населення доступними засобами отримання, передачі та поширення інформації. Крім того, вище розглянуті тенденції характерні і для концепції Інтернету речей (IoT).

Постійно зростаючі потреби у високошвидкісному доступі до інформаційних ресурсів стимулюють появу і розвиток нових поколінь стільникових мереж. Серед них своїми можливостями яскраво виділяються мережі LTE (Long Term Evolution). Підвищення ефективності функціонування цих мереж із урахуванням нових технологій визначає коло задач, які потребують першочергового розв'язання. До найважливіших із цих задач належить оцінка та підвищення ефективності їх функціонування. Існуючі методи підвищення ефективності функціонування стільникових мереж зв'язку не відповідають потребам сучасності, а тому потребують корегування та доповнень. Для теоретичного обґрунтування і створення наукових основ побудови новітніх стільникових мереж поряд із удосконаленням існуючих необхідна розробка нових ефективних методів підвищення ефективності їх функціонування. При цьому, зазначені стільникові мережі повинні забезпечити можливість надання тих сервісів, які не в змозі надати технології мобільного зв'язку четвертого покоління та бездротових локальних мереж сімейства стандартів IEEE 802.11.

Слід констатувати, що ключовим елементом будь-якої стільникової мережі є підсистема базових станцій (далі - ПБС) з якої починається передача даних. Тому дуже важливою і актуальною задачею є саме підвищення ефективності роботи ПБС.

Проблемам підвищення ефективності роботи ПБС операторів стільникового зв'язку присвячена велика кількість наукових робіт. Серед яких необхідно виділити роботи М.М. Климаша, В.М. Вишневського, С.Л. Портного, Р.С. Одарченка, Д. Астелі, С. Парквелла та інші. Однак аналіз науково-технічних джерел свідчить про те, що залишається ряд невирішених завдань пов'язаних із підвищенням ефективності використання базових станцій, їх енерго- та економічної ефективності.

Вищезгадані завдання, які вирішувались в даній дисертаційній роботі, обумовлюють її актуальність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи та обраний напрямок досліджень безпосередньо пов'язаний з реалізацією положень «Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні», «Основними науковими напрямами та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАН України на 2014-2018 роки». Основні наукові результати отримано в рамках НДР: XCast (Horizon

2020); шифр 306-ДБ20, тема “Методи побудови захищених мереж мобільного урядового радіозв’язку на базі мереж 5G в Україні”. Роль автора в зазначених науково-дослідних роботах, у якій дисертант був безпосереднім виконавцем, полягає в розробленні ТЗ на НДР, виборі напрямку досліджень, моделюванні роботи телекомунікаційного обладнання різного призначення, розробці програмного забезпечення.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності роботи ПБС операторів стільникового зв’язку.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання:

1. Проаналізувати існуючі недоліки сучасних ПБС операторів стільникового зв’язку.
2. Удосконалити метод планування ПБС операторів стільникового зв’язку.
3. Удосконалити метод розвантаження радіоінтерфейсу мереж стільникового зв’язку.
4. Розробити метод підвищення енергоефективності ПБС операторів стільникового зв’язку.
5. Розробити інформаційну технологію підвищення ефективності ПБС операторів стільникового зв’язку.
6. Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення для планування ефективної ПБС оператора стільникового зв’язку.

Об’єктом дослідження є процес передачі даних в сучасних стільникових мережах.

Предметом дослідження є методи, моделі та системи підвищення ефективності роботи ПБС операторів стільникового зв’язку.

Методи досліджень, які використано в роботі: метод теорії інформації та передавання сигналів (для аналізу методів передавання інформації у широкосмугових стільникових мережах); метод теорії розповсюдження електромагнітних хвиль (для дослідження процесу затухання електромагнітного поля в залежності від частоти та відстані в реальних умовах експлуатації стільникових мереж); метод комп’ютерного моделювання (для перевірки адекватності розроблених моделей та методів); метод прямого синтезу (для розробки структурної схеми інформаційної технології).

Наукова новизна отриманих результатів:

1. *Вдосконалено* метод планування ПБС оператора стільникового зв’язку з урахуванням впливу додаткових параметрів на процес розповсюдження радіохвиль, побудови функціонально-стійкої топології зв’язку між базовими станціями та порівняння варіантів побудови по вартості, що надало змогу більш точно визначати радіус зон обслуговування базових станцій та обирати найбільш оптимальний варіант по критерію вартості та функціональної стійкості.

2. *Вдосконалено* метод розвантаження радіоінтерфейсу ПБС за рахунок використання багатоканальної передачі даних, додаткового радіоінтерфейсу не-3GPP стандарту, протоколів MPQUIC, MPTCP та MLPPP та динамічного зваженого балансування навантаження, що надало змогу більш ефективно використовувати

канали транспортної мережі, зменшувати навантаження на базові станції, підвищувати економічну ефективність використання радіоінтерфейсу, збільшувати кількість активних абонентів та одночасно використовуваних сервісів.

3. *Вперше* розроблено метод підвищення енергетичної ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку, який полягає в послідовному використанні процедур розвантаження радіоінтерфейсу базових станцій, альтернативних джерел відновлюваної енергії, адаптивного енергоспоживання, що дозволяє зменшити витрати енергії, адаптувати випромінювану потужність до потреб абонентів та підвищити економічну ефективність ПБС.

4. *Вперше* розроблено інформаційну технологію підвищення ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку, яка за рахунок використання удосконаленого методу планування ПБС оператора стільникового зв'язку, розвантаження радіоінтерфейсу ПБС та методу підвищення енергетичної ефективності дозволяє зменшити енергетичні витрати, витрати на побудову та експлуатацію ПБС оператора стільникового зв'язку та відповідно підвищити технічну, енергетичну та економічну ефективність ПБС оператора стільникового зв'язку.

Практичне значення отриманих автором результатів. Теоретичні результати отримані в дисертаційному дослідженні відкривають можливість виявити і запропонувати нові практичні шляхи підвищення ефективності ПБС стільникових мереж в Україні. При цьому отримані результати дозволяють більш точно оцінювати максимально допустиму дальність радіозв'язку; більш ефективно планувати розміщення базових станцій; впроваджувати нові алгоритми розвантаження стільникових мереж зв'язку.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в тому, що:

- удосконалено методику оцінки радіусу зон покриття базових станцій;
- розроблено алгоритм розвантаження радіоінтерфейсу мереж п'ятого покоління із використанням мереж стандартів не-3GPP;
- розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення для адаптивного налаштування положення сонячних панелей з метою більш ефективного живлення базових станцій;
- розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для планування ПБС стільникових операторів;
- удосконалено методику захисту програмного забезпечення мобільного оператора та розроблене відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення.

