

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»**

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерна інженерія»

Група: 2БКС-29

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**здобувача освіти денної форми навчання**  
**БКС.29.17.000.КРБ**

***ОЖОГИ***  
***ВІТАЛІЯ АНДРІЙОВИЧА***

**м. Одеса**  
**2025 р.**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»


Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерна інженерія»


Група: 2БКС-29

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

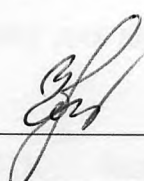
До кваліфікаційної роботи бакалавра на тему: Моделювання та аналіз  
геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі

Проектний матеріал складається з пояснювальної записки на 70 сторінках та графічного (презентаційного) матеріалу на 16 аркушах (слайдах)


Виконавець  ( Ожога В.А.)

Керівник проекту  ( Кривченко Ю.В.)

**Консультанти:**

з розділу охорони праці та техніки безпеки  ( Чорновол Н.І.)

з нормоконтролю  ( Петрашова В.І.)

старший консультант  ( Кривченко Ю.В.)


**До захисту допущений**

Завідувач кафедри  ( Іванова Л.В.)

Завідувач відділення  ( Краснокутська К.Г.)

Захист « 25 » 06 2025 р.      Протокол ЕК № 1

Оцінка ЕК 4 (добре) / 75

Секретар ЕК 

# АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена моделюванню та аналізу перколяційних процесів у мережевих системах із застосуванням геометричного аналізу кластерів. Основною метою роботи було розроблення математичної та алгоритмічної бази для отримання кількісних характеристик кластерів, таких як радіус гірації, ступінь анізотропії, радіус-вектор центру мас, кореляційна довжина та кількість елементів нескінченного кластера, що утворюються в результаті процесу самоорганізації окремих елементарних часток, які можуть розглядатись як вузли мережі.

Для вирішення поставлених завдань у кваліфікаційній роботі реалізовано систему моделювання, що включає ефективні алгоритми кластеризації, коагуляції одиночних часток та склеювання окремих структур, а також модуль розрахунку геометричних характеристик модельних кластерів з подальшою апроксимацією отриманих залежностей. Розроблений застосунок реалізовано в середовищі RAD Studio C++Builder із застосуванням компонентів VCL, що дозволяє вести моделювання в режимі реального часу, інтерфейсно керувати параметрами експерименту та отримувати детальну статистику для аналізу мережевих вузлів і оптимізації маршрутизованих шляхів.

Результати дослідження розкривають залежність ефективності маршрутизації в мережах від геометричних характеристик кластерів. Отримані дані дозволяють на базі чисельних експериментів розробити адаптивні алгоритми відбору вузлів мережі, що забезпечують оптимальний розподіл навантаження та підвищену стійкість системи. Дослідження має потенційне застосування при розробці високопродуктивних систем зв'язку у сфері децентралізованих мережевих технологій.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ВСП «ОДЕСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ОНТУ»

Відділення Комп'ютерних систем Кафедра Комп'ютерної інженерії  
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Заст. дир. з НВР

Беркань І.В.

« 28 » 08 20 25 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на кваліфікаційну роботу бакалавра**

здобувачеві освіти Ожогі Віталію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи Моделювання та аналіз геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі

затверджена наказом по коледжу від «24» 11 20 24 р. № 246

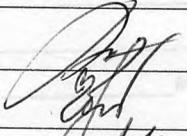
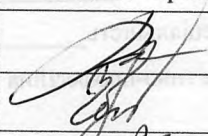
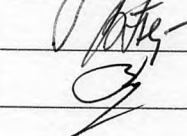
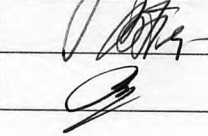
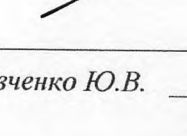


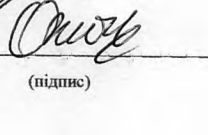
2. Термін здачі студентом кваліфікаційної роботи 20.06.25 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Набір геометричних характеристик, що визначають властивості кластерної системи; 2. Математична модель кластерної системи, формули для підрахунку параметрів кластерів; 3. Елементи кластерної системи моделювати у вигляді окружностей з змінним діаметром; 4. Передбачити пошук нескінченного кластеру та аналіз його характеристик; 5. Передбачити різні режими взаємодії між елементами кластерної системи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) Аналіз перколяційних процесів; Аналіз моделей утворення кластерів та пошуку перколяційних шляхів; Огляд методів визначення розмірностей перколяційних шляхів; Побудова перколяційної моделі мережі; Визначення геометричних характеристик кластерів; Розробка БСА моделювання та аналізу; Реалізація візуального інтерфейсу застосунку; Проведення експериментів та аналіз результатів моделювання

