

Т. В. Смірнова

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

## МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДКЛЮЧЕННЯ ВУЗЛІВ ДО ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА НА БАЗІ 5G

**Анотація.** Об'єктом дослідження є процес побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи автоматизації виробничих процесів. Предметом дослідження є метод забезпечення надійності підключення вузлів до інформаційно-комунікаційної системи підприємства на базі 5G. Метою даної роботи є підвищення надійності підключення вузлів до інформаційно-комунікаційної системи підприємства на базі 5G. для оптимізації виробничих процесів. У результаті дослідження були розглянуті поняття, що характеризують надійність розподілених інформаційно-комунікаційних мереж 5G. Було формалізована постановка синтезу функціонально стійкої структури розподіленої інформаційно-комунікаційної мережі 5G підприємства Також було розроблено 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. **Висновки.** Розроблений метод 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.

**Ключові слова:** надійність; інформаційно-комунікаційна система; 5G.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Сучасні автоматизовані системи керування на виробництві включають в себе технології на базі безпроводових мереж та хмарні технології [1-3].

Як показав аналіз функціонування розподілених безпроводових мереж, у тому числі й стільникових мереж 5G, елементи систем, до яких відносяться вузли комутації та лінії зв'язку між ними, схильні до безлічі внутрішніх (відмови, збої, помилки обслуговуючого персоналу) та зовнішніх (пошкодження, перешкоди, несанкціонований доступ) дестабілізуючих впливів. Тому забезпечення функціональної стійкості елементів розподілених інформаційно-комунікаційних мереж 5G є дуже актуальною підзадачею, яка обов'язково має бути вирішена.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для розробки методу забезпечення надійності підключення вузлів до інформаційно-комунікаційної системи (ІКС) підприємства на базі 5G у даній роботі був проведений аналіз останніх досліджень і публікацій у сфері реалізації бездротового зв'язку. У роботі [4] визначено поняття ефективності інформаційно-комунікаційної мережі. Опис існуючих технологій бездротового зв'язку, які можливо застосувати для побудови хмарної інформаційно-комунікаційної системи автоматизації виробничих процесів наведено у роботах [5-13]. У роботах [5, 6] розглянута специфікація LoRaWAN, у роботі [7] розглянута специфікація мережі IEEE 802.15.4-2011, у роботі [8] розглянута специфікація IEEE 802.15 WPAN, у роботах [9, 10] розглянута специфікація Wi-Fi 6, у роботах [11-13] розглянута специфікація 5G.

**Методи дослідження.** Основні теоретичні положення роботи отримані з використанням методів

теорії оптимізації, теорії складних систем, теорії телекомунікацій, теорії надійності.

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

**Предметом дослідження** є метод забезпечення надійності підключення вузлів до інформаційно-комунікаційної системи підприємства на базі 5G.

Тому **метою** даної роботи є підвищення надійності підключення вузлів до інформаційно-комунікаційної системи підприємства на базі 5G. для оптимізації виробничих процесів.

### Узагальнена модель оцінки ефективності інформаційно-комунікаційних мереж

Ефективність інформаційно-комунікаційної мережі – це її здатність досягати поставленої мети у заданих умовах функціонування з певним рівнем якості, тобто це характеристика, що відображає ступінь відповідності мережі своєму призначенню, технічну досконалість та економічну доцільність [4].

Поняття ефективності пов'язані з отриманням деякого корисного результату – ефекту використання інформаційно-комунікаційних мереж, який досягається ціною витрат певних ресурсів, тому ефективність мережі можна розглядати як співвідношення між ефектом (вигрешем) і витратами.

Показник ефективності мережі – кількісна характеристика інформаційної мережі, що розглядається стосовно певних умов її функціонування.

Оцінюючи ефективність інформаційної мережі необхідно враховувати характеристики праці людини, взаємодіючого з комп'ютерною технікою та іншим технічними засобами мережі (засобами автоматизації).