Матеріали дисертаційної роботи упроваджено в діяльність ТОВ «Водафон Україна» та в навчальний процес Національного авіаційного університету та Київського коледжу зв'язку. Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійно виконаною роботою в якій відображено особистий авторський підхід, отримані теоретичні та практичні результати, які відносяться до оцінки та підвищення ефективності сучасних стільникових мереж. У роботах, опублікованих у співавторстві,

автору дисертації належить: визначення проблемних місць в підсистемі базових станцій оператора стільникового зв'язку [1]; моделювання оцінки підвищення енергоефективності ПБС [2]; удосконалення техніки обфускації для управління інформаційною безпекою підприємства (операторів стільникового зв'язку) [3]; удосконалення впровадження криптосистеми [4]; аналіз оптимальних параметрів для алгоритмів множинного доступу сучасних радіосистем [5]; проведення експериментальних досліджень пропускну здатності мереж Wi-Fi [6]; визначення причин виникнення аварійних ситуацій операторів стільникового зв'язку [7]; розробка процедур для розвантаження радіоінтерфейсу стільникових мереж 4G/5G із використанням мереж Wi-Fi [8]; вибір параметрів для планування зон обслуговування сучасних радіотехнологій [9]; розробка методу оптимізації підсистеми базових станцій для операторів стільникового зв'язку [10]; методи оптимізації потоків трафіку в мережах LTE [11]; порівняльний аналіз технологій стільникових мереж 3-го та 4-го покоління [12]; дослідження різних альтернатив оптимізації ПБС [13]; визначення основних проблемних місць в ПБС оператора стільникового зв'язку [14].

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на таких конференціях і семінарах: Міжнародна науково-практична конференція «Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах» (Київ, 2015 – 2017 рр.); VIII Міжнародна науково-технічна конференція "Комп'ютерні системи і мережні технології" (Київ, НАУ, 2017 р.); Міжнародна науково-технічна конференція "ITSEC" (Київ, НАУ, 2017 р.); Міжнародна науково-технічна конференція "ABIA-2017" (Київ, НАУ, 2017 р.); Міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів "Політ. Сучасні проблеми науки" (Київ, НАУ, 2011 р., 2015 р.); Перша міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології» (Харків, ХНУРЕ, 2017 р.), IV Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрями захисту інформації» (Одеса, 2018 р.), Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція (Кропивницький, 2017р.), NIAS (NATO Information Assurance Symposium) (Бельгія, 2018), OWASP (Львів, 2018 – 2019 рр.), Перший Міжнародний семінар з кібергігієни і управління конфліктами в глобальних інформаційних мережах (Київ, НАУ, 2019 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 14 наукових праць, в тому числі: 4 статі у фахових виданнях, які включені до переліку МОН, 2 статі у закордонних періодичних фахових виданнях, 8 матеріалів доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях, з них 2 індексуються у наукометричній базі Scopus.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 166 сторінок друкованого тексту, у тому числі містить 34 рисунки та 14 таблиць. Список використаних джерел на 11 сторінках містить 112 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі надана загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність наукової теми, сформульовані мета і задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено дані щодо їх апробації та впровадження.

У першому розділі проаналізовано архітектуру сучасних стільникових мереж, а саме 4G та 5G та їх технологічні проблеми. Основними з цих проблем можна вважати наступні: відносно низька швидкість передачі даних, відсутність загальноприйнятої технології передачі голосу, недостатня спектральна ефективність і абонентська ємність LTE, проблеми IP мультимедійної підсистеми (IMS) та інші техніко-економічні проблеми, що не дають повною мірою реалізувати весь закладений потенціал 4G.

Також розглянуто проблеми, які пов'язані з недостатньою функціональною стійкістю. Забезпечення функціональної стійкості необхідно виконувати з урахуванням недостатнього фінансування, умов лавиноподібного наростання інформаційних потоків, скорочення часу на обробку інформації і прийняття рішень, зростання вартості втраченої або спотвореної інформації, а також подальшого ускладнення математичних моделей розрахункових завдань з обробки інформації. Все це створює значний вплив на роботу ПБС. З урахуванням означеного вище проаналізовано методи планування та оптимізації ПБС. Визначено, що планування мобільних мереж зв'язку вимагає великих матеріальних, трудових і часових витрат. Від того, наскільки якісно воно буде виконано безпосередньо залежить співвідношення «ефективність-витрати», яке є визначальним в умовах ринкової економіки.

В кінці першого розділу здійснено постановку завдань дисертаційного дослідження, які полягають в розробці нових та удосконаленні існуючих методів моделей та технологій підвищення ефективності ПБС операторів стільникового зв'язку.

У другому розділі дисертації вдосконалено метод планування ПБС оператора стільникового зв'язку.

В процесі створення і вдосконалення мережі стільникового зв'язку вирішуються дві нерозривно пов'язані задачі: планування мережі (попереднє і детальне) та оптимізація мережі (перепланування за результатами експлуатації). При вирішенні цих завдань виконуються аналогічні операції і обчислення. Крім того, процеси планування і оптимізації мереж різних стандартів також подібні.

Попереднє планування мережі пов'язано з вибором стратегії – завданням таких параметрів мережі, як: покриття, ємність, основні ключові параметри якості функціонування КРІ, в які включена функціональна стійкість.

Таким чином постановка проблеми синтезу ПБС формулюється в такий спосіб. Відомі:

- перелік вузлів комутації (ВК) різних типів в складі ПБС;
- перелік функціональних завдань кожного ВК;
- перелік базових станцій;

- параметри алгоритмів, що характеризують потребу продуктивності процесорів, каналів введення-виведення та інших ресурсів ВК, які необхідні для вирішення функціональних завдань ВК;

- об'ємно-часові характеристики вихідної, результативної і нормативно-довідкової інформації для кожного завдання, а також взаємозв'язок завдань по вхідній і вихідній інформації;

- множина географічних пунктів, де допускається розміщення ВК;

- вимоги до загальної ємності ПБС;

- вимоги до необхідної пропускної здатності в перерахунку на одного абонента;

- вимоги до достовірності інформації та тривалості процесів її перетворення.

Необхідно знайти оптимальне за економічним критерієм число і розміщення базових станцій та вузлів комутації, а також склад, взаємозв'язок і структуру технічних засобів ПБС, в тому числі перелік каналів зв'язку. При цьому повинні виконуватися задані обмеження на граничні значення показників ефективності функціонування ПБС, що характеризують час обробки і достовірність інформації. В якості таких показників використовуються: середнє і 95-відсоткове значення часу реакції на запити від базових станцій, середній час перебування (середня затримка) пакетів в мережі, середній час очікування початку обслуговування запитів, ймовірність отримання відмови в обслуговуванні, ймовірність помилки в отриманій інформації тощо.

Отже, задачу синтезу оптимальної структури ПБС можна записати у вигляді:

$$F = \min \sum_{j=1}^{m_3} C_j(\mathbf{P}_j, \{\Theta_{ij} / i = \overline{1, m_\Theta}\}); \quad \dots(1)$$

$$\sum_{j=1}^{m_3} a_{ij} \cdot \Theta_{ij} \leftrightarrow \Theta_i^*, \quad i = \overline{1, m_\Theta}. \quad \dots(2)$$

де $C_j(\cdot)$ - функція наведених витрат на j -й структурно-функціональний елемент (БС, ВК, лінія зв'язку), \mathbf{P}_j - вектор об'ємно-часових характеристик потоків інформації, що надходить на вхід j -го структурно-функціонального елемента, Θ_{ij} - складова i -го показника ефективності функціонування підсистем базових станцій, що відноситься до j -го структурно-функціональним елементу, a_{ij} - ваговий коефіцієнт, який враховує частку загального потоку повідомлень, що надходить на вхід j -го структурно-функціонального елемента, при оцінці Θ_i , Θ_i^* - задане граничне значення показника, m_3 - потужність множини структурно-функціональних елементів ПБС, m_Θ - потужність множини показників ефективності функціонування ПБС, \leftrightarrow - одне з відносин виду $=, <, >, \leq, \geq$.

