

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології та системи»  
(назва факультету)

Кафедра «Електронних обчислювальних машин»  
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка  
до кваліфікаційної роботи  
перший (Бакалавр)  
(ступінь вищої освіти)

До Діака  
21.06.22

на тему: Планування бездротової мережі з використанням мурашиного алгоритму

за освітньою програмою Комп'ютерна інженерія  
зі спеціальності: 123 Комп'ютерна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи: КС19120

  
(підпис студента)

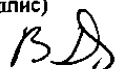
Максим САЛОГУБ  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

  
(підпис)

Доцент, Вікторія ПАХОМОВА  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

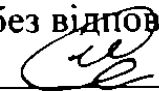
Нормоконтролер:

  
(підпис)

Ст. Викладач, Володимир ДЗЮБА  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

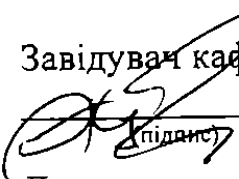
_____	_____	/	/
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	
_____	_____	/	/
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	
_____	_____	/	/
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	
_____	_____	/	/
(назва розділу)	(підпис)	(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)	

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.  
Студент 



Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем  
Кафедра: Електронних обчислювальних машин  
Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)  
Освітня програма: Комп'ютерна інженерія  
Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ЕОМ  
 Ігор Жуковицький  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)  
Дата \_\_\_\_\_

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу перший (бакалаврський)  
(ступінь вищої освіти)  
студенту Салогубу Максиму Володимировичу  
(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: Планування бездротової мережі з використанням мурашиного алгоритму

Керівник роботи: Пахомова Вікторія Миколаївна к.т.н., доц. каф. ЕОМ  
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від "07" 12. 2021 р. № 68 ст

2. Строк подання студентом роботи: 13.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Об'єкт для планування бездротової мережі - Український державний університет науки і технологій (ДНУЗТ та НМетАУ)

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: Огляд і аналіз предмету планування

4.2 Основна частина: Постановка задачі; Елітна стратегія мурашиного алгоритму як основний метод; Загальна характеристика створеної програми; Апробація моделі; Дослідження параметрів мурашиного алгоритму на створеній програмі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.06.2022 – 05.06.2022	5%
2	Огляд і аналіз предмету планування	11.04.2022 – 01.05.2022	20%
3	Постановка задачі	25.04.2022 – 01.05.2022	10%
4	Планування бездротової мережі УДУНТ	02.05.2022 – 15.05.2022	20%
5	Створення та тестування програми	25.04.2022 – 22.05.2022	20%
6	Дослідження на програмі та її використання	16.05.2022 – 30.05.2022	20%
7	Висновки	01.06.2022 – 10.06.2022	5%
8	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	13.06.2022	
9	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.06.2022	

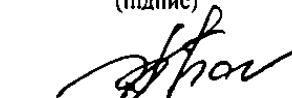
Студент

  
(підпис)

Максим САЛОГУБ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

  
(підпис)

Вікторія ПАХОМОВА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 69 с. 19 рис., 1 таб., 4 додатки, 15 джерел.

Об'єкт розробки – бездротова локальна мережа Українського державного університету науки та технологій (УДУНТ).

Мета роботи – планування бездротової мережі з використанням мурашиного алгоритму.

Методи дослідження – методика розгортання бездротової мережі, що орієнтована на максимальну зону покриття; елітна стратегія мурашиного алгоритму; використання стандартних програмних засобів JavaScript.

Створено програму в JavaScript «WLAN\_EliteAS» для планування бездротових локальних мереж УДУНТ (ДНУЗТ та НМетАУ) з використанням елітної стратегії мурашиної системи. Проведено дослідження на створеній програмі «WLAN\_EliteAS» параметрів мурашиного алгоритму: зрошення, випаровування, жадібності, ліності, кількості елітних мурах. Крім того, проведено дослідження впливу кількості точок сітки покриття на час роботи програми «WLAN\_EliteAS».

Рекомендовано при плануванні бездротової мережі УДУНТ топологію ESS та методику її розгортання, що орієнтується на максимальній зоні покриття. Визначені наступні параметри бездротової локальної мережі: 8 точок доступу для WLAN\_DNUZT; 10 точок доступу для WLAN\_NMetAU; Радіус сусідства та покриття – 50 м при наступних параметрах мурашиного алгоритму (кількість звичайних мурах – 211, кількість елітних мурах – 50, жадібність та ліність – 1, зрошення – 100, випаровування – 0,45), що отримані на створеній програмі «WLAN\_EliteAS».

Ключові слова: WLAN, ESS, МУРАШИНИЙ АЛГОРИТМ, ЕЛІТНА СТРАТЕГІЯ, JAVASCRIPT, СІТКА, ТОЧКА ДОСТУПУ, ФЕРОМОН, ЗРОШЕННЯ, ВИПАРОВУВАННЯ, ЖАДІБНІСТЬ, ЛІНІСТЬ.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ПРЕДМЕТУ ПЛАНУВАННЯ .....	8
1.1 Топології WLAN.....	8
1.1.1 Базові зони обслуговування .....	9
1.1.2 Незалежні базові зони обслуговування.....	9
1.1.3 Розширені зони обслуговування .....	10
1.2 Методики розгортання бездротових мереж.....	11
1.3 Модифікації мурашиного алгоритму та їх програмна реалізація .....	13
1.4 Основні висновки .....	15
2 ПЛАНУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ.....	17
2.1 Постановка задачі.....	17
2.2 Елітна стратегія як основний метод вирішення задачі.....	17
2.3 Загальна характеристика створеної програми «WLAN_EliteAS».....	21
2.3.1 Вихідні дані та обмеження .....	21
2.3.2 Структура програми .....	21
2.3.3 Програмні форми.....	24
2.4 Апробація створеної програмної моделі.....	27
2.5 Дослідження параметрів мурашиного алгоритму на основі програми ...	29
2.5.1 Дослідження параметрів зрошення та випаровування .....	29
2.5.2 Дослідження параметру жадібності .....	32
2.5.3 Дослідження параметру ліності .....	33
2.5.4 Дослідження кількості елітних мурах .....	34
2.5.5 Дослідження впливу кількості точок на час роботи програми.....	35

2.6 Основні висновки .....	36
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	38
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	39
ДОДАТОК А Постановка задачі. Блок-схеми	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
ДОДАТОК Б Текст програми .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
ДОДАТОК В Результати досліджень.....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>
ДОДАТОК Г Тези доповіді .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>

## ВСТУП

Хоча використання дротових мереж і розповсюджено, але доцільність використання такого способу організації мережі не завжди доцільно та економічно вигідно. Бездротові локальні мережі у порівнянні з дротовими мають свої переваги, серед яких можна виділити можливе заощадження на прокладанні кабелю, мобільність пристроїв-клієнтів у рамках зони дії мережі, сумісний доступ до мережевих ресурсів таких як принтери, простота під'єднання новітніх пристроїв, що підтверджує актуальність теми.

Мета кваліфікаційної роботи – планування локальної бездротової мережі з використанням мурашиного алгоритму. Відповідно до мети роботи поставлено наступні завдання:

1. Виконати огляд топологій бездротових локальних мереж (англ. Wireless Local Area Network, WLAN) та методик їх розгортання.
2. Виконати огляд модифікацій мурашиного алгоритму.
3. Створити програму для планування бездротової мережі УДУНТ (ДНУЗТ та НМетАУ) з використанням мурашиного алгоритму.
4. Дослідити параметри мурашиного алгоритму на основі розробленої програми.

Автором мурашиного алгоритму, відомого як Ant System (AS) є випускник Міланського технічного університету, вчений-італієць Марко Доріго (Dorigo M.), засновник галузі досліджень ройового інтелекту, що є активним науковцем в цій області і на 2022 рік. На сьогоднішній день існує багато модифікацій мурашиного алгоритму, зокрема: мурашина колонія (Ant Colony System, ACS), елітна мурашина система (Elitist Ant System, EliteAS), мурашина система Максимуму-Мінімуму (Min-Max Ant System, MMAS), ранжована мурашина система (Rank-based Ant System, ASrank) та інші. Науковці використовують мурашиний алгоритм для вирішення різноманітних класичних та нових задач у різних проблемних областях науки і техніки, таких як: біоінформатика (згортання білків, секвенування ДНК, вибір піків в ідентифікації біомаркерів, інгібіторний пептидний дизайн для взаємодії з білками), маршрутизація (задача

комівояжера, маршрутизація транспортних засобів, маршрутизації транспортних засобів із часовими вікнами), календарне планування (планування проекту, планування поточного цеху, планування робочих місць, планування проекту з обмеженими ресурсами), машинний інтелект (виявлення краю на зображенні, зв'язування країв, припущення пози тіла), наноелектроніка (розміщення КМОН підсилювача), тощо. У своїх роботах розвинули, розглянули та використали мурашиний алгоритм або його модифікації такі зарубіжні вчені: Appleby S., Bachem, A., Brandt A, Bullnheimer B, Di Caro G, Favaretto D, Glover F., Ibaraki T., Merkle D., Middendorf M., Moretti E, Pellegrini P., Reimann M, Socha K, Strauss C., Tsutsui S., Yagiura M. and others; вітчизняні вчені та вчені країн близького зарубіжжя: Глушко С.І., Кирсанов В.Н., Павлеко А.І., Пахомова В.М, Титов Ю.П., Цветков В.А., Ширяєв П.Р., Штовба С.Д та інші.[1]

Дана кваліфікаційна робота складається з вступу, двох розділів та висновків. У першому розділі розглянуто топології бездротових локальних мереж (WLAN) та методики їх розгортання, виконано огляд модифікацій мурашиного алгоритму. У другому розділі сформульована постановка задачі планування WLAN з використанням мурашиного алгоритму, складена на JavaScript «WLAN\_EliteAS» програма та виконано дослідження параметрів мурашиного алгоритму: кількість елітних мурах, ліність, жадібність, випаровування та зрошення. Визначено для WLAN оптимальні параметри: кількість точок доступу, радіус сусідства, радіус покриття.

Результати кваліфікаційної роботи подані у вигляді тез доповіді до Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих вчених, що відбулася в Українському державному університеті науки та технологій (УДУНТ) в 2022 році.

## 1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ПРЕДМЕТУ ПЛАНУВАННЯ

### 1.1 Топології WLAN

Відкритий стандарт IEEE 11.802, включає в себе опис технологій локальних мереж та мереж масштабу міста, зокрема і опис бездротових локальних мереж Wi-Fi у сімействі стандартів IEEE 802.11.

У якості каналу передачі даних у мережах Wi-Fi стандарту 802.11b, 802.11g та 802.11n-2.4 виступають несучі частоти – частоти спектру радіовипромінювання у межах 2.4–2.5 ГГц [2]. Для стандартів 802.11a, 802.11n та 802.11ac доступні додаткові частоти у межах від 4.915–5.825 ГГц ГГц, використання яких додатково регулюється законодавством України та інших країн.

Класичний діапазон 2.4 ГГц поділяється на 14 каналів по 5 МГц кожен, хоча вони і перекриваються. Тому за умови достатнього обладнання в одному робочому просторі можна забезпечити максимально 3 частоти що не перетинаються (рисунок 1.1)[3].

