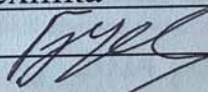


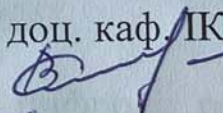
БАКАЛАВРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

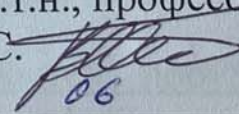
«Програмний комплекс багатокритеріальної оптимізації параметрів
стільникових мереж мобільного зв'язку»

Виконав: студент 4-го курсу,
групи ПЗТ-20
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

 Кичак Б.А.

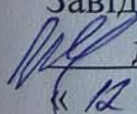
Керівник: к.т.н., доц. каф. ІКСТ
Воловик А.Ю. 

« 12 » 06 2024 р.

Рецензент: д.т.н., професор каф. ІРТС
Осадчук В.С. 

« 12 » 06 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІКСТ
д.т.н., проф. Кичак В.М.

 « 12 » 06 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
 Факультет інформаційних електронних систем
 Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
 (шифр і назва)
 Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
 (шифр і назва)
 Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ІКСТ
 д.т.н., професор В.М. Кичак "06" 05 2024 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кичаку Богдану Андрійовичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Програмний комплекс багатокритеріальної оптимізації параметрів стільникових мереж мобільного зв'язку»
 керівник роботи Воловик Андрій Юрійович, к.т.н, доц.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від "11" березня 2024 року № 80

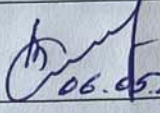
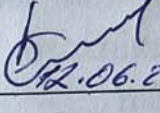
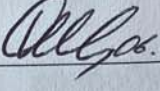
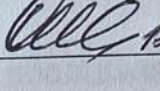
2. Строк подання студентом роботи 07 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: тип вхідних сигналів – цифрові; режим зв'язку – дуплексний; смуга робочих частот – 1800, 2600, 3400, 3600 МГц; тип модуляції – OFDM, 256-QAM; тип мережі – мобільна стільникова.

4. Зміст текстової частини: аналіз особливостей побудови та основних параметрів стільникових мереж мобільного зв'язку, розглянути питання оптимізації стільникових мереж мобільного зв'язку, вибір оптимальних варіантів топології транспортної мережі, розробка програмних комплексів оптимізації стільникових мереж мобільного зв'язку, охорона праці.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
багаторівневі діаграми обміну показників якості, результати вибору оптимальних варіантів мережі, Варіанти №1 - №6 транспортної мережі

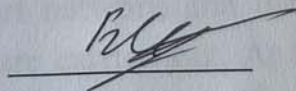
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Воловик А.Ю., доцент кафедри ІКСТ	 06.05.2024	 12.06.2024
Охорона праці	Фелішук С.В. проф. каф. БЖДПБ	 06.05	 12.06.2024
Економічна частина			

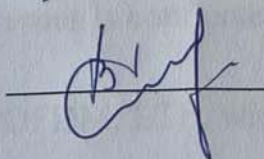
7. Дата видачі завдання 06 травня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент
(підпис)

Кичак Б.А.

Керівник роботи
(підпис)

Воловик А.Ю.

УДК 621.396

АНОТАЦІЯ

Кичак Б.А. Програмний комплекс багатокритеріальної оптимізації параметрів стільникових мереж мобільного зв'язку – бакалаврська дипломна робота студента спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка – Вінниця: ВНТУ 2024 р. 72 стор., 20 – рис., 10 – табл., 37 – бібл. – українською мовою.

Метою бакалаврської дипломної роботи є розробка та дослідження процесу побудови програмного комплексу для багатокритеріальної оптимізації параметрів стільникових мереж мобільного зв'язку.

У процесі дослідження відповідно до сформованого переліку параметрів розглядається можливість створення програмного додатку для оптимізації мережі мобільного зв'язку. Також, проводиться вибір оптимальних варіантів топології транспортної мережі та розрахунок параметрів за допомогою запропонованого програмного комплексу. На кінцевому етапі роботи проводиться дослідження питань охорони праці.

Ключові слова: GSM, UMTS, OFDM, LTE, безпроводна мережа.

ANNOTATION

Kychak B.A. Program complex of multi-criteria optimization of parameters of mobile communication cellular networks – student bachelor thesis of specialty 172 – Telecommunications and radio engineering – Vinnytsia: VNTU 2024. 72 pages, 20 – fig., 10 – tables, 37 - references. - Ukrainian language.

The bachelor's thesis researches the process of building a software complex for multi-criteria optimization of parameters of mobile cellular networks.

In the research process, in accordance with the created list of parameters, the possibility of creating a software application for optimizing the mobile communication network is considered. Also, the selection of the optimal options for the topology of the transport network and the calculation of parameters using the proposed software package are carried out. At the final stage of the work, a study of occupational health and safety issues is conducted.

Keywords: GSM, UMTS, OFDM, LTE, wireless network.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ ТА ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	11
1.1 Аналіз основних параметрів стільникових систем мобільного зв'язку	11
1.2 Формування множини допустимих варіантів мереж мобільного зв'язку та вибір показників якості.....	19
2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ПЛАНУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	24
2.1 Побудова математичної моделі мережі в задачах оптимізації пропускну здатності каналу з метою мінімізації середнього часу затримки.....	24
2.2 Реалізація програмного комплексу для багатокритеріальної оптимізації проектних варіантів стільникових мереж мобільного зв'язку	28
3 БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G	35
3.1 Формування вихідної множини варіантів СММЗ.....	35
3.1.2 Вибір найкращого проектного варіанту СММЗ.....	39
3.2 Оцінка показників якості транспортної мережі.....	41
3.3 Вибір оптимальних варіантів топології транспортної мережі стільникової мережі мобільного зв'язку	41
3.4 Практичні рекомендації для побудови програмної моделі мережі мобільного зв'язку	47
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	49
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	49
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	52

4.2.1 Мікроклімат	52
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	53
4.2.3 Виробниче освітлення	54
4.2.3 Виробничий шум.....	55
4.2.3 Виробничі випромінювання.....	56
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи в умовах дії загрозливих факторівНС	58
4.3.1 Дія землетрусу на виробничі приміщення	58
4.3.2 Оцінка стійкості роботи приміщення в умовах дії землетрусу.....	59
4.4 Розробка превентивних заходів по підвищенню стійкості роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій.....	59
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	63
Додаток А (обов'язковий). Ілюстративна частина	67
Додаток Б (обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АЧХ – амплітудно-частотна характеристика
- ВК – вузли комутації
- ВОЛЗ – волоконно-оптичні лінії зв'язку
- ГДК – гранично допустима концентрація
- ГІС – геоінформаційні технології
- КЗ – канали зв'язку
- КПО – коефіцієнт природної освітленості
- ПК – програмний комплекс
- РЕА – радіоелектронна апаратура
- СМЗ – стільникова мережа зв'язку
- СММЗ – стільникова мережа мобільного зв'язку
- СФ – смуговий фільтр
- ФНЧ – фільтр нижніх частот
- ФЧХ – фазо-частотна характеристика
- ЧМ – частотна модуляція
- ШР – шкідливі речовини
- BER (Bit Error Rate) – коефіцієнт бітових помилок
- BS (Base Station) – базова станція
- BSC (Base Station Controller) – контролер базової станції
- BSS (Base Station System) – система базових станцій
- BTS (Base Transceiver Station) – базова приймально-передавальна станція
- CDMA (Code Division Multiple Access) – множинний доступ з кодовим розділенням
- CN (Core Network) – ядро мережі
- FDM (Frequency Division Multiplexing) – мультиплексування з поділом за

частотою

FSK(FrequencyShiftKeying) – частотна маніпуляція

HSPA (High Speed Packet Access) – технологія безпроводного широкосмугового зв'язку

LTE (LongTermEvolution) – мережа мобільного зв'язку четвертого покоління.

MS (Mobile Station) – мобільна станція

MSC (Mobile Switching Center) – центр комутації мобільної мережі

NMC (Network Management Center) – центр управління мережею

PDN (Packet Data Network) – мережа пакетної передачі даних

PLMN (Public Land Mobile Network) – публічна мобільна наземна мережа

PSTN (Public Switched Telephone Network) – публічна телефонна комутована мережа

QoS (Quality Of Service) – якість обслуговування

RAN (Radio Access Network) – мережа радіодоступу

RNC (Radio Network Controller) – контролер радіомережі

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) – універсальна система мобільного зв'язку

UTRAN (UMTS Terrestrial RAN) – наземна радіомережа UMTS

WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) – широкосмуговий доступ з кодовим розділенням каналів

5G (FifthGeneration) – мобільна мережа п'ятого покоління.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні мобільні мережі відіграють найважливішу роль у сучасній інформаційній інфраструктурі та мають вирішальне значення в різних сферах суспільного життя, включаючи управління банківськими рахунками та проведення переговорів на високому рівні в урядових та міжнародних структурах[1].

Експерти в галузі телекомунікацій стикаються з складними завданнями, пов'язаними зі зміною на нові технології. Цей процес передбачає впровадження нових технологій та їх співіснування зі старими з метою оптимального використання обох типів технологій.

З цього приводу важливо докладно проаналізувати сучасний стан мобільних систем та стандартів як у світі загалом, так і в Україні зокрема.

Програмні комплекси багатокритеріальної оптимізації стають необхідним інструментом для досягнення ефективності та надійності в сфері стільникових мереж мобільного зв'язку. Отже важливим етапом розвитку є дослідження ключових аспектів використання таких програмних комплексів у практиці та їхню роль у покращенні якості зв'язку, збільшенні пропускної здатності та оптимізації ресурсів мережі з урахуванням різноманітних технічних та економічних критеріїв [2].

Засоби телекомунікацій є важливим компонентом сучасних інфокомунікаційних систем та мереж. Тому при проектуванні систем і мереж мобільного зв'язку важливо враховувати суперечливі техніко-економічні вимоги та застосовувати методи багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимального рішення [2].

Для забезпечення функціонування мобільного зв'язку використовується мережа базових станцій з фіксованими антенами, які передають інформацію до

комутаційних центрів через радіочастотні сигнали. Усього в світі діє близько 1,4 мільйонів базових станцій, з яких понад 30 тисяч розташовані в Україні [3].

Аналіз останніх досліджень. Аналіз літератури в області застосування програмних комплексів для багатокритеріальної оптимізації при проектуванні та побудові СММЗ показав, що дані питання детально обговорюються як у зарубіжній, так і в українській літературі.

Розвиток телекомунікаційних технологій призвів до появи та впровадження мереж п'ятого покоління (5G), але поки не можна нехтувати домінуючою роллю мереж четвертого покоління (4G) які будуть основними у галузі мобільного зв'язку і після 2024 року. Замість заміни існуючих технологій на 5G, акцент ставиться на їх розвиток і доповнення новими технологіями радіодоступу для різних сценаріїв та цілей [2,3].

Очевидно, що великі міста стають найбільш актуальними для впровадження мереж нового покоління через високі вимоги до швидкості передачі даних, пропускної здатності та енергоефективності мобільних пристроїв. Врахування показників якості дозволяє визначити найбільш неоптимальні варіанти та зменшити кількість проблем під час експлуатації [4].

Більшість досліджень акцентують увагу на необхідності розвитку нових програмних методів та алгоритмів оптимізації, що враховують специфіку мереж мобільного зв'язку та поєднують в собі різні аспекти, такі як топологія мережі, характеристики антен та споживання енергії. Крім того, активно досліджується можливість застосування штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизації процесів оптимізації та підвищення точності результатів [5].

Загалом, останні дослідження вказують на великий потенціал програмних комплексів багатокритеріальної оптимізації в покращенні ефективності та функціональності стільникових мереж мобільного зв'язку, що робить цей напрямок наукових досліджень дуже перспективним [6,7].

Останні дослідження показують, що застосування багатокритеріальної

оптимізації дозволяє знизити витрати на побудову та експлуатацію мереж, підвищити якість обслуговування для користувачів та забезпечити оптимальне використання ресурсів [3,4].

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження програмних комплексів багатокритеріальної оптимізації параметрів стільникових мереж мобільного зв'язку.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі *задачі*:

- провести аналіз структури та ключових характеристик мереж стільникового мобільного зв'язку;
- сформулювати множину допустимих варіантів мереж мобільного зв'язку та описати основні показники якості;
- провести аналіз програмних комплексів планування та оптимізації мереж мобільного зв'язку;
- вибрати оптимальні варіанти мережі мобільного зв'язку з урахуванням показників якості;
- синтезувати оптимальні конфігурації топології мережі мобільного зв'язку.

Об'єктом дослідження є програмні комплекси багатокритеріальної оптимізації мереж мобільного зв'язку.

Предметом дослідження у даній роботі є ефективність використання програмних алгоритмічних рішень для багатокритеріальної оптимізації мереж мобільного зв'язку.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на ЛІІ науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету у 2024 році.

1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТІЛЬНИКОВИХ СИСТЕМ

МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Аналіз основних параметрів стільникових систем мобільного зв'язку

При розробці стратегій планування стільникових мереж мобільного зв'язку (СММЗ) для визначення основних планів мережі, деякі параметри (початкові дані) визначаються замовниками, тоді як інші обчислюються відповідно до методології розрахунку, що використовується [5].

На етапі планування (номінального) необхідно використати такі вих. дані:

- h_{BTS} – висота підвісу антени базової станції, м;
- G_{BTS} – коефіцієнт посилення антени базової станції, дБ;
- P_{BTS} – потужність передавача базової станції, Вт;
- S_0 – площа території, що обслуговується, км²;
- β – активність одного абонента за ГНН, Ерл;
- N_a – число абонентів, що обслуговуються;
- ΔF_C – смуга частот базових станцій на передачу, МГц;
- P_1 – допустима ймовірність блокування виклику;
- p_t – відсоток часу, протягом якого допускається, щоб відношення сигнал/шум на вході приймача MS було менше встановленого;
- k – параметр загасання радіохвиль.

До параметрів, що розраховуються, відносяться наступні:

- C – розмірність кластера (для мереж другого покоління);
- N_k – загальна кількість частотних каналів у мережі;
- n_s – кількість каналів в одному секторі стільника;
- R – радіус стільника;
- A – допустиме телефонне навантаження;

- N_{aBTS} – число абонентів, що обслуговуються однією BTS;
- N_{BTS} – необхідна кількість базових станцій;
- P_{om} – ймовірність помилки;
- γ – ефективність використання радіочастотного спектру.

При визначенні основних технічних параметрів і показників якості СММЗ рекомендується використовувати метод, який базується на відповідних співвідношеннях (1.1 – 1.24), що представлені нижче [6].

1. Величина допустимого телефонного навантаження на одному секторі або секторі стільника (для базових станцій з антенами, що мають кругову діаграму спрямованості), визначають за допомогою одного з наступних співвідношень [5]:

$$A = n_0 \left[1 - \sqrt{1 - \left(p_{\text{бл.}} \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)^{\frac{1}{n_0}}} \right] \text{ для } p_{\text{бл.}} \leq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}}, \quad (1.1)$$

та

$$A = n_0 + \sqrt{\left[\frac{\pi}{2} + 2n_0 \ln \left(p_{\text{бл.}} \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right) \right]} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \text{ для } p_{\text{бл.}} > \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}}. \quad (1.2)$$

У виразах (1.1) і (1.2) n_0 – максимально допустима кількість користувачів, що можуть одночасно перебувати єдиному секторі кожного стільника, при заданій якості обробки сигналів будь-якої мобільної станції (p_0) та певній надійності прийому (p_t).

