

УДК 621.391

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЛАНУВАННЯ ПІДСИСТЕМИ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ



[О.О. ПОЛІГЕНЬКО](#), [Р.С. ОДАРЧЕНКО](#), [Л.Ю. ТЕРЕЩЕНКО](#)

Національний авіаційний університет



[О.А. СМІРНОВ](#), [П.С. УСІК](#)

Центральноукраїнський національний технічний університет

Abstract – Most modern cellular networks do not meet the updated needs of the market. Therefore, it is necessary to increase the efficiency of their operation to provide the required level of quality of customer service and at the same time reduce the overhead required for the operation and planning of cellular networks. This article is devoted to the generalization of the obtained scientific and practical results and the development of new information technology to increase the efficiency of the base station subsystem of the cellular operator. The developed information technology allows to reduce energy consumption, costs of construction and operation of the base station subsystem of the cellular operator, and thus increase the technical, energy, and economic efficiency of the base station subsystem of the cellular operator. The main result of the application of the developed information technology is to obtain the optimal architecture of base station subsystems and increase their efficiency. Furthermore, based on the use of developed methods, models, and information technology, the software was implemented to plan a more efficient subsystem of base stations of the cellular operator.

Анотація – Більшість сучасних стільникових мереж не відповідають оновленим потребам ринку. Тому необхідно забезпечувати підвищення ефективності їх функціонування для надання необхідного рівня якості обслуговування абонентів і одночасного зменшення накладних витрат, потрібних на експлуатацію та планування стільникових мереж. Дана стаття присвячена узагальненню отриманих наукових і практичних результатів та розробці нової інформаційної технології підвищення ефективності підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку. Розроблена інформаційна технологія дозволяє зменшити енергетичні витрати, витрати на побудову та експлуатацію підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку, а отже підвищити технічну, енергетичну та економічну ефективність підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку. Основний результат застосування розробленої інформаційної технології полягає в отриманні оптимальної архітектури підсистем базових станцій та підвищенні їх ефективності. Також на основі використання розроблених методів, моделей та інформаційної технології було реалізовано програмне забезпечення для планування більш ефективною підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку.

Вступ

Одним із головних напрямків розвитку сучасних телекомунікацій є удосконалення існуючих і створення нових поколінь стільникових мереж зв'язку, зокрема, 5G [1]. Вони найбільш придатні для забезпечення високошвидкісного доступу до інформаційних ресурсів, що є дуже важливим для розширення ринку телекомунікаційних послуг. Необхідність забезпечення повсюдного високошвидкісного доступу до Інтернету, корпоративних та інших мереж визначає загальносвітові тенденції до збільшення на цьому ринку частки мереж широкосмугового безпроводового доступу. Поширенню таких мереж сприяють відносно невеликі часові та фінансові витрати на розгортання їх інфраструктури у порівнянні з проводовими мережами та мо-

жливість забезпечення широкосмугового доступу в тих регіонах, де застосування проводових мереж доступу є економічно недоцільним або неможливим. Тому впровадження новітніх високоефективних стільникових мереж нового покоління можна вважати стратегічним напрямком повсюдного забезпечення населення доступними засобами отримання, передачі та поширення інформації. Крім того, ці ж розглянуті тенденції характерні і для концепції інтернету речей (IoT).

Постійно зростаючі потреби у високошвидкісному доступі до інформаційних ресурсів стимулюють появу і розвиток нових стільникових мереж. Серед них своїми широкими можливостями яскраво виділяються мережі LTE [2, 3]. Підвищення ефективності функціонування цих мереж з урахуванням нових технологій визначає коло задач, які потребують першочергового розв'язання. До найважливіших із цих задач, які визначають інноваційну новизну сучасних телекомунікаційних безпроводових систем, належать задачі оцінки та підвищення ефективності їх функціонування. Слід констатувати, що ключовим елементом будь-якої стільникової мережі є підсистема базових станцій, з якої починається передача даних. Тому дуже важливою й актуальною задачею є саме підвищення ефективності підсистеми базових станцій (БС).

Аналіз досліджень і публікацій. Проблема підвищення ефективності підсистеми базових станцій операторів стільникового зв'язку присвячена велика кількість наукових робіт. Серед яких необхідно виділити роботи М. М. Климаша, В. М. Вишневського, С. Л. Портного, І. В. Шахновича, В. О. Тихвинського, В. Ф. Єрохіна та ін. У роботі [4] пропонується багатокритеріальна оптимізація для проектних варіантів мереж LTE, проте не враховується ряд важливих параметрів саме з точки зору оптимізації підсистеми базових станцій. В роботах [5, 6] було розглянуто економічну ефективність стільникових мереж та їх підсистем. В роботі [7] пропонуються механізми SON для оптимізації мереж LTE.

Постановка задач дослідження. Не дивлячись на велику кількість публікацій за даною тематикою, аналіз науково-технічних джерел свідчить про те, що залишається ряд невирішених завдань, пов'язаних із підвищенням ефективності використання базових станцій. Існуючі методи підвищення ефективності функціонування стільникових мереж зв'язку вже значною мірою не відповідають потребам сучасності, а тому потребують корегування та доповнень. Отже, для теоретичного обґрунтування і створення наукових основ побудови новітніх стільникових мереж поряд з удосконаленням існуючих необхідна розробка нових ефективних методів підвищення ефективності їх функціонування. При цьому зазначені стільникові мережі повинні забезпечити ті сервіси, які не можуть надати технології мобільного зв'язку четвертого покоління та безпроводових локальних мереж сімейства стандартів IEEE 802.11.