Будемо визначати показник ефективності інформаційної мережі процесом її функціонування та відповідно функціоналом від цього процесу.

Загалом:

$$W = W(t, L_K, L_{TP}, L_A, L_D, L_V),$$

де  $W$  – множина показників ефективності мережі;  $t$  – час;  $L_K, L_{TP}, L_A, L_D, L_V$  – множина параметрів відповідно до вхідних потоків запитів на обслуговування користувачів ( $L_K$ ); технічних та програмних засобів мережі ( $L_{TP}$ ); алгоритмів обробки та передачі інформації в мережі ( $L_A$ ); діяльності користувачів ( $L_D$ ); умов функціонування мережі ( $L_V$ ).

В свою чергу:

$$- L_D = \{L_T, L_{TM}, L_H\},$$

де  $L_T, L_{TM}, L_H$  – множина вихідних показників діяльності вузлів інформаційної мережі відповідно до точнісних ( $L_T$ ), часових ( $L_{TM}$ ), надійнісних ( $L_H$ ).

Значення компонентів множин  $L_T, L_{TM}, L_H$  визначаються конкретними процесами діяльності вузлів у розглянутій інформаційно-комунікаційній мережі, засобами, які є в їхньому розпорядженні для виконання своїх функцій та умовами роботи. Відповідно до конкретизації поняття ефективності, показники множини можна розділити на три групи:

$$W = \{W_D, W_T, W_E\},$$

де  $W_D$  – показники цільової ефективності інформаційно-комунікаційної мережі або ефективності використання (цільового застосування) цієї мережі, це кількісний показник відповідності мережі своєму призначенню;

$W_T$  – показники технічної ефективності інформаційно-комунікаційної мережі, це кількісна міра, що відображає технічну досконалість мережі;

$W_E$  – показники економічної ефективності інформаційно-комунікаційної мережі, це кількісний показник економічної доцільності розгортання мережі.

В рамках даного підрозділу проведемо багатокритеріальний аналіз безпроводових технологій, які можуть бути використані для підтримки автоматизації виробничих процесів великих підприємств.

Для цього будемо користуватись переліком показників цільової (Пропускна здатність  $R$ , Затримка  $t_{затр}$ , Ємність мережі  $C$ , Щільність підключення пристроїв  $\nu$ ) та технічної (Енергетична ефективність  $e$ , Безпека мережі  $IS$ ) ефективності.

В даний час існує безліч безпроводових технологій, найчастіше відомих користувачам за їх маркетинговими назвами.

Використовуючи безпроводові рішення, є можливість створювати надійні та високопродуктивні корпоративні мережі, використання яких значно розширює можливості підприємства для доступу до мережі Інтернет, економічного телефонного зв'язку (IP-телефонії), охорони приміщень та об'єктів з використанням відеоспостереження та інших засобів охоронної та пожежної сигналізації, систем контролю та автоматизації технологічних процесів промислових підприємств, систем моніторингу показників довкілля та інших цілей, пов'язаних з телеметричною передачею даних.

Сучасні рішення для безпроводових мереж забезпечують високу керованість, автоматизацію та захищеність IT-інфраструктури. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її сферу застосування.

Був проведений аналіз та здійснено відповідний вибір оптимальної технології для використання її з метою оптимізації виробничих процесів. Для цього було розроблено модель багатокритеріальної оптимізації, визначено пул комунікаційних технологій, які можуть бути використані для оптимізації виробничих процесів.

В результаті, проведений багатокритеріальний аналіз дозволив впевнитись в доцільності розгортання стільникових мереж 5G для автоматизації виробничих процесів.