Для мереж другого та третього покоління параметр n_0 розраховується по-різному, оскільки мережі другого покоління використовують технологію FDMA/TDMA, а мережі третього покоління CDMA.

Кількість радіочастот, яка необхідна для обслуговування абонентів у кожному секторі кожної станції, розраховується за допомогою виразу [6]:

$$n_s = \text{int}(N_k / C \cdot M), \quad (1.3)$$

де N_k – загальна кількість частотних каналів.

Кількість частотних каналів, які призначаються для впровадження мережі мобільного зв'язку на певній території, визначається за допомогою виразу [6]:

$$N_k = \text{int}(\Delta F / F_k), \quad (1.4)$$

де $\text{int}(x)$ – ціла частина x ;

F_k – ширина спектру, яку займає один частотний канал у системі стільникового зв'язку (встановлюється стандартом).

Таким чином, для розрахунку параметра n_0 СММЗ другого покоління необхідно використовувати вирази (1.5) – (1.11):

$$n_0 = n_s \cdot n_a, \quad (1.5)$$

де n_s – кількість користувачів, що одночасно може використовувати один частотний канал (за стандартом);

n_a – кількість частот.

Для визначення чому дорівнює розмірність кластера C , при заданих значеннях p_0 і p_t , використаємо наступне співвідношення [5]:

:

$$p(C) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{\infty} \exp(-x^2 / 2) dx \right] \cdot 100, \quad (1.6)$$

де $p(C)$ - доля часу, протягом якого відношення сигналу до шуму буде перебувати нижче захисного інтервалу p_0 .

Наведений в 1.7 інтеграл є табульованою Q-функцією:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{\infty} \exp(-x^2 / 2) dx. \quad (1.7)$$

Нижня межа наведеного інтегралу має такий вигляд [6]:

$$x_1 = \frac{10 \lg(1 / \beta_e) - p_0}{\alpha_p}, \quad (1.8)$$

де

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^l \beta_i \right) \exp \left[\frac{\gamma^2 (\sigma^2 - \alpha_e^2)}{2} \right], \quad (1.9)$$

$$\alpha_p^2 = \sigma^2 + \alpha_e^2, \quad (1.10)$$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp(\gamma^2 \sigma^2) - 1 \right] \frac{\sum_{i=1}^l \beta_i^2}{\sum_{i=1}^l \beta_i} \right\}, \quad (1.11)$$

σ - це показник, що визначає множину випадкових флуктуацій потужності сигналу на прийомі; коефіцієнт $\gamma = 0,1 \ln 10 = 0,23$.

Коефіцієнти β_i (1.11) відображають середн значення втрат радіосигналів на i -му напрямку поширення перешкод. Дані коефіцієнти обернено пропорційні четвертій ступені відстані до джерела перешкоди. Параметр l вказує на кількість

базових станцій, які можуть впливати на сусідні кластери.

Значення l і β_i (4.11) залежать від типу використовуваних антен на базових трансиверах (BTS), які можуть бути неспрямованими або секторними. Існує три можливі варіанти:

- а) якщо $\varphi = 60^\circ$ і $M=6$, $l=1$ і $\beta_1 = (q + 1)^{-4}$;
- б) якщо $\varphi = 120^\circ$ і $M=3$, $l=2$ і $\beta_1 = (q + 0,7)^{-4}$, $\beta_2 = q^{-4}$;
- в) якщо $\varphi = 360^\circ$ і $M=1$, $l=6$ і $\beta_1 \beta_2 = (q-1)^{-4}$, $\beta_2 = \beta_3 = q^{-4}$, $\beta_5 = \beta_6 = (q+1)^{-4}$.

Тут параметр M визначає число секторів та значення $q = D/R = (3 \cdot C) - 2$. При заданих значеннях ρ_0 , σ та M для різних значень C проводять розрахунки часу відмови зв'язку $p(C)$. Після визначення значення x_1 за таблицями знаходять час $p(C)$. Якщо умовар $p(C) \leq pt$ виконується, вказане значення розмірності кластера задовольняє вимоги проектування. Якщо $p(C) > pt$, потрібно проводити розрахунки при великих значеннях параметру C .

Для визначення параметра n_0 в системах стільникового зв'язку 3G рекомендується користуватися формулами з (1.12) по (1.16).

Зазвичай у системах з кодовим розділенням каналів (CDMA) прийнятною вважається якість прийому інформації, при якій ймовірність помилкового прийому одного інформаційного біту складає 10^{-3} , а значення параметра ρ_0 дорівнює 5 або 7 дБ [7].

Таким чином, величина n_0 визначається виразом:

$$n_0 = \left(\frac{1 - \lambda}{\alpha p_0} \right) \frac{(B_r / B_{\text{inf}})}{2 + \exp[m_0 + K_T \sigma_0]}, \quad (1.12)$$

де $\lambda = 0,2$ – потужність передавача, яка використовується для передачі пілотного сигналу;

B_r – смуга сигналу, ГЦ;

B_{inf} – швидкість передачі, біт/с;

m_0 – штучно введений параметр;

K_T – коефіцієнт, що має зв'язок з допустимим відсотком часу зменшення параметру сигнал/шум щодо параметру ρ_0 .

Параметр (коефіцієнт) K_T пов'язаний із параметром p_T виразом [6]:

$$p_T = 100 \int_{K_T}^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \frac{dt}{\sqrt{2\pi}}. \quad (1.13)$$

Якщо значення $p_T = 10\%$, то правдивою стає величина $K_T = 1,29$.

Параметр m_0 визначається співвідношенням [6]:

$$m_0 = \ln \left[\frac{\xi_1 \exp\left(\frac{\gamma^2 \sigma^2}{2}\right)}{\sqrt{(1-\xi_2) + \xi_2 \exp(\gamma^2 \sigma^2)}} \right] - \frac{3\gamma}{2\sqrt{\pi}} \cdot \sigma, \quad (1.14)$$

де σ – дисперсія флуктуації в точці прийому сигналу (для ССМЗ $\sigma = 4 \dots 10$ дБ, $\gamma = 0,1 \ln(10) = 0,23$),

$$\begin{aligned} \xi_1 &= 3(M+1) \cdot 2^{-(k+1)} + 6 \cdot 7^{-k/2}, \\ \xi_2 &= \left[3(M+1)^2 \cdot 2^{-2(k+1)} + 6 \cdot 7^{-k} \right] \cdot \left[3(M+1) \cdot 2^{-(k+1)} + 6 \cdot 7^{-k/2} \right], \end{aligned} \quad (1.15)$$

$k = 3 \dots 4$ – параметр загасання радіохвиль.

Дисперсія гаусівського випадкового сигналу – це міра розсіювання значень сигналу відносно його середнього значення в рамках нормального розподілу.

Для мереж третього покоління параметр σ_0 , який характеризує дисперсію гаусівського випадкового сигналу z_0 з середнім значенням нуль, визначається за наступним виразом[8]:

$$\sigma_0 = \sqrt{\ln \left[(1 - \xi_2) + \xi_2 \exp(\gamma^2 \sigma^2) \right] + 0,03 \cdot \sigma^2}. \quad (1.16)$$

1. Кількість користувачів, які можуть бути обслуговані однією базовою станцією, встановлюється на основі оцінки числа секторів, допустимого навантаження на мережу та активності користувачів. Це число визначається за відповідним співвідношенням [8]:

$$N_{a\,BTS} = M \operatorname{int}(A / \beta). \quad (1.17)$$

2. Номінальна кількість БС, що потрібна для адекватного обслуговування визначеної абонентської кількості, складає [6]:

$$N_{BTS} = \operatorname{int}(N_a / N_{a\,BTS}), \quad (1.18)$$

де N_a – встановлена кількість абонентів, які повинна обслуговувати мобільна стільникова мережа зв'язку.

3. Під час визначення радіуса стільника припускається, що навантаження рівномірно розподілене по всій зоні. Тоді радіус обчислюється за наступною формулою [6]:

$$R = \sqrt{\frac{1,21 \cdot S_0}{\pi N_{BTS}}}. \quad (1.19)$$

Один з важливих показників ефективності бездротових стільникових мереж зв'язку – це ймовірність помилки під час передачі даних під час зв'язку. Зазвичай ця ймовірність розраховується для найгіршого сценарію, коли мобільний пристрій перебуває на межі зони обслуговування [10].

Щодо мереж другого покоління, для значення $C \geq 3$, можна використовувати наступну формулу для розрахунку ймовірності помилки:

$$P_{out} \approx \frac{1}{(\sqrt{3C} - 1)^{2k}}. \quad (1.20)$$

Ефективність використання радіоспектру в мережах другого покоління залежить від того, скільки активних абонентів припадає на одиницю доступної смуги частот для передачі або прийому [12]:

$$\gamma = 1,21 \frac{S_0}{\pi R^2 F_k C}, \quad (1.21)$$

а для мереж 3G:

$$\gamma = 1,21 \frac{S_0}{\pi R^2 F_k}. \quad (1.22)$$

Після розрахунку всіх основних параметрів виконується розробка номінального (попереднього) плану мережі. Він включає в себе розподіл ресурсів, технічні параметри, такі як розташування базових станцій і частот, а також плани розширення та модернізації мережі у майбутньому [13].

Номінальний план мережі є важливим інструментом для управління мобільним оператором, оскільки він дозволяє забезпечити якісне надання

послуг зв'язку для абонентів, ефективно використовувати ресурси та планувати стратегічний розвиток компанії [14].

1.2 Формування множини допустимих варіантів мереж мобільного зв'язку та вибір показників якості

На етапі планування стільникових мереж мобільного зв'язку, для досягнення оптимальних результатів, застосовують методи відбору кращих проектних рішень з урахуванням різноманітних показників якості. Основні кроки цього процесу включають:

1. Визначення кількості можливих варіантів мережі для запланованої другого покоління стандарту GSM.
2. Виділення підмножини Парето-оптимальних варіантів мережі.
3. Вибір єдиного варіанту стільникової мережі мобільного зв'язку з урахуванням показників якості для детального планування мережі [6].

У якості вихідних даних використовуються:

- планована кількість абонентів у мережі;
- розміри обслуговуваної території (площі);
- очікувана активність абонентів;
- виділена ширина смуги частот;
- допустима ймовірність блокування виклику.

Також, визначаються параметри, які характеризують якість мережі та можуть служити показниками якості, вираховуючи їх значення, потім нормовані та наведені до відповідного виду відповідно до визначень (1.23) і (1.24):

$$k_i = \frac{k_i}{k_{\max}}, \quad (1.23)$$

де k_i – показники якості, $k_{\max}$ – максимальне значення показника якості.

$$k_{iA} = 1 - k_i. \quad (1.24)$$

У розглянутій задачі було вибрано п'ять показників якості, які відображають ймовірність помилок, мережеву ємність, обсяг обслуговування абонентів на одну базову станцію, ефективність використання радіочастотного спектру, рівень блокування та зону покриття.

Пошук Парето-оптимальних варіантів мереж відбувається у критеріальному просторі векторних оцінок введених показників якості. Для цього застосовується безумовний критерій переваги, відомий як критерій Парето. У цьому критеріальному просторі визначається підмножина Парето-оптимальних оцінок показників якості, які відповідають недомінуючим варіантам мережі. Вибір цієї підмножини Парето-оптимальних проектних варіантів виконується згідно з наступним правилом. Варіант мережі φ^0 включається до множини Парето, якщо серед безлічі допустимих варіантів Φ^4 більше не міститься жодного варіанту мережі φ , який би переважав його за відношенням нестрогої переваги. У критеріальному просторі це означало включення в множину Парето відповідних оцінок показників якості $\vec{v} = \vec{k}(\varphi^0) \in P(V) = \text{opt}_{\geq} V$, якщо жоден варіант мережі φ не задовольняв умову векторної нерівності [13]:

$$\vec{k}(\varphi) \geq \vec{k}(\varphi^0). \quad (1.25)$$

Відношення нестрогої переваги (1.26) визначає, що описані нерівності

виконуються. За даним параметром можливим є виділення найкращих варіантів з підмножини можливих.

Після застосування Парето-оптимізації отримують багатовимірні діаграми, що відображають взаємозв'язок показників якості, який має антагоністичний характер.

Деякі з цих діаграм представлені на рис.1.1. Вони були отримані аналітичним шляхом згідно з виразом (1.17). Кожна точка на цих діаграмах визначає потенційно найвищі значення кожного з показників, які можуть бути досягнуті при фіксованих, але довільних значеннях інших показників якості [13].

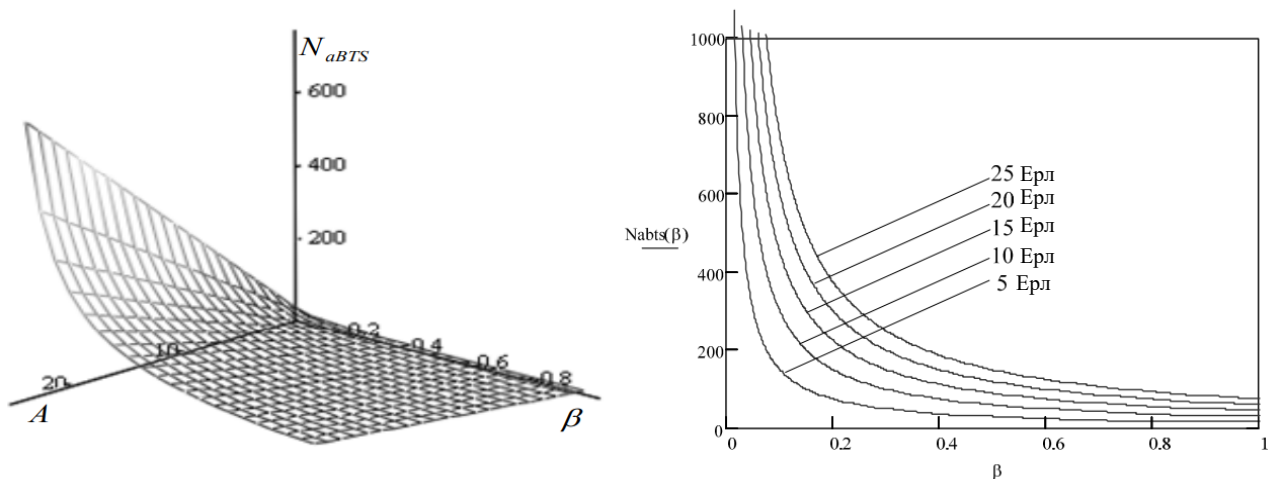


Рисунок 1.1 – Багаторівневі діаграми обміну показників якості $k(N_{aBTS})$, $k()$, $k(\beta)$

На рис.1.2та1.3 представлені варіанти стільникових мереж мобільного зв'язку (СММЗ), що відображені в двовимірному критеріальному просторі деяких показників якості [6].