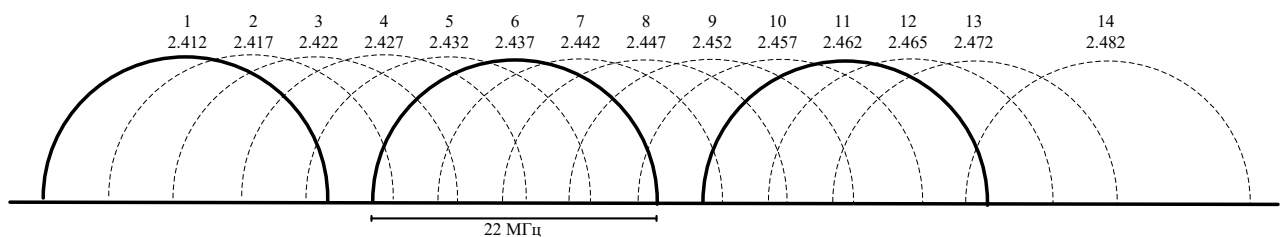


Рисунок 1.1 – Частоти вільного користування для мереж Wi-Fi

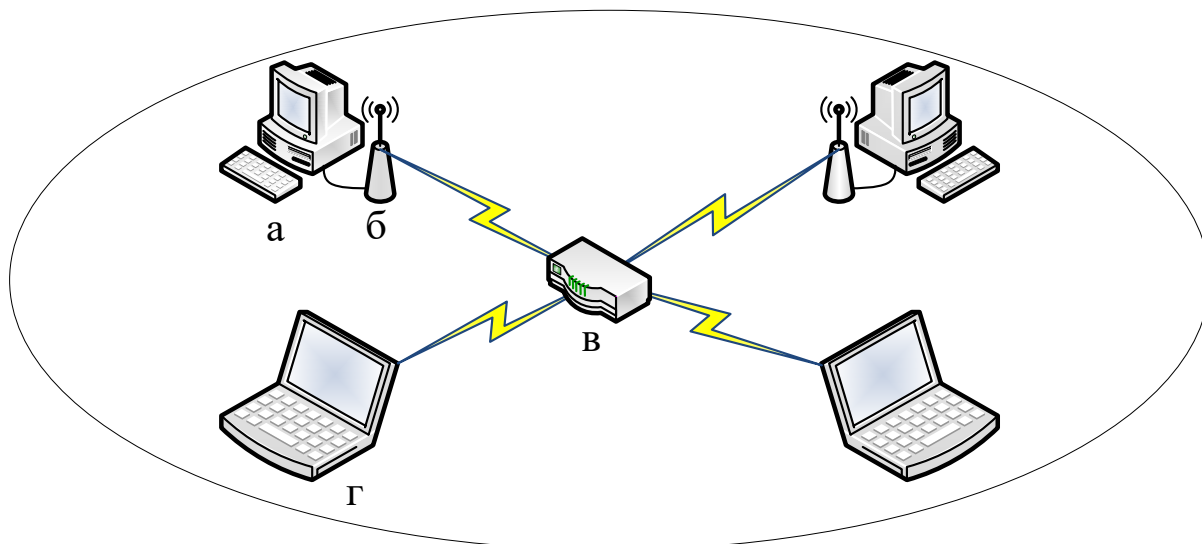
З опису стандартів можна виділити основні топології, що можна використовувати для планування мережі Wi-Fi, зокрема наступні:

- BSS – Basic Service Set;
- IBSS – Independent Basic Service Set;
- ESS – Extended Service Set.

### 1.1.1 Базові зони обслуговування

Базові зони обслуговування (англ. Basic Service Set, BSS) – це закрита група пристроїв. Її центральним елементом є бездротова точка доступу, яка обслуговує пристрої-клієнти (рисунок 1.2)[4,62-64].

Точки доступу зазвичай входять до складу таких пристроїв як Wi-Fi роутер, хоча й можуть бути представлені у вигляді окремих пристроїв. Клієнтами можуть бути будь-які пристрої що працюють за спорідненим з точкою доступу стандартом та протоколами, зокрема робочі станції (персональні комп'ютери та ноутбуки) з вбудованим чи зовнішнім адаптером або сучасні смартфони, налаштовані на ту саму несучу частоту.



(а) – робоча станція та її (б) – зовнішній адаптер; (в) – бездротова точка доступу; (г) – клієнт з вбудованим адаптером (ноутбук).

Рисунок 1.2 Топологія BSS та її елементи

### 1.1.2 Незалежні базові зони обслуговування

Незалежні базові зони обслуговування (англ. Independent Basic Service Set, IBSS) – це тип з'єднання, коли два або більше пристрої-клієнти з відповідними бездротовими адаптерами самостійно формують бездротову мережу, без використання точки доступу (рис 1.3)[4].

IBSS, або Ad-Hoc (укр. «зادля цього») використовується для розгортання мережі без підготовки мапи місця розгортання та додаткових планів. Тому, зазвичай, мережі такої топології мають невелику протяжність, малий розмір, достатню лише для передачі інформації за такої потреби у абонентів у нецентралізований (через відсутність точки доступу) спосіб.

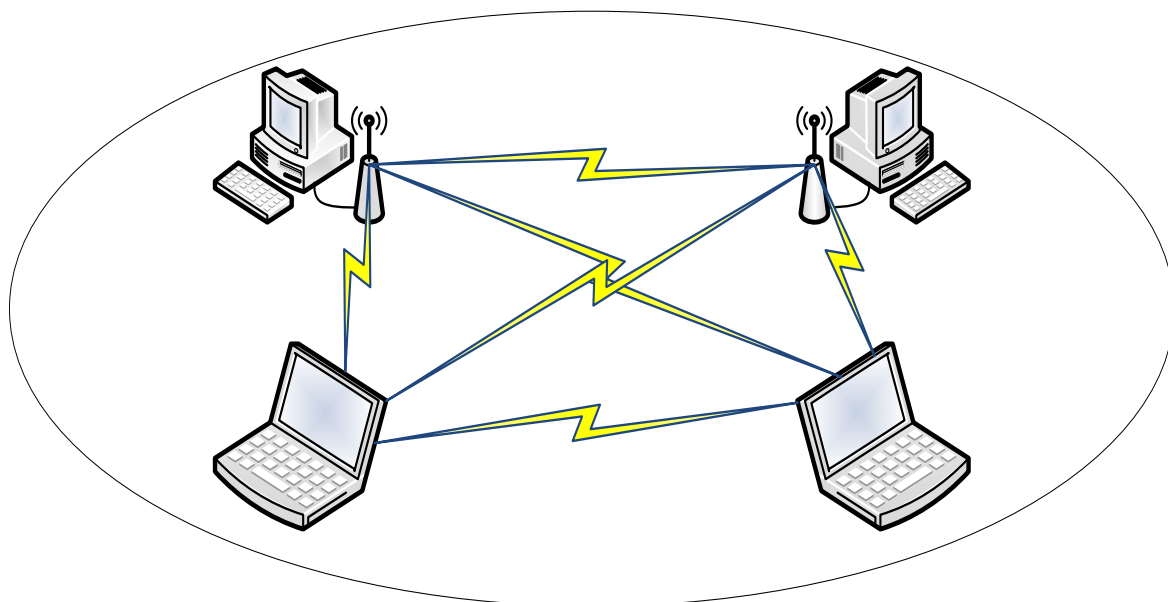


Рисунок 1.3 – Топологія IBSS

### 1.1.3 Розширені зони обслуговування

Розширені зони обслуговування (англ. Extended Service Set, ESS) – це декілька структур BSS, з'єднані через інтерфейси висхідного каналу до розподільної системи (рисунок 1.4)[3]. Специфікація стандарту IEEE 802.11 дозволяє реалізувати такий канал у вигляді дротового каналу технології Ethernet або бездротового каналу IEEE 802.11. Розподільна система може представляти собою як просто канал так і сітку додаткових пристроїв передачі у каналі. Така розподільна система може працювати як у режимі повторювача (англ. repeater) і ретранслювати увесь трафік, так і у режимі моста (англ. bridge).

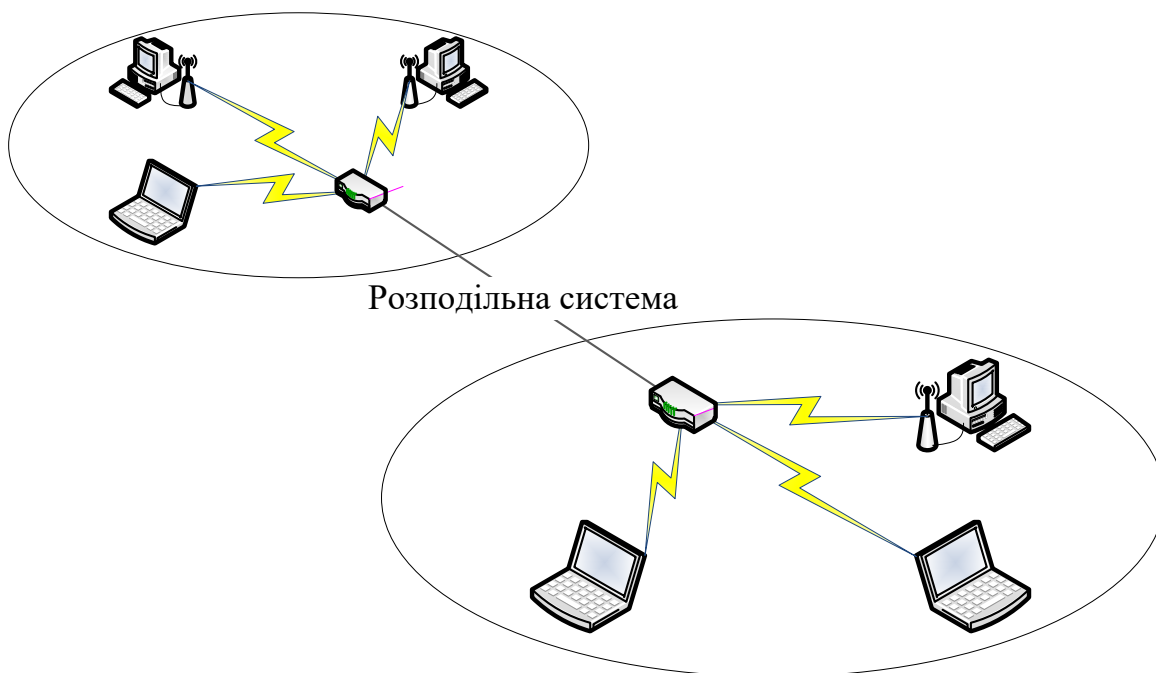


Рисунок 1.4 – Топологія ESS

## 1.2 Методики розгортання бездротових мереж

WLAN, щоорієнтовані на зону обслуговування, розробляють з урахуванням забезпечення максимального покриття за мінімально можливої кількості точок доступу, (рисунок 1.5). У типовій орієнтованій на зону обслуговування мережі забезпечується співвідношення кількості користувачів до числа точок доступу 25:1. [4]

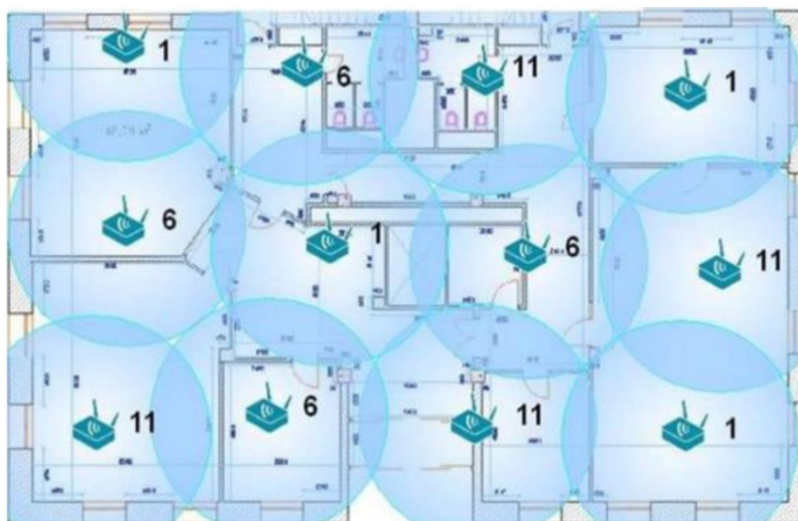


Рисунок 1.5 – WLAN, орієнтовані на зону обслуговування

Деякі типові особливості WLAN орієнтовані на максимальну зону обслуговування: застосування додатків пульсуючого типу з низькою швидкістю передачі пакетів, наприклад, такі, що формують запити до баз даних; потреби низьких вимог до смуги пропускання, завдяки чому швидкість передачі даних може бути зменшена до мінімальних значень 1 і 2 Мбіт/с; забезпечення легкості супроводу, оскільки персонал обслуговування WLAN невеликий. У мережах, орієнтованих на зону обслуговування, типові програми мають низьку швидкість передачі пакетів і пред'являють низькі вимоги до смуги пропускання. Такий підхід дозволяє відразу багатьом користувачам звертатися до послуг WLAN за збереження останніми достатніх характеристик. Такі варіанти звичні для невеликих або середніх філій фірм, коли WLAN обирають як альтернативу провідній Ethernet. Прості в розгортанні WLAN забезпечують основні сполучення в локальній мережі, необхідні для спільного використання файлів і принтерів. Кожна точка доступу WLAN обслуговує приблизно 25–30 користувачів[4].