5. Перелік графічного матеріалу (слайдів мультимедійної презентації) Чисельні алгоритми визначення геометричних характеристик кластерів; Діаграма етапів побудови перколяційної моделі мережі; БСА покрокового моделювання; БСА склеювання одиночних часток (вузлів мережі); БСА обробки часток (вузлів) кластерів мережі; БСА об'єднання кластерів; Скріншоти з програмного застосунку для моделювання та аналізу геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі; Результати моделювання та аналіз для елементів з розподілом радіусу від 10 до 20; Результати моделювання для елементів з радіусом 10 (елементи не стикаються); Результати експериментів (компактні кластери, асиметричні кластери);

6. Консультанти по кваліфікаційній роботі, із зазначенням розділів, що їх стосуються

| Розділ               | Консультант    | ПІДПИС   |   |
|----------------------|----------------|--|---|
|                      |                | Завдання видав   | Завдання прийняв  |
| Основний розділ      | Кривченко Ю.В. |  |  |
| Розділ охорони праці | Чорновол Н.І.  |  |  |
| Нормоконтроль        | Петрашова В.І. |  |  |
| Старший консультант  | Кривченко Ю.В. |  |  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник роботи Кривченко Ю.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

(підпис)

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Пор. № | Назва етапів кваліфікаційної роботи                   | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|--------|---|--------------------------------|----------|
| 1.     | Аналіз технічного завдання та пошук літератури        | 05.06.25                       | всес     |
| 2.     | Аналітичний огляд моделей побудови кластерів          | 06.06.25                       | всес     |
| 3.     | Вивчення методів визначення характеристик кластерів   | 07.06.25                       | всес     |
| 4.     | Обґрунтування створення моделі кластероутворення      | 08.06.25                       | всес     |
| 5.     | Аналіз перколяційних процесів                         | 09.06.25                       | всес     |
| 6.     | Побудова перколяційної моделі мережі                  | 10.06.25                       | всес     |
| 7.     | Визначення геометричних характеристик кластерів       | 10.06.25                       | всес     |
| 8.     | Реалізація алгоритму виділення та взаємодії кластерів | 11.06.25                       | всес     |
| 9.     | Реалізація алгоритму зв'язування часток               | 12.06.25                       | всес     |
| 10.    | Програмна реалізація моделі кластероутворення         | 13.06.25                       | всес     |
| 11.    | Реалізація алгоритмів розрахунку параметрів елементів | 14.06.25                       | всес     |
| 12.    | Реалізація взаємодії функціональних компонент моделі  | 15.06.25                       | всес     |
| 13.    | Розробка інтерфейсу ПЗ, тестування моделі             | 16.06.25                       | всес     |
| 14.    | Аналіз результатів, створення висновків               | 17.06.25                       | всес     |
| 15.    | Розробка питань з охорони праці                       | 18.06.25                       | всес     |
| 16.    | Підготовка роботи до захисту та написання доповіді    | 19.06.25                       | всес     |
| 17.    | Оформлення слайдів мультимедійної презентації         | 20.06.25                       | всес     |

Здобувач освіти \_\_\_\_\_

(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_

(підпис)



# ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 7  |
| 1 Основний розділ.....  | 8  |
| 1.1 Аналіз перколяційних процесів .....   | 8  |
| 1.2 Аналіз моделей утворення кластерів та пошуку перколяційних шляхів...12  |    |
| 1.2.1 Базова модель «частинка–кластер».....   | 12 |
| 1.2.2 Базова модель «кластер–кластер».....  | 13 |
| 1.2.3 Вплив концентрації та параметрів зростання на структуру<br>кластерів.....   | 14 |
| 1.2.4 Пошук перколяційних шляхів у мережах.....   | 15 |
| 1.3 Огляд методів визначення розмірностей перколяційних шляхів .....  | 17 |
| 1.3.1 Масова (фрактальна) розмірність та метод покриття.....  | 17 |
| 1.3.2 Клітинна розмірність та метод палетки.....  | 18 |
| 1.3.3 Узагальнені розмірності Реньї.....  | 18 |
| 1.3.4. Практичні методи експериментального визначення<br>розмірностей.....  | 19 |
| 1.4 Постановка задачі моделювання .....   | 20 |
| 1.5 Побудова перколяційної моделі мережі .....  | 23 |
| 1.6 Визначення геометричних характеристик кластерів.....  | 27 |
| 1.7 Розробка БСА моделювання та аналізу.....  | 30 |
| 1.7.1 БСА обробки часток кластерів.....   | 30 |
| 1.7.2. БСА обробки кластерів та їх зв'язків.....  | 32 |
| 1.7.3 БСА склеювання одиночних часток.....  | 35 |
| 1.7.4 БСА покрокового моделювання.....  | 37 |
| 1.7.5 Алгоритм розрахунку геометричних характеристик.....   | 40 |
| 1.8 Реалізація візуального інтерфейсу застосунку для моделювання і аналізу<br>геометричних характеристик кластерів..... | 44 |
| 1.9 Проведення експериментів та аналіз результатів моделювання.....   | 48 |
| 2 Розділ охорони праці та техніки безпеки.....  | 53 |
| 2.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на   |    |