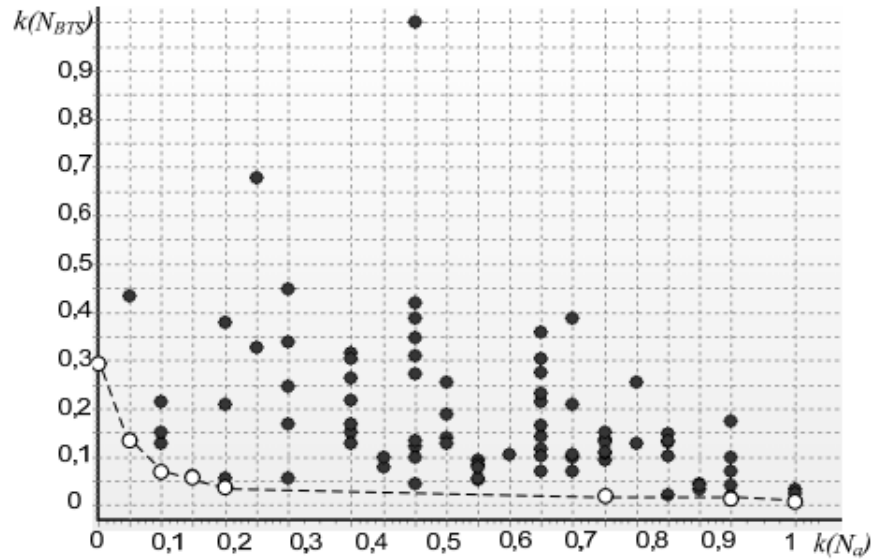


Рисунок 1.2 – Варіанти СММЗ в критеріальному просторі показників якості $k(N_{BTS})$, $k(N_a)$

Білі точки відзначають варіанти, які увійшли до групи Парето-оптимальних варіантів. Їм відповідають потенційно кращі значення одного з показників якості при фіксованих значеннях інших показників якості. Фактично, перехід від однієї Парето-оптимальної точки до іншої представляє собою двовимірну багатовимірну оптимізацію. Ліва нижня межа вихідної множини оцінок показників якості СММЗ відповідає Парето-оптимальним варіантам [12].

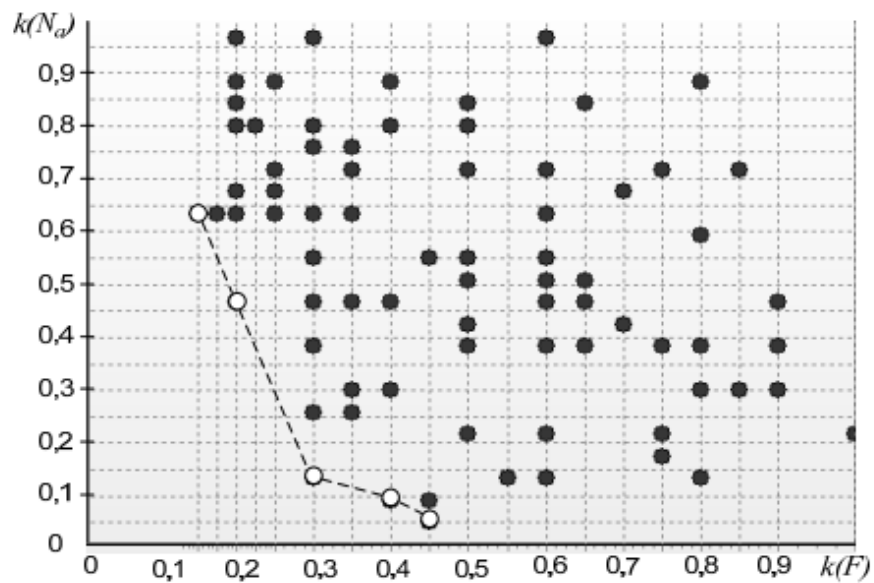


Рисунок 1.3 – Варіанти СММЗ в критеріальному просторі
показників якості $k(F)$, $k(N_a)$

Для вибору єдиного проектного рішення з підмножини Парето був використаний умовний критерій переваги, заснований на мінімізації скалярної цільової функції корисності у вигляді:

$$F(k_1, k_2, \dots, k_m) = \sum_{j=1}^m c_j k_j, \quad (1.27)$$

де c - коефіцієнти шкалювання, що обираються на основі відносної важливості показників якості.

Висновок. Було проведено аналіз основних параметрів стільникових мереж мобільного зв'язку. В результаті дослідження було визначено аналітичні вирази, що дозволяють теоретично розрахувати параметри площі території, що обслуговується, середню активність одного абонента, смуга частот, ймовірність блокування виклику, тощо. Також, було обгрунтовано прийнятну якість прийому інформації, при якій ймовірність помилкового прийому одного інформаційного біту складає 10^{-3} .

Після визначення основних параметрів стільникових мереж мобільного зв'язку було виконано формування множини допустимих варіантів мереж мобільного зв'язку та вибір основних показників якості відповідно до вимог, які ставляться перед сучасними телекомунікаційними мережами зв'язку.

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ ПЛАНУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Аналіз програмних комплексів планування та оптимізації стільникових мереж мобільного зв'язку

Основні етапи побудови та вдосконалення сучасних СММЗ нині неможливі без використання спеціальних програмних комплексів. Програмні комплекси використовують на етапі детального планування СММЗ. З метою забезпечити якісні послуги стільникового зв'язку.

Провідні оператори застосовують методи математичного та комп'ютерного моделювання. При цьому основною перешкодою є складність формалізації вихідних даних для формування універсальної просторово-часової моделі умов функціонування мережі [14].

Найбільш ефективним інструментом автоматизації процесу планування СММЗ є геоінформаційні технології (ГІС-технології), що пройшли у своєму розвитку шлях від вузькоспеціалізованих способів та методів обробки цифрової картографічної інформації до високорозвинених програмних засобів, які називаються геоінформаційними системами. ГІС-технології є сукупністю засобів і методів обробки даних, що мають просторовий аспект і забезпечують отримання інформації в необхідному вигляді [13].

Спеціальні ГІС складаються з програмного та інформаційного компонентів. Програмний компонент містить сервісні та розрахункові програми для введення просторових та описових даних, їх обробки та виведення результатів; інформаційний компонент - електронну (цифрову) карту місцевості та об'єктно-орієнтовану базу даних, що містить відомості з усіх істотних аспектів проектованої мережі стільникового зв'язку. ГІС-технології дозволяють формувати моделі з урахуванням реальних просторово-розподілених параметрів

середовища функціонування, зовнішніх та внутрішніх впливів [15].

Прикладом реалізації ГІС-технологій є програмні комплекси (ПК) планування СММЗ. Вони використовують цифрову карту місцевості як основу для проведення необхідних розрахунків, містять базу даних, що поповнюється, з характеристиками антен, передавачів і приймачів, відображають на екрані схему розміщення радіомережі з можливістю редагування її елементів, тощо.

Найбільш відомі програмні комплекси, які представлені у табл.2.1 [17].

Таблиця 2.1 – Сучасні програмні комплекси для планування СММЗ

Країна	Вендор	Програмний продукт	Основні можливості
Швеція	Ericsson	TEMS CellPlanner	Радіочастотне планування
		TEMS Link-Planner	Планування РРЛ
		Planet EV	Планування та оптимізація РРЛ
Франція	Alcatel	Alcatel 955	Планування радіомереж
	Forsk	Atoll Core	Радіочастотне планування та розрахунок РРЛ
Велика Британія	AIRCOM	ASSET3G	Радіопланування
		ILSA	Автоматизація розподілу частот
		CONNECT	Планування РРЛ
		DIRECT	Планування транспортної мережі
Фінляндія	Nokia		Радіочастотне планування, розрахунок покриття та РРЛ

Оператори зв'язку користуються як програмним забезпеченням імпортного

походження, так і вітчизняними розробками. Для розробки мережі стільникового зв'язку вони використовують загальні вихідні дані, такі як стандарт, кількість та частоти радіоканалів, потрібна ємність мережі та план мережі з вказівкою можливих місць розміщення базових станцій (BTS). Крім того, вони використовують географічні дані у цифровому форматі, такі як карти типів місцевості та забудови, карти річок і водойм, автомагістралей, рельєфу місцевості та інші.

Ці програмні пакети надають можливість:

- розміщення базових станцій у визначених місцях на території;
- редагування карт шляхом включення користувачем окремих перешкод із доступного списку;
- аналіз систем, які функціонують у будь-якому з відомих стандартів, вибираючи із пропонованого переліку;
- визначення складу обладнання для радіостанцій із бази даних, яка може бути доповнювана та змінювана користувачем;
- встановлення та редагування розподілу щільності трафіку у регіоні (для систем радіодоступу, стільникових та транкінгових систем), що дозволяє аналізувати характеристики системи за умов різного завантаження;
- розрахунок, відображення на екрані та друк основних характеристик аналізованої мережі;
- оптимізація параметрів запланованої мережі шляхом зміни розташування радіостанцій, а також змінюючи склад і технічні характеристики обладнання, що розміщується на них;
- аналіз показників електромагнітної сумісності запланованої мережі; для цього програма розраховує перешкоди від усіх розташованих у розглянутому регіоні передавачів, а у випадку, якщо кілька передавачів знаходиться в одному місці, видає попередження про можливі інтермодуляційні перешкоди третього або п'ятого порядку;

- відображення результатів вимірювань рівня прийнятого сигналу та їх порівняння з результатами розрахунку,
- підготовка зведеної документації про проект у текстовому та графічному вигляді [13].

На рис. 2.1 представлено функціонал ПК NetActLinkPlanner з точки зору планування РРЛ-ділянок [18].

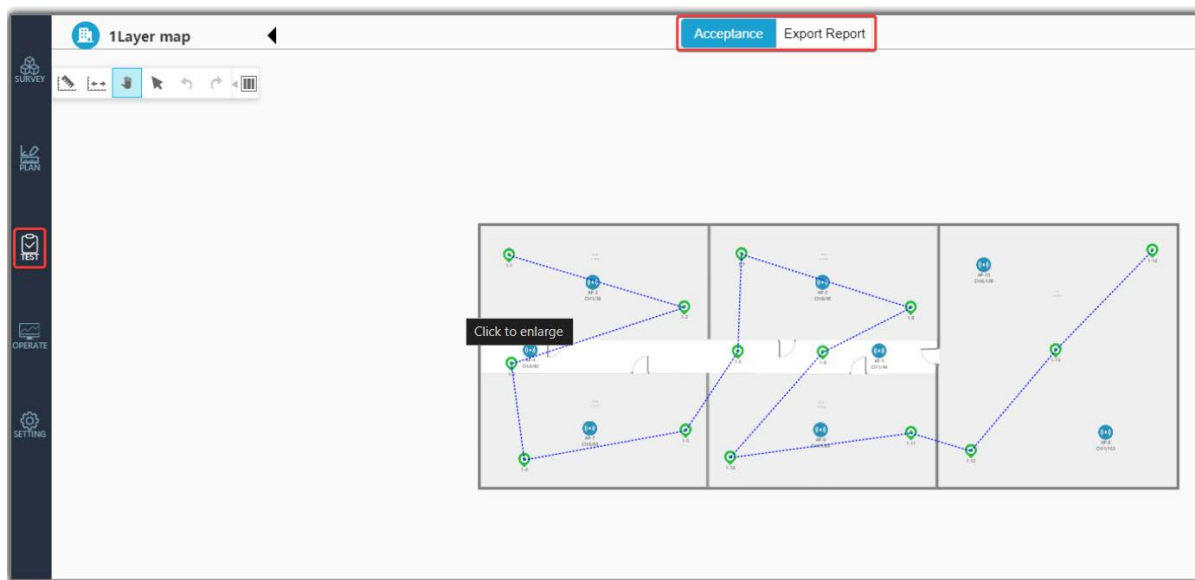


Рисунок 2.1 – Функціонал ПК NetActLinkPlanner з точки зору планування РРЛ-ділянок

Дослідження можливостей новітніх ПК для планування показує, що їх функціонал переважно зосереджений на визначенні характеристик підсистеми BTS: географічних координат BTS; типу, орієнтації та висоти антени BTS; потужності передавача BTS. У цьому процесі можна виділити наступні етапи планування: - визначення розмірів системи, включаючи вибір ССМС і розрахунки бюджету радіолінії, радіуса зони BTS, каналної ємності та вартості створення ССМС. Цей етап планування зазвичай здійснюється без врахування

географічної інформації [19].

У розрахунках бюджету радіолінії використовуються два основних параметри: потужність передавача та інтервал повторного використання частот. Ці параметри залежать від вимог якості передачі, які включають в себе співвідношення сигнал/перешкода, відсоток часу, протягом якого допускається, щоб сигнал на вході приймача станції був менше захисного відношення, і ймовірність помилки на біт у цифрових системах. Також враховується розміщення обладнання BTS з використанням електронних карт міста та розрахунку радіопокриття для кожної окремої BTS та системи в цілому.

У разі потреби можливі зміни конфігурації та параметрів BTS, а також вибір моделі поширення радіохвиль. Оцінка задовільності карти радіопокриття здійснюється групою експертів, і у випадку необхідності фаза повторюється для нового розташування BTS. Також важливим етапом є призначення частот для кожної BTS, яке зазвичай виконується вручну з мінімізацією внутрішньоканальних перекривань сигналів і з урахуванням ймовірності блокування викликів та даних про розподіл абонентів на території [20].

2.2 Реалізація програмного комплексу для багатокритеріальної оптимізації проектних варіантів стільникових мереж мобільного зв'язку

Розглянемо приклад використання програмного комплексу для Парето-оптимізації, що передбачає вибір найкращих варіантів СММЗ з доступної множини.

Розроблена програма MCO (Multi Criterial Optimization) призначена для вибору найбільш оптимальних проектних варіантів на основі методології багатокритеріальної оптимізації. Ця програма вирішує наступні завдання:

- створення множини припустимих проектних варіантів;
- вибір та встановлення значень показників якості для проектних варіантів;

- відбір підмножини Парето-оптимальних варіантів;
- звуження підмножини Парето до одного проектного варіанту за допомогою методу на основі лексикографічного підходу та методу на основі теорії корисності [17].

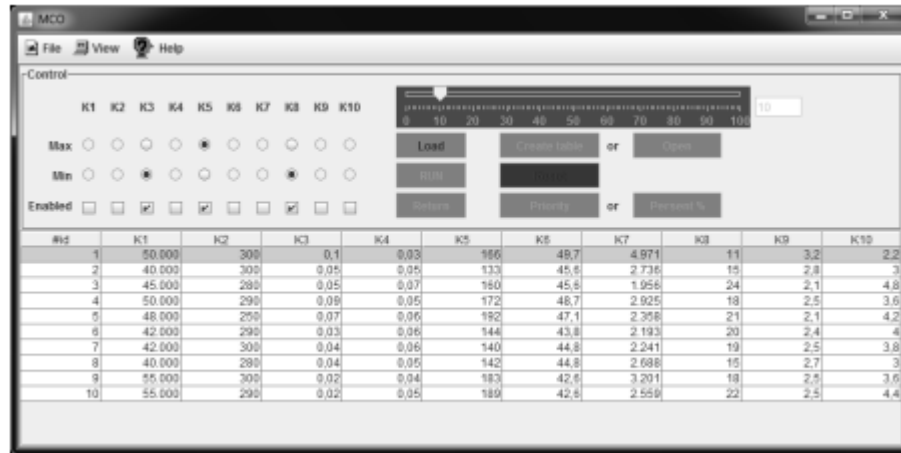


Рисунок 2.2 – Інтерфейс програми

Для реалізації вибору найкращих рішень у відповідності з теорією багатокритеріальної оптимізації розроблено комплекс програм, що складається з двох компонентів.

1. Перший компонент програмного комплексу реалізований на платформі MathCad. Він виконує наступні завдання:

- забезпечення вихідних даних для всіх можливих варіантів мереж;
- розрахунок основних параметрів системи стільникового зв'язку;
- нормалізація та перетворення даних до стандартного формату;
- створення таблиці оцінок для всієї множини допустимих варіантів системи стільникового зв'язку.