### Поняття, що характеризують надійність розподілених інформаційно-комунікаційних мереж 5G

Під відмовою будемо розуміти подію, під час якої певний елемент ІКС (вузол комутації чи лінія зв'язку) втрачає здатність виконувати функції з обробки та передачі інформації [24]. Тоді, під відновленням будемо розуміти подію, що полягає в тому, що елемент ІКС, що відмовив, повністю набув здатності виконувати задані функції з обробки та передачі інформації. Імовірність безвідмовної роботи  $r(t)$  характеризується продуктивністю елемента ІКС  $\omega(\tau)$  у заданому проміжку часу  $(0, t)$ :

$$r(t) = P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \omega(\tau) = 1\},$$

де  $\omega(\tau) = 1$ , якщо при  $\tau \geq 0$ , елемент ІКС перебуває у працездатному стані;

$\omega(\tau) = 0$ , якщо при  $\tau \geq 0$ , елемент ІКС перебуває у непрацездатному стані.

Імовірністю відновлення елемента ІКС, що відмовив, може бути оцінена за допомогою формули:

$$u(t) = 1 - P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \omega(\tau) = 0\},$$

де  $P\{\forall \tau \in [0, t) \rightarrow \omega(\tau) = 0\}$  – ймовірність того, що (при виконанні відновлювальних робіт) для кожного  $\tau$ , що належить проміжку часу  $[0, t)$ , продуктивність  $\omega(\tau)$  залишається рівною нулю і характеризує можливість елемента ІКС по досягненню заданої продуктивності після відмови.

Для характеристики продуктивності  $\omega(\tau)$  в момент часу  $t \geq 0$  (включаючи  $t \rightarrow \infty$ ) служить функція готовності:

$$s(i, t) = p_1(i, t) = P\{i: \omega(t) = 1\}, \quad (1)$$

де  $P\{i: \omega(t) = 1\}$  – ймовірність того, що в умовах потоку відмов та відновлень елемент, який почав функціонувати в стані  $i \in E_0$ , матиме при  $t > 0$  продуктивність, рівну потенційно можливою;

$E_0 = \{0, 1\}$  – множина станів елемента ІКС;

$i = 0$  – відмова;

$i = 1$  – працездатний стан;

$P_j(i, t)$  – ймовірність знаходження елемента в момент часу  $t \geq 0$  у стані  $j \in E_0$  за умови, що її початковим був стан  $i \in E_0$ .

**Формалізована постановка синтезу функціонально стійкої структури розподіленої інформаційно-комунікаційної мережі 5G підприємства**

Є  $N$  вузлів комутації ІКС, розташування яких задано просторовими координатами.

Обмін інформацією між вузлами здійснюється згідно з матрицею інтенсивностей  $H = \|h_{ij}\|$  розміру  $N \times N$ , де  $h_{ij}$  – обсяг інформації, що передається від абонента  $i$  до абонента  $j$  в одиницю часу,  $i = 1, \dots, N$ ,  $j = 1, \dots, N$ ,  $i \neq j$ .

Задані обмеження.

Відома функція вартості ІКС –  $C$  та визначено допустимі витрати на її створення та експлуатацію  $C_{\text{Дод}}$ .

Задані також необхідні ймовірності зв'язності  $P_{\text{необх}}$  для кожної пари вузлів комутації.

Потрібно визначити структуру ІКС, яка має максимальний рівень функціональної стійкості  $F_{\text{ІКС}}$ , що залежить від ймовірності зв'язності  $P_{ij}$ , при заданих обмеженнях на витрати для створення та експлуатації мережі, а також інші параметри функціонування системи.

Математична модель завдання виглядає наступним чином:

$$F_{\text{ІКС}} = f(P_{ij}) \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$i, j = 1, \dots, N, \quad i \neq j;$$

$$C = \sum_i \sum_j C_{ij}(l_{ij}, \rho_{ij}, h_{ij}) \leq C_{\text{Дод}}. \quad (3)$$

$$\forall_{\pi ij} P_{ij} \geq P_{\text{необх}} \quad (4)$$

$$\phi_{ij} \leq \rho_{ij}. \quad (5)$$

$$\tau_{cp} \leq T_{\text{max}}. \quad (6)$$

де  $N$  – число вузлів комутації ІКС, що синтезується.