Бездротові LAN, що орієнтовані на високу пропускну здатність (рисунок 1.6), повинні забезпечувати максимальну продуктивність і швидкість передачі пакетів для кожного клієнта BSS[4].

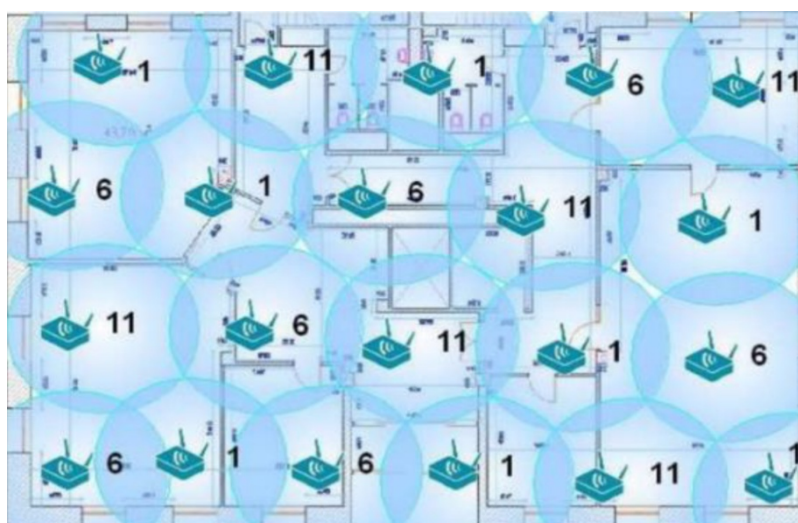


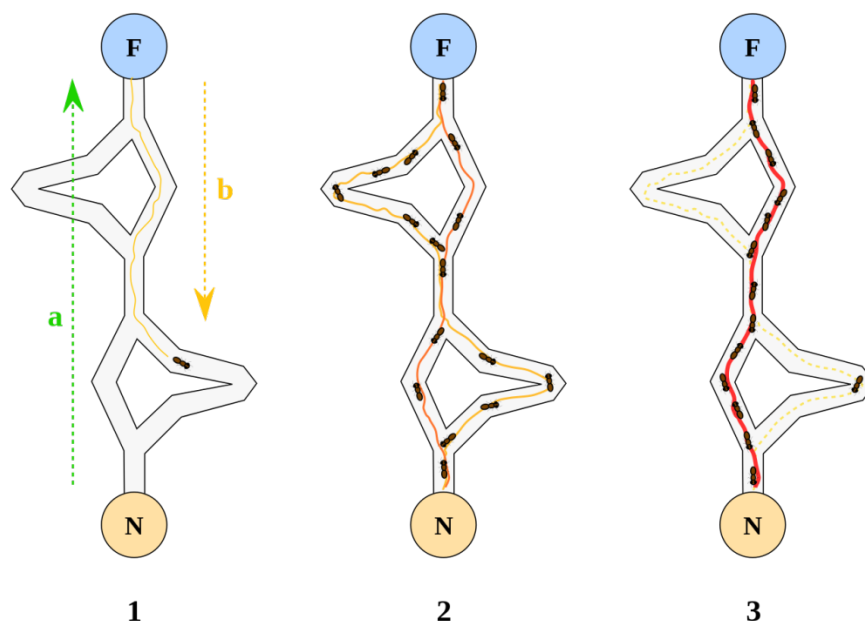
Рисунок 1.6 – WLAN, що орієнтовані на максимальну пропускну здатність

Розміри стільників орієнтованої на пропускну здатність WLAN менш, ніж для WLAN, що орієнтовані на максимальну зону обслуговування, відповідно щільність розміщення точок доступу вища. Орієнтовані на високу пропускну здатність WLAN необхідні у випадках, коли: використовують додатки, які вимагають високої швидкості передачі пакетів; використовують додатки, чутливі до затримок; розгортають підмережі менших масштабів (або декілька підмереж в одній зоні обслуговування); спостерігається висока щільність розміщення користувачів. У таких мережах кількість точок доступу в кілька разів перевищує число таких точок для WLAN, що орієнтовані на зону обслуговування. Зона обслуговування кожної точки доступу набагато менш, ніж під час побудови мережі, орієнтованої на максимальну зону обслуговування. Кожна точка доступу обслуговує близько 12 користувачів[4].

### **1.3 Модифікації мурашиного алгоритму та їх програмна реалізація**

Запропонований Марко Доріго у дисертації виданій у 1992 мурашиний алгоритм (AS, Ant System) набув розповсюдження та розвитку у вигляді сімейства мурашиних алгоритмів.

Основою алгоритму є соціальна поведінка мурашок під час пошуку їжі. Так мураха рухається випадковим чином і коли знаходить їжу повертається до колонії, прокладаючи за собою слід з феромону. Якщо інші мурахи знаходять такий слід то найімовірніше що вони прокладуть свій шлях саме за ним, підкріплюючи власним феромоном при поверненні. Феромон з часом випаровується, тож чим довший шлях від джерела їжі до колонії тим швидше феромонний слід такого шляху буде витончуватись. Більш короткий шлях же буде підкріплюватися більшою кількістю феромону (рисунок 1.5)[5].



- 1 – Перший мураха прямує до джерела їжі, обираючи шлях випадковим чином;
- 2 – Після проходження мурахами одного з чотирьох шляхів він збагачується феромоном;
- 3 – Найкоротший шлях є шляхом що найбільш насичений феромоном і більшість мурах обирають саме його.

Рисунок 1.5 – Ілюстрація поведінки мурашок з колонії F під час пошуку шляху до джерела їжі N

Завдяки процесу випаровування феромону система захищена від знаходження лише локально-оптимальних рішень. Багаторазове повторення алгоритму для однієї і тої самої задачі наближує рішення до оптимального, адже алгоритм має стохастичну (не детерміновану, випадкову) природу. Для вирішення задачі методом мурашиного алгоритму слід звести умови задачі до зваженого графу. Для підвищення ефективності алгоритму мурашки розміщуються на різних вершинах.

Серед популярних модифікацій мурашиного алгоритму вирізняють наступні:

1. Елітну мурашину систему (EliteAS, Elitist Ant System). На додаток до «звичайних» мурах використовується також певна кількість «елітних» мурах, які завжди обирають найкращий маршрут ітерації та додатково насичують його феромоном. Тобто найбільш насичений маршрут ітерації поповнюється додатковою кількістю феромону[6 С. 6,7][7][10].

2. Мурашину система Максимуму-Мінімуму (MMAS, Min-Max Ant System). Алгоритм контролює максимальну та мінімальну кількість феромону у інтервалі  $[F_{\max}, F_{\min}]$ . Початкова кількість на всіх ребрах графу дорівнює  $F_{\max}$ . Феромон оновлюється лише на найкращому шляху. Для попередження стагнації алгоритму (виродження всіх шляхів крім локального оптимуму) феромон оновлюється до значення  $F_{\max}$  коли його значення наближається до  $F_{\min}$ [6].

3. Ранжована мурашина система (ASrank, Rank-based Ant System). Рішенням присуджуються ранги в залежності від їх довжини. Оновлення феромону відбувається лише на декількох найкращих знайдених шляхах[6 С.7,8].

Мурашиний алгоритм використовують для вирішення складних комплексних завдань оптимізації, зокрема: календарного планування, маршрутизації транспорту, розподілу ресурсів та робіт, тощо[8][10].

Завдяки точній математичній моделі алгоритм хоч і не є детермінованим, але піддається ефективному моделюванню та впровадженню у різноманітних прикладних системах або за використання мов програмування, зокрема таких як Python, Pascal, C++, JavaScript[7][8][9].

#### **1.4 Основні висновки**

1. Огляд наукових джерел показав, що існують наступні топології WLAN: ESS, BSS , IBSS. Для подальшого виконання кваліфікаційної роботи обрано ESS, оскільки вона допускає включення розподільної системи на вже існуючому прокладеному кабелі та додавання до своєї структури вже існуючих бездротових пристроїв (напр. вже встановлених роутерів Wi-Fi).

2. На сучасному етапі уснують наступні методики розгортання WLAN: WLAN, що орієнтовані на зону покриття та WLAN, орієнтовані на максимальну зону обслуговування. Для подальшого виконання кваліфікаційної роботи обрано методику яка орієнтована на максимальну зону покриття, оскільки щільність пристроїв на території хоча і може бути високою, але за умови

невеликої кількості обслуговуючого персоналу це дозволить спростити її обслуговування та витрати на обладнання що потрібне для розгортання мережі.

3. На сьогодні існує серія модифікацій мурашиного алгоритму: елітна мурашина система, мурашина система максимуму-мінімуму, ранжована мурашина система. Для подальшого виконання кваліфікаційної роботи обрано елітну мурашину систему завдяки можливості зменшення кількості ітерацій.

4. На сучасному етапі для програмної реалізації модифікацій мурашиного алгоритму можливі використання: Python, Pascal, C++, JavaScript та інші. Для подальшого виконання кваліфікаційної роботи обрано JavaScript завдяки можливості безпосередньої роботи з кодом з будь-якого браузера, а також доступного представлення результатів у вигляді HTML сторінки, вбудовані елементи якої можна використовувати для графічного представлення рішень та роботи алгоритму. Однією з причин також став фактор загальної доступності готового додатку як на ЕОМ так і на планшетних пристроях та смартфонах.

## **2 ПЛАНУВАННЯ БЕЗДРОТОВОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ**

### **2.1 Постановка задачі**

Метою даної кваліфікаційної роботи є планування бездротової мережі (WAN) для будівель та території Українського державного університету науки і технологій (об'єднаних територій ДНУЗТ та НМетАУ).

Під плануванням мережі мається на увазі: визначення топології мережі; визначення несучих частот; визначення розташування точок доступу для повного покриття території будівель (див. додаток А).

Через значну територіальну віддаленість інститутів вирішено розділити мережу на два більші сегменти, зв'язок між якими може бути прокладено дротовим сегментом Gigabit Ethernet на оптичному волокні, для уникнення ефекту «горловини», за якого через недостатню швидкість дротового сегменту можливі втрати пакетів через переповнення буферів очікування.