|  |    |
|--|----|
| працівника.....  | 53 |
| 2.2 Розробка заходів з охорони праці.....  | 53 |
| 2.3 Виробничі будівлі та приміщення.....   | 54 |
| 2.3.1 Ергономіка та організація робочого місця.....  | 54 |
| 2.3.2 Гігієнічне нормування параметрів повітря робочої зони.....   | 55 |
| 2.3.3 Освітлення виробничих приміщень.....   | 55 |
| 2.3.4 Захист від дії виробничого шуму та вібрації.....   | 56 |
| 2.4 Пожежна безпека.....   | 56 |
| Висновки.....  | 58 |
| Перелік використаних інформаційних джерел.....   | 59 |
| Додаток А. Фрагмент ключових функцій застосунку для моделювання і аналізу<br>геометричних характеристик кластерів мовою C++..... | 60 |
| Додаток Б. Слайди мультимедійної презентації.....  | 63 |

## ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого зростання обсягів даних та розширення мережевих комунікацій традиційні централізовані алгоритми маршрутизації втрачають свою ефективність. Зростаюча кількість вузлів у мережах, особливо в умовах децентралізації та безпосередньої взаємодії між вузлами, породжує необхідність розробки нових підходів до організації передачі даних. Зокрема, важливим напрямком є аналіз геометричних характеристик маршрутних шляхів, що дозволяє виявити закономірності та оптимізувати процес маршрутизації на основі просторової організації мережі. Об'єктно-орієнтований підхід дозволяє легко розширювати функціонал системи шляхом додавання нових класів, властивостей і методів. Таке розбиття мережі на локальні зони сприятиме зниженню обчислювальних витрат і підвищенню масштабованості алгоритмів маршрутизації, що особливо важливо для сучасних інформаційних систем, таких як P2P-мережі, IoT та мобільні комунікації. Актуальність дослідження обумовлена не лише зростанням розмірів і складності мереж, а й необхідністю забезпечення стійкості та адаптивності систем передачі даних. Використання методів перколяційного аналізу, адаптованих для дослідження геометричних характеристик маршрутів, відкриває нові можливості для оптимізації процесу маршрутизації, зниження мережевого трафіку та підвищення загальної продуктивності мережі. Отримані результати можуть мати практичне значення при розробці нових протоколів для децентралізованих мереж, де вузли обмінюються лише локальною інформацією, але завдяки цьому забезпечується високий рівень глобальної ефективності системи.

Основною метою проекту є створення моделі, що дозволить аналізувати та оптимізувати маршрутні шляхи з урахуванням їх геометричних характеристик, а також визначити залежність між топологічними параметрами мережі та ефективністю маршрутизації. Завдання дослідження включають розробку алгоритмів розподілу простору, моделювання локальних зон, аналіз просторового розподілу вузлів і побудову статистичних залежностей між геометричними параметрами маршрутів.

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 7    |

# 1 ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ

Ключовою ідеєю даної роботи є адаптація підходів, що застосовуються при аналізі перколяційних процесів, де процес утворення кластерів розглядається з точки зору локальних взаємодій між елементами. Завдяки цьому можна не лише відтворити властивості стандартних перколяційних моделей, але й отримати додаткове розуміння впливу геометричних параметрів (середня довжина маршруту, розподіл кутів, кривизна траєкторії) на ефективність роботи мережі.