Таким чином, задача синтезу оптимальної структури ПБС зводиться до мінімізації витрат на її побудову при забезпеченні мінімально допустимих обмежень по якості обслуговування абонентів. Для побудови ефективної ПБС необхідно здійснити правильний вибір обладнання на основі аналізу власних потреб відповідно до якості обслуговування. Для вибору оптимального рішення для множини можливих технічних рішень проводиться інтегральна багатокритеріальна оцінка.

Враховуючи вагові коефіцієнти, критерій інтегральної оцінки буде мати вигляд:

$$k_{inm} = \sum(k_n \cdot x_n), \dots \dots \dots (3)$$

де вектор $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – вектор важливих для оператора характеристик (наприклад, пропускна здатність, імовірність бітової помилки тощо).

Після вибору обладнання відбувається побудова першого наближення мережі. Для цього проводиться оцінка бюджету втрат і зони покриття.

Максимально допустимі втрати при поширенні в каналі рівні:

$$L = P_{TX} + G_{TX} - P_{RX} - B_{BODY} + G_{RX} - B_{fid} - IM - L_{slow} - L_{mem} - L_{\phi}, \dots \dots \dots (4)$$

де P_{TX} – потужність передавача; G_{TX} – коефіцієнт підсилення передавальної антени; P_{RX} – чутливість приймача; B_{BODY} – втрати в тілі абонента; G_{RX} – коефіцієнт підсилення приймальної антени; B_{fid} – втрати у фідері, IM – запас по інтерференції; L_{slow} – запас на повільні завмирання, береться рівним 10.3 дБ; L_{ϕ} – втрати сигналу у фідерних лініях; L_{mem} – втрати, обумовлені поглинаннями в атмосферних газах, гідро метеорах, тумані тощо, дБ.

Запас по інтерференції IM (дБ) визначається наступним чином:

$$M = P_{PP} - P_{POP}(10^{-3}), \dots \dots \dots (5)$$

Тоді, чутливість приймача P_{RX} можна визначити наступним чином:

$$P_{RX} = 10 \cdot \lg((E_b/N_0) \cdot k \cdot T \cdot R),$$

де (E_b/N_0) – відношення сигнал/шум в цифрових системах зв'язку – це відношення енергії сигналу на 1 біт до щільності потужності шумів на 1 Герц; R – швидкість передавання даних; $k = 1,23 \times 10^{-23}$ Дж/к – стала Больцмана, T – температура в Кельвінах (абсолютна температура).

Таким чином, вираз максимально допустимих втрат можна представити у вигляді:

$$L = P_{TX} + G_{TX} - 10 \cdot \lg((E_b/N_0) \cdot k \cdot T \cdot R) - B_{BODY} + G_{RX} - B_{fid} - \dots \dots \dots (6)$$

$$- IM - L_{slow} - L_{mem} - L_{\phi},$$

Результати розрахунку бюджету втрат в системах LTE показують, що збільшення смуги частот каналу призводить до зменшення допустимих втрат розповсюдження і для збереження енергетичного балансу між каналами «вгору» і «вниз» необхідно обмежувати кількість ресурсних блоків, що припадають на абонентську станцію.

Після оцінки зон обслуговування базових станцій оператора стільникового зв'язку необхідно забезпечити функціонально стійку комутацію окремих вузлів ПБС. Тому в даному розділі запропонована схема вирішення проблеми синтезу оптимальної структури ПБС із забезпеченням функціональної стійкості. Для цього проведено вибір і обґрунтування математичної моделі ПБС E-UTRAN. Визначено елементи підсистеми, що впливають на функціональну стійкість. Таким чином, математичною моделлю для дослідження функціональної стійкості ПБС є неорієнтований граф з абсолютно надійними вершинами і ненадійними ребрами (рис. 1).

Однак основною складністю застосування запропонованого методу синтезу структур є труднощі відомості функціоналу якості та обмежень до лінійних функцій в залежності від елементів матриці суміжності графа структури.

Наявність безлічі критеріїв ефективності ПБС

визначає багатокритеріальний характер завдання їх проектування і значно ускладнює розробку формальних методів. Для спрощення завдання проектування і його практичного вирішення визначають показник ефективності, який підлягає оптимізації, а інші переводять в розряд обмежень. Залежно від основного показника ефективності (критерію оптимізації) розрізняють наступні варіанти постановки задач синтезу обчислювальних мереж:

- синтез обчислювальної мережі за критерієм мінімуму середнього часу затримки повідомлення в мережі τ_{cp} при заданих обмеженнях на надійність і вартість;
- синтез обчислювальної мережі за критерієм мінімуму вартості при обмеженнях на показники надійності і τ_{cp} .

Головною вимогою до мережевої архітектури є забезпечення базових станцій мережі потенційною можливістю доступу до розподілених інформаційних ресурсів. Всі інші вимоги – продуктивність, надійність, точність, сумісність, керованість, живучість, розширюваність і масштабованість – пов'язані з якістю виконання цієї основної задачі.

Тому, у даній роботі поставлена задача синтезу структури ПБС за критерієм максимуму показника функціональної стійкості при обмеженнях на вартість проектування і експлуатації системи:

$$F_{BC} = f(P_{ij}, w_{ij}) \rightarrow \max, \dots \dots \dots (7)$$

$$C = \sum \sum C_{ij}(l_{ij}, \rho_{ij}, h_{ij}) \leq C_{зад} \dots \dots \dots (8)$$

Для вирішення поставленої задачі для графу (рис. 1) введемо позначення $X = \overline{1, n}$ - множина вузлів мережі зв'язку (базових станцій); $X_1 = X \setminus 1$ - множина джерел інформації в мережі; a_x - кількість інформації, що передається між вузлами; Y - підмножина пунктів, в яких допускається розміщення КК ($1 \in Y \subseteq X$); Z_x - підмножина КК $y \in Y$, які може обслуговувати абонент $x \in X_1$; C_{xy} - витрати на підключення абонента до КК y ; q_{\max} - максимально-допустиме число КК; $G(a)$ - функція витрат на КК в залежності від сумарного обсягу інформації a , що надходить в КК для передачі в



Рис.1. ПБС у вигляді неорієнтованого графа

ВЦ $[G(a) = 0, \text{ якщо } a \leq 0; G(a) > 0, \text{ якщо } a > 0]$; $\overline{G(a)} = G_0 + ba (G_0 = \lim_{\Delta \rightarrow 0} G(0 + \Delta))$ при $\Delta > 0$; $b > 0$ максимальне число таке, що $\overline{G(a)} \leq G(a)$, якщо $0 \leq a \leq a_{\max}$; $B_y(a)$ – витрати на канали зв'язку між КК $_y$ і ВЦ $[B_y(a) = 0, \text{ якщо } a \leq 0; B_y(a) > 0, \text{ якщо } a > 0]$.

