

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2022.1\(488\).11](https://doi.org/10.15589/znp2022.1(488).11)
УДК 004.78

ALGORITHMIC PROVISION FOR PLANNING THE INFORMATION AND COMMUNICATION NETWORK OF THE ENTERPRISE BASED ON 5G TECHNOLOGIES

АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЙ 5G

Tetiana V. Smirnova¹

sm.tetyana@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6896-0612

Oleksii S. Verkhovets²

o.s.verhts@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3897-106X

Kostiantyn O. Buravchenko¹

buravchenkok@gmail.com

ORCID: 0000-0001-6195-7533

Serhii A. Smirnov¹

smirnov.ser.81@gmail.com

ORCID: 0000-0002-7649-7442

Hermak S. Viktoriia¹

germak_vs@ukr.net

ORCID: 0000-0001-8473-4156

Т. В. Смірнова¹,

канд. техн. наук

О. С. Верховець²,

заступник начальника НДЦ

К. О. Буравченко¹,

канд. техн. наук

С. А. Смірнов¹,

канд. техн. наук

В. С. Гермак¹,

викладач

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine¹

State Research Institute of Cyber Security and Information Protection Technologies, Kyiv, Ukraine²

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна¹

*Державний науково-дослідний інститут технологій кібербезпеки
та захисту інформації, м. Київ, Україна²*

Abstract. One of the main problems in the deployment of modern wireless communication networks for information networks that provide the requested services with specified performance indicators is more efficient planning, which will provide the necessary quality of service (target efficiency) and on the other increase economic efficiency use of network resources. Therefore, the urgent task solved in this paper is the formation of algorithmic software for planning the information and communication network of the enterprise based on 5G technologies for further optimization of production processes. For the formation of algorithmic software for planning the information and communication network of the enterprise on the basis of 5G technologies for further optimization of production processes, the following partial problems are solved in this work: the method of planning the 5G cellular network is improved; the method of designing and optimizing structured cabling systems for the transport needs of the cellular network has been improved; developed algorithmic software for preliminary planning of the communication network for the needs of the enterprise.

Purpose. The aim of the work is to develop algorithmic software for 5G cellular network planning of advanced enterprise network architecture for further optimization of production processes.

Methodology. The main theoretical provisions of the work are obtained using the methods of optimization theory, complex systems theory, telecommunications theory.

Results. The method of 5G cellular network planning has been improved, the method of designing and optimizing structured cabling systems for transport needs of the cellular network has been improved, algorithmic software has been developed for preliminary planning of the communication network for the needs of the enterprise.

Scientific novelty. Formation of algorithmic software for planning information and communication network of the enterprise on the basis of 5G technologies for further optimization of production processes, will allow to

provide the necessary quality of service (target efficiency), and on the other hand to increase economic efficiency of network resources.

Practical relevance. Improving the quality of service and cost-effectiveness of network resources.

Key words: information and communication networks; 5G technologies; optimization.

Анотація. Однією з головних проблем розгортання сучасних безпроводових мереж зв'язку для інформаційних мереж, які забезпечують надання запитуваних послуг із заданими показниками ефективності функціонування, є більш ефективне планування, що дозволить, з одного боку, забезпечити необхідну якість обслуговування (цільову ефективність) та з іншого, підвищити економічну ефективність використання мережевих ресурсів. Тому актуальним завданням, яке вирішується у даній роботі, є формування алгоритмічного забезпечення для планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G для подальшої оптимізації виробничих процесів. Для формування алгоритмічного забезпечення для планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G для подальшої оптимізації виробничих процесів у даній роботі вирішені такі часткові задачі: проведено удосконалення методу планування стільникової мережі 5G; проведено удосконалення методу проектування та оптимізації структурованих кабельних систем для транспортних потреб мережі стільникового зв'язку; розроблено алгоритмічне забезпечення для попереднього планування мережі зв'язку для потреб підприємства.

Мета. Метою роботи є розробка алгоритмічного забезпечення для планування стільникової мережі 5G удосконаленої мережевої архітектури підприємств для подальшої оптимізації виробничих процесів.

Методика. Основні теоретичні положення роботи отримані з використанням методів теорії оптимізації, теорії складних систем, теорії телекомунікацій.

Результати. Удосконалено метод планування стільникової мережі 5G, удосконалено методу проектування та оптимізації структурованих кабельних систем для транспортних потреб мережі стільникового зв'язку, розроблено алгоритмічне забезпечення для попереднього планування мережі зв'язку для потреб підприємства.