Таким чином, метою даної роботи є підвищення ефективності підсистеми базових станцій операторів стільникового зв'язку. Для досягнення поставленої мети вирішуються такі наукові завдання:

1. Проаналізувати існуючі недоліки сучасних підсистем базових станцій операторів стільникового зв'язку.

2. Узагальнити наукові напрацювання стосовно підвищення ефективності функціонування підсистеми базових станцій.

3. Розробити інформаційну технологію підвищення ефективності підсистеми базових станцій.

4. Розробити програмне забезпечення для планування ефективної підсистеми базових станцій.

I. Розробка інформаційної технології

Інформаційна технологія – це процес, який використовує сукупність методів і засобів для обробки та переказу даних задля отримання інформації нової якості про стан об'єкту, процесу або явища [8]. У даній роботі пропонується інформаційна технологія (ІТ) синтезу оптимальної архітектури підсистем БС, яка містить різні моделі та методи синтезу структури підсистем БС, що в результаті дозволяють підвищити ефективність підсистем базових станцій (рис. 1).

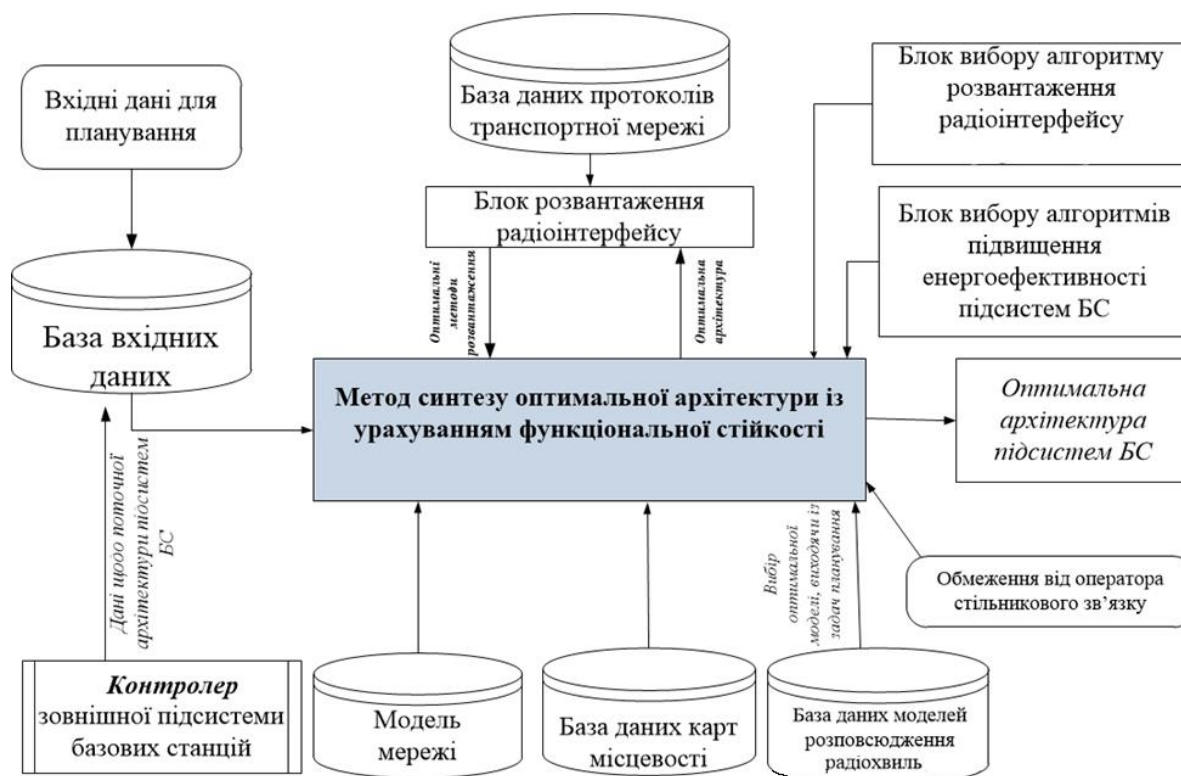


Рис. 1. Узагальнена структура розробленої інформаційної технології

Підвищення ефективності підсистем базових станцій може поліпшити і розширити якість виконання функцій базових станцій по забезпеченню стільникового зв'язку, підвищити надійність базової станції під час експлуатації та функціональність окремих її елементів, а також дозволить знизити витрати на обслуговування та ремонт при роботі в мережі.

Процес побудови ІТ заключається в наступному.

1. Розглянути проблеми, що можуть виникнути в мережах стільникового зв'язку.

Спочатку було детально проаналізовано архітектуру сучасних стільникових мереж, а саме 4G і 5G, а також розглянуто технологічні проблеми, які можуть виникнути в цих мережах [9]. Серед них є проблеми, пов'язані з недостатньою функціональною стійкістю. Забезпечення функціональної стійкості необхідно виконувати з урахуванням скорочення часу на обробку інформації та прийняття рішень, а також подальшого ускладнення математичних моделей розрахункових завдань з обробки інформації.

2. *Запропонувати метод розв'язання проблеми, що пов'язана з синтезом оптимальної структури підсистем БС.*

За допомогою використання моделі [10, С. 30-32] визначається проблема синтезу оптимальної структури підсистеми базових станцій. Виходячи з цього, вирішуються два нерозривно пов'язані завдання: планування мережі (попереднє та детальне) та оптимізація мережі (перепланування за результатами експлуатації) [21, С. 108-112].