## 1.1 Аналіз перколяційних процесів

Перколяційні процеси знаходяться в центрі уваги багатьох досліджень завдяки їх здатності ілюструвати механізми самоорганізації в складних системах. Вивчення утворення кластерів часток дозволяє не лише глибше зрозуміти фізико-хімічні явища, а й створити чисельні моделі, що імітують динаміку цих процесів. Такі моделі є корисними для аналізу, як, наприклад, вплив умов агрегації на форму, розмір та структуру утворених кластерів (рис.1.1).

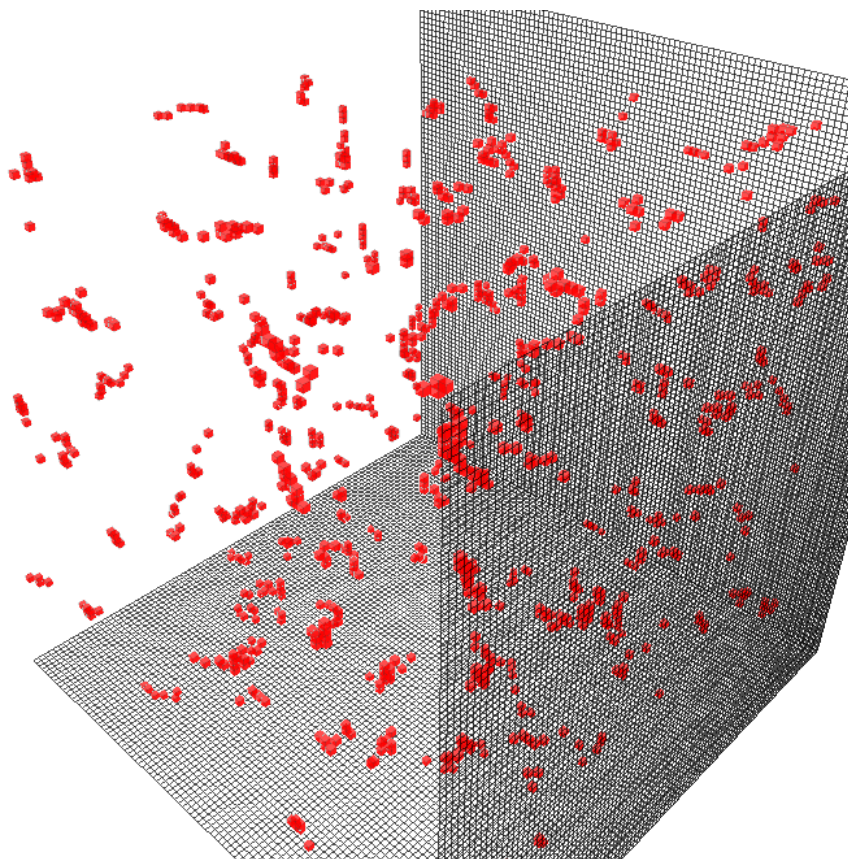


Рисунок 1.1. Окремі частки, що злипаються під впливом взаємодії, формують компактні структури, які в подальшому об'єднуються у великий кластер

Кластери часток є надзвичайно поширеними у природі – від мікроскопічних аерозолів до макроскопічних структурах у матеріалах та атмосферних процесах. Завдяки моделюванню таких структур можна отримати важливі знання про механізми їх утворення та змін у часі. Наприклад, при агрегації атомів або молекул часто спостерігаються певні специфічні розміри – умовно «магічні числа», при яких структура кластера стає більш стабільною та набуває екстремальних значень у фізичних характеристиках. Це можна порівняти з природним прагненням деяких систем до “заповненості” певних шарів або оболонок, що демонструється підвищеною енергією зв’язку у стабільних структурах.

Важливим аспектом при моделюванні реальних перколяційних процесів є наявність двох природних масштабів:

- Розмір окремої частки ( $a$ );
- Максимальний розмір кластера ( $L$ ).

Функціональні залежності, які описують просторове розподілення часток, приймають коректну форму лише в умовах, коли виконується нерівність:

$$a \ll r \ll L \quad (1.1)$$

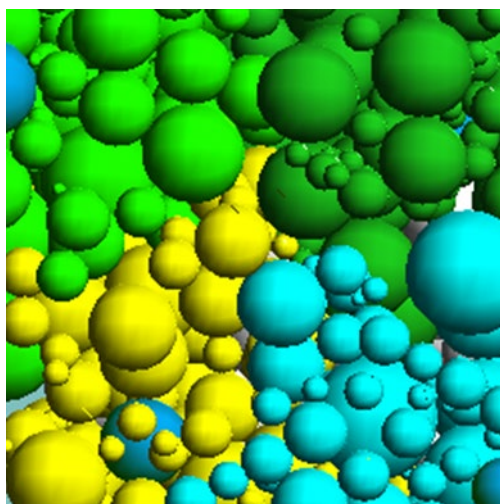


Рисунок 1.2. Ілюстрація умовного діапазону ( $a \ll r \ll L$ ), де проводиться аналіз просторових характеристик агрегації