Наукова новизна. Формування алгоритмічного забезпечення для планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G для подальшої оптимізації виробничих процесів дозволить, з одного боку, забезпечити необхідну якість обслуговування (цільову ефективність), а з іншого, підвищити економічну ефективність використання мережевих ресурсів.

Практична значимість. Підвищення якості обслуговування та економічної ефективності використання мережевих ресурсів.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні мережі; технології 5G; оптимізація.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Однією з головних проблем розгортання сучасних безпроводових мереж зв'язку для інформаційних мереж, які забезпечують надання запитуваних послуг із заданими показниками ефективності функціонування, є більш ефективне планування, що дозволить, з одного боку, забезпечити необхідну якість обслуговування (цільову ефективність) та з іншого, підвищити економічну ефективність використання мережевих ресурсів. Тому актуальним завданням, яке вирішується у даній роботі, є формування алгоритмічного забезпечення для планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G для подальшої оптимізації виробничих процесів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У роботах [4–7] розглянута специфікація безпроводового зв'язку 5G та проведені дослідження щодо її ефективності. Робота [8] присвячена визначенню трендів розвитку систем безпроводового зв'язку. У роботах [9; 10] розглянуті специфікації 3GPP TR 38.901 та 3GPP TS 38 104. У роботі [11] розгляну-

та модель на основі вимірювань для прогнозування зон покриття міських мікростільників безпроводового зв'язку. При цьому було враховано, що однією з головних проблем розгортання сучасних безпроводових мереж зв'язку є більш ефективне планування, що дозволить, з одного боку, забезпечити необхідну якість обслуговування (цільову ефективність) та з іншого, підвищити економічну ефективність використання мережевих ресурсів.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Для формування алгоритмічного забезпечення для планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G для подальшої оптимізації виробничих процесів у даній роботі вирішені такі часткові задачі:

- проведено вдосконалення методу планування стільникової мережі 5G;
- проведено вдосконалення методу проектування та оптимізації структурованих кабельних систем для транспортних потреб мережі стільникового зв'язку;

– розроблено алгоритмічне забезпечення для попереднього планування мережі зв'язку для потреб підприємства.

У результаті зазначеного постає **мета** в розробці алгоритмічного забезпечення для планування стільникової мережі 5G удосконаленої мережевої архітектури підприємств для подальшої оптимізації виробничих процесів

Методи дослідження. Основні теоретичні положення роботи отримані з використанням методів теорії оптимізації, теорії складних систем, теорії телекомунікацій.

Об'єктом дослідження є процес побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи автоматизації виробничих процесів.

Предметом дослідження є алгоритмічне забезпечення для планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G для автоматизації виробничих процесів.

1. Удосконалення методу планування мережі 5G для автоматизації виробничих процесів підприємства

Процес планування радіомережі для автоматизації виробничих процесів підприємства необхідно виконувати у відповідності до такої послідовності кроків: проектування покриття радіомережі із визначення місця розташування кожної базової станції (в мережах 5G – gNb), побудова комунікаційного транспортного сегменту із визначенням місцезнаходження кросових приміщень. Наведемо цю послідовність кроків в деталях нижче.

1.1. Планування радіопокриття

Для побудови підсистеми базових станцій було розроблено нову модель [8].

Кількість необхідних базових станцій (gNb) для покриття всієї необхідної території обслуговування можна визначити за формулою:

$$N_{BC} = \frac{S_{обсл}}{S_{ст}}, \quad (1)$$

де $S_{обсл}$ – загальна площа підключення кінцевих вузлів мережі.

Площа, яка обслуговується однією gNb в стільнику, може бути визначена таким чином:

$$S_{ст} = \pi \cdot r_{\max}^2, \quad (2)$$

$r_{\max}$ – це максимальний радіус стільника, який є функцією від багатьох змінних:

$$r_{\max} = f(P_{gNb}, G_{прд}, G_{прм}, B_{взз}, B_{фід}, IM, L_{розп}, R_{взз}, N_{взз}, C_{gNb}, p_{bit}), \quad (3)$$

де P_{gNb} – потужність передавача;

$G_{прд}$, $G_{прм}$ – коефіцієнт підсилення передавальної та відповідно приймальної антени;

$B_{взз}$ – втрати в кінцевому пристрої;

$B_{фід}$ – втрати у фідері. За відсутності фідера (коли прийомопередавачі об'єднані з антеною у вигляді моноблока) необхідно враховувати конструктивні особливості пристрою з'єднання.