3. *Провести вибір обладнання.*

Використовуючи результати, отримані в [10, С. 30-32] та [11, С. 176], проводиться вибір обладнання для проектування мережі LTE та проводиться оцінка бюджету втрат і зони покриття, оскільки збільшення смуги частот каналу призводить до зменшення допустимих втрат розповсюдження.

4. *Удосконалити метод вирішення задачі синтезу підсистеми БС.*

У [12, 13] наводиться математична модель задачі та методологія побудови функціонально-стійких інформаційно-комунікаційних систем, та, зокрема, мереж мобільного радіозв'язку. Дані моделі були адаптовані для застосування під час оптимізації підсистеми базових станцій операторів стільникового зв'язку з урахуванням критерію функціональної стійкості.

5. *Провести вибір і обґрунтування математичної моделі підсистеми БС.*

У [12, 20] визначаються елементи підсистеми, що впливають на функціональну стійкість. Таким чином, математичною моделлю для дослідження функціональної стійкості підсистем базових станцій є неорієнтований граф з абсолютно надійними вершинами і ненадійними ребрами (рис. 2). Тому підсистема базових станцій була представлена у вигляді саме неорієнтованого графу.

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

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

- синтез мережі за критерієм мінімуму середнього часу затримки повідомлення в мережі $\tau_{\text{ср}}$ при заданих обмеженнях на надійність і вартість;

- синтез мережі за критерієм мінімуму вартості при обмеженнях на показники надійності та τ_{cp} .

Підсистема базових станцій

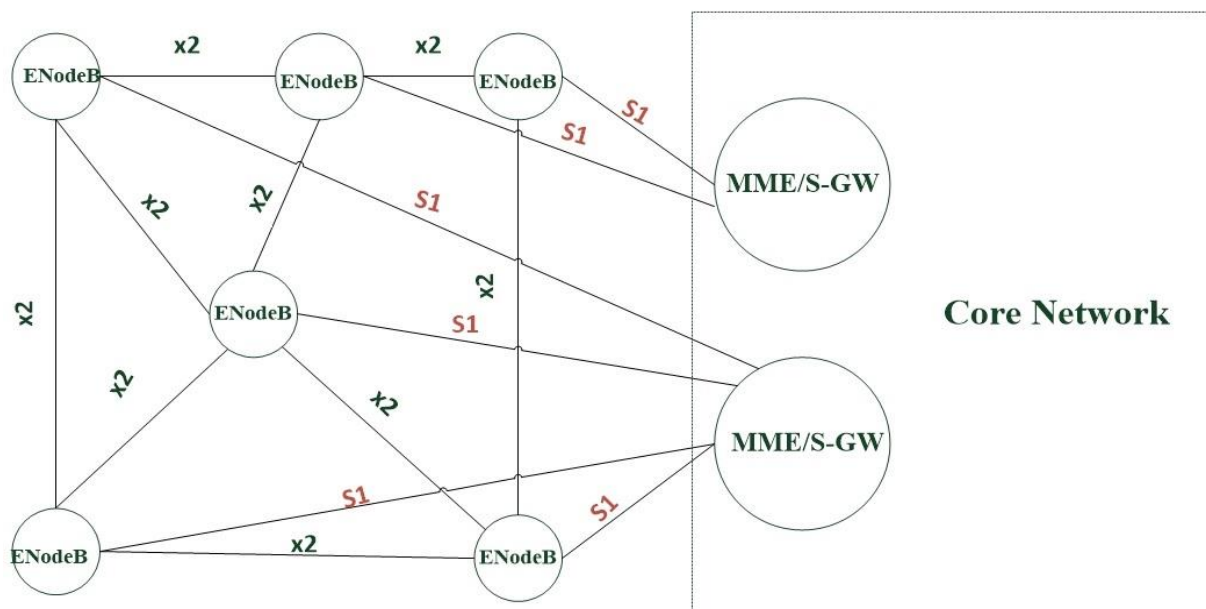


Рис. 2. Представлення підсистеми базових станцій у вигляді неорієнтованого графа

Головною вимогою до мережної 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 підсистем БС за критерієм максимуму показника функціональної стійкості при обмеженнях на вартість проектування й експлуатації системи:

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

$$C = \sum \sum C_{ij}(L_{ij}, p_{ij}, h_{ij}) \leq C_{зад},$$

де F_{BC} – функціонал якості, що максимізується;

C – доступна пропускна здатність підсистеми базових станцій;

P_{ij} – імовірність зв'язності між парою (i, j) базових станцій мережі;

L_{ij} – довжина лінії зв'язку між базовими станціями (i, j) ;

p_{ij} – пропускна здатність каналів між базовими станціями (i, j) ;

h_{ij} – фактична завантаженість каналів між базовими станціями (i, j) .

5. Розробити метод розвантаження радіомережі та паралельного використання декількох каналів

У [15] було представлено удосконалений метод для розвантаження радіоінтерфейсу стільникових мереж 4G/5G. Крім того, в [16] було запропоновано рішення щодо удосконалення ядра мережі 5G, що має на меті розвантаження радіоінтерфейсу стільникових мереж нового покоління. Саме цей підхід було обрано для використання в інформаційній технології. Ефективність використання цього підходу з боку підвищення енергоефективності була доведена в [17], а з технічної точки зору була підтверджена результатами експериментальних досліджень [18].