$U$  загальному випадку  $N = var$ ;

$F_{\text{ІКС}}$  – функціонал якості, що максимізується;

$P_{ij}$  – ймовірність зв'язків між парою  $(i, j)$  абонентів мережі;

$l_{ij}$  – довжина лінії зв'язку між абонентами  $(i, j)$ ;

$\tau_{cp}$  – середній час затримки повідомлення, що

пересилається від одного абонента до іншого.

Введемо показники функціональної стійкості такі, як:

– ступінь вершинної зв'язності  $\chi(G)$ ;

– ступінь реберної зв'язності  $\lambda(G)$  графа структури ІКС.

Дослідження показують, що функціональна стійкість ІКС може бути охарактеризована і низкою інших показників [15, 16]:

– наявністю у заданих двополюсних ІКС шляхів зв'язку;

– математичним сподіванням числа цих шляхів;

– відношенням числа справних ребер до загального їх числа;

– потужністю мінімальної простої сікучої множини;

– ймовірністю зв'язності  $P_{ij}$  та ін.

За показниками  $\chi(G)$  та  $\lambda(G)$  можна визначити, чи належить система області функціональної стійкості чи області функціональної нестійкості (НФУ).

За ймовірністю зв'язків можна врахувати також інші параметри якості функціонування ІКС.

Переваги при використанні ймовірності зв'язності як показника ФУ полягають у тому, що з'являється можливість врахувати:

– надійність комутаційного обладнання;

– вид фізичного каналу передачі інформації;

– наявність резервних каналів та маршрутів передачі інформації;

– ступінь зв'язності розподіленої структури.

Для визначення показника функціональної стійкої структури мережі 5G скористаємося методом прямого перебору станів елементів.

Аналізуючи події зв'язності  $E_{x,y}$  та незв'язності  $\bar{E}_{x,y}$  у ІКС [14], можна бачити, що першому відповідає подія існування хоча б одного простого ланцюга (ПЛ), а другому – хоча б однієї простої сікучої множини (ПСМ).

При цьому елементи графа, що не входять ні до ПЛ, ні до ПСМ, можуть бути в будь-якому з трьох станів: справному, несправному та нейтральному. Це положення записується таким чином:

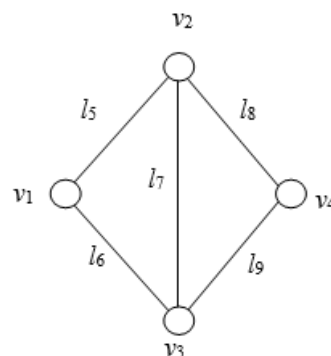
$$E_{x,y} \Rightarrow \exists \mu_i \in M_{x,y} \left[ \mu_i / \forall d_j \in D \left[ \bar{d}_j \vee \bar{d}_j \vee \dot{d}_j \right] \right], \quad (7)$$

$$\bar{E}_{x,y} \Rightarrow \exists s_i \in S_{x,y} \left[ s_i / \forall d_j \in D \left[ \bar{d}_j \vee \bar{d}_j \vee \dot{d}_j \right] \right]. \quad (8)$$

З наведених формул видно, що ті чи інші стани всіх елементів графа однозначно відповідають події або зв'язності або незв'язності в ІКС.

Кількість можливих станів елементів графа щодо  $v_x$  та  $v_y$  дорівнює  $2\eta$ , де  $\eta = m_{D-2}$ .

На рис. 1 представлений граф ІКС із  $m_D = 7$ , на якому задана ІКС виду  $v_{x=1}$  та  $v_{y=4}$ .



**Рис. 1.** Граф елементарної структури ІКС (Fig. 1. Graph of the elementary structure of PIC)

Припустимо, що вузли комутації в наведений ІКС безвідмовні  $p(v_i) = 1$ , а надійність ЛЗ визначається ймовірністю передачі інформації (справного стану)  $p(l_i) = 1 - q(l_i)$ .