Результати всіх обчислень цієї програми зберігаються у текстовому файлі "mL.txt", що використовується другим компонентом ПК [15].

2. Другий компонент програмного комплексу реалізований за допомогою

мовиС#. Він відповідає за вибір оптимальних варіантів системи стільникового зв'язку з підмножини Парето-оптимальних варіантів у критеріальному просторі та обрання одного варіанту для побудови мережі.

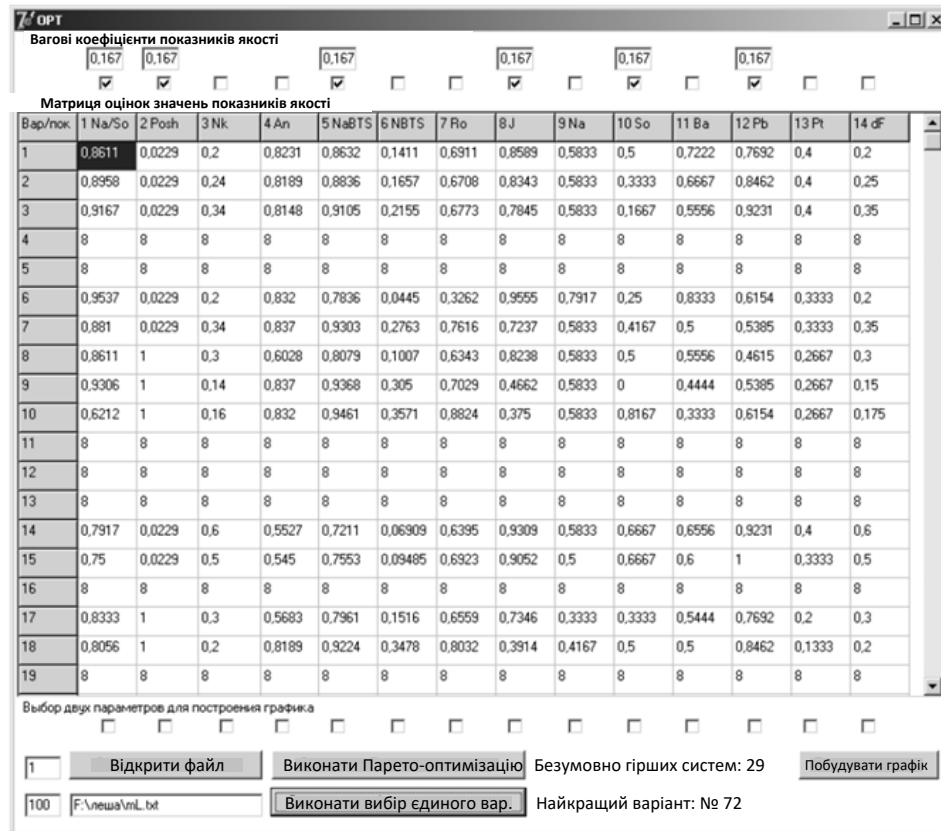


Рисунок 2.3 Вікно результатів програмного вибору оптимальних проектних варіантів

За допомогою даного ПК можна вирішити наступні завдання:

- відкрити текстовий файл "mL.txt" для отримання таблиці розрахунків показників якості у стандартному форматі;
- вибрати необхідні для оптимізації показники якості;
- обрати Парето-оптимальні варіанти системи стільникового зв'язку;
- задати вагові коефіцієнти важливості кожного показника якості;
- вибрати один єдиний варіант системи стільникового зв'язку для обраної

множини показників якості.

Відповідно до описаної формалізованої процедури вибору у розглянутому випадку з 100 можливих варіантів систем мобільного зв'язку відібрано всього 71 Парето-оптимальний варіант побудови системи. У цьому процесі було відкинуто 29 варіантів, які безумовно гірші за критерієм Парето (рис. 2.3)[15].

Отримані Парето-оптимальні проектні варіанти мають такі характеристики:

1. Усі варіанти, які не входять до множини Парето-оптимальних, однозначно є гіршими.

2. Жоден з Парето-оптимальних варіантів не може бути безумовно визнаним або кращим за інші в цій множині. Це означає, що всі вони непорівнянні за певним критерієм.

3. Кожному Парето-оптимальному варіанту відповідає можливе значення кожного показника якості $(k_1, k_2, \dots, k_n)$, яке може бути досягнуте за фіксованих умов. Це є властивістю множинного узгодженого оптимуму. Сукупність цих оптимальних значень показників якості утворює багатовимірні потенційні характеристики систем мобільного зв'язку [6].

Для вибору із знайденої підмножини Парето-оптимальних варіантів єдиного проектного варіанта СМЗ зважену суму значень обраних показників якості:

$$k_p = \sum_{i=1}^6 c_i k_i. \quad (2.1)$$

За умови мінімуму k_p при $c_i=1/6$ із отриманої підмножини Парето-оптимальних вибрано єдиний варіант побудови СМЗ, який характеризують такі дані: кількість абонентів у мережі – 30000; площа території, що обслуговується – 320 кв.км; активність абонентів - 0,025 Ерл; ширина смуги частот – 4 МГц; припустима ймовірність блокування виклику - 0,01; відсоток

часу погіршення якості зв'язку - 0,07; щільність обслуговування – 94 акт. абон./кв. км; розмір кластера – 7; кількість базових станцій у мережі – 133; кількість абонентів, що обслуговується однією БС – 226; ефективність використання радіочастотного спектра - $1,614 \cdot 10^{-4}$ акт. абон./Гц; телефонне навантаження – 3,326 Ерл; імовірність помилки - $5,277 \cdot 10^{-7}$.

У результаті виконання оптимального планування було отримано наступні результати, що представлені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати багатокритеріальної оптимізації

№ оптимізації	Показники якості						Номер найкращого варіанту
	N_a / S_0	N_a / S_0	N_{aBTS}	γ	S_0	$P_{бл}$	72
1	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	72
2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	82
3	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	72
4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1	59
5	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	63
6	0,2	0,3	0,05	0,05	0,2	0,2	82

У розглянутій задачі задано тридцять шість варіантів роботи мережі. У результаті імітаційного моделювання для кожного варіанта мережі знайдено оцінки таких показників якості: середнього часу доставки пакетів $k_1 = T$ та середньої ймовірності втрати повідомлення $k_2 = P$.

При цьому отримано допустиму множину варіантів роботи мережі, що були представлені у критеріальному просторі оцінок показників якості, нормованих до максимальних значень (рис. 2.4).

Тут виділено підмножину Парето-оптимальних варіантів мережі виключенням безумовно гірших варіантів за критерієм Парето. Цій підмножині відповідає ліва нижня границя множини припустимих варіантів мережі, що містить варіанти: 1, 10, 11, 13, 17, 20.

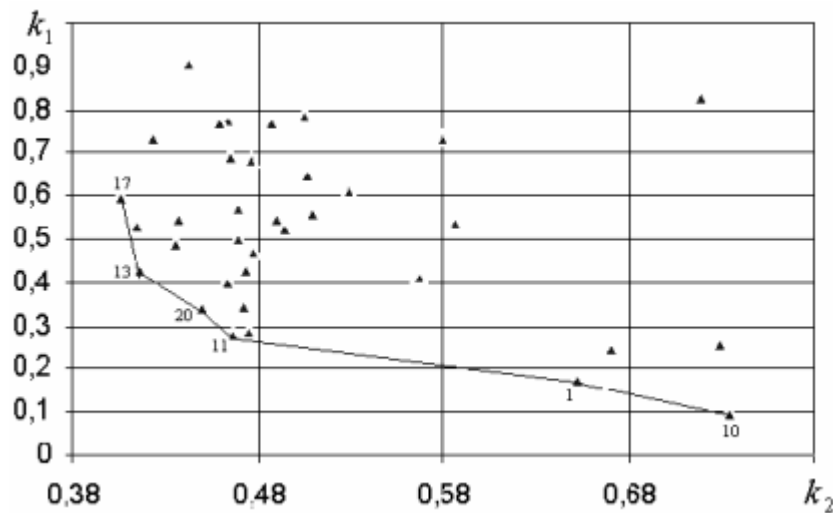


Рисунок 2.4 – Вибір Парето-оптимальних варіантів мережі передавання даних у критеріальному просторі

Серед Парето-оптимальних варіантів мережі обрано єдиний варіант із застосуванням УКП – за умови мінімуму скалярної функції цінності у вигляді результуючого показника якості $k_p = C_1 k_1 + C_2 k_2$. Для випадку $C_1 = 0,4$, $C_2 = 0,6$ обрано єдиний варіант роботи мережі 11, який Властивості включають дисципліну обслуговування потоку заявок у випадковому порядку, спосіб маршрутизації згідно з вагою, а також розмір "вікна" передавання, що складає 8.

На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Зменшення кількості показників якості, які використовуються для оптимізації мережі, призводить до збільшення кількості варіантів, які однозначно гірші, та, відповідно, зменшує кількість Парето-оптимальних

варіантів системи.

2. Вагові коефіцієнти, які визначаються для кожного показника якості, мають значний вплив на результат оптимізації. Навіть при однакових показниках якості, але різних вагових коефіцієнтах, обирається різний оптимальний варіант.

3. Збільшення кількості незалежних показників якості призводить до збільшення кількості мереж, які однозначно гірші, та зменшує кількість Парето-оптимальних варіантів.

4. Для планування оптимальної мережі СММЗ третього покоління використовувалися методи багатокритеріального вибору, так само, як і для мереж другого покоління.

Висновок. Було проведено аналіз програмних комплексів планування та оптимізації стільникових мереж мобільного зв'язку. У результаті дослідження було з'ясовано, що в основі усіх таких комплексів стоять геоінформаційні технології (ГІС-технології), що пройшли у своєму розвитку шлях від вузькоспеціалізованих способів та методів обробки цифрової картографічної інформації до високорозвинених програмних засобів, які називаються геоінформаційними системами.

Було приведено список основних програмних комплексів, що використовуються на практиці у операторів сучасних мобільних мереж.

Також було реалізовано програмний комплекс для Парето-оптимізації, що передбачає вибір найкращих варіантів СММЗ з доступної множини. Було описано основні етапи такого дослідження та Серед Парето-оптимальних варіантів мережі обрано єдиний варіант, який найбільш точно відповідає параметрам, що були описані попередньо.

3 БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ 5G

3.1 Формування вихідної множини варіантів СММЗ

Для вирішення поставленого завдання було сформовано безліч з 10 варіантів побудови ССМС стандарту 5G, які визначалися різними вихідними даними, як яких використовувалися:

- запланована кількість абонентів у мережі;
- розміри території, що обслуговується (площа);
- передбачувана активність абонентів;
- допустима ймовірність блокування виклику.

Таблиця 3.1 –Множина вихідних та розрахованих параметрів мережі

№ СММЗ	Вихідні параметри				Розраховані параметри					
	N_a	S_0	$P_{\text{бл}}$	β	N_a / S_0	A	$N_{a\text{BTS}}$	N_{BTS}	R	Γ
1	40000	300	0,05	0,05	133	45,6	2736	15	2,8	$3 \cdot 10^{-6}$
2	50000	300	0,1	0,03	166	49,5	4971	11	3,2	$2,2 \cdot 10^{-6}$
3	42000	290	0,03	0,06	144	43,8	2193	20	2,4	$4,8 \cdot 10^{-6}$
4	45000	280	0,05	0,07	160	45,6	1956	24	2,1	$3,6 \cdot 10^{-6}$
5	50000	290	0,09	0,05	172	48,7	2925	18	2,5	$4,2 \cdot 10^{-6}$
6	48000	250	0,07	0,06	192	47,1	2358	21	2,11	$4 \cdot 10^{-6}$
7	42000	300	0,04	0,06	140	44,8	2241	19	2,5	$3,8 \cdot 10^{-6}$
8	40000	280	0,04	0,05	142	44,8	2688	15	2,7	$3 \cdot 10^{-6}$

9	55000	300	0,02	0,04	183	42,6	3201	18	2,5	$3,6 \cdot 10^{-6}$
10	55000	290	0,02	0,05	189	42,6	2259	22	2,5	$4,4 \cdot 10^{-6}$

Використовуючи наведену вище методику розрахунку, були розраховані необхідні параметри мережі для кожного з 10 варіантів СММЗ. Безліч вихідних та розрахованих параметрів мереж представлено в табл. 3.1.

Під час проведення процедури оптимізації для системи стільникового зв'язку, враховуючи багато параметрів якості на етапі планування, були визначені параметри мережі, які представлені в табл.3.1.

У процесі вирішення оптимізаційного завдання серед всіх показників якості були обрані три — k_3 , k_5 та k_8 , що відповідають ймовірності блокування (P_1), щільності абонентів (N_a/S_0), що обслуговуються, і необхідній кількості базових станцій в мережі (N_{BTS}) відповідно.

Значення обраних показників якості мережі подані в таблиці 3.2 [10].

Таблиця 3.2 – Сукупність стандартних показників якості

№	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	k8	k9	k10
СММЗ	N_a	S_0	$P_{\text{бл}}$	β	N_a / S_0	A	N_{aBTS}	N_{BTS}	R	Γ
1	0,091	0	1	0,571	0,135	0	0	0,458	0	0,542
2	0,273	0	0,5	0,286	0,307	0,082	0,45	0,625	0,125	0,375
3	0,181	0,066	0,5	0	0,166	0,082	0,606	1	0,344	0
4	0,091	0,033	0,9	0,286	0,104	0,02	0,412	0,75	0,219	0,25
5	0,874	0,166	0,7	0,143	0	0,052	0,526	0,875	0,344	0,125
6	0,235	0,033	0,3	0,143	0,25	0,118	0,559	0,833	0,25	0,166
7	0,235	0	0,4	0,143	0,271	0,098	0,549	0,791	0,219	0,208
8	0,269	0,066	0,4	0,286	0,26	0,098	0,459	0,625	0,156	0,375

9	0	0	0,2	0,429	0,047	0,143	0,356	0,75	0,219	0,25
10	0	0,033	0,2	0,286	0,015	0,143	0,485	0,916	0,219	0,083

Відбір підмножини Парето-оптимальних варіантів проекту та відхилення найгірших варіантів мереж виконувалися відповідно до тих самих правил, що і при розв'язанні задачі оптимізації для мережі стільникового зв'язку другого покоління. Це означає, що варіант мережі включався до підмножини Парето, якщо в рамках цієї підмножини не було інших варіантів, що мали б вищий пріоритет за всіма вимогами.

Результати вибору оптимальних варіантів мережі за критерієм Парето наведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати вибору оптимальних варіантів мережі

№ СММЗ	КЗ	К5	К8	Результати оптимізації
	$P_{\text{бл}}$	N_a / S_0	$N_{a \text{ BTS}}$	
1	1	0,135	0,458	Парето-оптимальний
2	0,5	0,307	0,625	Неоптимальний
3	0,5	0,166	1	Неоптимальний
4	0,9	0,104	0,75	Неоптимальний
5	0,7	0	0,875	Парето-оптимальний
6	0,3	0,25	0,833	Неоптимальний
7	0,4	0,271	0,791	Неоптимальний
8	0,4	0,26	0,625	Парето-оптимальний

9	0,2	0,047	0,75	Парето-оптимальний
10	0,2	0,015	0,916	Парето-оптимальний

З табл. 3.3 видно, що підмножина Парето-оптимальних варіантів мережі включає 5 рішень щодо побудови СММЗ: № 1, № 5, № 8, № 9 і № 10.