Змінні задачі:

$$\omega_{xy} = \begin{cases} 1, \text{ якщо абонент } x \text{ підключений до КК } y; \\ 0 - \text{ в протилежному випадку} \end{cases}$$

Математичне формулювання завдання:

а) кожна БС $x \in X$ підключається до одного і тільки одного КК: $x \in X_1$;

б) якщо в пункті $x \in Y$ встановлений КК, то цей пункт підключається до даного КК: $\omega_{xy} + \omega_{xy'} \leq 1, x \in X; y \in Y; y' \in Y; y \neq y'$;

в) критерій оптимізації $F = \min \left[\sum_y \sum_x \omega_{xy} C_{xy} + \sum_y G(A_y^1) + \sum_y B(A_y^1) \right]$, де $A_y^1 = \sum_x \omega_{xy} a_x$.

Для вирішення сформульованої задачі доцільно використовувати алгоритм покоординатної оптимізації. Для подальшого викладення будуть потрібні наступні позначення: q – число КК ($1 \leq k \leq q_{\max}$); Y_y^q – околиця пункту при числі КК, рівному q ($Y_y^q \subseteq Y; y \in Y_y^q; Y_1^q = \emptyset$); $Y_q^* = \{y_1^*, y_2^*, \dots, y_k^*, \dots, y_q^*\}$ – множина пунктів $y \in Y$, яке визначає початкове розміщення КК ($Y_q^* \in Y$); $\tilde{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_k, \dots, y_q\}$ – поточна множина пунктів, в яких розміщені КК ($\tilde{Y}_q \subset Y; Y_1 \equiv 1$); F – поточне значення функції цілі; F^* – оптимальне значення функції цілі.

Тоді алгоритм вирішення задачі прийме наступний вигляд:

1. $q := 0, F^* := \infty, \mathcal{W} := \emptyset, U := \emptyset$,

2. $q := q + 1, k := 1, l := 0, F := \infty$

3. Перевірити умови $q \leq q_{\max}$; якщо $q > q_{\max}$, перейти до п. 12.

4. $\tilde{Y}_q := Y_q^*$. Розмістити КК пунктах з множини \tilde{Y}_q , прикріплюючи кожен пункт $x \in X$ до одного і тільки одному КК $y \in Y_q$ по критерію мінімуму C_{xy} .

Обчислити $F, \tilde{F} := F$.

5. $l := l + 1$. Перевірити умову $k \leq q$:

а) якщо $k \leq q, k := k + 1$ і перейти до п.6.

б) якщо $k > q, k := 1$ і перейти до п.6.

6. Перевірити умову $l \leq q$; якщо $l = q$, перейти до п.11.

7. $U := Y_k^q \setminus \tilde{Y}_q$.

8. Перевірити умову $U = \emptyset$; якщо $U \neq \emptyset$ – перейти до п.5.

9. Вибрати $Y' \in U, U := U \setminus y'$. Перемістити КК з номером k (розміщений в пункті $y_k \in \tilde{Y}_q$) в пункт y' , закріпити все $x \in X$ за КК аналогічно п.4 і обчислити F

10. Перевірити умову $F \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} \tilde{F}$.

а) якщо $F \geq \tilde{F}$ повернути КК з номером k до пункту Y_k і перейти в п. 8;

б) якщо, $F < \tilde{F}, \tilde{F} := F, y_k := y', l := 0$ перейти до п. 8.

11. Перевірити умову $F \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} F^*$:

а) якщо $\tilde{F} < F^*, F^* := \tilde{F}, \mathcal{W} := \tilde{Y}_q$ і перейти до п.2;

б) якщо $\tilde{F} \geq F^*$, перейти до п.2.

12. Кінець обчислень. Знайдено оптимальне значення функції цілі F^* і відповідні розміщення КК – множину \mathcal{W} .

Таким чином, після виконання всіх етапів удосконаленого методу планування ПБС буде побудовано архітектуру мережі базових станцій, що буде забезпечувати оптимальне покриття, функціональну стійкість, показники якості обслуговування абонентів, при цьому буде забезпечено мінімум витрат на побудову мережі.

Проте, навіть для оптимальної структури ПБС можуть траплятися збої пов'язані із раптовими перевантаженнями або неповним використанням всіх можливостей сучасних ІКС.

Тому **третій розділ** даного дисертаційного дослідження присвячений удосконаленню методів розвантаження радіоінтерфейсів сучасних стільникових мереж.

Як вже зазначалося в попередніх розділах, упродовж останнього часу кількість інформації що передається в мережах мобільного зв'язку величезна і продовжує рости швидкими темпами. Тому постає серйозна проблема перевантаженості, рішенням якої є розвантаження мережі, тобто переклад частини трафіку в інші мережі з меншим розміром стільників. Проведений аналіз показав, що оптимальним рішенням для розвантаження є використання мереж Wi-Fi. Наступний алгоритм стосується саме розвантаження із використанням даного типу мереж.

Основні етапи відповідно розділення та об'єднання даних на рівні ІР є наступними:

1. Обчислити в режимі реального часу зміни в продуктивності на рівні додатків кожного каналу зв'язку (наприклад, «корисна пропускна здатність», час затримки тощо) в кожному з відповідних напрямків (наприклад, по висхідній та низхідній лініях зв'язку).

2. Обчислити загальний доступний показник "корисної пропускної здатності" у кожному пункті часу.

3. Поділ неперервного потоку даних повинен бути переданий до всіх доступних каналів відповідно до коефіцієнту завантаженості кожного каналу (тобто, щоб не було «перевантаження» будь-якого з цих каналів зв'язку). Для цього пропонується використовувати алгоритм WRR (Weighted Round Robbin).

4. На стороні UE необхідний буфер для розміщення позачергових надходжень пакетів, несправних пакетів тощо.

5. Об'єднати розділений вміст з кількох каналів зв'язку у один загальний потік.

6. У деяких випадках (наприклад, передача відео в реальному часі), можна додати інтегрований процес кодування відео, який виводить кодований живий або просто транскодований відеопотік.