Це означає, що модель застосовна в діапазоні, де розмір окремої частки є мінімальним, а розмір кластера – максимальним обмеженням (рис.1.2). Для ілюстрації цього принципу можна уявити собі систему, в якій окремі наночастки

(а) об'єднуються у мікрокластери, розмір яких ( $L$ ) значно перевищує розміри окремих елементів. При такому розподілі можна спостерігати скейлінгову інваріантність – властивість, коли статистичний розподіл кластерів залишається незмінним при зміні масштабу.

Процес агрегації зазвичай починається із взаємодії окремих часток, які прилипають до вже існуючих елементів структури – це так зване кластер-частка зрощення. На початкових етапах частинки рухаються за прямолінійними траєкторіями (кінетичний режим), що сприяє формуванню первинних структур. Зі збільшенням розміру кластера і поступовим збільшенням кількості частинок, процес переходить до стадії кластер-кластерної агрегації, де домінують броунівський рух і флуктуації щільності. Ця зміна механізму взаємодії може впливати на кінцеву форму, розмір і функціональні характеристики кластерів (рис.1.3). Наприклад, у системах, де агрегація відбувається на поверхні, взаємодія частинок може бути ускладненою присутністю зарядів або адгезивними силами. У таких умовах перерозподіл заряду між частками або особливості поверхневого контакту можуть змінити характер зростання кластера, що часто призводить до змін у геометричних параметрах структури.

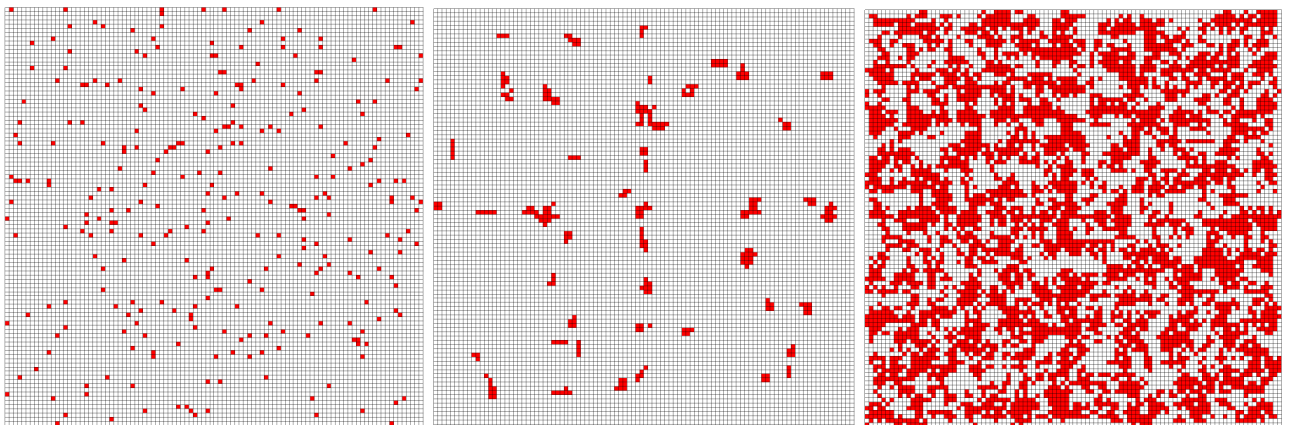


Рисунок 1.3. Схематичне подання послідовності етапів агрегації: від первинного приєднання окремої частки до формування великих кластерів через стадію кластер-кластерного зростання

Однією з важливих рис перколяційних процесів є утворення самоподібних структур. При кластер-кластерній агрегації розмір кластера зростає, а їх розподіл за розмірами набуває властивостей скейлінгової інваріантності (рис.1.4). Це

проявляється у вигляді самоподібних розгалужень, де незважаючи на збільшення розмірів, структурні параметри залишаються пропорційними. Таке явище має велике значення для аналізу ефективності структурних процесів в різних системах – від атмосферних процесів до технологій створення мереж.