Інші 5 варіантів мережі були однозначно менш ефективними і були відкинуті для подальшого розгляду.

На рис. 3.1–3.3 показано різні варіанти мережі стільникового зв'язку, представлені в критеріальному просторі двох різних показників якості. Парето-оптимальні варіанти СММЗ на цих рисунках позначені жирними точками [6].

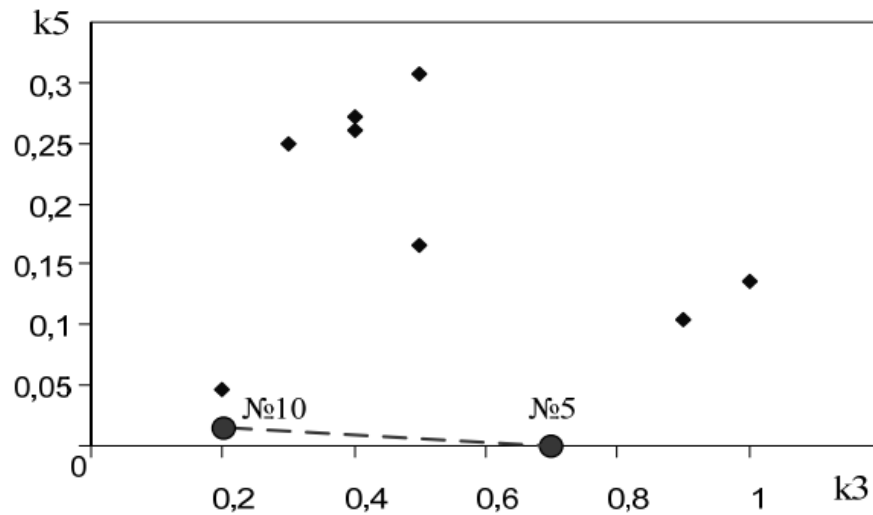


Рисунок 3.1 – Варіанти СММЗ у критеріальному просторі (k_3 , k_5)

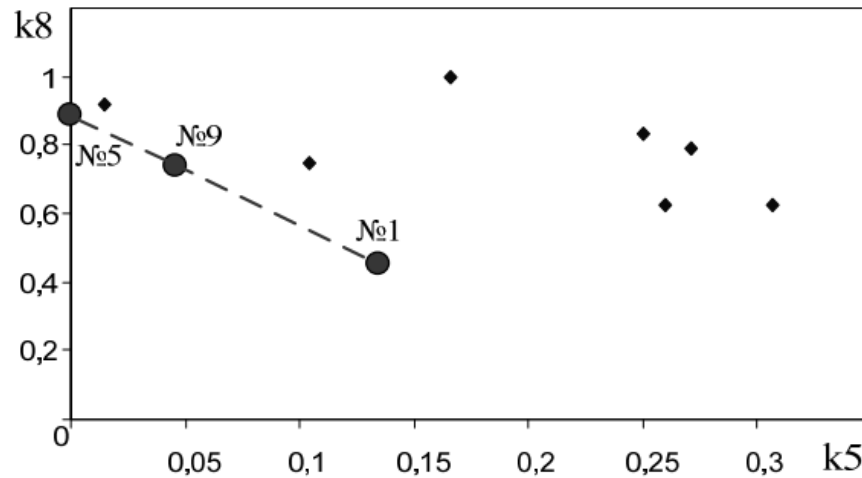


Рисунок 3.2 – Варіанти СММЗ у критеріальному просторі (k_5 , k_8)

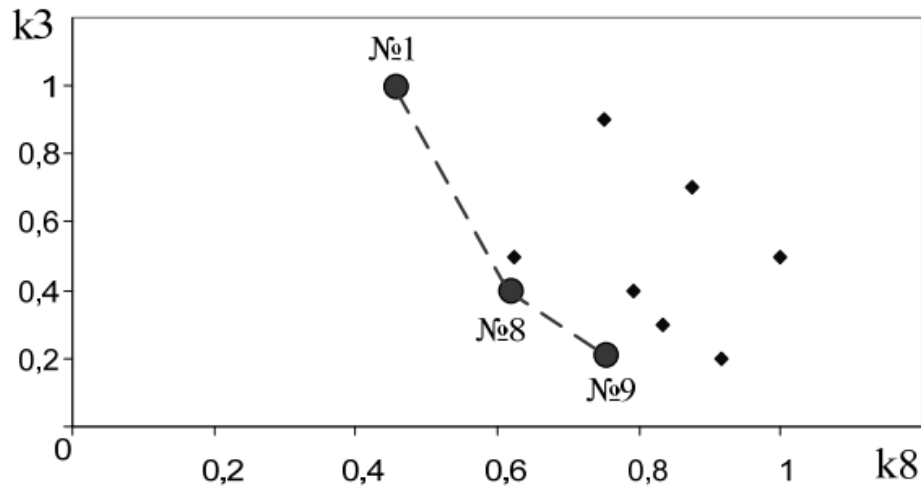


Рисунок 3.3 – Варіанти СММЗ у критеріальному просторі (k_8 , k_3)

Фактично, переміщення від однієї Парето-оптимальної точки до іншої можна розглядати як перехід на діаграмі обміну показників якості, яка у даному випадку є двовимірною. Кожна точка на цій діаграмі вказує на потенційно найкращі значення одного з показників, які можна досягти при фіксованих значеннях інших показників якості.

3.1.2 Вибір найкращого проектного варіанту СММЗ

Для вибору єдиного проектного варіанту з підмножини використовують метод, заснований на лексикографічному підході. Спочатку весь набір показників якості упорядковується у порядку важливості, а саме показник k_3 важливіший за показники k_5 і k_8 , а показник k_8 важливіший ніж показник k_5 .

При порівнянні варіантів СММЗ було використано лексикографічне відношення. При цьому єдиним варіантом є варіант СММЗ № 9.

Як видно з табл. 3.1, цей варіант СММЗ характеризується мінімальною допустимою ймовірністю блокування ($P_{bl} = 0,02$), досить високою щільністю абонентів, що обслуговуються ($N_a / S_0 = 183 \text{ аб./км}^2$) та відносно невеликою кількістю базових станцій ($N_{BTS} = 18$).

3.2 Оцінка показників якості транспортної мережі

У реальних ділянках кількість елементів, що з'єднують BTS з BSC, може бути меншою ніж 10, але оператори мережі, для забезпечення надійності, зазвичай встановлюють значення коефіцієнта неготовності на рівні 0,005% для шкірного з'єднання. Готовність BTS залежить від кількості ділянок. Якщо тракт складається з послідовно з'єднаних ділянок, то неготовність BTS визначається:

$$N = \sum N_i, \quad (3.1)$$

для паралельно з'єднаних ділянок:

$$N = \prod N_i, \quad (3.8)$$

де i – кількість ділянок. Готовність дорівнює $D = 1 - N$.

На рис. 3.4 показані приклади простих зв'язків між базовими станціями, а також неготовність кожної BTS та загальний відсоток неготовності в тракті в

залежності від кількості з'єднань [23].

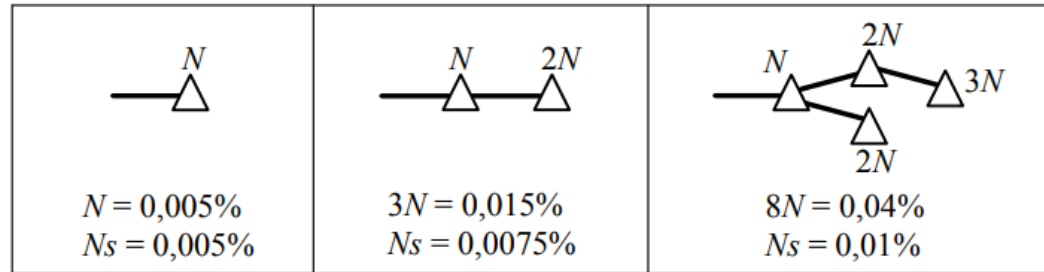


Рисунок 3.4 – Неготовність кожної BTS в залежності від з'єднання

Головним способом уникнення збільшення коефіцієнта неготовності є створення кільцевої структури. На малюнку 3.4 зображено, як зменшується коефіцієнт неготовності BTS за умови використання кільцевих структур мережі.

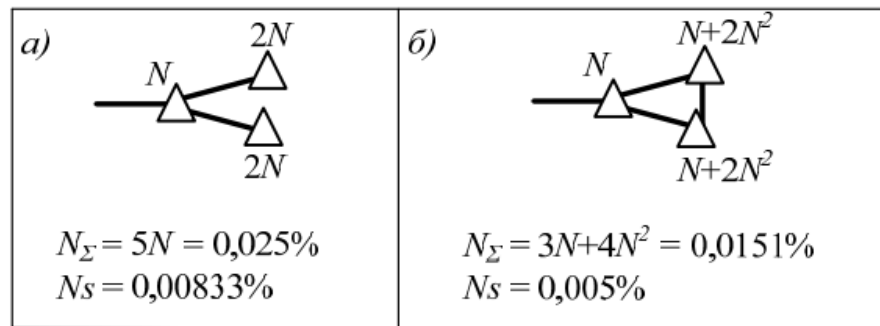


Рисунок 3.5 – Зменшення коефіцієнта неготовності BTS за рахунок використання кільцевої топології [19]

Очевидно, що застосування кільцевої топології (варіант б) призводить до практично подвоєного зменшення коефіцієнта неготовності порівняно з варіантом а. Однак слід врахувати, що для впровадження кільцевої топології необхідне додаткове обладнання та мережеві з'єднання, що може призвести до значного зростання вартості проекту.

3.3 Вибір оптимальних варіантів топології транспортної мережі стільникової мережі мобільного зв'язку

Розглянемо випадок, коли було розроблено детальний план розміщення 26 базових станцій та контролера мережі (див. рис. 3.6). Маючи інформацію про можливість побудови зв'язку між усіма базовими станціями (BTS), наше завдання полягає в пошуку оптимальної конфігурації топології мережі, при цьому враховуючи два критерії якості: рівень неготовності та відносну вартість.

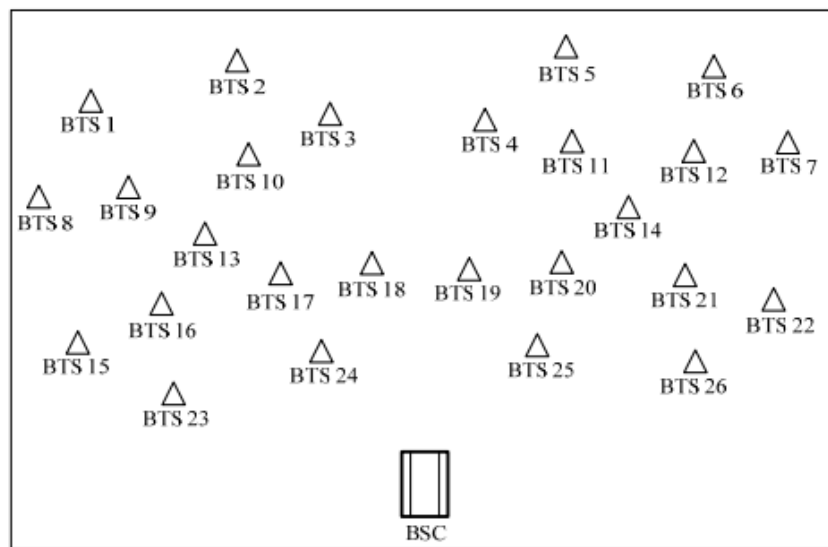


Рисунок 3.6 – План розташування елементів мережі

Для даної мережі було створено різноманітні варіанти топологій. На рисунках 3.7 – 3.12 наведено різні варіації топологій транспортної мережі [9].