Для забезпечення даних процедур, до вже існуючої архітектури 5G необхідно включити додатковий функціонал (рис. 2):

а) ML-CP – Multi-Link в мережі управляючого рівня;

б) ML-UP – Multi-Link в мережі передавального рівня;

в) ML-MW – функція проміжного програмного забезпечення Multi-Link у послідовному програмному забезпеченні в поєднанні з UE;

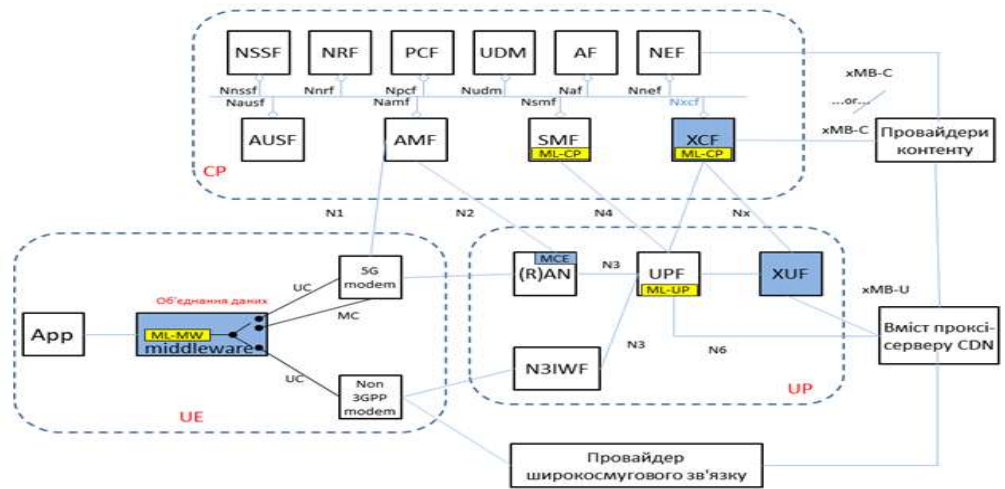


Рис. 2. Удосконалена архітектура ядра мережі 5G

г) XCF – 5G-Xcast функція управляючого рівня;

д) XUF – 5G-Xcast функція передавального рівня;

е) Multicast Coordination Entity (MCE) – багатоадресний координаційний орган. Є частиною загальної MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Services) і відповідає за координацію радіоресурсів стільникового зв'язку. Обов'язки MCE включають контроль надходження та розподіл радіоресурсів, пов'язаних з послугами eMBMS;

є) Non-3GPP InterWorking Function (N3IWF) – Функція взаємодії non-3GPP. N3IWF з'єднує 5G з мережами доступу non-3GPP.

Для даної удосконаленої архітектури (рис. 2) було розроблено процедури багатоканальної передачі даних (рис. 3).

Для архітектури (рис. 2) та відповідно процедур (рис. 3) залежно від навантаження на макрорівень

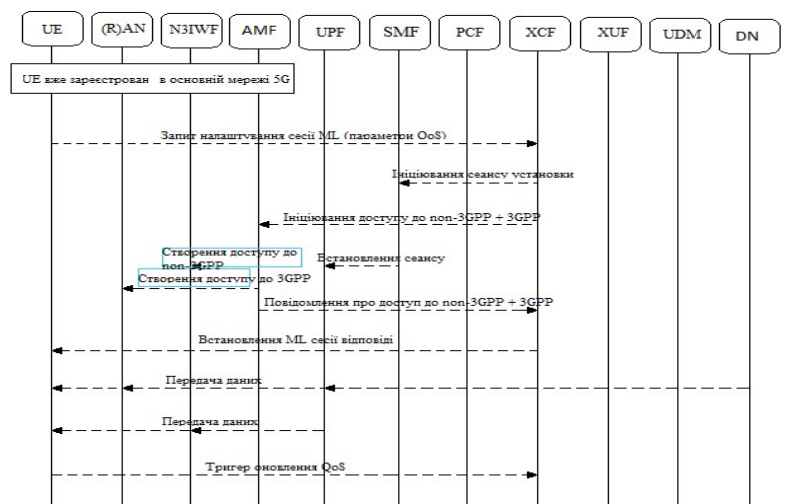


Рис. 3. Процедури встановлення з'єднання для забезпечення багатоканальної передачі даних

розраховується необхідна зона покриття мікростільника (мережі Wi-Fi):

$$R_{micro} = R_{max} (Y_{micro} / Y_{micro_max}) \dots\dots\dots (9)$$

де R_{max} – максимальний радіус зони покриття мікростільника, R_{micro} – розрахований необхідний за даним навантаженням на мережу радіус зони покриття стільника, Y_{micro} – навантаження на мікростільник у даний момент, Y_{micro_max} – максимальна пропускна здатність мікростільника. Таким чином, радіус зони покриття стільника залежить від поточного навантаження на мережу.

Виходячи із цих розрахунків обчислено енергетичний виграш від використання даної схеми розвантаження радіоінтерфейсу (рис. 4).

Як видно із рис. 4, вдається значно зменшити споживану потужність, навіть за використання декількох точок доступу Wi-Fi для розвантаження. Проте, можна ще більше покращити енергетичну ефективність ПБС оператора стільникового зв'язку.

Для цього виділимо основні напрямки зниження енергоспоживання:

- оновлення застарілого обладнання;
- системи динамічного

енергозбереження (Dynamic Energy Saving, Power Saving Mode);

- виносні радіоблоки і розподілені антенні системи;
- використання альтернативних джерел енергії;
- вдосконалення допоміжних систем.

Для оцінки доцільності використання тих чи інших напрямків було розроблено модель, яка включає економічну складову, зокрема змінними будуть капітальні та операційні витрати на забезпечення енергією ПБС:

$$T = FC + VC, \dots\dots\dots (10)$$

де FC – фіксовані витрати, VC – змінні витрати.

$$FC = FC_{сис.енерг.БС} + \sum_{i=1}^N FC + FC_{сис.БС} + FC_{сис.БЖ}, \text{ де } FC_{сис.енерг.БС} \text{ – система енергетичного живлення БС; } FC_{сис.БС} \text{ – вартість системи відновлюваної енергії; } FC_{сис.БЖ} \text{ – вартість системи безперебійного живлення.}$$

$VC = W \cdot C_w \cdot t = E_{em} \cdot C_w \cdot t$, де W – споживана потужність, t – час споживання, C_w – вартість 1 Вт енергії із електромережі.

$$C_{em} = FC_{сис.енерг.БС} + \sum_{i=1}^N FC_{сис.БС} + FC_{сис.БЖ} + E_{em} \cdot C_w \cdot t \dots\dots\dots (11)$$

$$\text{Енергетична ефективність визначається наступним чином: } E_{ef} = \frac{R}{E_{BS}}, \dots\dots\dots (12)$$

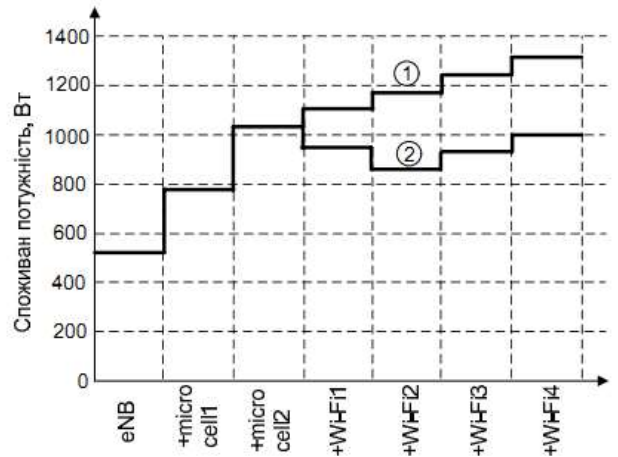


Рис. 4. Залежність споживаної потужності мережі залежно від її стану: 1 - режим динамічного регулювання мікростільника вимкнений, 2 - увімкнений

де R – швидкість передавання даних в стільнику; $R = F \cdot \beta$, де F – виділена смуга частот; β – спектральна ефективність.

$$E_{total} = E_{BS}$$

$$E_{BS} = E_{em} + E_{відм}$$

$$E_{відм} = \sum_{i=1}^N E_{відм_i}$$

де N – кількість відновлювальних джерел енергії.