### **2.2 Елітна стратегія як основний метод вирішення задачі**

Головною складовою планування є розташування точок доступу, таким чином щоб досягнути повного покриття території будівель. Для її вирішення доцільно використовувати елітну стратегію мурашиного алгоритму. У рамках мурашиного алгоритму задача має зводитися до знаходження найкоротшого шляху на зваженому неорієнтованому графі. Таким чином, слід звести розташування точок доступу до задачі на графі. Для цього доцільно виконати або вибір бажаних точок покриття, або згенерувати деяку сітку. Оптимальною буде генерація такої сітки, де мінімізується перетин однойменних радіочастот, адже як зазначено в першій частині даної роботи, повністю не дають поміх лише одна трійка частот в діапазоні 2.4 МГц. За умови використання стандартних антен з круговою зоною покриття такою формою є стільники (Рис 2.1)[13], що вже доволі давно використовують при проектуванні бездротових

мереж зв'язку. Синій, червоний та зелений колір позначають три різні робочі частоти, тобто канали зв'язку.

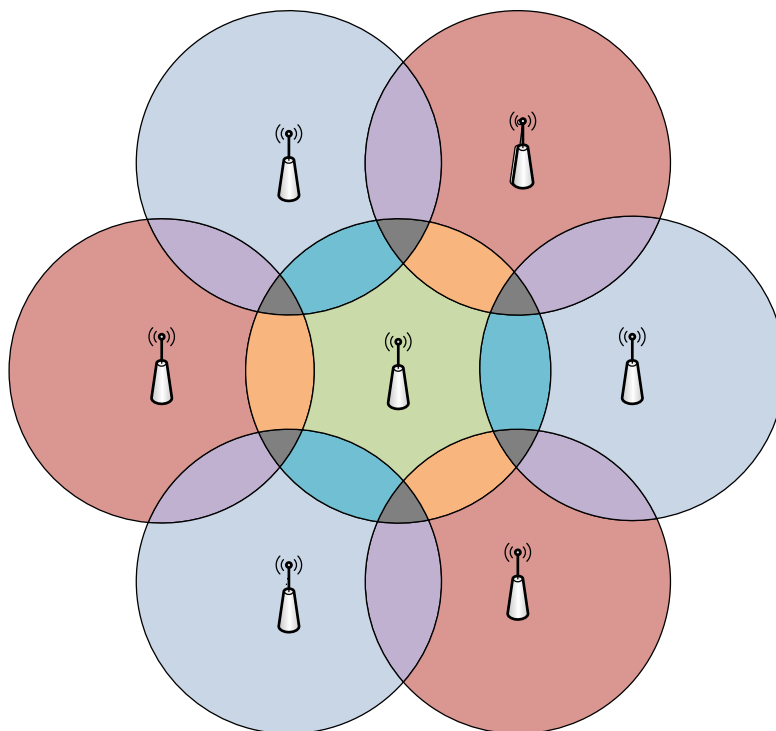


Рисунок 2.1 – Стільник як оптимальне розташування

На заданій або створеній множині точок вже можливе використання елітної стратегії мурашиного алгоритму. Далі розглянемо суть елітної стратегії для вирішення задачі розташування точок доступу. Дані взяті з робіт [5][8–12].

Нехай маємо деякий граф  $G(V, E)$ , де  $V$  – множина вершин графу, а  $E$  – множина ребер графу. На початку роботи алгоритму кожне ребро зрошується початковою кількістю феромону  $f_0$ . Після цього перший агент, т.зв. мураха, поміщається на одну з вершин графу і випадковим чином обирає наступну вершину, але ймовірність такого вибору залежить від параметрів алгоритму так довжини і кількості феромону на ребрі що веде до вершини. Обрана вершина додається до пройденого шляху агенту  $W$  та списку  $Taboo_K$  для запобігання повторного відвідування. У загальному випадку для  $k$ -го мурашки що знаходиться на вершині  $i \in V(G)$  ймовірність переходу  $P_{i,j}$  до вершини  $j \in V(G)$  можна знайти за формулою (2.1):

$$P_{i,j,k} = \begin{cases} \frac{f_{i,j}^\alpha l_{i,j}^\beta}{\sum_{n \in Taboo_K} (f_{i,n}^\alpha l_{i,n}^\beta)} & , \text{якщо } j \notin Taboo_K \\ 0 & , \text{якщо } j \in Taboo_K \end{cases}, \quad (2.1)$$

де  $f_{i,j}$  – кількість феромону на ребрі між вершинами  $i$  та  $j$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт жадібності алгоритму до феромону;

$l_{i,j}$  – величина зворотна довжині ребра між вершинами  $i$  та  $j$ ;

$\beta$  – коефіцієнт ліності алгоритму (сприйнятливості до величини  $l$ );

Агент завершує свою подорож коли він відвідав всі вершини, тобто  $Taboo_K = V(G)$ . Після цього виконується оновлення феромону, яке можна розділити на випаровування феромону та зрошення пройдених шляхів феромоном. На цьому етапі алгоритму також підключаються т.зв. елітні мурахи, які додатково зрошують найкращий знайдений шлях.

В загальній формі правило оновлення феромону на ребрі між точками  $i$  та  $j$   $f_{i,j}$  для елітної стратегії буде подано нижче як формули (2.2 – 2.4).

$$f_{i,j}(t + 1) = (1 - \rho) f_{i,j}(t) + \sum \Delta f_{i,j}^k + \Delta f_{i,j}^*, \quad (2.2)$$

де  $\rho$  – параметр випаровування від 0 до 1;

$f_{i,j}(t)$  – кількість феромону на ребрі між вершинами  $i$  та  $j$ ;

$\sum \Delta f_{i,j}^k$  – додатковий феромону мурах що обрали ребро між вершинами  $i$  та  $j$  як частину свого шляху. Метод розрахунку поданий у формулі (2.3);

$\Delta f_{i,j}^*$ , – додатковий феромон елітних мурах. Метод розрахунку поданий у формулі (2.4);

$$\Delta f_{i,j}^k = \begin{cases} Q/L(W)_k, & \text{якщо } (i,j) \text{ був у шляху } k\text{-го мурахи} \\ 0, & \text{якщо } (i,j) \text{ не був у шляху } k\text{-го мурахи} \end{cases}, \quad (2.3)$$

де  $Q$  – константа, параметр оновлення феромону;

$L_k$  – довжина шляху  $k$ -го мурахи;

$$\Delta f_{i,j}^* = \begin{cases} eQ/L_k, & \text{якщо } (i,j) \text{ належить до найкращого шляху} \\ 0, & \text{якщо } (i,j) \text{ не належить до найкращого шляху} \end{cases}, \quad (2.4)$$

де  $e$  – кількість елітних мурах;

Після закінчення оновлення феромону процес повторюється. Зображення мурашиного алгоритму можна знайти у Додатку А (рис А.2) адже специфіка модифікацій у більшій мірі сконцентрована у кроках оновлення феромону, як напр. в модифікації з елітними мурахами, або вибору шляху.

Модифікація базового алгоритму для специфічних умов задачі буде полягати у тому що для кожної вершини будуть визначатися сусіди, що покриваються її сигналом (рис 2.2). Так для деякого радіусу сусідства  $R$  сусідами точки 1 є точки 1, 2, 6, 7, 10, сусідами точки 8 є точки 2, 3, 4, 7, 8, 12, 13. При виборі вершини мурахою  $k$  її сусіди також потраплятимуть до  $Taboo_k$ .

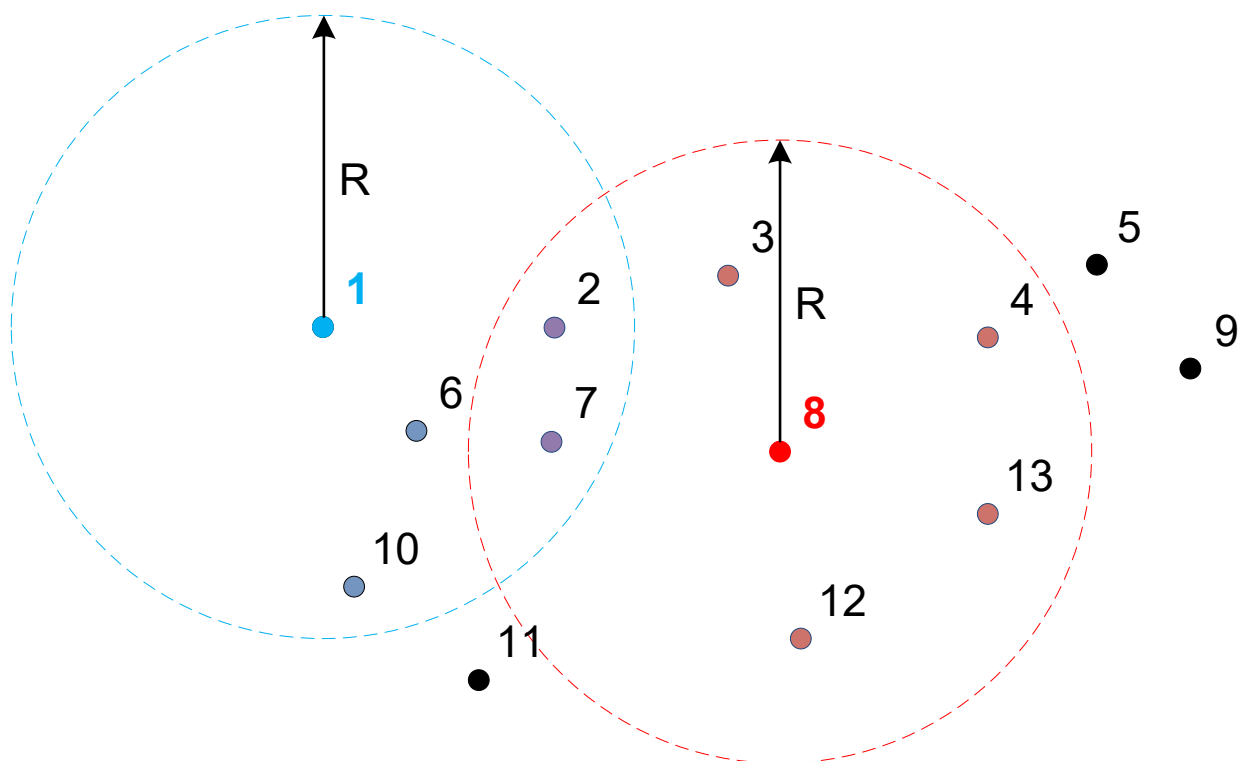


Рисунок 2.2 – Сусідство точок 1 та 8 за зон покриття радіусом  $R$

## **2.3 Загальна характеристика створеної програми «WLAN\_EliteAS»**

### **2.3.1 Вихідні дані та обмеження**

Вихідні дані до програми: Параметри мурашиного алгоритму кількість елітних та звичайних мурах, жадібність, ліність, зрошення та випаровування; параметри побудови WLAN: координати вакантних місць до покриття, радіус покриття (максимальній радіус пристрою), радіус сусідства.

Розроблена програма має наступне обмеження: для правильної роботи та відображення програми потрібен новітній браузер (Google Chrome, Mozilla Firefox та інші) з підтримкою HTML-5.

### **2.3.2 Структура програми**

Як видно з зображення структури програми (рисунок 2.3) основними структурними одиницями є функції мови JavaScript (надалі JS), які взаємодіють з елементами HTML-сторінки (Main.html) через інтерфейси прикладного програмування (ППП, або англ. API (Application Programming Interface)). Стили відображення елементів HTML-сторінки знаходяться у файлі таблиці стилів. Тексти цих файлів можна знайти у Додатку Б.

Програма використовує додаткову бібліотеку «Chance», що розповсюджується за ліцензією вільного програмного забезпечення MIT[14].