Таким чином, в результаті послідовного виконання вище наведених етапів, було запропоновано архітектуру інформаційної технології. Її реалізацію було розділено на чотири основні етапи, метою виконання яких є побудова оптимальної архітектури підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку з урахуванням функціональної стійкості та підвищення її ефективності (рис. 3).

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 підсистеми БС.

Другий етап полягає у:

- виборі моделі, виходячи із задач планування мережі, що надходять з бази даних моделей розповсюдження радіохвиль [19, 21];
- синтезі оптимальної архітектури підсистем БС.

Все це зводиться до методу синтезу оптимальної архітектури підсистеми БС з урахуванням функціональної стійкості [15]. Дана методика складається з двох методик – методики загального синтезу мережі та методики часткового синтезу мережі. Як критерій оптимізації прийнятий максимум функціональної стійкості підсистем базових станцій [12, 13].

Третій етап:

Проводиться вибір алгоритмів розвантаження радіоінтерфейсу. А саме, технологія Wi-Fi Data Offload покликана розвантажувати мережі мобільних операторів від трафіку даних за рахунок застосування технології Wi-Fi [16]. У цьому випадку трафік 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 [22].

Крім того, проводиться вибір алгоритмів підвищення енергоефективності підсистем БС. Виділяються два основних, хоча і тісно пов'язаних між собою, напрямки: зниження енергоспоживання базової станції та використання альтернативних джерел електроенергії. Їх використання та модель для оцінки енергоефективності представлена у [17]. У міру зниження енергоспоживання базової станції застосування альтернативних джерел енергії стає все більш виправданим, проте загалом ніша їх застосування залишається сильно обмеженою.

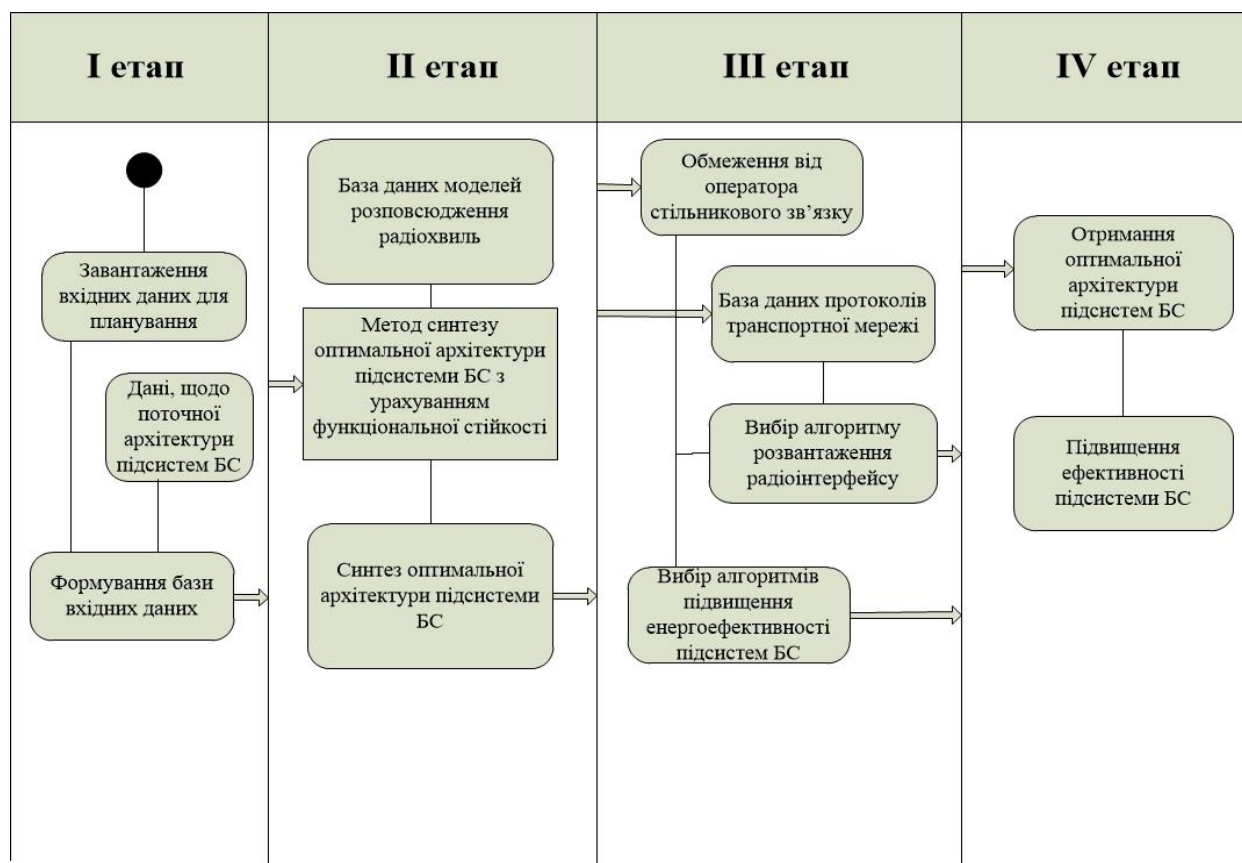


Рис. 3. Поетапна робота розробленої інформаційної технології

Четвертий етап полягає в отриманні оптимальної архітектури підсистем БС та саме підвищенні ефективності підсистеми БС.

Таким чином, в роботі було розроблено інформаційну технологію підвищення ефективності підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку, яка на відміну від відомих за рахунок використання удосконаленого методу планування підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку [21], удосконаленого методу розвантаження радіоінтерфейсу підсистеми базових станцій [15] та методу підвищення енергетичної ефективності підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку [17] дозволяє зменшити енергетичні витрати, витрати на побудову та експлуатацію підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку, а отже підвищити технічну, енергетичну та економічну ефективність підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку.