На дану модель накладається обмеження по максимальному радіусу стільника d_{max} . Коефіцієнт використання відновлювальних джерел.

$$\lambda = \frac{E_{відм}}{E_{BS}} = \frac{E_{відм}}{E_{відм} + E_{BS}} = 1 - \frac{E_{BS}}{E_{відм} + E_{BS}} \dots \dots \dots (13)$$

Тоді задача оптимізації буде мати наступний вигляд:

$$\begin{cases} d = d_{max} \\ \lambda \rightarrow \max \\ E_{ef} \rightarrow \max \end{cases}$$

Дана модель дозволяє підвищити енергетичну ефективність ПБС оператора стільникового зв'язку.

Четвертий розділ даного дисертаційного дослідження присвячено розробці інформаційної технології підвищення ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку.

Інформаційна технологія – це процес, який використовує сукупність методів та засобів для обробки та переказу даних задля отримання інформації нової якості про стан об'єкту, процесу або явища. Пропонується інформаційна технологія (ІТ) синтезу оптимальної архітектури ПБС, яка включає в себе різні моделі та методи синтезу структури ПБС, що у результаті дозволяють підвищити ефективність роботи ПБС (рис. 5).

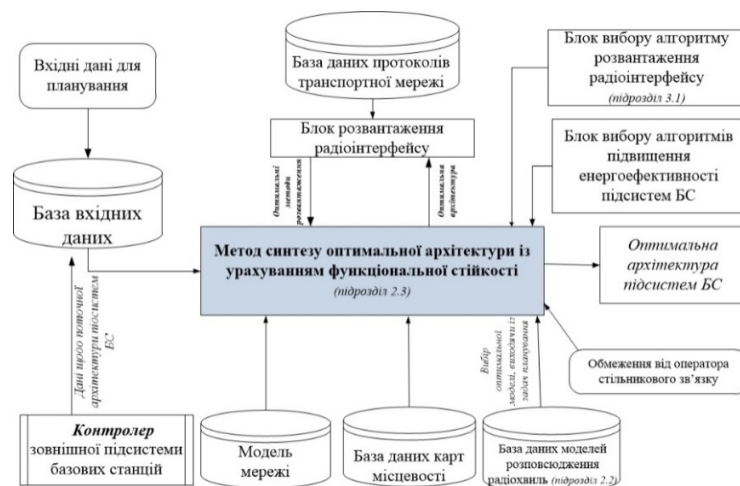


Рис. 5. Узагальнена структура розробленої інформаційної технології

Підвищення ефективності роботи ПБС може поліпшити і розширити якість

виконання функцій базових станцій по забезпеченню стільникового зв'язку, підвищити надійність базової станції при експлуатації і функціональність окремих її елементів, а також дозволить знизити витрати на обслуговування і ремонт при роботі в мережі.

Процес побудови ІТ:

1. Розглянути проблеми, що можуть виникнути в мережах стільникового зв'язку.
2. Запропонувати метод розв'язання проблеми, що пов'язана з синтезом оптимальної структури ПБС.
3. Провести вибір обладнання.
4. Розглянути метод вирішення задачі синтезу ПБС.
5. Провести вибір і обґрунтування математичної моделі ПБС.
6. Визначити метод розвантаження радіомережі і паралельного використання декількох каналів.

Можливе виділення чотирьох основних етапів для оптимальної архітектури з урахуванням функціональної стійкості та підвищення її ефективності (рис. 6).

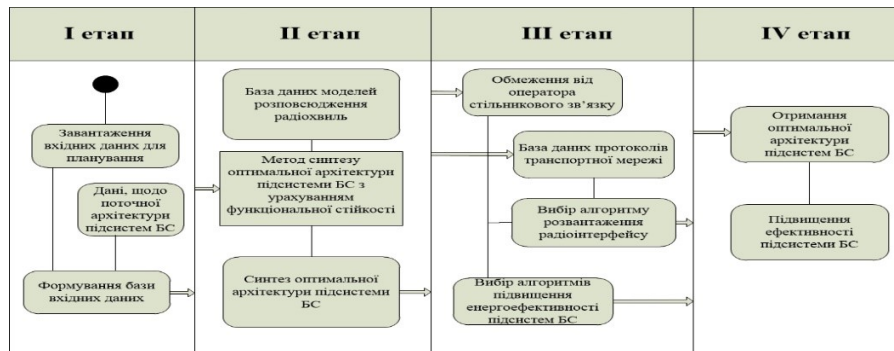


Рис. 6. Поетапна робота розробленої інформаційної технології

Перший етап: На цьому етапі формується база вхідних даних. Для цього, в неї завантажуються вхідні дані для планування мережі та дані щодо поточної архітектури підсистем БС, які надходять з контролера зовнішньої ПБС.

Другий етап полягає у:

1. Виборі моделі, виходячи із задач планування мережі, що надходять з бази даних моделей розповсюдження радіохвиль.
2. Синтезі оптимальної архітектури ПБС.

Все це зводиться до методу синтезу оптимальної архітектури ПБС з урахуванням функціональної стійкості. Даний метод складається з двох методик – методики загального синтезу мережі та методики часткового синтезу мережі. В якості критерію оптимізації прийнятий максимум функціональної стійкості ПБС.

Третій етап: Проводиться вибір алгоритмів розвантаження радіоінтерфейсу. А саме: технологія Wi-Fi Data Offload покликана розвантажувати мережі мобільних операторів від трафіку передачі даних за рахунок застосування технології Wi-Fi. В цьому випадку трафік передачі даних абонентів виводиться з радіомережі оператора в окрему радіомережу, що працює з використанням власних магістральних каналів. Також з'являється можливість надання абонентам послуг через партнерські мережі – аналогічно тому, як це робиться, коли абонент знаходиться в роумінгу.

При цьому, застосовуються обмеження від оператора стільникового зв'язку. Також проводиться вибір алгоритмів підвищення енергоефективності ПБС.

Виділяються два основних, хоча і тісно пов'язаних між собою, напрямки: зниження енергоспоживання базової станції і використання альтернативних джерел електроенергії. У міру зниження енергоспоживання базової станції, застосування альтернативних джерел енергії стає все більш виправданим, проте в цілому можливості їх застосування залишаються сильно обмеженими.

Четвертий етап полягає в отриманні оптимальної архітектури ПБС та саме підвищенні ефективності роботи ПБС.

У четвертому розділі на основі розробленої інформаційної технології розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для побудови оптимальної структури ПБС (рис. 7), яке дозволяє спочатку оцінювати зони радіопокриття, а потім здійснювати планування архітектури мережі із урахуванням функціональної стійкості. Для забезпечення підвищеного рівня захисту розробленого програмного продукту на основі використання сучасної техніки обфускації в даному розділі удосконалено методику захисту програмного забезпечення.