IM – запас з інтерференції;

$L_{розп}$ – втрати під час розповсюдження радіосигналу;

$R_{взз}$ – необхідна швидкість передавання даних для кінцевого вузла;

$N_{взз}$ – кількість кінцевих вузлів;

C_{gNb} – загальна доступна пропускна здатність gNb в стільнику;

p_{bit} – гранична імовірність бітової помилки.

Відповідно, і кількість необхідних gNb є функцією багатьох змінних, яку з метою зменшення витрат на побудову мережі необхідно мінімізувати:

$$N_{gNb} = f(P_{gNb}, G_{прд}, G_{прм}, B_{взз}, B_{фід}, IM, L_{розп}, R_{взз}, N_{взз}, C_{gNb}, p_{bit}) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Ураховуючи те, що деякі змінні параметри на практиці є чітко визначеними (технічні характеристики систем), то запишемо задачу параметричної оптимізації в такому вигляді:

$$r_{\max} = f(P_{gNb}, G_{прд}, G_{прм}, B_{взз}, B_{фід}, IM, L_{розп}, R_{взз}, N_{взз}, C_{gNb}, p_{bit}, h_{gNb}, h_{взз}) \rightarrow \max. \quad (5)$$

При цьому мають місце такі обмеження:

$$0 < P_{gNb} \leq P_{gNb, \max},$$

$$R_{взз, \min} < R_{взз} \leq R_{взз, \max},$$

$$0 \leq p_{bit} \leq p_{bit, \max},$$

$$h_{gNb, \min} \leq h_{gNb} \leq h_{gNb, \max},$$

$$TC \leq TC_{\max}.$$

Вартість встановлення базових станцій включає вартість gNb TC_{gNb} , вартість встановлення gNb $TC_{вст, gNb}$, вартість підняття антени gNb $TC_{вст, ант}$, вартість антенно-фідерного тракту для підключення gNb до антени $TC_{афт}$, вартість антени $TC_{ант}$:

$$TC = TC_{gNb} + TC_{вст, gNb} + TC_{афт} + TC_{ант} + TC_{вст, ант}. \quad (6)$$

Вартість антенно-фідерного тракту $TC_{афт} = TC_{м, афт} \cdot l_{афт}$, де $l_{афт}$ – довжина антенно-фідерного тракту, вартість встановлення антени на висоті h_{gNb} $TC_{вст, ант} = h_{gNb} \cdot TC_{м, вст, ант}$, де $TC_{м, вст, ант}$ – вартість встановлення одного метру антени для gNb. $TC_{вст, gNb}$ визначається підрядником, який буде виконувати ці роботи, $TC_{ант}$ визначено виробником обладнання.

Загальна пропускна здатність однієї gNb може бути визначена за допомогою виразу:

$$C_{gNb} = \Delta F \cdot \beta, \quad (7)$$

де β – спектральна ефективність БС;

ΔF – загальна виділена смуга часто в стільнику для однієї gNb;

Необхідна пропускна здатність для обслуговування всіх абонентів в стільнику може бути визначена таким чином:

$$R_{заг} = R_{взз} \cdot N_{акт, ввзз}, \quad (8)$$

де $N_{акт, ввзз}$ – кількість активних абонентів, яких необхідно обслуговувати.

Вона повинна бути меншою загальної пропускної здатності БС:

$$R_{заб} \leq C_{gNb}.$$

Кількість активних абонентів залежить від площі обслуговування в межах підприємства $S_{заб}$, на вулиці $S_{вул}$, щільностей підключених вузлів відповідно в будівлях та на вулиці σ та коефіцієнтів їх активності v :

$$N_{акт.вуз.} = v_{буд} \cdot \sigma_{буд} \cdot S_{заб} \cdot N_{пов} + v_{вул} \cdot \sigma_{вул} \cdot S_{вул}. \quad (9)$$

Щільності підключення вузлів визначають таким чином:

$$\sigma = \frac{N_{вуз}}{S}. \quad (10)$$

Для $R_{заб}$ повинна виконуватись така умова:

$$R_{заб} = R_{вуз} \cdot (v_{буд} \cdot \sigma_{буд} \cdot S_{заб} \cdot N_{пов} + v_{вул} \cdot \sigma_{вул} \cdot S_{вул}) \leq \Delta F \cdot \beta. \quad (11)$$