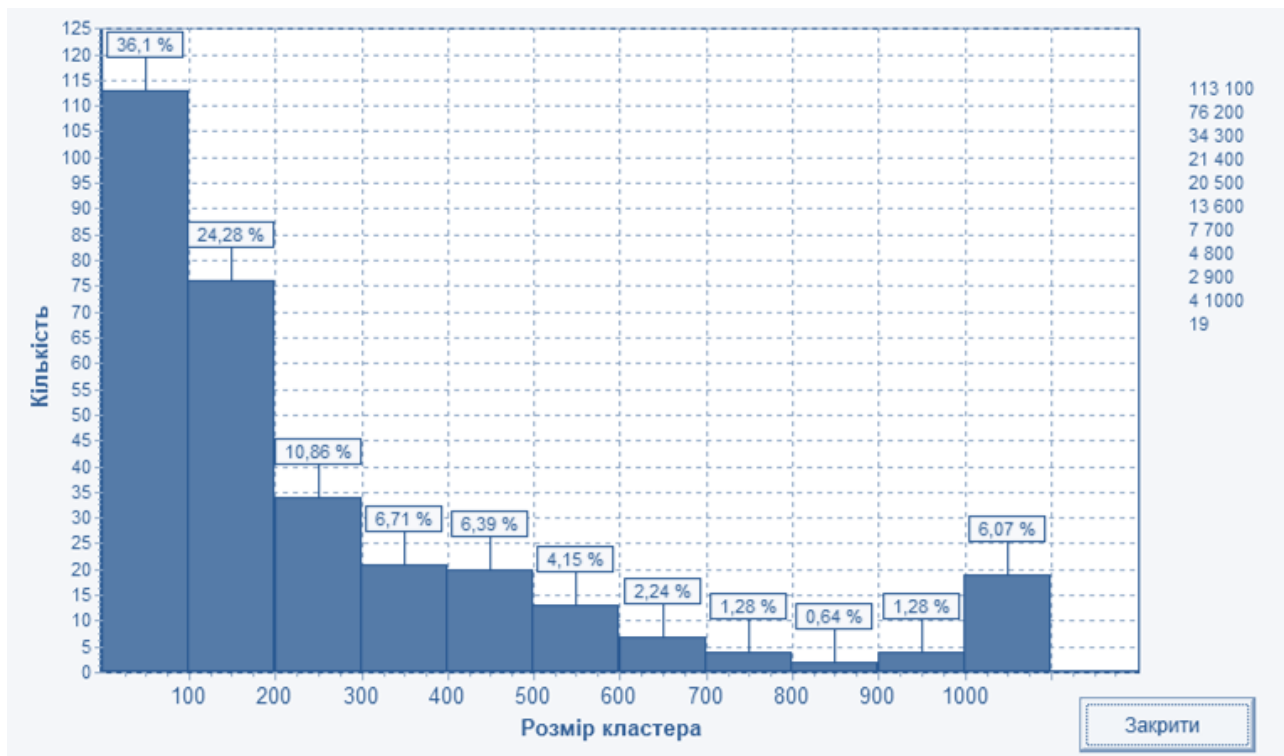


Рисунок 1.4. Графічне представлення самоподібного розподілу кластерів за розмірами, де можна простежити властивості скейлінгової інваріантності

Аналіз перколяційних процесів відкриває широкі можливості для розуміння механізмів формування та еволюції кластерних структур. Незалежно від просторових та кінетичних обмежень, реальні агрегаційні процеси вимагають врахування як геометричних, так і електростатичних взаємодій. Отже, модель, що описує перколяційні процеси, повинна враховувати як первинні умови (розмір часток і початкове розподілення), так і динамічні зміни в процесі агрегації. Це дозволяє отримати більш повну картину механізмів самоорганізації в фізичних системах та забезпечує основу для подальшого аналізу геометричних характеристик маршрутних шляхів у мережах.

Розуміння перколяційних процесів є важливим кроком для побудови чисельних моделей, що дозволяють аналізувати як внутрішню динаміку утворення кластерів, так і їх вплив на макроскопічні властивості систем.

Подальше дослідження цих явищ сприятиме розвитку методів моделювання складних мережевих структур із застосуванням геометричного аналізу та перколяційного підходу.

## **1.2 Аналіз моделей утворення кластерів та пошуку перколяційних шляхів**

Утворення кластерів часток є важливим проміжним етапом переходу систем до конденсованої фази, як у випадках агрегації твердих аерозолів, так і в інших фізико-хімічних процесах. Отримана інформація про структуру та властивості таких кластерів дозволяє глибше зрозуміти механізми формування конденсованих речовин у газоподібних чи рідких середовищах. Завдяки геометричній спрощеності цих систем аналіз моделей утворення кластерів набуває особливої ваги як для фундаментальних досліджень, так і для практичних застосувань.