Головною функцією програми «WLAN\_EliteAS» є функція `main(code)`, що викликається однією з кнопок. В залежності від елемента-кнопки, що викликає цю функцію, значення `code` приймає 0 або 1. Функція зчитує, або, в рамках введеного багатокутника, генерує координати точок, що повинні бути покриті мережею, створює матрицю ребер повнозв'язного графу та визначає точки-сусіди. На основі введених/згенерованих точок та запускає у дію мурашиний алгоритм представлений функцією `EliteAS`. Одразу перед та після запуску моделі мурашиного алгоритму проводяться заміри часу, після завершення виводиться час роботи алгоритму. Після цього відбувається вивід результатів

на елемент `<canvas>`, текстом та вивід стану ребер графу таблицею. Програма повертається до прослуховування подій.

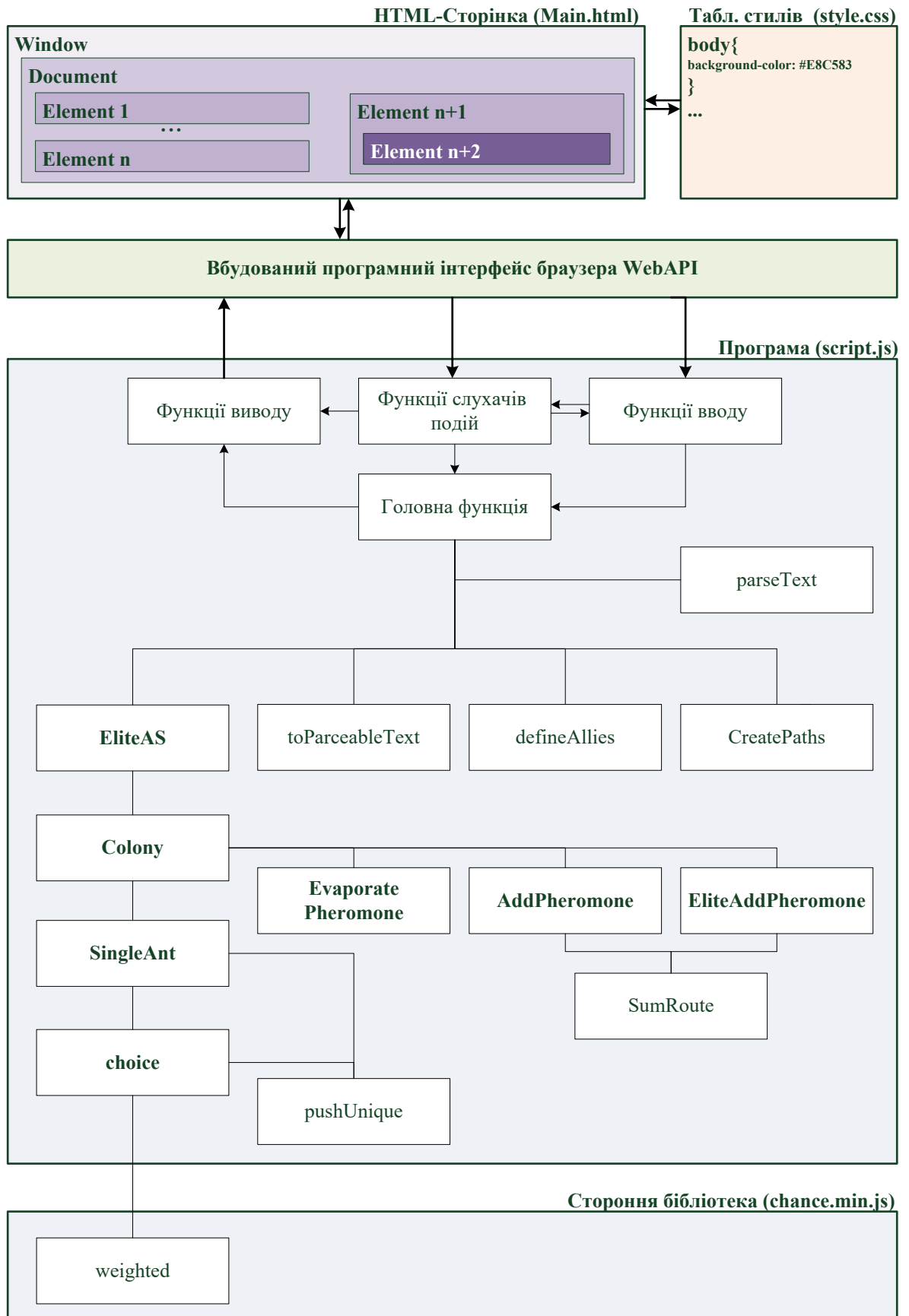


Рисунок 2.3 – Структура програми «WLAN\_EliteAS»

У рамках розробленої програми сама модель мурашиного алгоритму представлена набором функцією EliteAS та її дочірніми функціями, але слід зазначити що початкове зрошення відбувається у функції CreatePaths. Далі наведено перелік цих функцій, їх призначення, їх короткий опис.

1. EliteAS(iterations, points, pathMap, colonySize, elite, alpha, beta, rho, que) – основна функція мурашиного алгоритму. Передає параметри у дочірню функцію Colony, результати роботи дочірньої функції зберігає у формі масиву. Забезпечує повторну передачу модифікованої PathMapC(зберігає інформацію про ребра графу, кількість феромону та довжини) для реалізації зворотнього зв'язку між ітераціями. Повертає кінцевий масив PathMapC та масив рішень best.

2. Colony(points, pathMap, colonySize, eliteCount, alpha, beta, rho, que) – дочірня функція що виконує операції однієї ітерації мурашиного алгоритму. Формує стартову вершину для кожного мурахи. Передає параметри у дочірні функції: SingleAnt, EvaporatePheromone, AddPheromone, EliteAddPheromone. Повертає кінцевий масив PathMapD та найкраще рішення ітерації best.

3. SingleAnt(start\_point, points, pathMap, alpha, beta) – дочірня функція Colony що відповідає функціонуванню одного мурахи. Починаючи зі стартової точки функцією Choice генерується наступна обрана вершина та список табу що зберігається у масиві. Пошук шляху завершується коли довжина списку табу зрівнюється з параметром points тобто числом вершин. Taboo заповнюється функцією pushUnique. Single ant повертає лише знайдений шлях path.

4. Choice(points, curr\_point, path, pathMap, alpha, beta, taboo) – дочірня функція SingleAnt, що відповідає вибору мурахи на вершині графу curr\_point. На основі taboo формує список доступних для вибору вершин available. За правилом що описане у формулі (2.1) та функції weighted на основі масиву ймовірностей weights та масиву доступних вершин available обирається одна з вершин. Повертає номер обраної вершини ch та список табу taboo доповнений сусідами цієї вершини.

5. `EvaporatePheromone(points, pathMapD, rho)` – дочірня функція `Colony`. Методом послідовного перебору випаровує частину наявного феромону, реалізуючи частину правила оновлення феромону, формули (2.2), а саме  $(1 - \rho) f_{i,j}(t)$ . Повертає модифікований вхідний масив `pathMapD`.

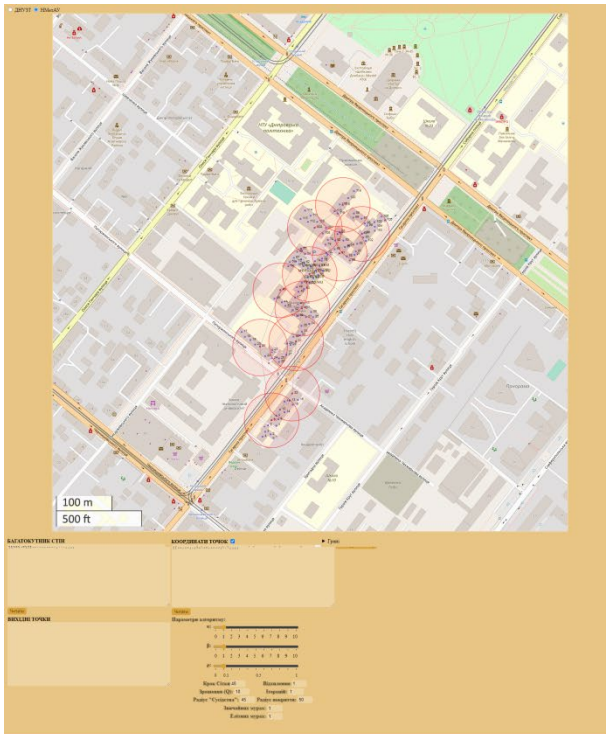
6. `AddPheromone(chosen, pathMapD, points, que)` – дочірня функція `Colony`. Вираховує параметри всього шляху, поточну кількість феромону. Зрошує кожне ребро яке є частиною шляху для кожного масиву шляхів `chosen`. Не повертає зрошений масив адже працює з ним за допомогою методу `splice`, що модифікує оригінальний масив `pathMapD`. Вираховує найкоротший з вибраних шляхів за допомогою порівняння результатів функції `SumRoute`. Повертає параметри найкоротшого шляху `best`.

7. `EliteAddPheromone(eliteCount, pathMapD, points, best, que)` – дочірня функція `Colony`. Додатково зрошує ребра найкоротшого знайденого шляху `best` та оновлює інформацію про нього за допомогою `SumRoute`. З масивом ребер працює методом `splice`. Повертає модифікований `best`.

### 2.3.3 Програмні форми

Обмін інформацією з користувачем відбувається у єдиному вікні інтерфейсу який можна схематично розбити на 4 зони (рисунок 2.4). Далі більш розглянемо призначення кожної зони вікна програми.

У першій зоні (червоній), розміщено два елементи – група `<radio>` для вибору мапи що буде відображатися, та елемент `<canvas>` який слугує для вводу (зчитування координат миші при кліках) та виводу графічної інформації. Кол користувач натискає мишею на елемент `<canvas>` координати курсора зчитуються або до масиву стін для генерації сітки або до масиву точок, вакантних для устанавлення бездротового обладнання та/чи потрібних до покриття. При перемиканні елементу `<radio>` ці масиви очищуються.



а



б

а – вікно програми; б – умовні зони вікна програми

Рисунок 2.4 – Головне вікно програми розділене на зони

У другій умовній зоні, розміщено 6 елементів вводу виводу (рисунок 2.5). Текстові поля `<textarea>`, підписані мітками `<label>`. Перше поле, підписане міткою «БАГАТОКУТНИК СТІН» дозволяє користувачу замість введення полігону стін у візуальному режимі, натискаючи мишею на `<canvas>`, ввести масив координат з клавіатури або виводить такий масив за умови вводу мишею. Координати вводяться/виводяться відносно верхнього лівого краю елементу `<canvas>` в кількості пікселей. Для підтвердження вводу слід натиснути кнопку читати одразу під полем вводу. Подібним чином працює поле вводу з міткою «КООРДИНАТИ ТОЧОК», за наступних відмінностей: ввід мишею на елементі `<canvas>` за умови активації сусіднього до мітки флажку. Кнопка запускає функцію `main` з кодом 2. Остання кнопка з підписом «Згенерувати Сітку» викликає функцію `main` з кодом 1, що генерує сітку відповідно до параметрів у зоні 3 та запускає мурашиний алгоритм.



Рисунок 2.5 – Елементи виводу-вводу другої умовної зони

У третій умовній зоні знаходиться текстове поле, яке заблоковано для редагування користувачем і служить для виводу текстових результатів роботи моделі мурашиного алгоритму. Підписом текстового поля служить мітка «РЕЗУЛЬТАТИ» (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Елементи виводу третьої умовної зони

У четвертій умовній зоні розташовано велика кількість елементів вводу з відповідними підписами, що відповідають за значення параметрів сітки та мурашиного алгоритму (рисунок 2.7). Кожен з параметрів доповнений елементом `<href>` до атрибутів якого занесено підказку для користувача. Усі елементи вводу – елементи `<input>` двох типів: `<range>` - інтерактивні повзунки, якими маніпулюють мишею та `<number>` - чисельний ввід з клавіатури.