Площа закритих приміщень у стільнику визначається:

$$S_{заб} = S_{ст} \cdot \omega_{заб}. \quad (12)$$

Тоді площа покриття на відкритій місцевості буде:

$$S_{вул} = S_{ст} - S_{заб} = \pi \cdot r_{\max}^2 - \pi \cdot r_{\max}^2 \cdot \omega_{заб} = \pi \cdot r_{\max}^2 \cdot (1 - \omega_{заб}). \quad (13)$$

Таким чином:

$$R_{заб} = R_{вуз} \cdot (v_{буд} \cdot \sigma_{буд} \cdot \pi \cdot r_{\max}^2 \cdot \omega_{заб} \cdot N_{пов} + v_{вул} \cdot \sigma_{вул} \cdot \pi \cdot r_{\max}^2 \cdot (1 - \omega_{заб})) = R_{вуз} \cdot \pi \cdot r_{\max}^2 \cdot (v_{буд} \cdot \sigma_{буд} \cdot \omega_{заб} \cdot N_{пов} + v_{вул} \cdot \sigma_{вул} \cdot (1 - \omega_{заб})) \leq \Delta F \cdot \beta; \quad (14)$$

Максимально допустимі втрати при поширенні в каналі рівні для мереж 5G можуть бути визначені таким чином.

1.2. Моделі поширення радіосигналів мобільних мереж 5G для автоматизації виробничих процесів

Системи 5G використовують діапазони частот від мікрохвильових до міліхвильових. Тому стандартизовані моделі охоплюють дуже широкий спектр робочих діапазонів і мають частотно-залежний компонент для обслуговування частот від 400 МГц до 100 ГГц.

Частотна залежність визначається не тільки для втрат у тракті, але і для всіх параметрів моделі, необхідних для імпульсної характеристики та описує чотири категорії моделей втрат у тракті, кожна з яких має компоненти LOS (поширення сигналу в зоні прямої видимості) та NLOS (поширення сигналу в зоні не прямої видимості).

Приймаючи середовище UMa (тривимірних міських макростільників), для оцінки NLOS [9, 10] пропонується така модель оцінки втрат потужності радіосигналу на шляху розповсюдження:

$$PL_{3DUMaLOS}^{5G} = \max(PL_{3DUMaLOS}^{5G}, PL_{3DUMaNLOS}^{5G(a)}) \quad (15)$$

де:

$$PL_{3DUMaLOS}^{5G} = \begin{cases} PL_1, 10\text{ м} < d < d_{break} \\ PL_2, d_{break} < d < 5\text{ км} \end{cases}. \quad (16)$$

З урахуванням того, що:

$$PL1 = 28,0 + 22\log(d) + 20\log(f), \quad (17)$$

$$PL2 = 28,0 + 40\log(d) + 20\log(f) - 9\log[(d_{break})^2 + (h_t - h_r)^2], \quad (18)$$

маємо таке:

$$PL_{3DUMaNLOS}^{5G(a)} = 13,54 + 39,08\log(d) + 20\log(f) - 0,6(hr - 1,5), \quad (19)$$

для відстані зв'язку від 10 м до 5 км.

В якості ілюстрації наведено приклад (рис. 2), в якому показано, як втрати в тракті залежать від відстані та частоти. Наводиться порівняння стандартизованих моделей втрат у тракті для двох несучих частот 2 ГГц та 100 ГГц із номінальними параметрами, рекомендованими у стандартах.

Проведені дослідження дозволили зробити висновки, що на відстані 100 м втрати на частоті 100 ГГц приблизно на 30 дБ більше, ніж відповідне значення для 2 ГГц.

Слід зазначити, що на 2 ГГц відстань до точки розриву для випадку LOS становить близько 100 м, але на 100 ГГц відстань до точки розриву стає занадто великою [11]. Зменшення довжини хвилі в 50 разів на частоті 100 ГГц відповідно змістить точку зламу в 50 разів далі в порівнянні з частотою 2 ГГц, тобто на відстань близько 5 км, що значно виходить за межі робочих діапазонів. Крім того передбачається, що антени БС та МС є ненаправленими. Однак при розгортанні 5G-NR будуть використовуватися антени з формуванням діаграми спрямованості замість секторальних антен, які використовувалися в системах більш ранніх поколінь. У міру збільшення робочої частоти потрібно використовувати більш високий коефіцієнт посилення антенної решітки, щоб зменшити великі втрати в тракті.