### **1.2.1 Базова модель «частинка–кластер»**

Одним із найпростіших підходів до моделювання агрегаційних процесів є модель, де обмежений двовимірний простір розбивається на квадратні осередки, а окремі частки додаються поодиноці. У класичній реалізації такої моделі:

- Випадкова дифузія: Кожна нова частка стартує у випадковій точці простору і, використовуючи метод Монте-Карло, виконує випадкові переміщення. Якщо частка досягає межі області, вона відбивається від неї, зберігаючи принцип випадкового блуду;
- Агрегація: При досягненні сусідніх клітинок вже сформованого кластера, частка «прилипає» до нього і закріплюється у поточній позиції. Таким чином, поступово формується єдина структура, яка представляє собою збір часток.

Рис. 1.5 ілюструє принципову схему цієї моделі. Особливістю даного підходу є виняткова простота моделювання. Проте саме на початкових етапах росту спостерігається сильна анізотропія: нові частки мають більшу схильність приєднуватись переважно до кінців кластера, що призводить до його нерівномірного розширення. Зі зростанням розміру кластера цей ефект зникає,

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 12   |

оскільки стає можливим однорідне заповнення вільного простору з усіх сторін.

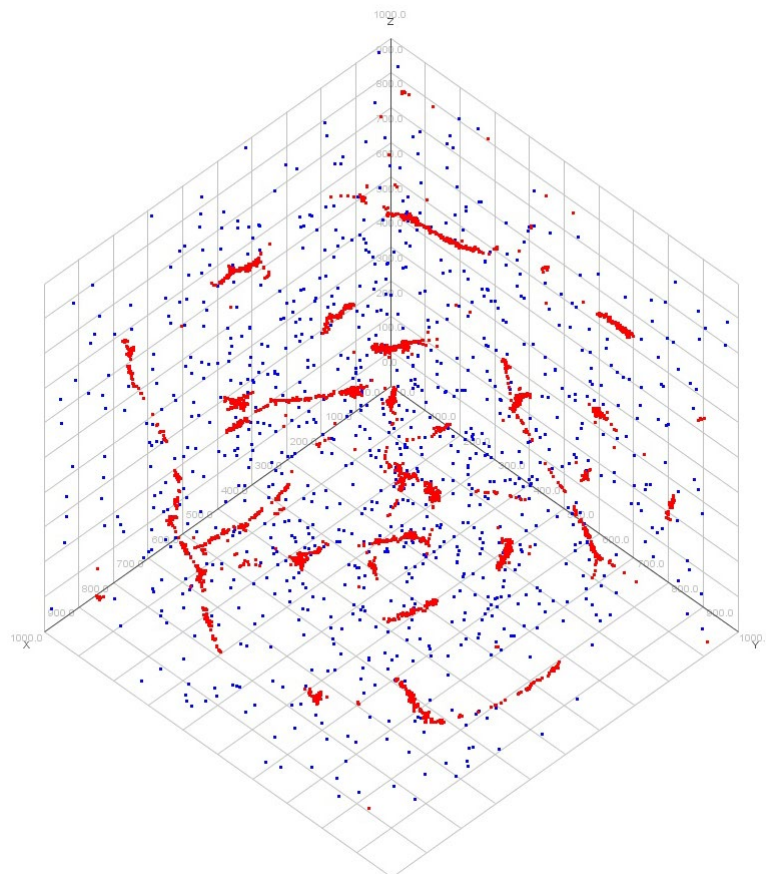


Рисунок 1.5. Модель “частинка–кластер”.

Випадкова частка рухається всередині області до тих пір, поки не наблизиться до існуючого кластера, де відбувається її фіксація

### 1.2.2 Базова модель «кластер–кластер»

Для більш реалістичного опису процесу агрегації, коли не лише окремі частки, а й вже сформовані кластери можуть рухатись і зливатися, було розроблено модель кластер–кластерної агрегації. Основні положення цієї моделі включають:

- Стартове розташування: Система починається з набору однакових сферичних часток, рівномірно розподілених у замкнутому тривимірному просторі (наприклад, у кубі). На границі області застосовуються періодичні граничні умови, що дозволяють уникнути «стінних ефектів»;
- Дифузія та злиття: Кожна частка або вже сформований малий кластер рухається випадковою траєкторією (аналог броунівського руху). При зіткненні двох частинок, або ж двох кластерів, відбувається їх негайне злиття в єдину агреговану структуру, при цьому зберігається орієнтація,

визначена умовами зіткнення;

- Контроль швидкості: Важливим параметром у цій моделі є залежність швидкості руху кластера від кількості часток, що йому належать. Запроваджується параметр, який дозволяє моделювати випадки, коли менші кластери рухаються швидше за великі. При низьких концентраціях початкових часток фрактальна розмірність агрегації стає практично незалежною від цього параметра, а змінюється переважно за рахунок розмірності самого простору.