Рисунок 2.6 – Елементи вводу четвертої умовної зони - параметри

## 2.4 Апробація створеної програмної моделі

На плані ДНУЗТ введемо полігон стін вручну, натискаючи на <canvas>. Для нього згенеруємо сітку з наступними параметрами: крок сітки – 20, відхилення – 0,7. Координати точок стін та згенерованої сітки вакантних місць для встановлення точок доступу виведено у текстові поля (рисунок 2.7).

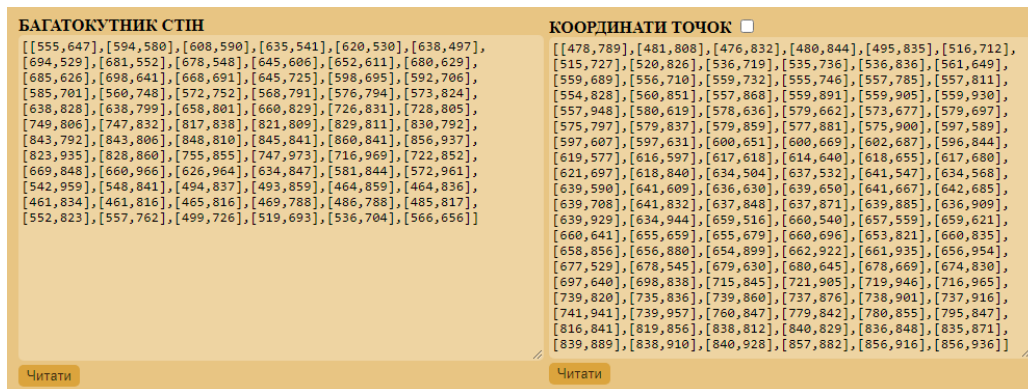


Рисунок 2.7 – Координати точок стін та згенерованої сітки для ДНУЗТ

Для параметрів мурашиного алгоритму вказаних раніше (див. рис. 2.6). було отримано наступні результати у графічному відображенні (рисунок 2.8) та у вигляді тексту по кожній ітерації (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Графічний результат роботи програми «WLAN\_EliteAS»:  
WLAN\_DNUZT

```

РЕЗУЛЬТАТИ
Робота алгоритму зайняла 6542 мс

ітерація 1
шлях 115,94,97,57,24,4,16,86,77,115
довжина 1682.81
феромон на шляху 60.926466996713046

ітерація 2
шлях 27,54,15,21,82,93,115,88,1,27
довжина 1469.65
феромон на шляху 23.882465022501655

ітерація 3
шлях 31,30,52,73,106,117,102,67,78,5,22,31
довжина 1369.68
феромон на шляху 15.833088504378702

ітерація 4
шлях 1,96,115,35,98,43,75,9,31,1
довжина 1579.2
феромон на шляху 8.423264546707829

```

Рисунок 2.9 – Текстові результати роботи програми: WLAN\_DNUZT

З аналогічними параметрами (див. рис. 2.6) алгоритму і введеним вручну через <canvas> вакантних точок для НМетАУ отримано наступні результати (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Графічний результат роботи програми : WLAN\_NMetAU

## 2.5 Дослідження параметрів мурашиного алгоритму на основі програми

### 2.5.1 Дослідження параметрів зрошення та випаровування

За однакових масштабів розглянемо використання програми для планування мережі та вплив параметрів на результати на прикладі будівель ДНУЗТ та НМетАУ. Для полігону стін головної будівлі ДНУЗТ згенеруємо сітку за параметрів: крок сітки – 14; відхилення – 0. Отримана сітка налічує 211 точок(вакантних місць). Для неї дослідимо вплив параметрів  $\rho$  що впливає на випаровування та  $Q$ , що визначає зрошення феромону за наступних значень інших параметрів: початкова кількість феромону – 20; жадібність – 1, ліність – 1, кількість звичайних мурах у колонії – 211 з розрахунку того що на кожній вершині почне свій шлях хоча-б один мураха; кількість елітних мурах у

колонії – 50; радіус сусідства та радіус покриття – 80 (50 м у масштабі мапи); Кількість ітерацій алгоритму – 50. Дані занесемо до таблиці (Додаток В). Результати представимо у вигляді трьох діаграм для  $Q = 10$  (рисунок 2.11),  $Q = 100$  (рисунок 2.12) та  $Q = 1000$  (рисунок 2.13).

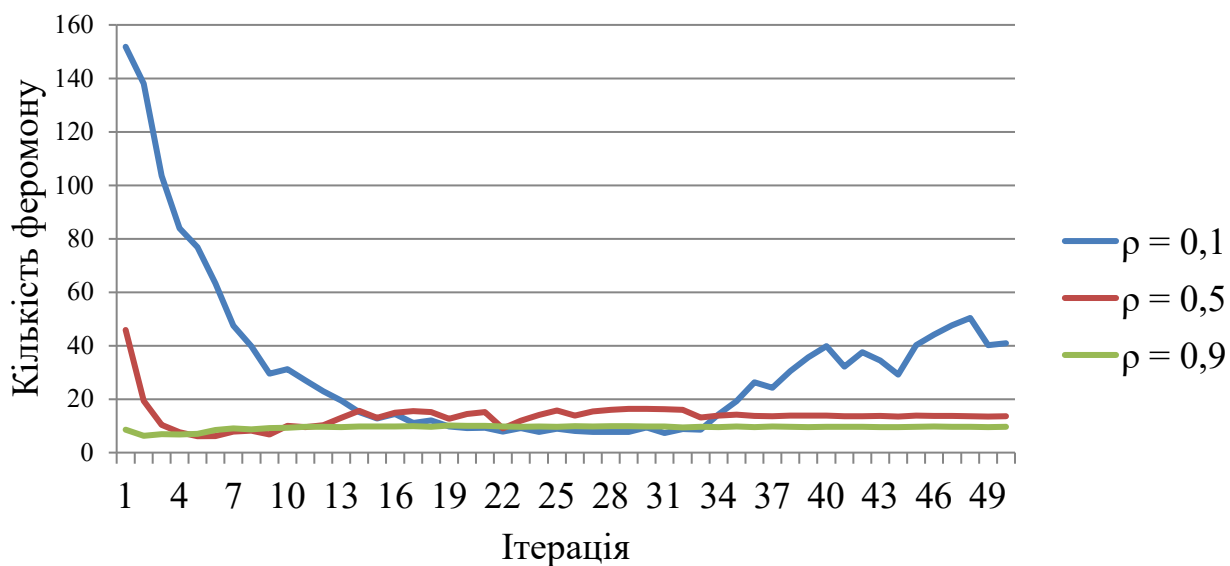


Рисунок 2.11 – Значення феромону за ітераціями при  $Q=10$

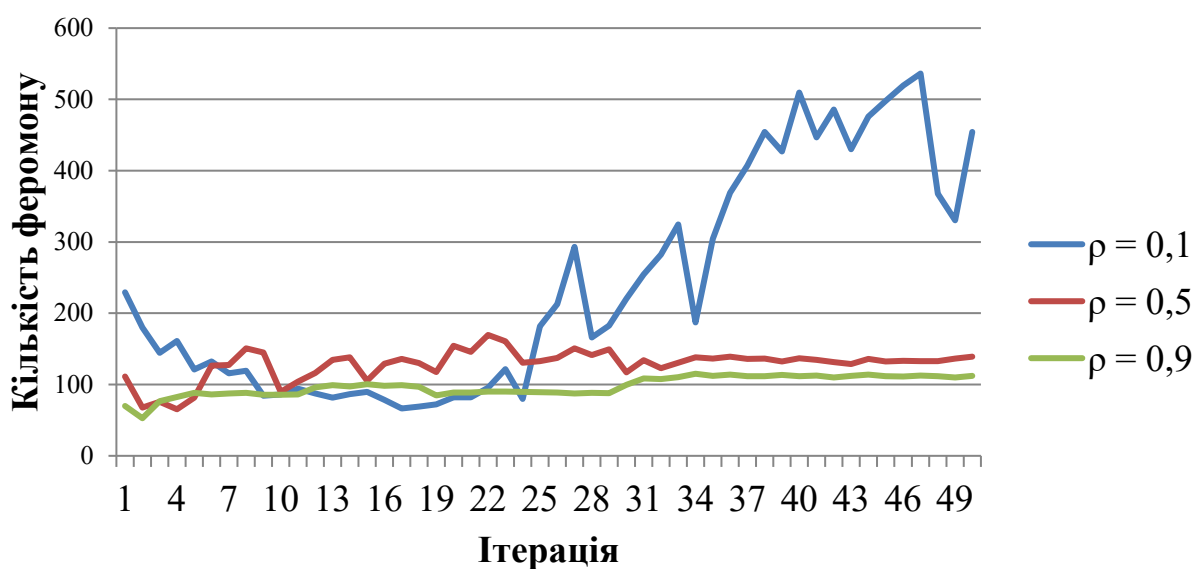


Рисунок 2.12 – Значення феромону за ітераціями при  $Q = 100$

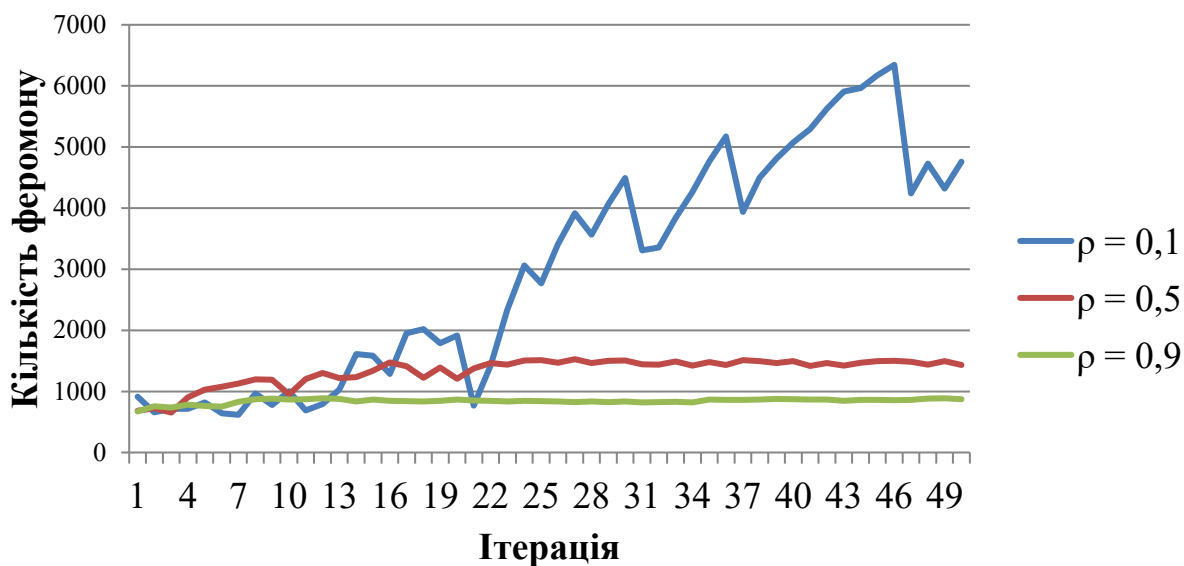


Рисунок 2.13 – Значення феромону при  $Q=1000$

Порівнявши отримані дані між собою, беручи до уваги формулу (2.2) можна прийти до висновку, що незалежно від значення  $Q$  при значенні  $\rho = 0.9$  втрачається 90 % феромону, що дає на графіках положу зелену лінію (див. рис 2.7 – 2.9), тобто феромон випаровується швидше ніж він встигає оновлюватися і грати свою роль у розрахунку за формулою (2.1).