У цьому випадку граф матиме  $m_L = 5$  елементів, а число всіх можливих станів графа дорівнюватиме  $2^5 = 32$ , (табл. 1).

Таблиця 1 – Конституенти щодо елементів

№	Конституенти щодо елементів					$E_{1,4}$	$\bar{E}_{1,4}$
	$l_5$	$l_6$	$l_7$	$l_8$	$l_9$		
1	0	0	0	0	0		+
2	0	0	0	0	1		+
3	0	0	0	1	0		+
4	0	0	0	1	1		+
5	0	0	1	0	0		+
6	0	0	1	0	1		+
7	0	0	1	1	0		+
8	0	0	1	1	1		+
9	0	1	0	0	0		+
10	0	1	0	0	1	+	
11	0	1	0	1	0		+
12	0	1	0	1	1	+	
13	0	1	1	0	0		+
14	0	1	1	0	1	+	
15	0	1	1	1	0	+	
16	0	1	1	1	1	+	
17	1	0	0	0	0		+
18	1	0	0	0	1		+
19	1	0	0	1	0	+	
20	1	0	0	1	1	+	
21	1	0	1	0	0		+
22	1	0	1	0	1	+	
23	1	0	1	1	0	+	
24	1	0	1	1	1	+	
25	1	1	0	0	0		+
26	1	1	0	0	1	+	
27	1	1	0	1	0	+	
28	1	1	0	1	1	+	
29	1	1	1	0	0		+
30	1	1	1	0	1	+	
31	1	1	1	1	0	+	
32	1	1	1	1	1	+	

**Визначення показника функціональної стійкості структури, наведеної на рис. 1.** Справному стану елемента відповідає значення булевої змінної 1, а несправному – 0. Символом «+» відзначені конституенти (тобто стану елементів графа), що відповідають подіям зв'язності та незв'язності.

Неважко бачити, що події зв'язності  $E_{x,y}$  відповідає 16 станів, а незв'язності  $\bar{E}_{x,y}$ , також 16. Логічний добуток булевих змінних елементів графа є конституентою. Сума конституент є досконалою нормальною диз'юнктивною формою (ДНДФ) логічних висловлювань про стани елементів графа. Множина конституент позначається символом  $K_{x,y} = \{k_i\}$ , її потужність – символом  $m_K$ . Якщо замінити у конституентах  $i$ -ю булеву змінну, рівну 1 чи 0, на  $p_i$  чи  $q_i$  відповідно, використовуючи частину ДНДФ, що позначається символом  $K_{x,y}$ , конституенти якої відповідають події  $E_{x,y}$ , можна обчислити точне значення ймовірності зв'язності  $v_x$  і  $v_y$ , а використовуючи частину, що позначається  $\bar{K}_{x,y}$ , – точне значення ймовірності незв'язності цих же вершин.

Надалі умовимося замість значень  $i$ -ї булевої змінної 1 та 0 використовувати символ самого  $i$ -го елемента відповідно як  $d_i$  (або  $\bar{d}_i$ ) і  $\bar{d}_i$ .

За наявності пронумерованого графа для цієї ж мети використовується і номер  $i$ -го елемента, тобто  $i$  (чи  $\bar{i}$ ) та  $i$ . Наприклад, конституента 4 з табл. 1 може бути записана у вигляді:

$$k_4 = \{ \bar{5} \cdot \bar{6} \cdot \bar{7} \cdot 8 \cdot 9 \}.$$

Значення ймовірності цієї конституенти:

$$P(k_4) = q_5 \cdot q_6 \cdot q_7 \cdot p_8 \cdot p_9.$$

Неважко бачити, що будь-яка конституента з підмножини  $K_{x,y} = \{k_i\}$  містить у собі хоча б один ПЛ, а з підмножини  $\bar{K}_{x,y} = \{\bar{k}_i\}$  хоча б одне ПСМ.