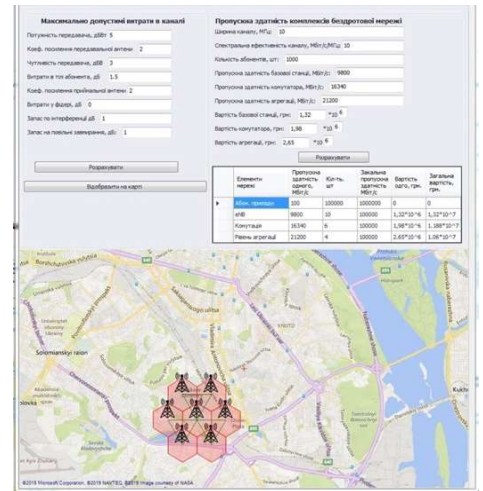


Рис. 7. Розроблене програмне забезпечення

ВИСНОВКИ

Сукупність наукових положень, сформульованих та обґрунтованих в дисертаційній роботі, складає вирішення науково-технічної задачі, яка полягала в необхідності підвищення ефективності ПБС стільникових мереж зв'язку. У дисертаційній роботі отримані такі теоретичні та практичні результати.

1. За аналізом якості обслуговування абонентів у реалізованих проектах мереж LTE в світі та в Україні встановлено, що заявлені вимоги до мереж четвертого покоління не досягаються в жодній із реалізованих мереж, а фактична якість обслуговування абонентів перебуває на досить низькому рівні, що свідчить про низьку ефективність існуючих методів планування ПБС. При цьому було визначено ряд проблем функціонування.

2. Удосконалено метод планування ПБС оператора стільникового зв'язку за рахунок урахування впливу додаткових параметрів на процес розповсюдження радіохвиль, побудови функціонально-стійкої топології зв'язку між базовими станціями та порівняння варіантів побудови по вартості. Даний метод надав змогу більш точно визначати радіус зон обслуговування базових станцій (до 9-10%) та обирати найбільш оптимальний варіант по критерію вартості та функціональної стійкості (до 99%).

3. Удосконалено метод розвантаження радіоінтерфейсу ПБС за рахунок використання багатоканальної передачі даних, додаткового радіоінтерфейсу не-3GPP

стандарту, протоколів MPQUIC, MPTCP та MLPPP та динамічного зваженого балансування навантаження.

Даний метод надає змогу вдвічі збільшити кількість активних абонентів в мережі та на 15 % зменшити сукупне енергоспоживання.

4. Вперше розроблено метод підвищення енергетичної ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку, який на відміну від відомих, полягає в послідовному використанні процедур розвантаження радіоінтерфейсу базових станцій, альтернативних джерел відновлюваної енергії, адаптивного енергоспоживання, що дозволяє зменшити витрати енергії, адаптувати випромінювану потужність до потреб абонентів та підвищити економічну ефективність ПБС.

5. Вперше розроблено інформаційну технологію підвищення ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку, яка на відміну від відомих, за рахунок використання удосконаленого методу планування ПБС оператора стільникового зв'язку, удосконаленого методу розвантаження радіоінтерфейсу ПБС та методу підвищення енергетичної ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку дозволяє зменшити енергетичні витрати, витрати на побудову та експлуатацію ПБС оператора стільникового зв'язку, а отже підвищити технічну, енергетичну та економічну ефективність ПБС оператора стільникового зв'язку.

6. Розроблено відповідне алгоритмічне та програмне забезпечення для планування більш ефективної архітектури ПБС та підвищення її ефективності. Для гарантування захищеності даного програмного продукту було удосконалено методику захисту програмного забезпечення мобільного оператора на основі техніки обфускації.

Вищенаведені наукові **результати** дають можливість вирішити задачу підвищення ефективності роботи ПБС операторів стільникового зв'язку.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Одарченко Р.С., Полігенько О.О., Дика Н.В., Поліщук В.В. Дослідження основних недоліків базових станцій різних поколінь стільникового зв'язку // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2016. – №3. – С.81-89.

2. Хассан Мохамед Мухи-Алдин. Модель оцінки підвищення енергоефективності підсистем базових станцій оператора стільникового зв'язку. Одарченко Р.С., Мухі-Алдин Хассан Мохамед, О.О. Полігенько, Ю. І. Хлапонін. Вісник інженерної академії, 2019. № 3. С. 72-74.

3. Oleh Polihenko, Roman Odarchenko, Sergiy Gnatyuk, “Enterprise information security management system based on the modern obfuscation technique for mobile network operators”, European Cooperation, Vol.3 No.47 (2020). <https://european-cooperation.eu/index.php/EC/article/view/88>

4. Arturo Arakelian, Oleh Polihenko “Improvement of Implementation of Merkle Crypto System”, Scientific and practical security journal (SPCSJ), pp.40-44, <https://journal.scsa.ge/wp-content/uploads/2019/10/6-331.pdf>

5. Полігенько О.О., Одарченко Р.С., Потапов В.Г. Аналіз алгоритмів множинного доступу до каналів супутникового зв'язку // Проблеми інформатизації та управління.– К.: НАУ, 2013.– Вип.1 (41).– С.75-80.

6. Одарченко Р.С., Ткаліч О.П., Полігенько О.О. Експериментальні дослідження пропускнуої здатності мереж стандарту IEEE 802.11n //Наукоємні технології. – 2013. – № 4 (20). – С.377-383.

7. О.О. Полигенько, Р.С. Одарченко, Н.В. Дикая, О.Ю. Скульская Исследование причин возникновения аварийных ситуаций операторов сотовой связи в Украине // Современные средства связи: международная научно-техническая конференция, 18-19 октября 2018 г.: тезы доп. – МинскБ Республика Беларусь., 2018. – С. 23 – 24.

8. Traffic offload improved method for 4G/5G mobile network operator / R. Odarchenko, A. Abakumova, O. Polihenko, S. Gnatyuk. Proceedings of the 35 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018 – Proceedings 2018-April, P. 1051-1054. (Scopus)

9. Estimation of the communication range and bandwidth of UAV communication systems / R. Odarchenko, O. Polihenko, L. Kharlai, O. Tkalich. Proceedings of the 4th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD), Kyiv, Ukraine, October 17-19, 2017. P. 159-162. (Scopus)

10. Roman Odarchenko, Nadiia Dyka, Oleh Poligenko, Liudmila Kharlai, Anastasiia Abakumova. Mobile operators base station subsystem optimization method // Science and Technology (PIC S&T) 2017:4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, 10-13 October 2017: abstracts.– Kharkiv, 2017. – P. 29-33.

11. Полігенько О.О.Методи оптимізації потоків трафіку в мережах LTE// Політ. Сучасні проблеми науки: XV міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, 8-9 квітня 2015 р.: тези доп. – К., 2015. –С.10.

12. Одарченко Р.С., Полігенько О.О. Порівняльний аналіз технологій 3-го та 4-го покоління // Політ-2011. Сучасні проблеми науки XV міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, 7–9 квітня 2010 р.: тези доп. – К., 2011. – С. 31.

13. Одарченко Р.С., Полігенько О.О. Варіанти оптимізації підсистеми базових станцій // Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті:всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, 16–17 листопада 2017р.: тези доп. – Кропивницький, 2017. – С.176.