2. Удосконалення методу проектування та оптимізації структурованих кабельних систем

Обґрунтоване планування й оптимізація безпроводових інформаційних мереж 5G неможлива без проведення розрахунків по проектуванню структурованих кабельних систем (СКС), які забезпечать з'єднання різних частин мережі. Проектування горизонтальної підсистеми є найбільш відповідальною частиною проектного етапу розробки СКС. Рішення, прийняті у процесі виконання цих робіт, є визначальними для техніко-економічної ефективності створеної структурованої кабельної проводки та має суттєвий вплив на капітальні витрати при створенні інформаційних мереж і саме в горизонтальній підсистемі зосереджена основна маса телекомунікаційного обладнання СКС як за номенклатурою, кількістю, так і за вартістю.

Розглянемо два основні методи обчислення кількості кабелю, що витрачається на реалізацію горизонтальної підсистеми:

- метод підсумовування;
- статистичний метод.

Метод підсумовування полягає в підрахунку довжини траси кожного горизонтального кабелю з таким додаванням знайдених таким чином значень. До отриманого результату додається певний технологічний запас, а також запас для виконання обробки в місцях з'єднання (МЗ) та на кросових панелях.

Статистичний метод реалізує практично положення центральної граничної теореми теорії ймовірностей. Сутність його полягає у використанні оцінки середньої довжини окремого прокидання для підрахунку загальної довжини горизонтального кабелю, що витрачається на реалізацію конкретної кабельної системи або, точніше, її частини, яка обслуговується окремою кросовою. Сама оцінка здійснюється на основі статистичних закономірностей, які обов'язково виявляються при реалізації будь-якої структурованої кабельної проводки. Деякому збільшенню точності розрахунків за статистичним методом додатково сприяє той факт, що відповідно до стандарту ISO/IEC 11801 довжина кабелів горизонтальної підсистеми не може перевищувати 90 м (для технології Ethernet).

Сутність методу полягає у такому: довжина будь-якої j -ї траси може бути представлена в такому вигляді:

$$L_j = v_j + \xi_j,$$

де v_j – довжина кабелю, що прокладається на вертикальних ділянках трас; ξ_j – випадкова величина, що має певний закон розподілу в площі xOy робочої зони, що обслуговується комутаційним обладнанням яке встановлено у цьому технічному приміщенні.

Припустимо, що:

- базові станції gNb обладнані однотипними МЗ і розподілені за площею xOy території, що обслуговується рівномірно;
- розташування технічних приміщень є оптимальним;
- кабельні траси основної маси горизонтальних кабелів влаштовані за одним принципом, тобто з достатньою для практики точністю можна прийняти $v_j = \text{const}$.

У разі виконання зазначених умов функція щільності ймовірності розподілу довжин окремих прокидів є симетричною (має нульову асиметрію). Оцінка середньої довжини кабельної траси при симетричному розподілі може бути знайдена як напівсума довжин найбільшої та найменшої за довжиною кабельних трас.

На підставі зроблених припущень середня довжина кабелю L_{av} , що витрачається на реалізацію одного прокиду, приймається рівною:

$$L_{av} = \frac{(L_{\max} + L_{\min})}{2} K_s + X,$$

де $L_{\max}$ і $L_{\min}$ – довжини кабельної траси від комутаційного елемента, найдальшого від точки введення в кросову, до МЗ відповідно до найближчої і найдальшої

базової станції gNb, розрахована з урахуванням особливостей прокладання кабелю, всіх спусків, підйомів, поворотів, міжповерхових (за їх наявності) тощо;

K_s – коефіцієнт технологічного запасу, рівний 1,1 (10 %);

X – запас для виконання обробки кабелю.

Далі розраховується загальна кількість N_{cr} кабельних прокидів, на які вистачає однієї котушки кабелю:

$$N_{cr} = \frac{L_{cb}}{L_{av}},$$

де L_{cb} – довжина кабельної котушки.

На останньому кроці отримуємо загальну кількість кабелю L_c , необхідну для створення кабельної системи:

$$L_c = L_{cb} \times \frac{N_{to}}{N_{cr}},$$

де N_{to} – кількість МЗ в побудованій СКС.

Результат поділу у формулі виходить зазвичай нецілочисельним, тому використовується округлення до цілого числа.