При значенні  $\rho = 0.1$ , процес позначений синьою лінією (див. рис 2.11 – 2.13) ще цікавіший. Випаровується лише 10 % феромону через що на початкових ітераціях, коли мурашки обирають різнорідні шляхи графік кількість феромону спадає. Коли мурахи знаходять локальний оптимум, вони починають зрощувати лише його, завдяки чому кількість феромону на цьому шляху починає невинно зростати, блокуючи стохастичні (постійні) дані, якими виступає у нашому випадку довжина ребра графа, тобто фізична довжина між точками.

При значенні  $\rho = 0.5$  випаровується, очевидно, 50 % феромону. Як можна побачити з графіків кількість феромону червоної лінії (див. рис 2.11 – 2.13) хоча і тримається в околицях числа постійно змінюється, дозволяючи мурахам як обирати вже досліджені шляхи так і дозволяє обирати менш вигідні, але нові і потенційно коротші шляхи.

## 2.5.2 Дослідження параметру жадібності

Свою назву параметр  $\alpha$  здобув завдяки тому що впливає на вибір мурахи у сторону більш насиченого феромоном шляху. Для дослідження жадібності використаємо той самий набір параметрів що і в пункті 2.4.1, вилучивши значення  $\alpha$  та додавши значення  $Q = 1000$ ,  $\rho = 0.45$ . Дані занесемо до таблиці (Додаток В). Зведені результати показані на графіку (рисунок 2.14).

Проаналізувавши ці дані можна зробити висновок, що хоча й більші значення жадібності можуть пришвидшувати пошук меншого шляху алгоритмом, але для високих значень  $\alpha$  більш ймовірна ситуація коли алгоритм потрапляє у пастку локального оптимуму, як видно у  $\alpha = 5$  та  $\alpha = 10$  на графіку (див. Рисунок 2.10), а менші значення жадібності дозволяють хоча і згодом, виконавши більше число ітерацій, але прийти до більш глобально оптимальних результатів. Очевидно що при  $\alpha = 0$  феромон не враховується.

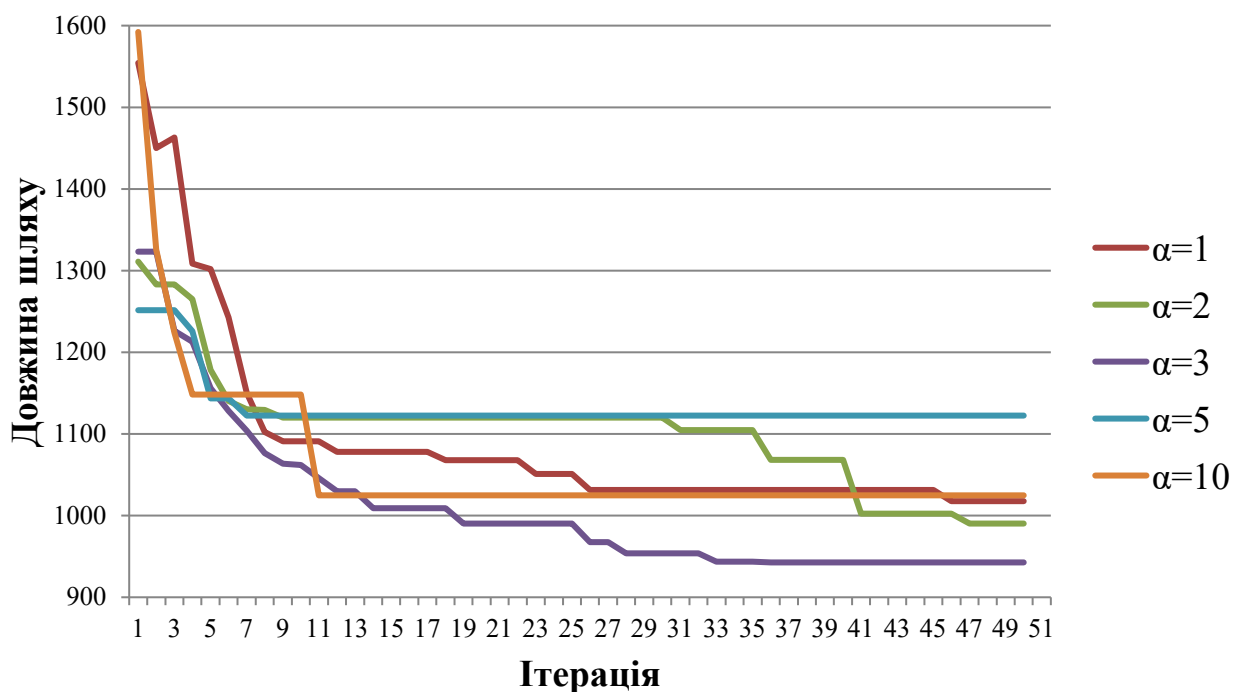


Рисунок 2.14 – Довжина шляху за ітераціями при різній жадібності

### 2.5.3 Дослідження параметру ліності

Свою назву  $\beta$  здобув тому що впливає на вибір мурахою більш короткого з наявних шляху. Для дослідження параметру  $\beta$  використаємо той самий набір параметрів що і в пункті 2.4.2, вилучивши значення  $\beta$  та додавши значення  $\alpha = 2$ . Дані занесемо до таблиці (Додаток В). Зведені результати показані на графіку (рисунок 2.15).

Проаналізувавши ці дані можна зробити висновок, що більші значення ліності допомагають швидше досягнути біль коротких шляхів, але в більш глобальній перспективі це може вилитися у знаходження локального мінімуму, Так наприклад видно при  $\beta = 1$  мурахи з часом знаходять більш оптимальне рішення, а мурахи при  $\beta = 10$  застрягають на локальному оптимумі. При цьому очевидно що при  $\beta = 0$  довжини між вершинами графу не враховуються, тож розрахунок ймовірностей переходу за формулою (2.1) зводиться до оцінки кількості феромону.

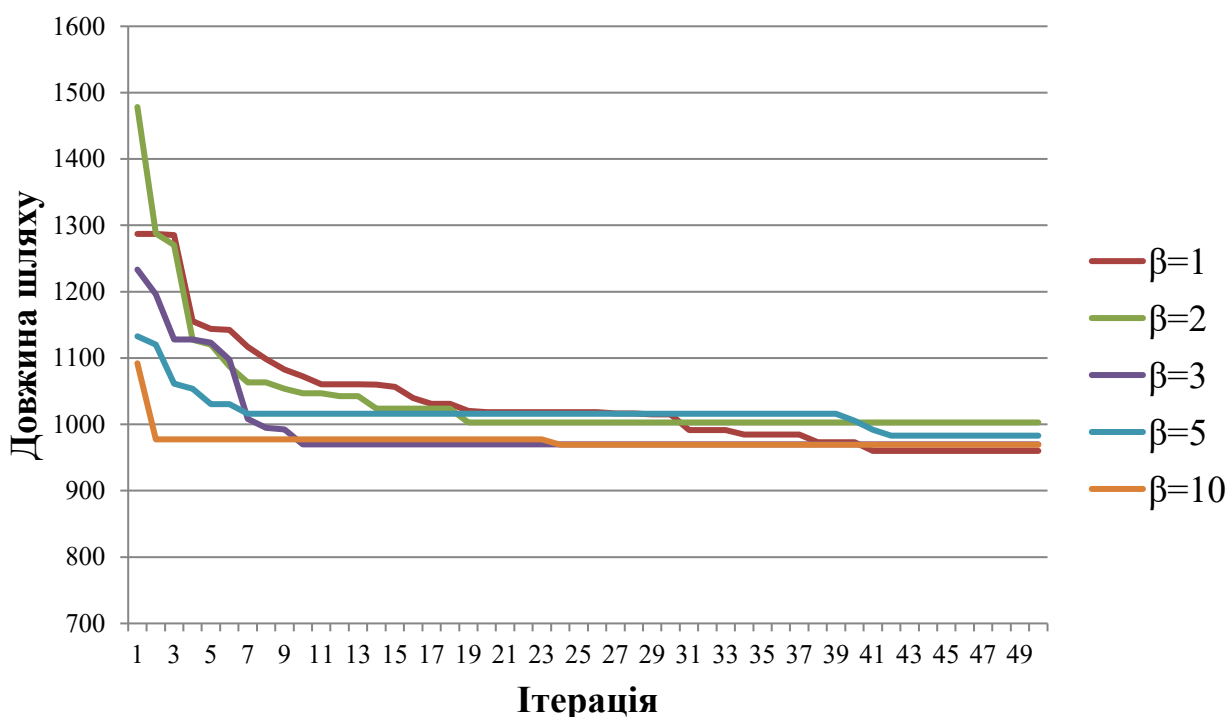


Рисунок 2.15 – Феромон шляху за ітераціями при різних значень ліності

## 2.5.4 Дослідження кількості елітних мурах

Для дослідження впливу кількості елітних мурах приймемо параметри як у пункті 2.4.1, з наступними змінами:  $\alpha = 2$ ;  $\beta = 2$ ;  $Q = 1000$ ,  $\rho = 0.45$ . Дані внесені до таблиці (Додаток В). Результати представлено на графіках для кількості феромону найкоротшого шляху (рисунок 2.16) та довжини найкоротшого шляху (рисунок 2.17).

З зібраних даних можна зробити наступні висновки: з підвищенням кількості елітних мурах швидше зростає кількість феромону на найкращому знайденому шляху, пошук проходить інтенсивніше за однієї кількості ітерацій. На знаходження нового оптимуму явно вказує спад на графіку довжин, та долина на графіку максимального феромону.