14. Дика Н.В., Одарченко Р.С., Полігенько О.О., Слободян О.П. Проблеми ефективності та захищеності підсистеми базових станцій мережі LTE // IV всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрями захисту інформації», 02-06 вересня 2018 р.: тези доп. – Одеса., 2018. – С. 33 –34.

АНОТАЦІЯ

Полігенко О.О. Інформаційна технологія підвищення ефективності роботи базових станцій стільникового оператора – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – Інформаційні технології. Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 2020.

Підвищення ефективності функціонування мереж визначає коло задач, які потребують розв'язання, а саме – ефективність роботи базових станцій, енерго- та економічна ефективність.

У роботі отримано ряд наукових результатів, спрямованих на підвищення ефективності роботи базових станцій стільникових мереж зв'язку, зокрема: вдосконалено метод планування ПБС оператора стільникового зв'язку з урахуванням впливу додаткових параметрів на процес розповсюдження радіохвиль; метод розвантаження радіоінтерфейсу ПБС за рахунок використання багатоканальної передачі даних, додаткового радіоінтерфейсу не-3GPP стандарту, протоколів MPQUIC, MPTCP та MLPPP та динамічного зваженого балансування навантаження; розроблено метод та інформаційну технологію підвищення енергетичної ефективності ПБС оператора стільникового зв'язку.

Загалом результати досліджень дозволяють більш точно визначати радіус зон обслуговування базових станцій (до 9-10%); обирати найбільш оптимальний варіант по критерію вартості та функціональної стійкості (до 99%); майже вдвічі збільшити кількість активних абонентів в мережі; на 15 % зменшити сукупне енергоспоживання. Розроблений обфускатор StiK на 10% швидший і в 1,37 рази більше захищений, ніж аналоги.

Ключові слова: стільникова мережа, оптимізація підсистеми базових станцій, енергоефективність, обфускація.

АННОТАЦИЯ

Полігенко О.О. Информационная технология повышения эффективности работы базовых станций сотового оператора - Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.13.06 - Информационные технологии. Черкасский государственный технологический университет, Черкассы, 2020.

Повышение эффективности функционирования сетей с учетом новых технологий определяет круг задач, которые нуждаются решения, а именно - эффективность работы базовых станций, их энерго- и экономическая эффективность.

В работе получен ряд научных результатов, направленных на повышение эффективности функционирования сотовых сетей связи, а именно: усовершенствован метод планирования ПБС оператора сотовой связи с учетом влияния дополнительных параметров на процесс распространения радиоволн; метод разгрузки радиоинтерфейса ПБС за счет использования многоканальной передачи данных, дополнительного радиоинтерфейса не-3GPP стандарта, протоколов MPQUIC, MPTCP и MLPPP и

динамического взвешенного балансирования нагрузки; разработан метод и информационная технология повышения энергетической эффективности ПБС оператора сотовой связи.

В целом результаты исследований позволяют более точно определять радиус зон обслуживания базовых станций (до 9-10%); избирать наиболее оптимальный вариант по критерию стоимости и функциональной стойкости (до 99%); почти вдвое увеличить количество активных абонентов в сети; на 15 % уменьшить совокупное энергопотребление. Разработанный обфускатор StiK на 10% более быстрый и в 1,37 раза больше защищен, чем аналоги.

Ключевые слова: сотовая сеть, оптимизация подсистемы базовых станций, энергоэффективность, обфускация.

ANNOTATION

***Polihenko Oleh.* Information technology to increase the efficiency of the base station subsystem of the cellular operator.** - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on specialty 05.13.06 - Information technologies. Cherkasy State Technological University, the city of Cherkasy, 2020.

The introduction of the latest high-performance cellular networks of the new generation can be considered a strategic direction of providing the citizens with accessible means of receiving, transmitting and disseminating information.

A key element of any cellular network is the base station subsystem. Data transfer begins with it. Therefore, a very important and urgent task is to increase the efficiency of the base station subsystem.

To achieve the main goals, increase the efficiency of cellular communication networks, the following was used in the dissertation: methods of information theory and signal transmission (for the analysis of methods of information transmission in broadband radio systems); methods of the theory of electromagnetic wave propagation (for research of process of an electromagnetic field attenuation depending on frequency and distance in actual operating conditions of cellular networks); computer modeling methods (to verify the adequacy of developed models and methods); methods of direct synthesis (for the development of structural diagrams of devices and systems; field experiment (to verify the adequacy of the developed methods to improve the efficiency of the base station subsystem).

The method of planning the base station subsystems of the cellular communication operator was improved due to considering the influence of additional parameters on the process of radio wave propagation, as well as construction of functionally stable communication topology between base stations and comparison of construction options by cost. This method made it possible to more accurately determine the radius of base stations service areas (up to 9-10%) and choose the most optimal option on the basis of cost and functional stability (up to 99%).

Moreover, the method of unloading the base station subsystem radio interface has been improved due to the use of multi-channel data transmission, additional non-3GPP radio interface, MPQUIC, MPTCP and MLPPP protocols and dynamic weighted load balancing. This method made it possible to double the number of active subscribers in the network and reduce the total energy consumption by 15%.

For the first time a method was developed to increase the energy efficiency of the base station subsystem of the cellular operator, which, unlike the existing ones, consists in sequential use of procedures for unloading the radio interface of base stations, in using alternative sources of renewable energy as well as adaptive energy consumption which allows to reduce energy consumption, adjust the radiated power to the needs of subscribers and increase the economic efficiency of the base station subsystems.

Based on the use of all the above methods, it was for the first time when information technology had been developed which improves the efficiency of the base station subsystems of the cellular operator, which in contrast to the existing ones, allows to reduce energy costs, costs of construction and operation of the subsystem of cellular operator base stations, and thus increases technical, energy and economic efficiency of the subsystem of cellular operator base stations by using an improved method of planning the cellular base station subsystem, improved method of unloading the radio interface subsystem of base stations as well as the method of increasing the energy efficiency of the subsystem of cellular operator base stations.

To implement the developed information technology to the modern cellular network infrastructure, appropriate algorithmic and software solutions were developed for planning a more efficient architecture of the base station subsystem and increase its efficiency. To ensure the security of this software product, the method of mobile operator software protection based on obfuscation technique was improved.

According to experimental results, the developed StiK obfuscator is 10% faster and 1.37 times more protected than analogues. All this helps telecommunications companies to protect data from different types of attacks.

The materials of the dissertation had been already introduced into the operations of Bundleslab KFT (Hungary), the State Research Institute of Special Communication and Information Protection, the educational process of the National Aviation University (Ukraine).

Theoretical results obtained during the dissertation research reveals new possibilities to identify and propose new practical ways to increase the efficiency of subsystems of cellular network base stations in Ukraine. The obtained results allow: to more accurately estimate the maximum allowable range of radio communication; more effectively plan the location of base stations; to introduce new algorithms for unloading cellular communication networks, to use LTE and 5G wireless networks in planning, to develop hardware and software for data transmission systems, as well as in the educational process.

Keywords: cellular network, optimization of base station subsystems, energy efficiency, obfuscation.