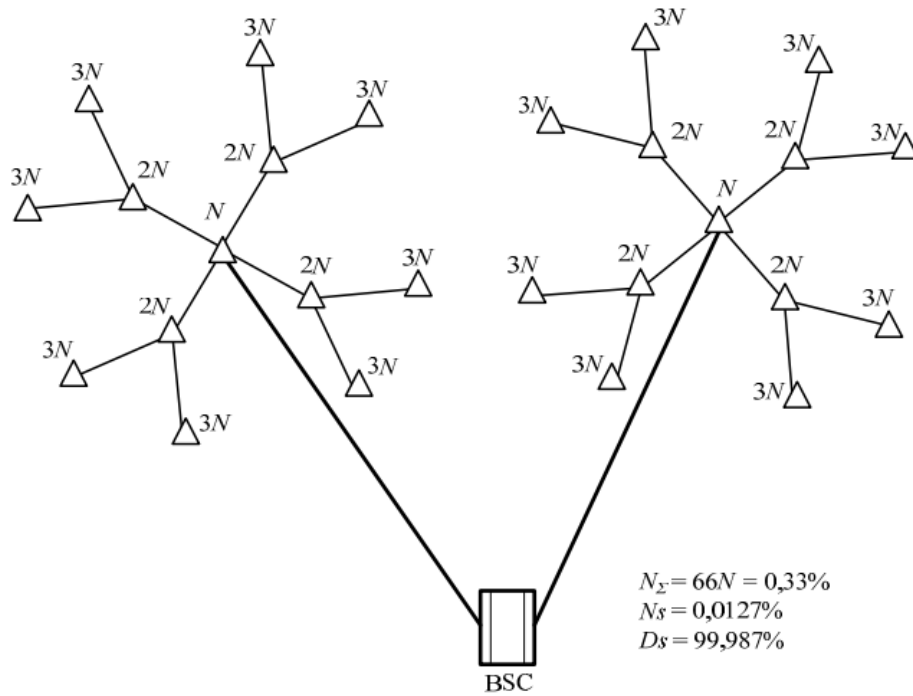


Рисунок 3.7 – Варіант №1 транспортної мережі

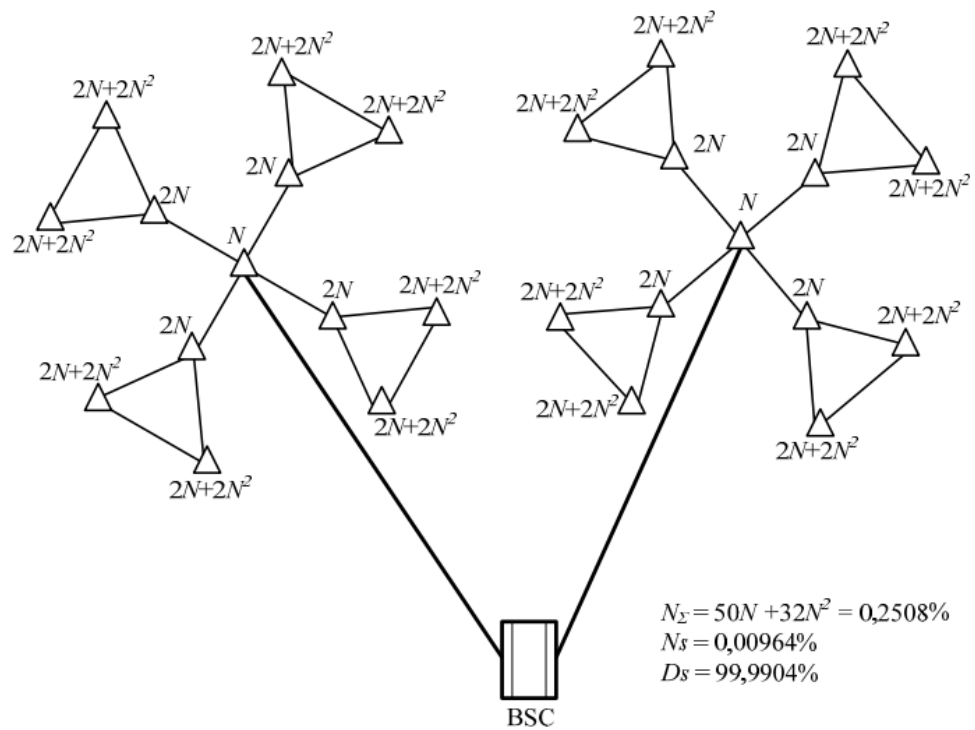


Рисунок 3.8 – Варіант №2 транспортної мережі

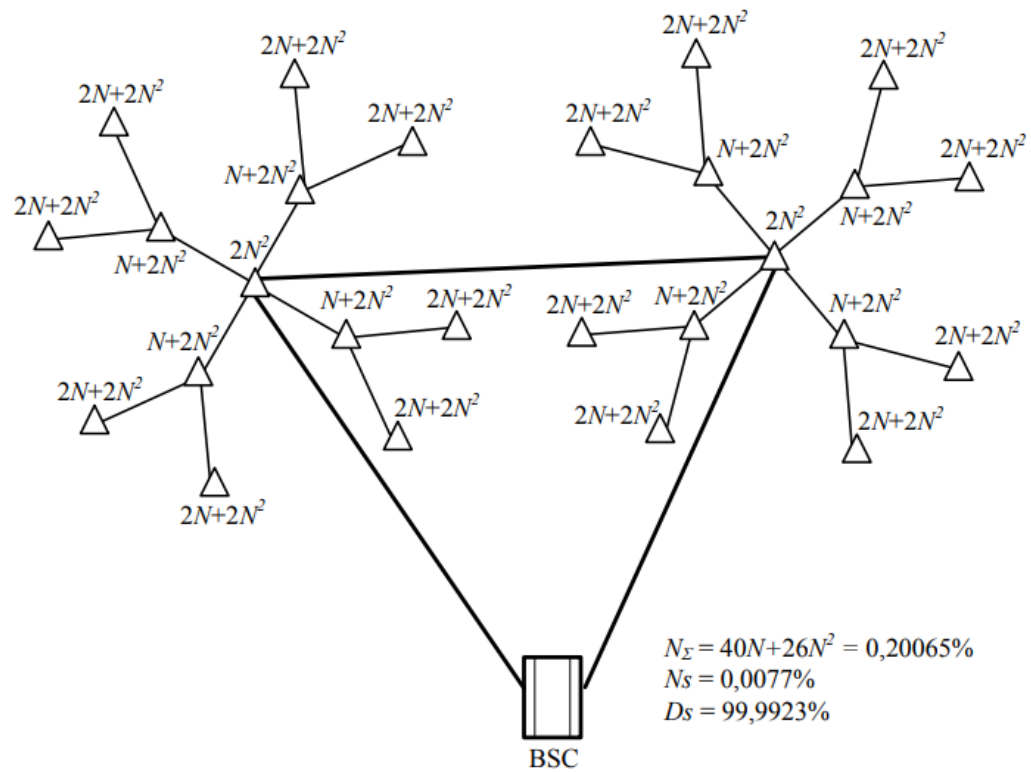


Рисунок 3.9 – Варіант №3 транспортної мережі

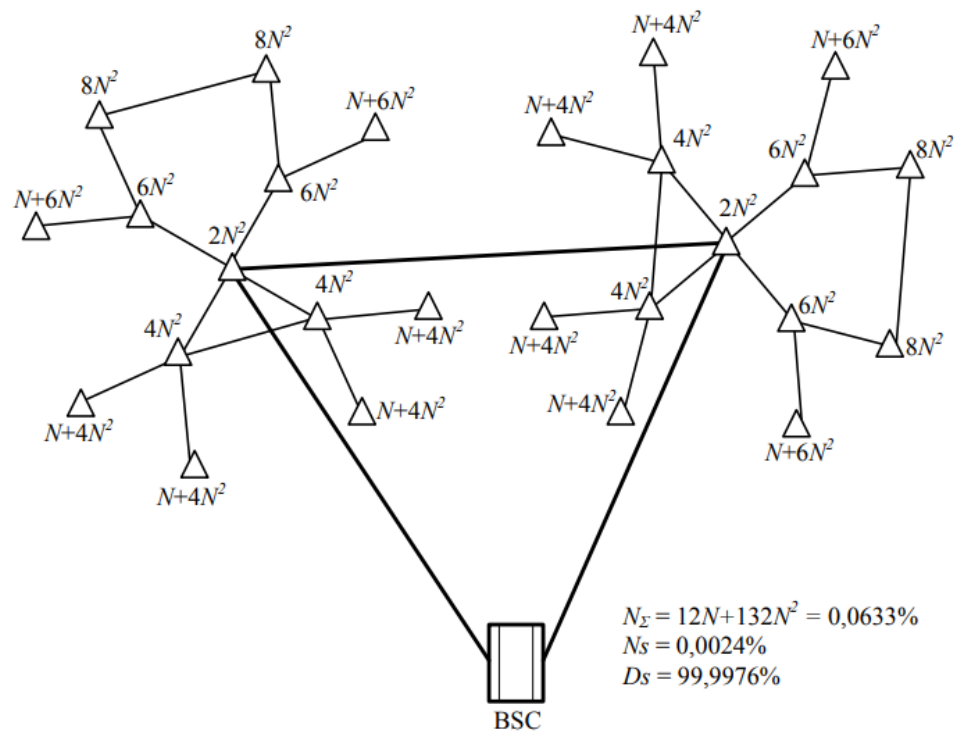


Рисунок 3.10– Варіант №4 транспортної мережі

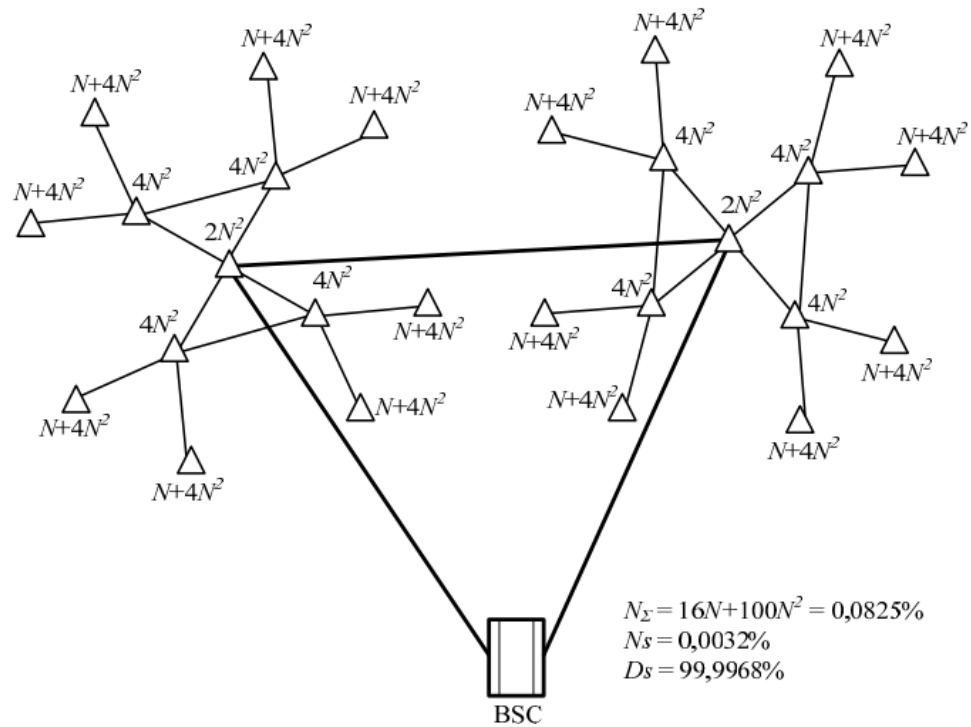


Рисунок 3.11– Варіант №5 транспортної мережі

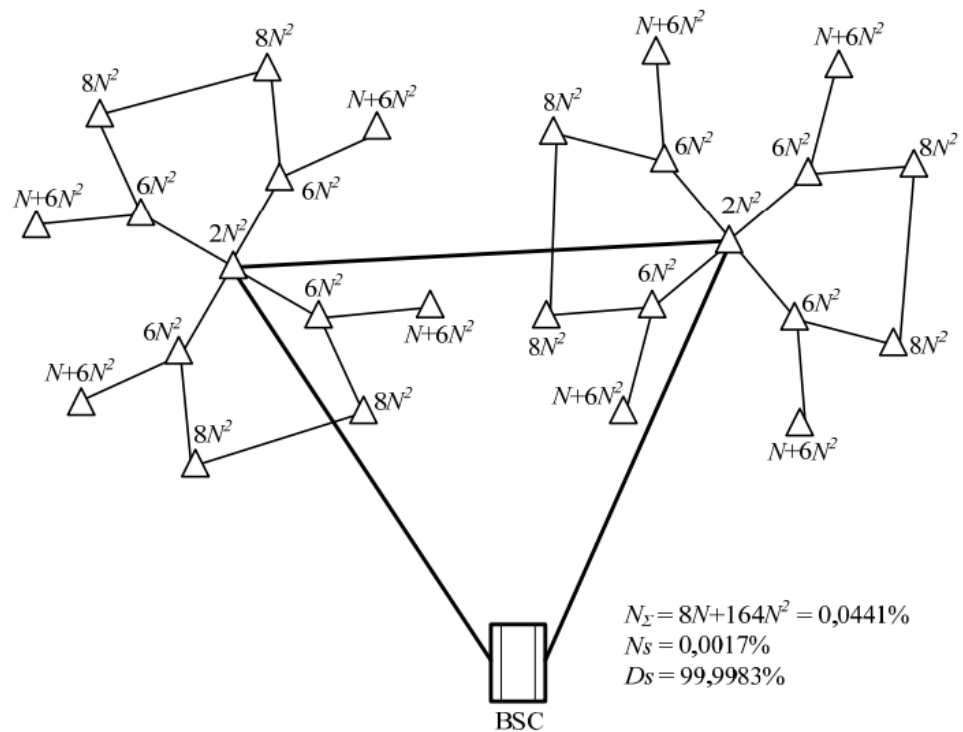


Рисунок 3.12– Варіант №6 транспортної мережі

З описаного вище, зрозуміло, що топологія з найменшим рівнем недоступності має найвищу вартість, а топологія з найменшою вартістю має найвищий рівень недоступності. Тому ці показники якості взаємопов'язані і суперечать один одному.

Підхід до оптимізації топології базується на порівнянні відносної доступності BTS у мережі. На практиці конфігурація залежить від бажаної середньої неготовності кожної BTS і збалансованої вартості досягнення високих рівнів доступності [9].

Проаналізувавши різні варіанти транспортної мережі, можна зробити такі висновки.

- Використання кільцевих з'єднань (варіанти 2-6) значно знижує рівень відмов порівняно з топологією дерева (варіант 1).
- Кільцеве підключення (варіант 3) ефективніше, ніж невелика кількість базових станцій на межі мережі (варіант 2).
- Конфігурації 4-6 забезпечують найвищий рівень доступності, але також є найдорожчими.

Тому всі варіанти топології можна і необхідно розглядати з точки зору багатокритеріальної оптимізації. Також потрібно виключити менш ефективні варіанти топологій, виходячи з безумовного критерію переваги [12].

Різноманітні варіанти побудови транспортної мережі представлені у просторі показників: вартість та коефіцієнт неготовності (рис. 3.13).

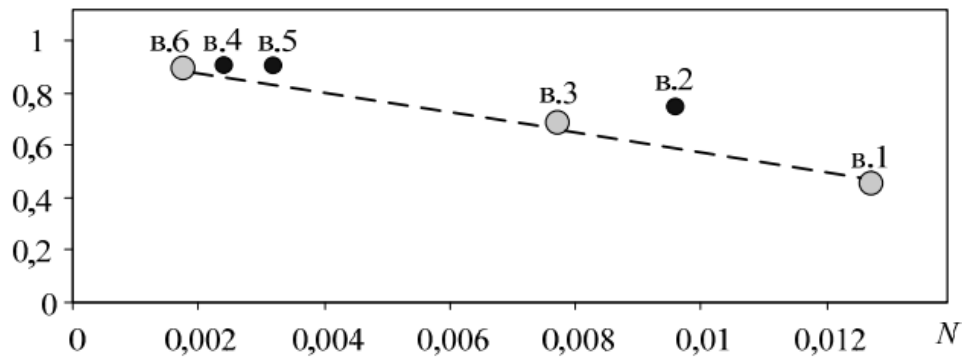


Рисунок 3.13 - Варіанти топології мережі у критеріальному просторі показників якості

Вартість мережі визначалася на основі необхідної кількості з'єднань та доступності крос-конекторів. На зазначеному рисунку представлені варіанти мережі у критеріальному просторі, де показники нормованої вартості та неготовності.

Очевидно, що варіанти 2, 4 і 5 є менш ефективними. Після використання одного з методів скорочення підмножини Парето до одного варіанту можна знайти оптимальну топологію транспортної мережі.

3.4 Практичні рекомендації для побудови програмної моделі мережі мобільного зв'язку

Мережі п'ятого покоління відрізняються від мереж попередніх поколінь вимогами до пропускної здатності транспортної мережі, необхідної для надання сучасних послуг зв'язку, таких як передача мультимедійних даних. Для мереж 5G характерно, що середовище передачі та топологія мережі можуть раптово змінюватись в залежності від потреби у пропускній здатності, наявності технічних засобів, зони радіопокриття і таке інше.

У мережі доступу може використовуватись будь-яка топологія, така як

дерево, зірка, ланцюг, кільце або комбінована, яка може функціонувати у формі логічної зірки. Проте на більш високому рівні, ближче до базової мережі, частіше використовується топологія типу кільця з логічним вузлом. У мережах п'ятого покоління абонентський трафік обробляється на різних ієрархічних рівнях від вузла до базової мережі [19].

Незалежно від структури мережі, яка має ієрархічну організацію, пропускна спроможність транспортної мережі повинна відповідати потребам різних рівнів ієрархії. Чим вищий рівень, тим більше трафіку накопичується на ньому, тому потрібні засоби передачі з високою пропускною спроможністю, які забезпечуються, наприклад, оптичними магістральними системами [12].

На межах мережі використовуються більш гнучкі та економічно ефективні засоби, такі як радіорелейні системи передачі, для підвищення пропускної здатності.

Як вже було згадано, транспортні мережі мобільного зв'язку розділяються на два основні сегменти: магістральну транспортну мережу і мережу радіодоступу (RAN). Проте розвиток транспортних мереж RAN стикається з численними проблемами внаслідок відмінностей у технологіях мобільного зв'язку між четвертим (4G LTE) і п'ятим (5G) поколіннями.

Отже, виконавши описані раніше дослідження можемо зробити висновок, що побудова програмних моделей різних вузлів СММЗ є актуальною задачею.

Починаючи з збору вихідних даних про мережу та врахування її особливостей, необхідно визначити вимоги до моделі, включаючи обмеження та потреби в ресурсах. Вибір відповідної програмної платформи є важливим кроком, оскільки він визначає зручність розробки та функціональні можливості моделі [10].

Розробка самої моделі передбачає відтворення ключових аспектів мережі, таких як топологія, характеристики передачі даних, маршрутизація і управління. Важливо забезпечити точність і достовірність моделі шляхом перевірки на

різних сценаріях та тестування на реальних даних.