Наприклад, в табл.1,  $k_{10}$  містить ПЦ виду  $\mu_i = \{6, 9\}$ , а  $k_{11}$  – ПСМ виду  $s_i = \{5, 7, 9\}$ .

Визначити значення ймовірності зв'язності можливо таким чином :

$$P_{x,y} = \sum_{i,k_i \in K_{x,y}} \prod_{j=1}^n r_j, \quad r_j = \begin{cases} p_j, & \text{при } k_{ij} = 1; \\ q_j, & \text{при } k_{ij} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Аналогічним чином можна обчислити значення  $\bar{P}_{x,y}$ , підсумовуючи конституенти, що належать безлічі  $\bar{K}_{x,y}$ .

Для спрощення обчислень можна скористатися методами мінімізації СДНФ, у яких отримуємо суму склених конституент.

Застосовуючи (9) для СДНФ у табл. 1, з урахуванням  $p_i = p$ ,  $q_i = q$ , після перетворень отримуємо:

$$P_{1,4} = p^2(1+q^2) + 2p^3(q+q^2). \quad (10)$$

До особливостей описаного методу визначення показника функціональної стійкості слід зарахувати:

– метод не має аналітичного рішення в квадратах і досить складно алгоритмізується, не дивлячись на його простоту;

– обчислювальна складність алгоритму  $O(2^n)$ , що дозволяє віднести його до класу неполіноміальних завдань;

– метод прийнятний для аналітичних розрахунків простих структур, а також для підтвердження достовірності рішень, одержаних іншими методами.

Таким чином, математичний апарат, розглянутий в даній роботі, необхідно використовувати для оцінки функціональної стійкості структури мережі 5G, побудованої для підприємства. В разі недостатнього рівня даного показника, необхідно використовувати різні види надмірності: функціональної, алгоритмічної, технічної (апаратної та програмної), топологічної – та організація її у вигляді дублюючих чи мажоритарних структур із голосуванням.

## Висновки

Було розроблено 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.

Розроблений метод 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.