2.1. Область застосування статистичного методу

Довжини кабельних трас (відповідно до зроблених вище припущень еквівалентно довжинам окремих прокидів горизонтальної підсистеми СКС) можуть вважатися незалежними випадковими величинами. Відповідно до теорії ймовірності, дисперсія середнього арифметичного попарно незалежних випадкових величин у n разів менша дисперсії σ^2 кожної з величин, тобто в застосовуваних позначеннях можна записати:

$$D(l_{cp}) = \sigma^2 / n.$$

Кількість n окремих прокидів, за яких величина середньоквадратичного відхилення середнього арифметичного довжин від математичного очікування не перевищить заздалегідь заданого значення, для визначеності, наприклад 5 %, може бути знайдена виходячи з такого співвідношення:

$$\frac{\sigma}{l_{cp} \sqrt{n}} \leq 0,05.$$

При $\sigma/l_{cp} = 0,42$ (припущення на підставі практичного результату) отримуємо, що n має бути не менше 84, тобто застосування статистичного методу є виправданим для розрахунку кабельних систем або їх частин, які обслуговують не менше $N = 42$ комутаційних приладів.

Однією з умов застосування статистичного методу було припущення того, що функція розподілу є симетричною. Обробка даних практично реалізованих проектів показує, що середній коефіцієнт асиметрії дорівнює приблизно 0,44, тобто відмінність функції розподілу від симетричної, строго кажучи, не може вважатися зневажливо малою.

Розглянемо, наскільки ця відмінність впливає на точність розрахунків.

Для цього згідно з методом моментів анпроксимуємо фактично одержану функцію розподілу рядом Грама-Шарльє [23], який представляє собою нормальний розподіл з поправкою. Для спрощення подальших розрахунків при побудові ряду в ньому утримується лише два перші члени:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{x^2}{2}} \left[1 + \frac{\gamma_3}{3!} (x^3 - 3x) + \dots \right], \quad (20)$$

де γ_3 – коефіцієнт асиметрії;

$$x = \frac{t - Mt}{\sigma} - \text{стандартизована випадкова величина.}$$

Ймовірність того, що довжина горизонтального кабелю не перевищить x , становитиме:

$$\Phi_u(x) = \Phi(x) + \frac{\gamma_3}{3! \sqrt{2\pi}} (1 - x^2) e^{\frac{x^2}{2}}, \quad (21)$$

де $\Phi_u(x)$ – апроксимована функція розподілу, $\Phi(x)$ – функція нормального розподілу.

2.2. Вибір місця розташування технічних приміщень кросового поверху

Через значну кількість МЗ, що встановлюються в процесі створення горизонтальної проводки СКС, завдання оптимальної побудови нижнього рівня кабельної системи за різними критеріями дозволяє істотно скоротити як обсяг витрат на створення кабельної проводки, так і час реалізації проекту в цілому.

Координати розташування приміщення кросової, що обслуговує МЗ у конкретній робочій зоні та оптимальної за критерієм мінімальної середньої довжини окремого прокидання, збігаються з центром ваги пластинки Ω , що знаходиться в площині xOy . При цьому, форма пластини відповідає топології робочої зони, що обслуговується, а її щільність $\rho(x, y)$ еквівалентна щільності розміщення робочих місць. Координати розташування технічного приміщення розраховуються за такими формулами:

$$x_0 = \frac{1}{M} \iint_{\Omega} \rho x dx dy; \quad y_0 = \frac{1}{M} \iint_{\Omega} \rho y dx dy; \quad (22)$$

де $M = \iint_{\Omega} \rho dx dy$ – загальна кількість базових станцій gNb, що обслуговуються конкретною кросовою.

У тому випадку, якщо робоча площа, що обслуговується, являє собою прямокутник зі сторонами $(a; b)$ $(c; d)$, а окремі МЗ розподілені по ній рівномірно, тобто $\rho(x, y) = \rho = \text{const}$, координати розташування приміщення кросової, оптимальні за критерієм мінімальної сумарної довжини лінійних горизонтальних кабелів, чисельно рівні:

$$x_0 = \frac{b - a}{2}; \quad y_0 = \frac{d - c}{2}.$$

Раніше було показано, що в цьому випадку середня довжина кабельного прокладання буде близька до:

$$l' = \frac{(b - a) + (d - c)}{4}.$$

При розташуванні технічного приміщення кросової на краю зони обслуговування оцінка середньої довжини кабельного прокладання виконана за тими ж принципами, має значення

$$l'' = \frac{(b - a) + (d - c)}{2}.$$

Таким чином, за рахунок оптимізації місця розташування технічного приміщення економія кількості кабелю, що витрачається на реалізацію кожного середньостатистичного прокидання, може досягти:

$$\Delta = \left(\frac{l'}{l''} \right) 100 = 50\%.$$

На підставі наведеної теоретичної бази проведено схематичну розробку оптимізації розміщення технічного приміщення кросової для планування ефективної інформаційно-комунікаційної мережі на базі технологій 5G. Керуючись даною схемою, можна зробити розрахунки розташування технічного приміщення кросової та обчислити кількості кабелю, що витрачається на реалізацію підсистеми.