Оцінка продуктивності та ефективності моделі допомагає виявити її сильні та слабкі сторони, а також робить можливим вдосконалення та оптимізацію. Крім того, документування всіх аспектів моделі є важливим кроком для забезпечення зрозумілості та зручного використання її у майбутньому [9].

Висновок. Використовуючи наведену вище методику, були розраховані необхідні параметри мережі для кожного з 10 варіантів СММЗ. Під час проведення процедури оптимізації для системи стільникового зв'язку, враховуючи багато параметрів якості на етапі планування, були визначені найоптимальніші з даних варіантів. Користуючись критеріями якості було визначено найбільш оптимальний варіант з-поміж існуючої множини.

Також, було здійснено вибір оптимальних варіантів топології транспортної мережі СММЗ.

Було розглянуто практичні кроки та рекомендації для побудови програмної моделі мережі мобільного зв'язку. Зазначені рекомендації спрямовані на визначення вимог, розробку та впровадження програмної моделі з метою ефективного моделювання мережі зв'язку.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Аналіз і оптимізація мереж мобільного зв'язку відбувалася в приміщенні, яке обладнане робочими місцями з ПК. На розробника, згідно [30], могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; відсутність чи нестача природного освітлення.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Головними елементами робочого місця дослідника є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи організується відповідно до [31].

Згідно із [28] площу приміщень, в яких розташовують ПК, визначають згідно з чинними нормативними документами з розрахунку на одне робоче місце, обладнане ПК: площа - не менше 6,0 кв. м, обсяг – не менше 20,0 куб. м, з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні.

Під час безпосередньої роботи з монітором, необхідно дотримуватися таких рекомендацій:

1. Верхній край екрану монітора повинен знаходитися на одному рівні з очима користувача.

2. Під час роботи потрібно звертати особливу увагу на положення шиї, хребта, ліктів, кистей, стегон і ступень.

3. Клавіатура повинна знаходитися під тим же кутом, що і передпліччя.

4. Слід систематично робити перерви. Фахівці рекомендують кожну годину робити перерву на п'ять-десять хвилин.

5. Кожні десять-п'ятнадцять хвилин роботи за комп'ютером необхідно дати відпочинок очам, закриваючи їх на якусь мить.

6. Слід встановити монітор так, щоб від нього не відбивалося світло.

7. Читання паперових документів вимагає сильнішого освітлення, ніж читання з екрану монітора. Якщо працівник одночасно працює за комп'ютером і з паперовими документами, слід скористатися настільною лампою.

8. Екран монітора й інші поверхні комп'ютера необхідно регулярно протирати.

Приміщення із робочими місцями користувачів комп'ютерів для забезпечення електробезпеки обладнання, а також для захисту від ураження електричним струмом самих користувачів ПК повинні мати достатні технічні засоби захисту відповідно до [32].

Категорія приміщення з електробезпеки – без підвищеної небезпеки, згідно [34].

ПК, периферійні пристрої ПК та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ПК, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники тощо), електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту мають відповідати класу зони за ПУЕ, мати апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів.

Під час монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування

проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, перейти на негорючу ізоляцію.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

- увімкнути систему кондиціювання в приміщенні;
- перевірити надійність встановлення апаратури на робочому столі.

Повернути монітор так, щоб було зручно дивитися на екран - під прямим кутом (а не збоку) і трохи зверху вниз, при цьому екран має бути трохи нахиленим, нижній його край ближче до оператора;

– перевірити загальний стан апаратури, перевірити справність електропроводки, з'єднувальних шнурів, штепсельних вилок, розеток, заземлення захисного екрана;

- відрегулювати освітленість робочого місця;
- відрегулювати та зафіксувати висоту крісла, зручний для користувача нахил його спинки;

– приєднати до системного блоку необхідну апаратуру. Усі кабелі, що з'єднують системний блок з іншими пристроями, слід вставляти та виймати при вимкненому комп'ютері;

– ввімкнути апаратуру комп'ютера вимикачами на корпусах в послідовності: монітор, системний блок, принтер (якщо передбачається друкування);

– відрегулювати яскравість свічення монітора, мінімальний розмір світної точки, фокусування, контрастність. Не слід робити зображення надто яскравим, щоб не втомлювати очей.

Вимоги безпеки під час виконання роботи:

– необхідно стійко розташовувати клавіатуру на робочому столі, не опускати її хитання. Під час роботи на клавіатурі сидіти прямо, не напружуватися;

- для уникнення несприятливого впливу на користувача пристроїв типу «миша» належить забезпечувати вільну велику поверхню столу для переміщення миші і зручного упору ліктьового суглоба;
- не дозволяються сторонні розмови, подразнюючі шуми;
- періодично при вимкненому комп'ютері прибирати ледь змоченою мильним розчином бавовняною ганчіркою порох з поверхонь апаратури.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1. Мікроклімат

Підвищення швидкості руху повітря погіршує самопочуття, оскільки сприяє підсиленню конвективного теплообміну та процесу тепловіддачі при випаровуванні поту.

При підвищенні температури повітря мають місце зворотні явища. Встановлено, що при температурі повітря понад 30°C працездатність людини починає падати. За такої високої температури та вологості практично все тепло, що виділяється, віддається у навколишнє середовище при випаровуванні поту. При підвищенні вологості піт не випаровується, а стікає краплинами з поверхні шкіри.

Недостатня вологість призводить до інтенсивного випаровування вологи зі слизових оболонок, їх пересихання та розтріскування, забруднення хвороботворними мікробами.

Робота, яка виконується під час аналізу і оптимізації мереж мобільного зв'язку, згідно за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [35]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.4.1 (відповідно до [36]).

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено система опалення, система кондиціонування та систематичне вологе прибирання.

4.2.2. Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється аналіз і оптимізація мереж мобільного зв'язку можливими шкідливими речовинами у повітрі є пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року і доби, чергування праці і відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

4.2.3. Виробниче освітлення

Освітлення на робочих місцях справляє багатоплановий вплив на працівника, зокрема на його емоційний стан, працездатність, мотивацію, продуктивність і безпеку праці.

Рівень освітлення на робочих місцях впливає на гостроту зору, тривалість ясного бачення, контрастну чутливість і здатність бачити на далекій і близькій відстані. Нормальна гострота зору, тобто здатність розрізняти дрібні предмети, у працівників, що не страждають на дефекти зору, досягається лише при освітленні 50-70 лк. Для максимальної здатності ока розрізняти такі предмети необхідна освітленість 600-1000 лк.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 4.4 (відповідно [32]):

Таблиця 4.4 – Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.
- 2) Система природного освітлення доповнюється загальним штучним освітленням, що створюється за допомогою люмінесцентних ламп.

4.2.4. Виробничий шум

Шумом прийнято вважати звуки, які негативно впливають на організм людини і заважають його роботі та відпочинку. Ступінь такого впливу переважно залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Численні дослідження підтвердили той факт, що шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в [37]. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

4.2.5. Виробничі випромінювання

Під час виконання роботи із використанням ПК на працівника діє підвищений рівень електромагнітного поля. Випромінювання ПК можуть бути небезпечними для здоров'я. Низькочастотні поля при тривалому опроміненні сидять біля ПК людей можуть привести до порушень фізіологічних процесів.

Електромагнітні поля чинять термічний і морфологічний вплив на організм людини, викликаючи в ньому функціональні зміни.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора комп'ютера представлені в табл. 4.6.

Для зниження дії цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання (MPR-II, TCO-92, TCO-99, TCO-03), а також дотримувати регламентовані режими праці і відпочинку.

Таблиця 4.6 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчатьс середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20кВ / м 15кВ / м

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи в умовах дії загрозливих факторівНС

4.3.1 Дія землетрусу на виробничі приміщення

Землетрус є найбільш небезпечне стихійне лихо і являє собою підземні удари (поштовхи) і коливання земної поверхні, викликані природними причинами. При землетрусі величезної сили енергія поширюється у вигляді пружних природних хвиль. Землетрус може тривати від кількох секунд до кількох діб.

Критерієм стійкості виробничих приміщень в умовах дії землетрусу є його інтенсивність, яка вимірюється в балах за шкалою МСК, в залежності від якої можна визначити ступінь руйнування споруд.

Область виникнення підземного поштовху є осередком землетрусу, в межах якого здійснюється процес виділення накопиченої енергії у вигляді

повздожніх і поперечних пружних сейсмічних хвиль. Наслідки сильних землетрусів по ступені зруйнувань будинків, споруд і ураженню людей можна зрівняти з наслідками ядерного вибуху. Тому дуже велике значення надається заходам по прогнозуванню землетрусів.

4.3.2 Оцінка стійкості роботи виробничого приміщення в умовах дії землетрусу

Вихідні дані: $M = 5$ балів; $h = 10$ км; $R = 390$ км; $V_{np} = 7$ км/с; $V_{нов} = 1$ км/с.

Визначаємо енергію землетрусу за формулою

$$E = 10^{5,24+1,44M} [\text{Дж}]; \quad (4.1)$$

$$E = 10^{5,24 + 1,44 \cdot 5} = 2754228703338,2 \text{ (Дж)}.$$

Знаходимо інтенсивність землетрусу

$$I_R = 1,5M - 3,5 \lg \sqrt{R^2 + h^2} + 3 [\text{бала}]; \quad (4.2)$$

$$I_R = 1,5 \cdot 5 - 3,5 \lg \sqrt{390^2 + 10^2} + 3 = 1,4 \text{ (бала)}.$$

Оскільки $I_R = 1,4$ бала, то виробниче приміщення не отримає руйнувань.

Визначимо час приходу повздожніх хвиль

$$t_{II} = \frac{\sqrt{R^2 + h^2}}{V_{np}} [\text{с}]; \quad (4.3)$$

$$t_{II} = \frac{\sqrt{390^2 + 10^2}}{7} = 55,73 \text{ (с)}.$$

Знайдемо час приходу поверхневих сейсмічних хвиль

$$t_{\tau} = \frac{h}{V_{PP}} + \frac{R}{V_{ПОВ}} \text{ [с];} \quad (4.4)$$

$$t_{\tau} = \frac{10}{7} + \frac{390}{1} = 391,43 \text{ (с).}$$

4.4 Розробка превентивних заходів по підвищенню стійкості роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій

Прогнозування землетрусів може бути довгостроковим і короткостроковим. Воно здійснюється мережею сейсмічних станцій. Передвісниками землетрусів є ріст малих поштовхів, підйом води в свердловинах, підвищення рівня радіації (за рахунок радону), незвичайна (неспокійна) поведінка тварин і птахів.

Попередні заходи захисту від землетрусу включають:

- сейсмостійке будівництво;
- підготовку служб спасіння і ліквідації наслідків;
- нейтралізація джерел підвищеної небезпеки;
- навчання населення правилам поведінки під час землетрусу;

З початку землетрусу люди, люди що перебувають в будинку до 2-х поверхів, повинні негайно залишити приміщення і вийти на відкрите місце (за 25 – 30 с.). Після припинення підземних поштовхів покинути приміщення (ліфтом користуватись заборонено). Далі треба приступити до рятування людей.

Було досліджено стійкість роботи в умовах впливу загрозливих факторівНС. З дослідження впливу землетрусу на стійкість роботи виробничого приміщення можна зробити висновок, що виробниче приміщення отримає руйнувань. Тому розроблено превентивні заходи по підвищенню безпеки.

ВИСНОВКИ

Проведено аналіз структури та особливостей мереж стільникового мобільного зв'язку, в результаті чого були виявлені ключові характеристики сучасних мобільних мереж.

Визначено переваги та недоліки цих систем, що підкреслюють необхідність розробки вдосконалених алгоритмів управління вузлами мережі. У рамках дослідження були проаналізовані основні параметри та принципи побудови та планування мережі, а також проведено розрахунки основних параметрів стільникових систем мобільного зв'язку, що вказує на потребу в подальших дослідженнях.

Запропоновано математичну модель для оптимізації мереж зв'язку з метою підвищення їхньої ефективності та якості обслуговування, що є важливим для усвідомлення та впровадження оптимальних рішень у цій сфері. Дана модель дозволяє проводити систематичний аналіз та оптимізацію пропускну здатності каналів у мережі з метою досягнення найменшого середнього часу затримки передачі повідомлень.

Також, проведені дослідження виявили підмножину варіантів мережі, які є оптимальними за принципом Парето, що дозволяє здійснити вибір найкращого варіанту роботи мережі відповідно до зазначених критеріїв.

Основною метою даного дослідження було створення моделі програмного комплексу для вибору оптимальних варіантів СММЗ з визначеної можливої множини варіантів. Було приведено список основних програмних комплексів, що використовуються на практиці у операторів сучасних мобільних мереж.

Також було реалізовано програмний комплекс для Парето-оптимізації, що передбачає вибір найкращих варіантів СММЗ з доступної множини. Було описано основні етапи такого дослідження та Серед Парето-оптимальних варіантів мережі обрано єдиний варіант, який найбільш точно відповідає

параметрам, що були описані попередньо.

Також, було проведено вибір оптимальних варіантів топології транспортної мережі мобільного зв'язку. Було визначено, що на першому етапі потрібно провести планування транспортної мережі стільникового мобільного зв'язку.

Також, було запропоновано 6 варіантів топологічної структури транспортних (опорних) мереж та проаналізовано сильні та слабкі сторони кожного з таких включень.

Використовуючи наведену у роботі методику, були розраховані необхідні параметри мережі для кожного з 10 варіантів СММЗ. Під час проведення процедури оптимізації для системи стільникового зв'язку, враховуючи багато параметрів якості на етапі планування, були визначені найоптимальніші з даних варіантів.

Користуючись критеріями якості було визначено найбільш оптимальний варіант з-поміж існуючої множини.

Було розглянуто практичні кроки та рекомендації для побудови програмної моделі мережі мобільного зв'язку. Зазначені рекомендації спрямовані на визначення вимог, розробку та впровадження програмної моделі з метою ефективного моделювання мережі зв'язку.

Також у роботі було проведено дослідження параметрів з охорони праці для заданих умов та параметрів навколишнього середовища.

Отже, можемо зробити висновок, що усі поставлені завдання до даної роботи були виконані у повному обсязі, а результати представлені у тексті роботи.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. М. Ю. Ільченко, С. О. Кравчук Телекомунікаційні системи // НАН України, Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського», НДІ телекомунікацій. – Київ : Наук. думка, 2017. – 734, с.
2. Гороховський Є. П. Багатокритеріальна оптимізація систем управління телекомунікаційними мережами / Є. П. Гороховський, Ю. М. Зіненко, Л. П. Крючкова, І. І. Борисенко // Телекомунікаційні та інформаційні технології. - 2016. - № 4. - С. 5-11. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vduikt_2016_4_3.
3. Безкоровайний В.В., Русскін В.М. Багатокритеріальна оптимізація топологічних структур корпоративних комп'ютерних мереж // 9-та Міжнародна науково-технічна конференція «ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ.
4. Любаченко, М. О. Багатокритеріальна система оптимізації налаштування нейронних мереж : магістерська дис. : 126 Інформаційні системи та технології / Любаченко Микола Олександрович. – Київ, 2020. – 95 с.
5. Чеботарьова Д.В. Автоматизація вибору оптимальних проектних варіантів систем зв'язку на основі методів багатокритеріальної оптимізації / Д.В. Чеботарьова, В.М.Безрук // Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія, 2021, Вип. 1, № 1
6. Кондрук Н. Е. Багатокритеріальна оптимізація лінійних систем: навч. посібник / Н. Е. Кондрук, М. М. Маляр – Ужгород: РА “АУТДОР-ШАРК”, 2019. – 76 с.
7. Телекомунікаційні системи передачі : підручник / В. М. Кичак, О. М. Шинкарук, Г. Г. Бортник, І. І. Чесановський, О. В. Стальченко. – Хмельницький : Видавництво НАДГІСУ, 2016. – 424 с.
8. Bob Watson. FSK Demodulation. Part 1, 2. [Електронний ресурс]// The

Communication Edge. – 2011. – Режим доступу до журналу: <http://www.wj.com>.