## REFERENCES

- Smirnova, T.V., Solovykh, Je.K., Smirnov, O.A. & Drjejev, O.M. (2019), "Pobudova khmarnykh informacijnykh tekhnologhij optymizaciji tekhnologhichnogho procesu vidnovlennja ta zmicennja poverkhonj detalej [Construction of cloud information technologies to optimize the technological process of restoration and strengthening of surface surfaces]", *Centralnoukrajins'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky*, No. 1(32), pp. 184-194.
- Smirnova, T.V., Smirnov, S.A., Mynajlenko, R.M., Dorens'kyj, O.P. & Sysojenko, S.V. (2020), "Khmarna avtomatyzovana systema intelektual'noji pidtrymky pryjnattja rishenj dlja tekhnologhichnykh procesiv». [Cloud automated system of intelligent decision support for technological processes]", *Visnyk Cherkas'kogo derzhavnogho tekhnologhichnogho universytetu. Tekhnichni nauky*. No. 4, pp. 84-92.
- Smirnova, T.V., Stoljarenko, M.P., Jankov, M.O., Ghrudik, V.V., Motorin & Ju.Ju (2021), "Modelj realizaciji struktury tekhnologhichnogho procesu u khmarnomu servisi». [Model of realization of structure of technological process in cloud service]", *Zbirnyk naukovykh pracj Kharkivskogho nacional'nogho universytetu Povitrynykh Syl*, No. 4(70), pp. 132-142.
- Davydov A.V., Kuklin V.V. & Khaidarov K.A. (2021), *Methods for evaluating the effectiveness of information networks*, available at: <http://bourabai.ru/telecom/nets21.htm>
- (2022), AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics, 2015 Semtech Corporation.
- (2015), LoRaWAN™ Specification, N.Sornin (Semtech), M.Luis (Semtech), T.Eirich (IBM), T.Kramp (IBM), O.Hersent (Actility), V1.0, 2015 January.
- Standards (2011), *IEEE 802.15.4-2011 – IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*, DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.6012487>
- (2022), *IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4zEnhanced Impulse Radio*, available at: <https://www.ieee802.org/15/pub/TG4z.html>
- Ram Krishan (2019), "Wi-Fi 6 Technology-A Review", *International Journal of Modern Electronics and Communication Engineering* (IJMECE), Vol. 7, Issue 4, July 2019, pp. 11-13.
- (2022), *Intel Communities*, available at: <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/gaming/resources/wifi-6.html>
- ITU (2020), *ITU towards "IMT for 2020 and beyond" – IMT-2020 standards for 5G*, available at: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>
- Cisco public (2021), *Reimagining the End-to-End Mobile Network in the 5G Era*, White paper, available at: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/cloud-systems-management/elastic-services-controller-esc/reimagining-mobile-network-white-paper.pdf>
- Stelmakh, S. (2022), *How to configure an edge data center*, available at: <https://www.itweek.ru/iot/article/detail.php?ID = 216820>
- Khoroshevskij, V.Gh. (1987), *Ynzhenernyj analiz funkcyonirovaniya vuchyslytelnykh mashyn y system [Engineering analysis of the operation of computers and systems]*, Radio y svjaz, Moscow, 156 p.
- Barabash, O.V. & Mashkov, O.A. (2004), "Vyznachennja kryterijiv i zapasu funkcional'noji stijkosti rozpodilenoji informacijnoji systemy [Determining the criteria and margin of functional stability of a distributed information system]", *Aktual'ni problemy stvorennja i zastosuvannja aviacijnykh ta kosmichnykh system: Zbirnyk naukovykh pracj NAOU, NAOU*, Kyiv, pp. 62 – 65.
- Barabash, O.V. (2004), "Zabezpechennja funkcional'noji stijkosti rozpodilenoji informacijnoji kosmichnoji systemy [Ensuring the functional stability of a distributed space information system]", *Systemy obrobky informacii*, Is. 1, KhVU, Kharkiv, pp. 3 – 12.
- Fylyn, B.P. (1988), *Metody analiza strukturnoj nadezhnosti setej svjazy [Methods of analysis of structural reliability of communication networks]*, Radio y svjaz, Moscow, 204 p.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Смірнова Т.В., Солових Є.К., Смірнов О.А., Дреєв О.М. Побудова хмарних інформаційних технологій оптимізації технологічного процесу відновлення та зміцнення поверхонь деталей. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2019, № 1(32). С. 184-194.
- 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.
- 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.
- Давыдов А.В., Куклин В.В., Хайдаров К.А. Методы оценки эффективности информационных сетей. 2021. URL: <http://bourabai.ru/telecom/nets21.htm>
- AN1200.22 LoRa™ Modulation Basics, 2015 Semtech Corporation/
- LoRaWAN™ Specification, N.Sornin (Semtech), M.Luis (Semtech), T.Eirich (IBM), T.Kramp (IBM), O.Hersent (Actility), V1.0, 2015 January.
- IEEE 802.15.4-2011 – IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs): Standards, 2011, DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2011.6012487>