3. Алгоритмічне забезпечення для планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G

На базі розроблених у даній роботі методів, моделей є можливість реалізації програмного забезпечення для планування ефективної інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G.

Із цією метою було розроблено алгоритм планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства, який реалізується таким чином:

– Етап 1: На початковому етапі вводяться дані, необхідні для проектування мережі, в тому числі вартісні: P_{gNb} – потужність передавача; $G_{прд}$, $G_{прм}$ – коефіцієнт підсилення передавальної та відповідно приймальної антени; $B_{вз}$ – втрати в кінцевому пристрої; $B_{фід}$ – втрати у фідері. За відсутності фідера (коли прийомопередавачі об'єднані з антеною у вигляді моноблока) необхідно враховувати конструктивні особливості пристрою з'єднання; IM – запас по інтерференції; $L_{розп}$ – втрати під час розповсюдження радіосигналу; $R_{вз}$ – необхідна швидкість передавання даних для кінцевого вузла; $N_{вз}$ – кількість кінцевих вузлів; C_{gNb} – загальна доступна пропускна здатність gNb в стільнику; $p_{біт}$ – гранична імовірність бітової помилки. Вартість встановлення базових станцій включає вартість gNb TC_{gNb} , вартість встановлення gNb $TC_{вст.gNb}$, вартість підняття антени gNb $TC_{вст. ант}$, вартість антенно-фідерного тракту для підключення gNb до антени $TC_{афтм}$, вартість антени $TC_{ант}$.

– Етап 2. Проводяться розрахунки максимального радіусу стільника r_{max} за формулами (2)–(5).

– Етап 3. Проводяться розрахунки необхідної пропускної здатності для обслуговування всіх абонентів у стільниках $R_{зак}$ за формулою (8).

– Етап 4. На такому етапі порівнюється R_{zag} з загальною пропускною здатністю БС – C_{gNb} , з визначенням $R_{zag} \leq C_{gNb}$. Якщо ця умова не виконується, кількість базових станцій збільшується на 1 і розрахунок повторюється, тобто переходимо на етап 2. Якщо умова виконується, то переходимо на етап 5.

– Етап 5. За формулою (6) здійснюється розрахунок вартості встановлення базових станцій – $ТС$.

– Етап 6. За формулами (20)–(22) здійснюється розрахунок та кабельної інфраструктури.

– Етап 7. За формулою (22) здійснюється визначення місця розташування кросових.

– Етап 8. Розраховується вартість кабельної інфраструктури.

– Етап 9. Розраховується загальна вартість підсистеми БС та кабельної інфраструктури.

– Етап 10. Отримані результати виводяться в інтерфейсі, в якому розробляється мапа з покриттям базової станції та відповідної кабельної інфраструктури.

– Етап 11. Відбувається виведення вартості.

ВИСНОВКИ

Дослідження, проведені в даній роботі, дозволили провести розробку алгоритмічного забезпечення для планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G, що дозволяє удосконалити мережеву архітектуру підприємств

з метою подальшої оптимізації виробничих процесів. У рамках цього були отримані такі результати.

1. Було вдосконалено метод планування мережі 5G для автоматизації виробничих процесів підприємства, що полягає в послідовному забезпеченні проектування покриття радіомережі із визначення місця розташування кожної базової станції з використанням оптимізованої моделі оцінки втрат потужності радіосигналу на шляху розповсюдження з урахуванням обмежень по мінімальній пропускній здатності, кількості підключень та надійності та побудови комунікаційного транспортного сегменту із визначенням оптимального місцезнаходження кросових приміщень.

2. Було проведено удосконалення методу проектування та оптимізації структурованих кабельних систем для транспортних потреб мережі стільникового зв'язку, що надає змогу проводити планування оптимальної структури стільникової мережі 5G для оптимізації виробничих процесів, оцінювати та зменшувати сукупні витрати на побудову мережі, при цьому забезпечуючи необхідні показники якості обслуговування вузлів мережі та її надійності.

3. На базі удосконалених у даній роботі методів було запропоновано алгоритмічне забезпечення для планування ефективної інформаційно-комунікаційної мережі підприємства на базі технологій 5G. Із цією метою було розроблено алгоритм планування інформаційно-комунікаційної мережі підприємства.