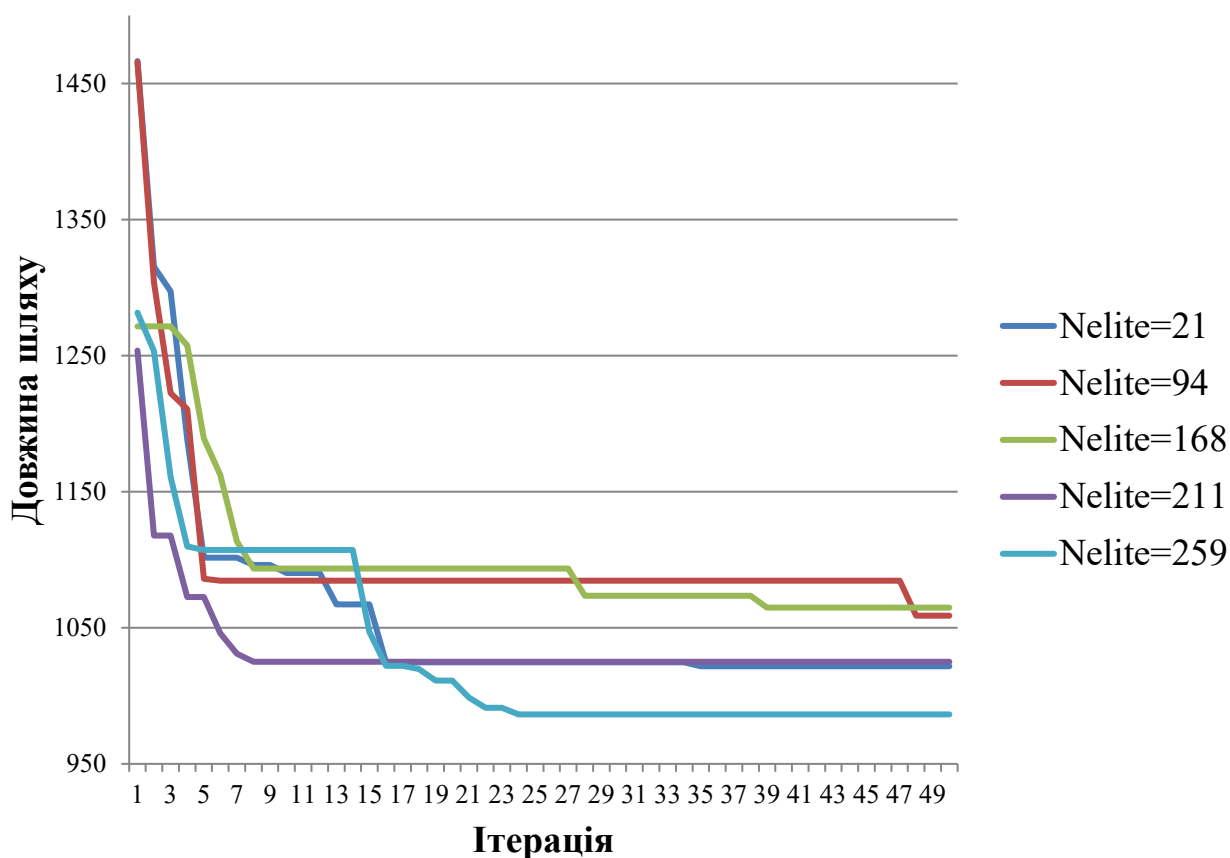


Рисунок 2.16 – Довжина найкращого шляху за ітераціями по елітних мурах

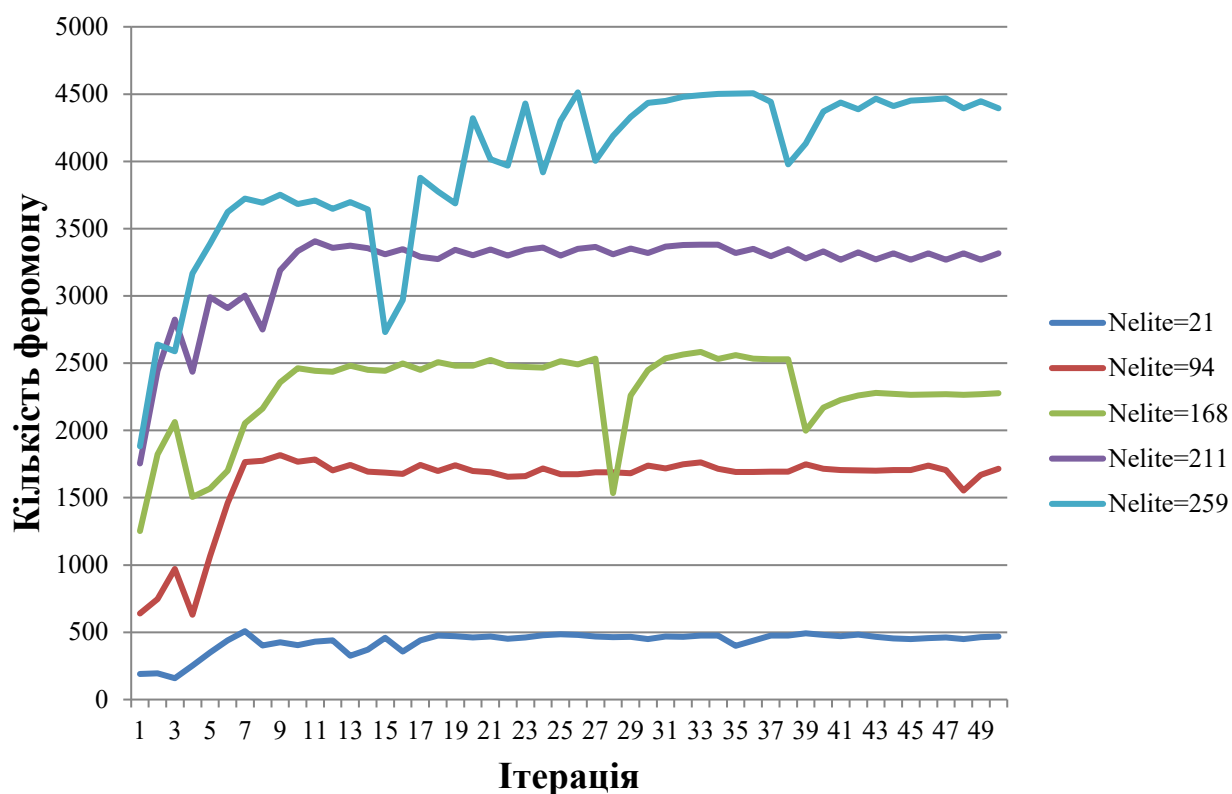


Рисунок 2.17 – Кількість феромону найкращого шляху по елітних мурах

### 2.5.5 Дослідження впливу кількості точок на час роботи програми

Проведемо дослідження часу роботи мурашиного алгоритму, у ручному режимі проставивши точки для покриття на території НМетАУ. Інші параметри візьмемо такі, як у 2.4.3. Кількість звичайних та елітних мурах приймемо рівною поточній для кожного заміру кількості точок. Результати представлені нижче (таблиця 2.1) та у вигляді графу (рисунок 2.14) для наочності.

Таблиця 2.1 – Результати вимірювання часу роботи мурашиного алгоритму

Закінчення			Кількість точок	Час роботи алгоритму, мс	Час роботи алгоритму, сек	таблиці
2.1			60	891	0,891	
	1	62	6,2			
	2	99	99	1936	1,936	
	0			4353	4,353	
	1	13	13,			
	4	98	982			

0	2	
160	16807	16,807
180	23143	23,143
200	32719	32,719
220	40614	40,614
240	53452	53,452

Очевидно, що зростання часу відбувається через розширення матриці ребер та збільшення кількості мурах. З цього можна зробити висновок, що для ефективної роботи мурашиного алгоритму також потрібно підібрати достатню та не надлишкову множину точок, серед яких алгоритм шукатиме підходящі. У разі генерації точок слід обрати не надлишковий крок сітки, адже затримка роботи мурашиного алгоритму буде збільшуватись за геометричною прогресією.

## 2.6 Основні висновки

1. Створена за елітною стратегією мурашиного алгоритму на базі мови JavaScript(у формі інтерактивної HTML-сторінки) програму «WLAN\_EliteAS», на вхід якої подаються: параметри WLAN (координати вакантних місць, радіус сусідства та радіус покриття) та параметри мурашиного алгоритму(кількість звичайних та елітних мурах, зрошення, випаровування, жадібність та ліність); у якості результату – графічне подання росташування точок доступу WLAN.

2. На основі створеної програми «WLAN\_EliteAS» отримані оптимальні значення параметрів при планування: 8 точок доступу для WLAN\_DNUZT; 10 точок доступу для WLAN\_NMetAU; радіус сусідства та покриття – 50 метрів, при наступних параметрах мурашиного алгоритму (кількість звичайних мурах – 211, кількість елітних мурах – 50, жадібність та ліність – 1, зрошення – 100, випаровування – 0,45).

3. На створенній програмі «WLAN\_EliteAS» проведено дослідження наступних довжини шляху та кількості феромону за ітераціями при наступних параметрах мурашиного алгоритму: зрошення; випаровування; жадібності; ліності; кількості елітних мурах. Так, наприклад, незалежно від значення зрошення при значенні випаровування що дорівнює 0.9, втрачається 90% феромону.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Огляд наукових джерел показав, що існують наступні топології WLAN: ESS, BSS , IBSS; та методики їх розгортання: WLAN, що орієнтовані на зону покриття та WLAN, орієнтовані на максимальну зону обслуговування. Для планування бездротової мережі УДУНТ обрано топологію ESS та методику розгортання, орієнтовану на максимальну зону покриття.

2. Огляд наукових джерел показав існування наступних модифікацій мурашиного алгоритму(елітна мурашина система, мурашина система максимуму-мінімуму, ранжована мурашина система) та різні можливості їх програмної реалізації (Python, Pascal, C++, JavaScript та інші).

3. Створено з ви користаннями елітної стратегії мурашиного алгоритму на базі мови JavaScript програму «WLAN\_EliteAS», на вхід якої подаються: параметри WLAN (координати вакантних місць, радіус сусідства та радіус покриття) та параметри мурашиного алгоритму (кількість звичайних та елітних мурах, зрошення, випаровування, жадібність та ліність); у якості результату – графічне подання росташування точок доступу WLAN.

4. На створеній програмі «WLAN\_EliteAS» проведено дослідження наступних довжини шляху та кількості феромону за ітераціями при наступних параметрах мурашиного алгоритму: зрошення; випаровування; жадібності; ліності; кількості елітних мурах. Так, наприклад, незалежно від значення зрошення при значенні випаровування що дорівнює 0.9, втрачається 90% феромону.

5. Запропоновано наступні параметри бездротової локальної мережі: 8 точок доступу для WLAN\_DNUZT; 10 точок доступу для WLAN\_NMetAU; радіус сусідства та покриття – 50 метрів; при наступних параметрах мурашиного алгоритму (кількість звичайних мурах – 211, кількість елітних мурах – 50, жадібність та ліність – 1, зрошення – 100, випаровування – 0,45), що отримані на створеній програмі «WLAN\_EliteAS».

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пахомова В.М., Міщанюк Л.О. Інтелектуальна підсистема вибору раціональних маршрутів вантажних потягів. Журнал Штучний інтелект. 2013. №1. С.245-252.
2. Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (Mac) and Physical Layer (Phy) Specifications.: Institute of Electrical & Electronics Enginee, 2000.
3. 2.4 GHz Wi-Fi channels (802.11b,g WLAN).svg – Wikimedia Commons [Електронний ресурс] // Wikimedia Commons. – Режим доступу: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2.4\\_GHz\\_Wi-Fi\\_channels\\_\(802.11b,g\\_WLAN\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2.4_GHz_Wi-Fi_channels_(802.11b,g_WLAN).svg)
4. Pakhomova V. M., Nazarova D. I. Organizing wireless network at marshalling yards using the bee method // Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. 2020. № 2(86). С. 60-73.
5. Aco branches.svg - Wikimedia Commons [Електронний ресурс] // Wikimedia Commons. D. I. – Режим доступу: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aco\\_branches.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aco_branches.svg)
6. Павленко А.И., Титов Ю.П. Сравнительный анализ модифицированных методов муравьиных колоний. Журнал Прикладная информатика. 2012. №4(40). С. 100 – 112.
7. Bullnheimer B. A new rank based version of the Ant System. A computational study. Paper. 1997.
8. Stützle T., Hoos H. The max-min ANT system and local search for combinatorial optimization problems. Meta-Heuristics: advances and trends in local search paradigms for optimization Boston, MA, 1999. С. 313–329.
9. Stützle, Thomas & López-Ibáñez, Manuel & Dorigo, Marco. (2011). A Concise Overview of Applications of Ant Colony Optimization [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470400531.eorms0001>

10. Shtovba, Serhiy. (2003). Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы. Exponenta Pro. Математика в приложениях. 2003. №4. С. 70–75. Exponenta Pro. Математика в приложениях.
11. Pakhomova V. M., Opriatnyi A. O. Software Model for Determining the Optimal Routes in a Computer Network Based on the Two-Colonial Ant Algorithm. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport. 2021. № 3(93). С. 38–49.
12. Пахомова В.М., Ліпеха Р.О. Аналіз методів з природними механізмами визначення оптимального маршруту в комп'ютерній мережі придніпровської залізниці. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2014. №4. С. 82-91.
13. An example of multicellular communication systems [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/cellular-network>
14. Chance [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://chancejs.com/>
15. Салогуб М.В, науковий керівник Пахомова В.М. Планування бездротової мережі з використанням мурашиного алгоритму. Молода академія 2022. Збірка тез доповідей. Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів і молодих учених. Дніпро: УДУНТ, 2022. С. 145.