8. IEEE 802.15 WPAN™ Task Group 4zEnhanced Impulse Radio. 2022. URL: <https://www.ieee802.org/15/pub/TG4z.html>
9. Ram Krishan. Wi-Fi 6 Technology-A Review. International Journal of Modern Electronics and Communication Engineering (IJMECE), Vol. 7, Issue 4, July 2019. Н. 11-13.
10. Intel Communities, 2022, URL: <https://www.intel.ru/content/www/ru/ru/gaming/resources/wifi-6.html>
11. ITU towards “IMT for 2020 and beyond” – IMT-2020 standards for 5G. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2020/Pages/default.aspx>
12. Reimagining the End-to-End Mobile Network in the 5G Era. White paper, Cisco public, 16 p., URL: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/products/collateral/cloud-systems-management/elastic-services-controller-esc/reimagining-mobile-network-white-paper.pdf>
13. Стельмах, С. (2022). Как сконфигурировать периферийный ЦОД. 2022, URL: <https://www.itweek.ru/iot/article/detail.php?ID = 216820>
14. Хорошевский В.Г. Инженерный анализ функционирования вычислительных машин и систем. М.: Радио и связь, 1987. 156 с.
15. Барабаш О.В., Машков О.А. Визначення критеріїв і запасу функціональної стійкості розподіленої інформаційної системи. Матеріали науково-практичної конференції «Актуальні проблеми створення і застосування авіаційних та космічних систем». К.: НАОУ, 2004. С. 62 – 65.
16. Барабаш О.В. Забезпечення функціональної стійкості розподіленої інформаційної космічної системи. Системи обробки інформації. Х.: ХВУ, 2004. Вип. 1. С. 3 – 12.
17. Филин Б. П. Методы анализа структурной надежности сетей связи. М.: Радио и связь, 1988. 204 с.

Received (Надійшла) 23.02.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.04.2022

#### ABOUT THE AUTHORS / ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Смірнова Тетяна Віталіївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення, Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна;  
**Tetiana Smirnova** – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of cybersecurity and software academic department, Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine;  
e-mail: [sm.tetyana@gmail.com](mailto:sm.tetyana@gmail.com); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6896-0612>

#### Method of ensuring the reliability of connecting nodes to the information and communication system of the enterprise based on 5G

Tetiana Smirnova

**Abstract.** The object of research is the process of building a cloud information and communication system for automation of production processes. The subject of the research is the method of ensuring the reliability of connection of nodes to the information and communication system of the enterprise on the basis of 5G. The purpose of this work is to increase the reliability of connecting nodes to the information and communication system of the enterprise based on 5G. to optimize production processes. As a result of the research, the concepts characterizing the reliability of distributed 5G information and communication networks were considered. The synthesis of functionally stable structure of the distributed information and communication network of 5G of the enterprise was formalized. The method of planning of 5G network for automation of production processes of the enterprise was developed. on the way of distribution taking into account restrictions on the minimum throughput, number of connections and reliability and construction of a communication transport segment with definition of an optimum location of cross premises. **Conclusions.** The developed method allows planning the optimal structure of the 5G cellular network to optimize production processes, evaluate and reduce the total cost of building the network, while providing the necessary indicators of service quality of network nodes and its reliability.

**Keywords:** reliability; information and communication system; 5G.

#### Метод обеспечения надежности подключения узлов к информационно-коммуникационной системе предприятия на базе 5G

Т. В. Смирнова

**Аннотация.** Объектом исследования является процесс построения облачной информационно-коммуникационной системы автоматизации производственных процессов. Предметом исследования является способ обеспечения надежности подключения узлов к информационно-коммуникационной системе компании на базе 5G. Целью данной работы является повышение надежности подключения узлов к информационно-коммуникационной системе предприятия на базе 5G. для оптимизации производственных действий. В результате исследования были рассмотрены понятия, характеризующие надежность распределенных информационно-коммуникационных сетей 5G. Также был разработан метод планирования сети 5G для автоматизации производственных процессов предприятия, заключающийся в последовательном обеспечении проектирования покрытия радиосети с определения местоположения каждой базовой станции с использованием оптимизированной модели оценки потерь мощности радиосигнала. на пути распространения с учетом ограничений по минимальной пропускной способности, количеству подключений и надежности и построению коммуникационного транспортного сегмента с определением оптимального месторасположения кроссовых помещений. **Выводы.** Разработанный метод позволяет планировать оптимальную структуру сотовой сети 5G для оптимизации производственных процессов, оценивать и уменьшать совокупные затраты на построение сети, при этом обеспечивая необходимые показатели качества обслуживания узлов сети и ее надежности.

**Ключевые слова:** надежность; информационно-коммуникационная система; 5G.