II. Програмне забезпечення для планування ефективної підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку

На базі розроблених методів, моделей та інформаційної технології було реалізовано програмне забезпечення для планування більш ефективної підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку. Інтерфейс розробленого програмного забезпечення показано на рис. 4.

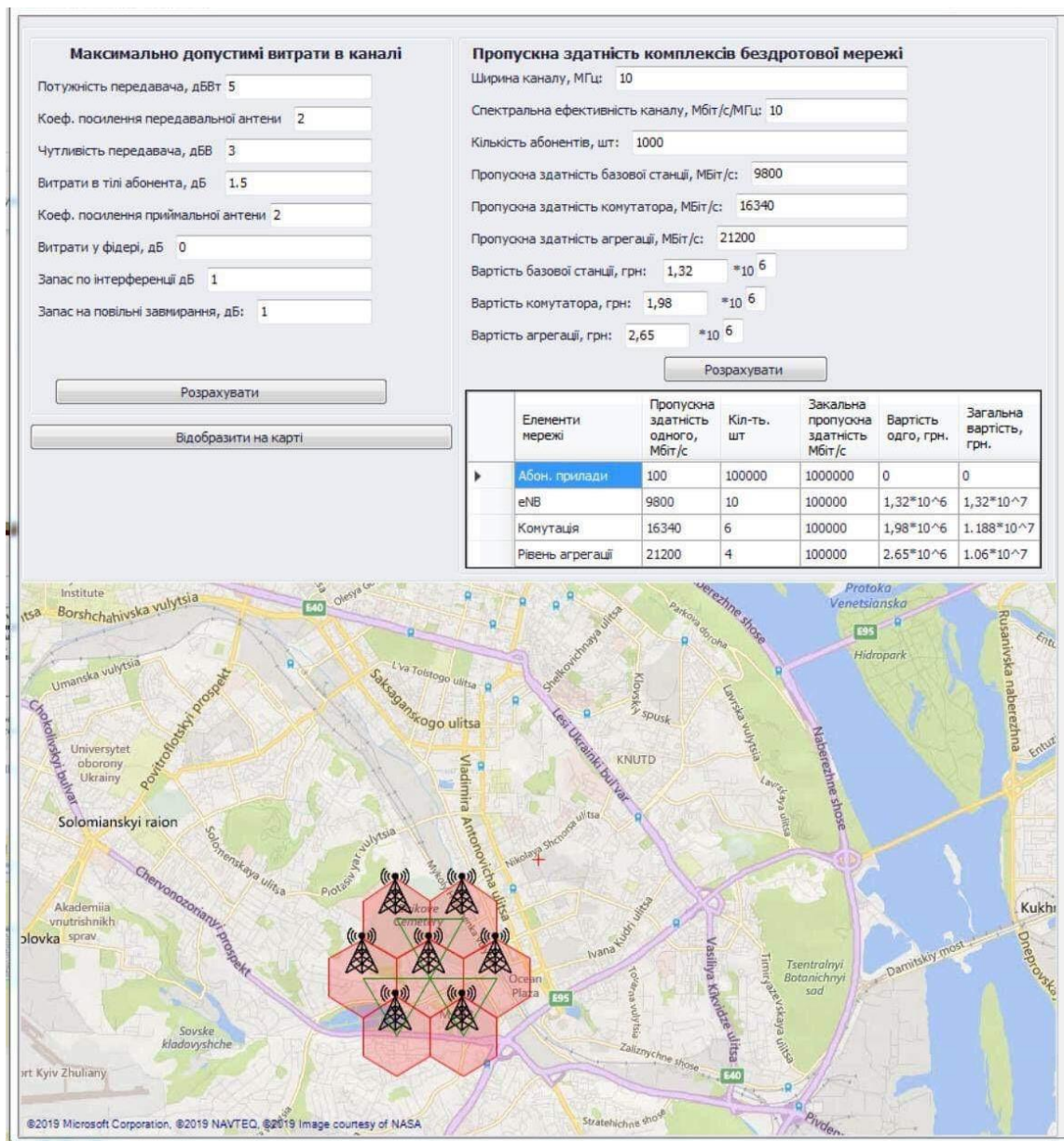


Рис. 4. Інтерфейс розробленого програмного забезпечення

Для створення програмного продукту було використано наступне програмне забезпечення та сервіси:

- Draw.io;
- мова програмування C#.

На першому етапі розробки програмного забезпечення було використано онлайн-сервіс Draw.io, за допомогою якого було розроблено схему роботи програмного забезпечення. У процесі побудови схеми виникали певні складнощі. Одна з них – це візуалізація даних на мапі. Для вирішення цієї проблеми було проаналізовано цілу низку рішень, представлених на ринку, а саме: Google Maps Platform, Bing Maps, Navteq.

Рішення Google Maps Platform має низку зручних рішень для розробників:

- Google Geocoding API – дозволяє конвертувати адресу у географічні координати та навпаки;
- getAddressComponents – надає детальну інформацію про вибране місце;
- Google Places API – надає можливість здійснювати пошук певних місць за допомогою зображення;
- Google Maps Driving Directions API – забезпечує направилення між вибраними координатами.