REFERENCES

- [1] Smirnova T.V., Solovykh Ye.K., Smirnov O.A., Driev O.M. (2019). Pobudova khmarnykh informatsiinykh tekhnolohii optimizatsii tekhnolohichnoho protsesu vidnovlennia ta zmitsnennia poverkhon detalei [Construction of cloud information technologies to optimize the technological process of restoration and strengthening of surfaces of parts], Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. № 1(32). pp. 184–194. [in Ukraine]
- [2] Smirnova, T.V., Smirnov, S.A., Mynailenko, R.M., Dorenskyi, O.P., Sysoienko S.V. (2020). Khmarna avtomatyzovana systema intelektualnoi pidtrymky pryiniattia rishen dla tekhnolohichnykh protsesiv [Cloud automated system of intelligent decision support for technological processes]. Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Tekhnichni nauky. №4, pp. 84–92. [in Ukraine]
- [3] Smirnova T.V., Stoliarenko M.P., Yankov M.O., Hrudik V.V., Motorin Yu.Iu. (2021). Model realizatsii struktury tekhnolohichnoho protsesu u khmarnomu servisi [Model of realization of structure of technological process in cloud service]. Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl. № 4(70). pp. 132–142. [in Ukraine]
- [4] LTE; 5G; Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz (3GPP TR 38.900 version 15.0.0 Release 15)
- [5] Lorrain R. (2020). Introducing the LoRaWAN® & 5G Fact vs. Fiction Series. Retrieved from: <https://blog.semtech.com/introducing-the-lorawan-5g-fact-vs.-fiction-part-one>
- [6] ITU towards. (2020). IMT for 2020 and beyond. IMT-2020 standards for 5G
- [7] White paper. Cisco public. Reimagining the End-to-End Mobile Network in the 5G Era. Retrieved from: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/cloud-systems-management/elastic-services-controller-esc/reimagining-mobile-network-white-paper.pdf>
- [8] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022. Retrieved from: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>
- [9] 3GPP TR 38.901. (2018). Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. v. 14.3.1
- [10] 3GPP TS 38.104. (2019). NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 15).
- [11] Goldsmith A.J., Greenstein L. J. (1993). A measurement-based model for predicting coverage areas of urban microcells, IEEE J. Sel. Areas Commun., Vol. 11, No. 7, pp. 1013–1023.
- [12] Korn H., Korn T. (1974) Spravochnik po matematyke dla nauchnykh rabotnykov y ynzhenirov [Handbook of mathematics for scientists and engineers]. M.: Nauka. 832 p. [in Russian].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Смірнова Т.В., Солових Є.К., Смірнов О.А., Дресв О.М. Побудова хмарних інформаційних технологій оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнення поверхонь деталей. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. № 1(32). С. 184–194.
- [2] Смірнова Т.В., Смірнов С.А., Минайленко Р.М., Доренський О.П., Сисоєнко С.В. Хмарна автоматизована система інтелектуальної підтримки прийняття рішень для технологічних процесів. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2020. № 4. С. 84–92.
- [3] Смірнова Т.В., Столяренко М.П., Янков М.О., Грудік В.В., Моторін Ю.Ю. Модель реалізації структури технологічного процесу у хмарному сервісі. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2021. № 4(70). С. 132–142.
- [4] LTE; 5G; Study on channel model for frequency spectrum above 6 GHz (3GPP TR 38.900 version 15.0.0 Release 15).
- [5] Lorrain R. (2020). Introducing the LoRaWAN® & 5G Fact vs. Fiction Series. URL: <https://blog.semtech.com/introducing-the-lorawan-5g-fact-vs.-fiction-part-one>.
- [6] ITU towards. (2020). IMT for 2020 and beyond. IMT-2020 standards for 5G.
- [7] White paper. Cisco public. Reimagining the End-to-End Mobile Network in the 5G Era. URL: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/cloud-systems-management/elastic-services-controller-esc/reimagining-mobile-network-white-paper.pdf>.
- [8] Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017–2022. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.html>.
- [9] 3GPP TR 38.901. (2018). Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. v. 14.3.1.
- [10] 3GPP TS 38.104. (2019). NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (Release 15).
- [11] Goldsmith A.J., Greenstein L.J. A measurement-based model for predicting coverage areas of urban microcells, *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 1993. Vol. 11, No. 7. P. 1013–1023.
- [12] Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва : Наука, 1974. 832 с.

© Т. В. Смірнова, О. С. Верховець,
К. О. Буравченко, С. А. Смірнов, В. С. Гермак
Дата надходження статті до редакції: 12.04.2022
Дата затвердження статті до друку: 20.04.2022