9. Falconer, D.D., Gitlin, R.D. Optimum Reception of Digital Data Signals in the Presence of Timing-Phase Hits. Manuscript received March 29, 1978. – 28 p.

10. Рибалко Д.В. Парето-оптимізація при плануванні мереж стільникового зв'язку / Д.В. Рибалко, В.М. Безрук // Праці Міжнародної науково-практичної конференції «Обробка сигналів і негауссівських процесів». – Черкаси: ЧДТУ, 2007. – С.153–155.

11. Безрук, В. М. Багатокритеріальна оптимізація проектних рішень при плануванні стільникових мереж мобільного зв'язку / Безрук В. М., Чеботарьова Д. В. // Наукоємні технології оптимізації та керування в інфокомунікаційних мережах : монографія. – Харків – 2019 . – 148 с.

12. Оптимізація та математичне моделювання мереж зв'язку [Текст] : навч. посіб. / В. М. Безрук, О. М. Буханько, Д. В. Чеботарьова ; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. - Харків : Компанія СМІТ, 2014. – 192 с.

13. Захарченко М.В. Математичні основи оптимізації телекомунікаційних систем / М.В. Захарченко, С.М. Горохов, М.М. Балан, М.М. Гаджиев, В.В. Корчинский, А.Г. Ложковский. – Одеса: ОНАЗ, 2010. – 240с.

14. Турупалов В.В. Метод удосконалення структури транспортної телекомунікаційної мережі на основі багатокритеріальної оптимізації/ Л.О. Шебанова, В.В. Турупалов // Автоматика, телемеханіка, зв'язок. Збірник наукових праць ДонІЗТ.– 2011. – № 25. – С. 5–9.

15. Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, управління. – К.: Азимут-Україна, 2013. – 608 с.

16. Holma N. WCDMA for UMTS – HSPA Evolution and LTE / Н. Holma, А. Toskala. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 574 pp

17. Рибалко Д.В. Планування мереж стільникового зв'язку при векторному критерії оптимальності / Д.В. Рибалко // 3б. матеріалів 11-го Міжнародного

молодіжного форуму «Радіоелектроніка і молодь в ХХІ ст.». – Харків: ХНУРЕ, 2007. – Ч. 1. – 148 с.

18. Безрук В.М. Багатокритеріальний аналізі і вибір засобів телекомунікацій // В.М. Безрук, Д.В. Чеботарьова, Ю.В. Скорик. – Харків, – 2017 – 268 с.

19. Mishra Ajay R. Cellular Technologies for Emerging Markets: 2G, 3G And Beyond. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2010. – 330 pp.

20. Барсов В.І., Краснобаєв В.А., Барсов В.А. і ін. Теорія інформації та кодування/ Під загальною редакцією В.І. Барсова: Підручник для студентів ВНЗ – Х.: УПА, 2011. – 320 с.

21. Бортник Г. Г. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів [Текст] : монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. - Вінниця : ВНТУ, 2016. – 168 с. - ISBN 978-966-641-678-3.

22. Andreson J. B. Digital Phase Modulation / J. B. Andreson, T. Aulin, C. Sundberg. – Нью-Йорк, 1986. - 507 с.

23. Батаєв О.П., Ковтун І.В., Корольова Н.А. Теорія електричного зв'язку: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2010.– 630 с.

24. Уривський Л.О., Мошинська А.В., Прокопенко К.А. Співвідношення між пропускнуою здатністю та продуктивністю систем передачі на прикладі технології UMTS.

25. Mishra, A.R. Advanced Cellular Network Planning and Optimisation. 2G/2.5G/3G Evolution TO 4G. /Edited by Ajay R. Mishra. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2007. – 542 pp.

26. Wiley J. LTE and the Evolution to 4G Wireless. Design and Measurement Challenges / Edited by Moray Rumney. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2009. – 457 pp.

27. Kappler C. UMTS Networks and Beyond / C. Kappler. – UK: John Wiley Ltd, 2009. – 363 pp.

28. Рибалко Д.В. Оцінювання ефективності варіантів мереж мобільного

зв'язку з урахуванням сукупності показників якості / Д.В. Рибалко // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених „Молодь та сучасні 258 проблеми радіотехніки (РТ-2006)” – Севастополь: СевНТУ, 2006. – 50 с.

29. Кичак В. М. Основи радіоелектроніки [Текст] : навчальний посібник / В. М. Кичак, Ю. В. Крушевський, Д. В. Гаврілов. - Вінниця : ВНТУ, 2010. - 368 с.

30. ДСТУ-НБА 3.2-1:2007 Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv>.

31. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php

32. ДБНВ.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. К. : Мінбуд України, 2006. 154 с

33. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

34. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і безпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>

35. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

36. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infravzuku-nor4878.html>

37. Сакевич В. Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах / В. Ф. Сакевич. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 109 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПАРАМЕТРІВ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ
(назва бакалаврської дипломної роботи)

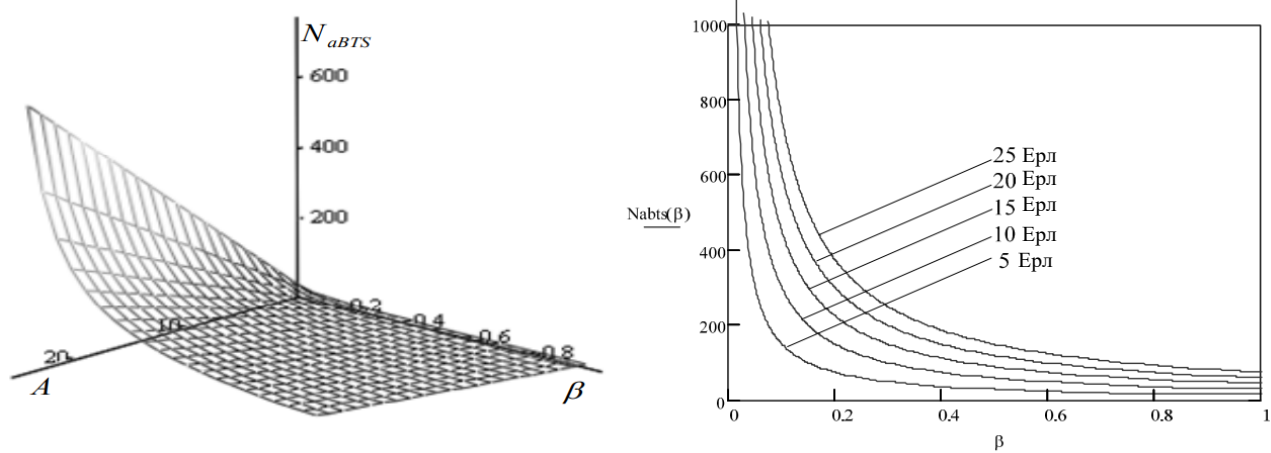


Рисунок А.1 – Багаторівневі діаграми обміну показників якості $k(N_{0BTS})$, $k()$, $k(\beta)$

Таблиця А.1 – Результати вибору оптимальних варіантів мережі

№ СММЗ	КЗ	К5	К8	Результати оптимізації
	$P_{ол}$	N_a / S_0	N_{aBTS}	
1	1	0,135	0,458	Парето- оптимальний
2	0,5	0,307	0,625	Неоптимальний
3	0,5	0,166	1	Неоптимальний
4	0,9	0,104	0,75	Неоптимальний
5	0,7	0	0,875	Парето- оптимальний
6	0,3	0,25	0,833	Неоптимальний
7	0,4	0,271	0,791	Неоптимальний
8	0,4	0,26	0,625	Парето- оптимальний
9	0,2	0,047	0,75	Парето- оптимальний
10	0,2	0,015	0,916	Парето- оптимальний

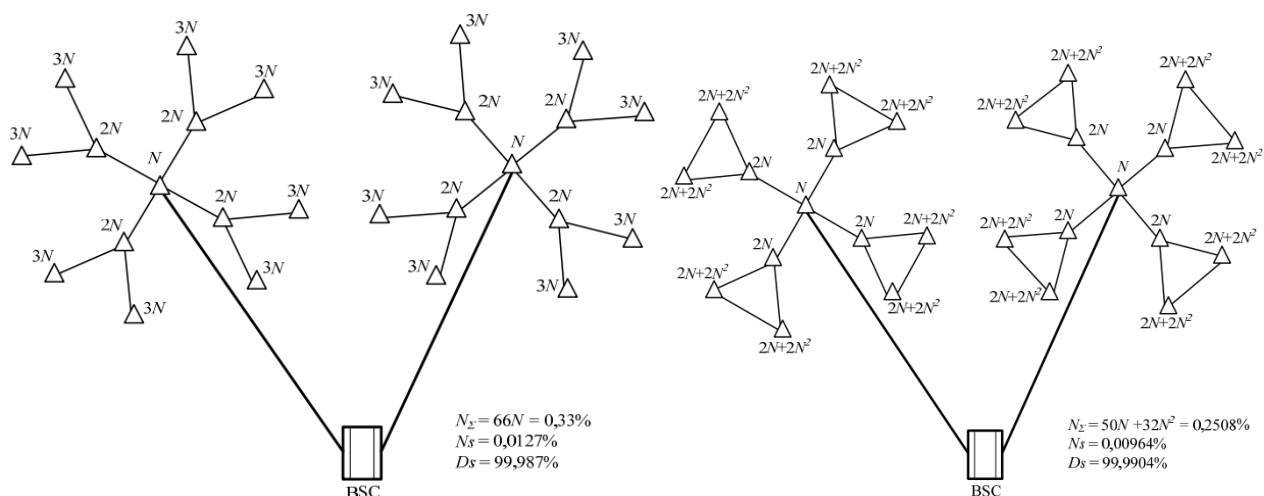


Рисунок А.2 – Варіанти №1 та №2 транспортної мережі

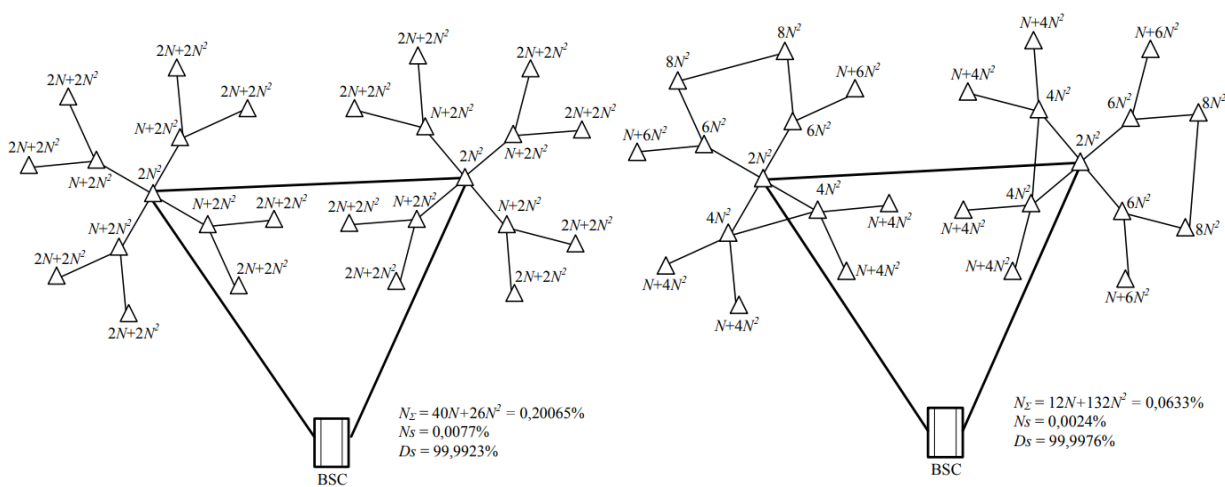


Рисунок А.3 – Варіанти №3 та №4 транспортної мережі

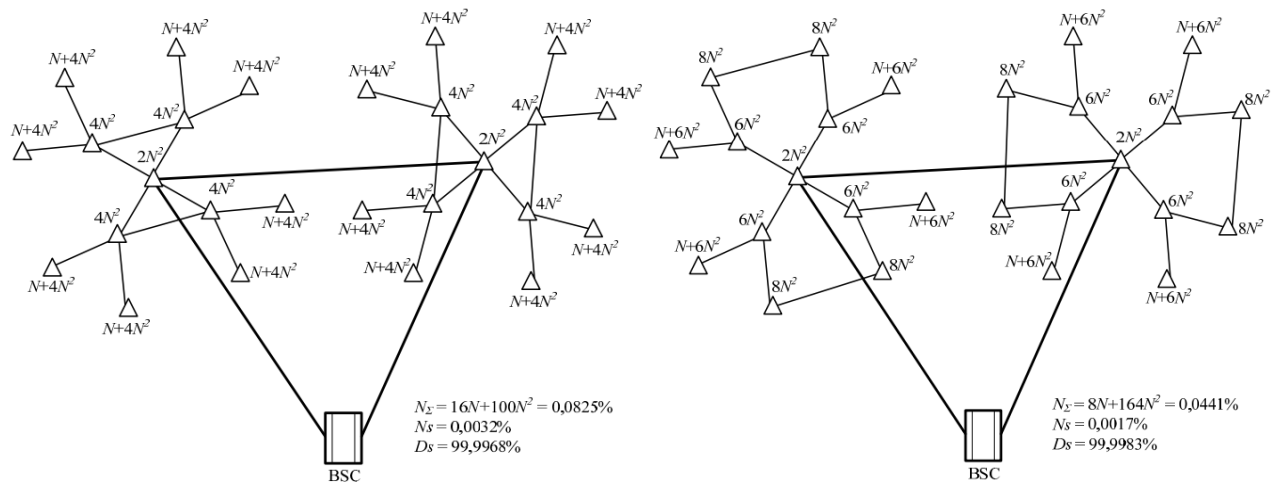


Рисунок А.4 – Варіанти №5 та №6 транспортної мережі

Додаток Б

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Програмний комплекс багатокритеріальної оптимізації параметрів стільникових мереж мобільного зв'язку»

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

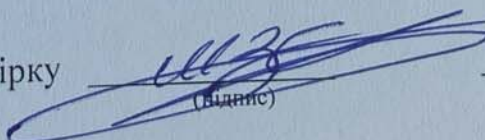
Показники звіту подібності Unichек

Оригінальність 80,7 % Схожість 19,3 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

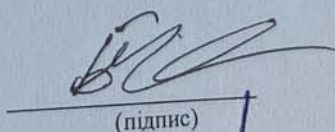
Особа відповідальна за перевірку


(підпис)

Васильківський М.В.
(прізвище, ініціали)

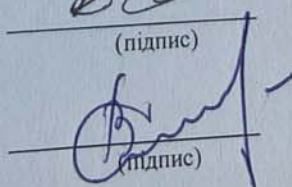
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unichек щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Кичак Б.А.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Воловик А.ІЮ
(прізвище, ініціали)