До уваги було взято рішення на основі сервісу електронних мап – Navteq. З усіх вищевказаних пропозицій на ринку це рішення виявилось найкращим. Картографічна база даних компанії Navteq заснована на аналітичних даних з багатьох електронних (портативних) девайсів та пристроїв навігації в автомобілях за географічними об'єктами, а не на офіційних державних мапах. Вона надає дані, які використовуються в багатьох додатках. Одним з таких є автомобільна навігація німецьких автовиробників. Для прикладу: цей відсоток від загальної кількості ринку складає 85%. Також компанія Navteq співпрацює з іншими сторонніми агентствами та компаніями для надання своїх послуг для портативних GPS-пристроїв. Однією з таких компаній є Garmin.

На наступному етапі потрібно було обрати мову програмування. До розгляду було обрано дві мови програмування: Python та C#. Що стосується першого варіанту, то це рішення дозволило б з мінімальною кількістю рядків коду створити програму, яка була б оптимізована під більшість операційних систем, але враховуючи те, що на даний час більшість портативних комп'ютерів працюють на операційній системі Windows 7, 10, було обрано рішення створювати програмне забезпечення на мові C#. Також вагомим чинником слугувало те, що на більшості персональних комп'ютерів не встановлено програмне забезпечення Python і те, що залежно від версії операційної системи, потрібно було інсталювати версію Python 3 або Python 2.7 та додаткові бібліотеки.

На третьому етапі потрібно було обрати програмне забезпечення для розробки зручного інтерфейсу кінцевого користувача. Базуючись на тому, що мовою програмування було обрано C#, для візуалізації було обрано інструмент DevExpress.

У процесі створення схеми роботи програмного забезпечення виникла ідея колекціонування даних, які раніше обчислювалися. По-перше, це дасть змогу швидше обчислювати математичні формули, а у випадку, якщо значення раніше були введені до програми, вона одразу видає результат. Для того, щоб не потрапити в пастку, розроблене програмне забезпечення перевірить не тільки значення, підставлені для обчислення, а й перевірить відповідність місцевості. По-друге, у випадку, якщо здійснюються нові обчислення, а база даних має відомості про стільники, які прилягають до місцевості, яку потрібно дослідити, то це зі свого боку дозволить надати користувачеві більш точні значення на перетині декількох стільників. Для цього було обрано базу даних PostgreSQL – об'єктно-реляційна система керування базами даних, яка є альтернативою комерційним СКБД (Oracle Database, Microsoft SQL Server, IBM DB2).

На п'ятому етапі завершується розробка схеми роботи програмного забезпечення.

Розглянемо принцип роботи програмного забезпечення, інформація в якому умовно розділялась на два вікна. В першому вікні відображались результати обчислення максимально допустимих втрат у каналі з позначенням їх на мапі, а в іншому вікні представлялись результати обчислення пропускної здатності комплексів безпроводової мережі. Отриманий результат відображався в окремій таблиці.

Розглянемо схему роботи обчислень максимально допустимих втрат у каналі (рис. 5).

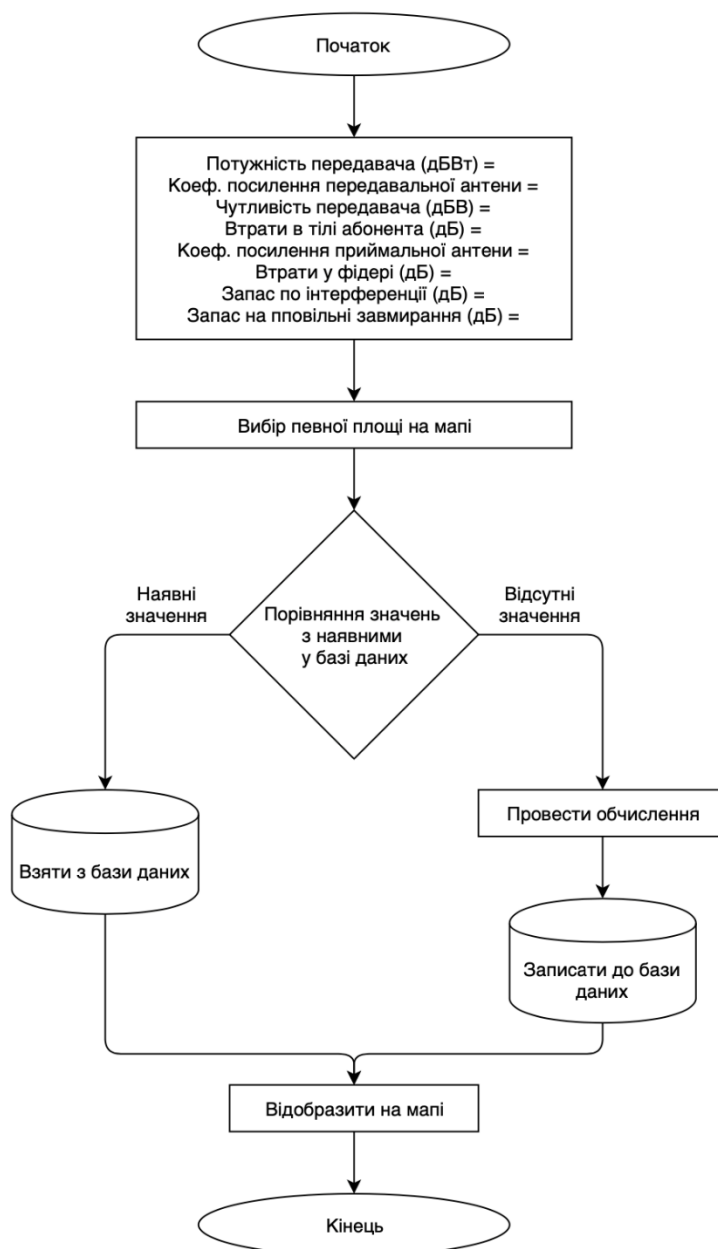


Рис. 5. Блок-схема алгоритму побудови зон обслуговування базових станцій

Спочатку користувач задає параметри для подальшого обчислення наступним полям: потужність передавача, коефіцієнт посилення передавальної антени, чутливість передавача, втрата в тілі абонента, коефіцієнт посилення приймальної антени,

втрати у фідері, запас по інтерференції, запас на повільні завмирання. Далі користувачеві необхідно виділити певну площу на мапі. На наступному етапі програмне забезпечення порівнює введені дані з даними, наявними у базі даних. У випадку, якщо результат для введених значень наявний, програма автоматично переходить до наступного етапу та відображає результат на мапі. У іншому випадку – програма здійснює обчислення і записує результат до бази даних, і потім переходить до відображення результатів на мапі.

У другому вікні здійснюється обчислювання пропускної здатності комплексів безпроводової мережі (рис. 6).

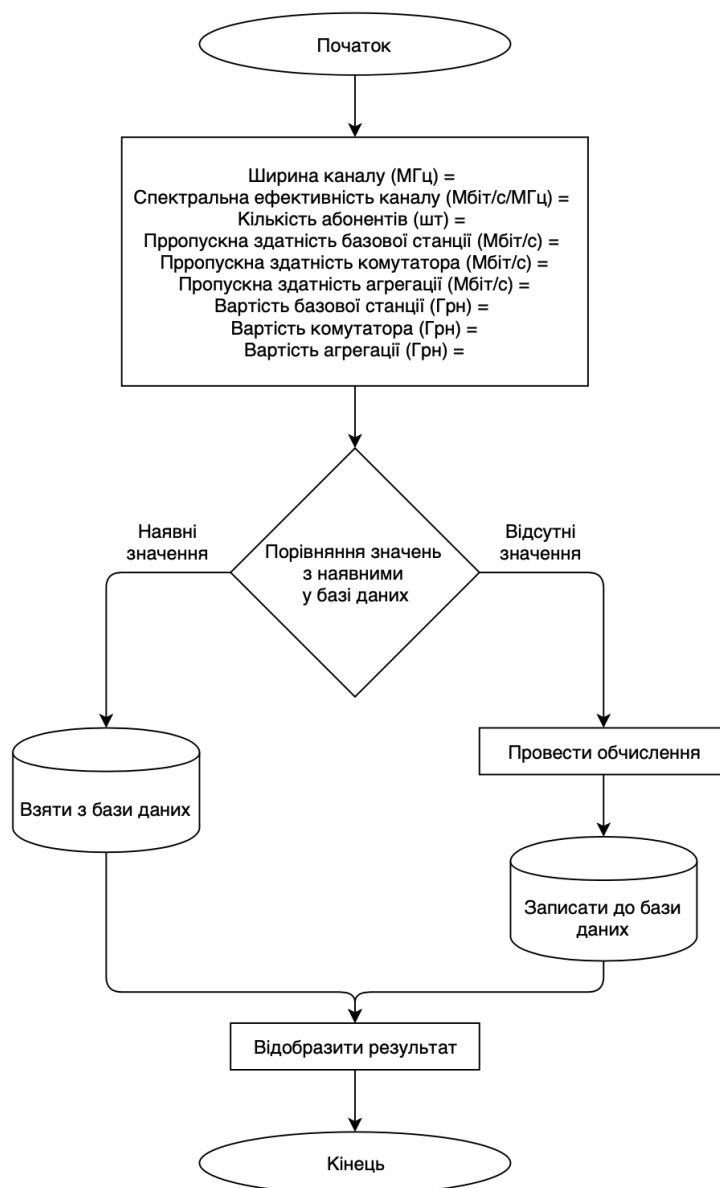


Рис. 6. Блок-схема алгоритму оцінки пропускної здатності комплексів безпроводової мережі

Для цього користувачеві потрібно задати параметри наступним полям: ширина каналу, спектральна ефективність каналу, кількість абонентів, пропускна здатність

базової станції, пропускна здатність комутатора, пропускна здатність агрегації, вартість базової станції, вартість комутатора, вартість агрегації. На наступному етапі програмне забезпечення порівнює введені дані з даними наявними у базі даних. У випадку, якщо результат для введених значень наявний, програма автоматично переходить до наступного етапу та відображає результат. В іншому випадку – програма здійснює обчислення і записує результат до бази даних, і потім переходить до відображення результатів. Розроблене програмне забезпечення надає змогу проводити планування підсистеми базових станцій мереж стільникового зв'язку із заданими вимогами до їх ефективності функціонування.

Висновки

Вперше було розроблено інформаційну технологію підвищення ефективності підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку, що дозволяє зменшити енергетичні витрати, витрати на побудову та експлуатацію підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку, а отже підвищити технічну, енергетичну та економічну ефективність підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку. Основний результат застосування розробленої інформаційної технології полягає в отриманні оптимальної архітектури підсистем БС з метою підвищення їх ефективності. Також у даній роботі на основі використання розроблених методів, моделей та інформаційної технології було реалізовано програмне забезпечення для планування більш ефективної підсистеми базових станцій оператора стільникового зв'язку.

Список літератури:

1. Одарченко, Р. (2015), "Обґрунтування основних вимог до систем безпеки стільникових мереж 5-го покоління", Безпека інформації, No. 21(3), Р. 229-235. DOI: <https://doi.org/10.18372/2225-5036.21.9685>
2. Тихвинский, В. О., Терентьев С. В., Юрчук А. Б. (2010), Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура, М.: Эко-Трендз, 284 с.
3. Принципы построения и функционирования сетей LTE. Портал о современных технологиях мобильной и беспроводной связи. Режим доступа: <http://1234g.ru/4g/lte/printsip-raboty-seti-lte/printsipy-postroeniya-i-funktsionirovaniya-setej-lte>
4. Безрук, В. М., Иваненко, С. А., Чеботарёва, Д. В. (2013), "Многокритериальная оптимизация проектных вариантов при планировании сетей LTE", Сборник научных трудов первой международной научно-практической конференции "Проблемы инфокоммуникаций. Наука и технологии (PIC S&T-2013)", Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков: ХНУРЭ, С. 87-89.
5. Одарченко, Р. С., Беженар, Ю. В., Ксендзенко, А. О. (2011), "Аналіз вразливостей систем захисту інформації в мережах Wi-Max та методів їх усунення", Защита информации, К.: НАУ, No. 18. С. 39-44.
6. Одарченко, Р. С., Лукін, С. Ю. (2011), "Економічна ефективність впровадження систем захисту стільникових мереж 4G", Системи обробки інформації, No. 4(102), С. 51-56.

7. 4G Americas (2011), "Self-optimizing networks: the benefits of SON in LTE", available at: http://www.4gamericas.org/files/2914/0759/1358/Self-Optimizing_Networks-Benefits_of_SON_in_LTE-July_2011.pdf

8. Пономаренко, Л. А., Щелкунов, В. И., Скляр, А. Я. (2002), Инструментальные средства проектирования, имитационного моделирования и анализа компьютерных сетей, К.: Наукова думка, 508 с.

9. Одарченко, Р. С., Полігенко, О. О., Дика, Н. В., Поліщук, В. В. (2016), "Дослідження основних недоліків базових станцій різних поколінь стільникового зв'язку", Телекомунікаційні та інформаційні технології, No. 3, С. 81-89.

10. Odarchenko, R., Dyka, N., Poligenko, O., Kharlai, L., Abakumova A., (2017), "Mobile operators base station subsystem optimization method", 2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkov, Ukraine, P. 29-33. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246342>

11. Одарченко, Р. С., Полегенько, О. О. (2017), "Варіанти оптимізації підсистеми базових станцій", Автоматика та комп'ютерно-інтегровані технології у промисловості, телекомунікаціях, енергетиці та транспорті: всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція: тези доп., Кропивницький, С. 176.

12. Барабаш, О. В., Берназ, Н. М. (2015), "Математична модель забезпечення функціональної стійкості мобільних систем", Системи обробки інформації, No. 12(137), С. 97-100.

13. Обідін, Д. М. (2014), "Оцінка функціональної стійкості інформаційно-телекомунікаційних мереж на основі автоматизованих систем управління", Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України, No. 1, С. 167-169.

14. Дика, Н. В., Одарченко, Р. С., Полігенко, О. О., Слободян, О. П. (2018), "Проблеми ефективності та захищеності підсистеми базових станцій мережі LTE", Перспективні напрямки захисту інформації: матеріали четвертої всеукраїнської наук.-пр. конф. Одеса:ОНАЗ, С. 33 – 37.

15. Odarchenko, R., Abakumova, A., Polihenko, O., Gnatyuk, S. (2018), "Traffic offload improved method for 4G/5G mobile network operator", 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, P. 1051-1054. DOI: <https://doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336375>

16. Odarchenko, R., Altman, B., Aguiar, R., Sulema, Y. (2018), "Multilink Approach for the Content Delivery in 5G Networks Proceedings", 2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, P. 140-144. DOI: <https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8631901>

17. Мухі-Алді́н Хассан Мохамед, Одарченко, Р. С., Полігенко, О. О., Хлапонін, Ю. І. (2019), "Модель оцінки підвищення енергоефективності підсистем базових станцій оператора стільникового зв'язку", Вісник інженерної академії, No. 3, С. 72-74.

18. Odarchenko, R., Gimenez, J., Sulema, Y., Altman, B., Petersen, S. (2019), "Multilink Solution for 5G: Efficiency Experimental Studies", 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT), Lviv, Ukraine, P. 336-339. DOI: <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847862>

19. Ткаліч, О. П., Одарченко, Р. С., Устинов, О. Ю., Колодинський, Д. О. (2015), "Оцінка адекватності моделей розповсюдження для їх використання під час визначення місцезнаходження абонентів", Наукоємні технології, No. 2(26), С. 159-165. DOI: <https://doi.org/10.18372/2310-5461.26.8717>

20. Райншке К., Ушаков И. А. (1988), Оценка надежности систем с использованием графов, М.: Радио и связь, 208 с.

21. Одарченко, Р. С. (2017), “Удосконалений метод планування мереж LTE”, Наукоемкие технологии в инфокоммуникациях: обработка информации, кибербезопасность, информационная борьба: Монография / под общей редакцией В.М. Безрука, В.В.Баранника. –Х.: Издательство «Лидер», С. 106-123.

22. Одарченко, Р. С., Ткалич, О. П., Стецюка, Ю. І. (2014), “Розвантаження радіоінтерфейсу мережі LTE шляхом застосування концепції Hotspot 2.0”, Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем, No. 17, С. 63-70.