Рис. 1.6 демонструє схему кластер–кластерної агрегації. Завдяки можливості руху як окремих часток, так і вже сформованих агрегатів, дана модель дозволяє отримати більш реалістичні результати у порівнянні з базовою моделлю «частинка–кластер». Вона краще відтворює умови агрегаційних експериментів, коли взаємодія часток регулюється не лише випадковими процесами, а й зовнішніми полями.

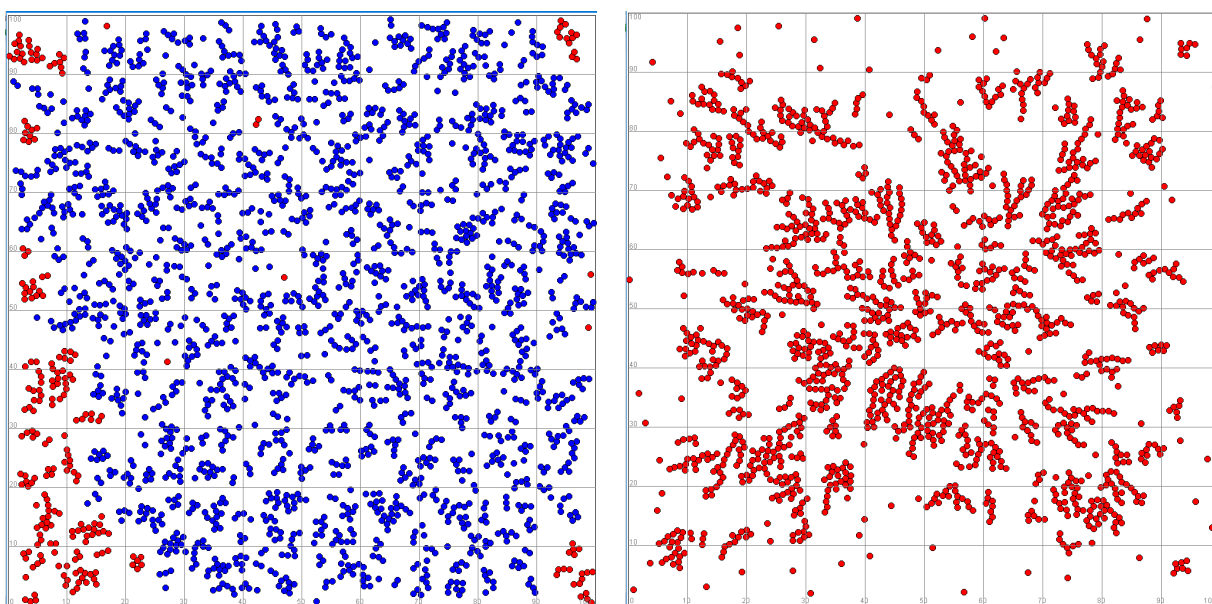


Рисунок 1.6. Модель кластер–кластерної агрегації. Ключовими етапами є дифузія окремих кластерів та їх злиття при зіткненні, що поступово веде до становлення єдиної структури

### 1.2.3 Вплив концентрації та параметрів зростання на структуру кластерів

За результатами чисельних експериментів, як базова модель, так і її розширення демонструють значний вплив початкової концентрації часток на

структурні характеристики кластерів. Зі збільшенням концентрації спостерігається тенденція до зростання фрактальної розмірності агрегації, що відображає більш щільне злипання частинок та зміну їх просторової архітектури.

Також змінність параметрів, що описують швидкість дифузії та взаємодію кластерів, дозволяє моделювати перехід від нерегулярних, асиметричних форм до більш регулярних, майже симетричних структур. Наприклад, на початкових стадіях агрегації системи мають виражену анізотропію, коли нові частки переважно злипаються до кінців формуючихся кластерів. З часом, у міру зростання кластера, форма стає більш однорідною, що може бути проілюстровано на графіках залежності фрактальної розмірності від часу агрегації (рис.1.7).

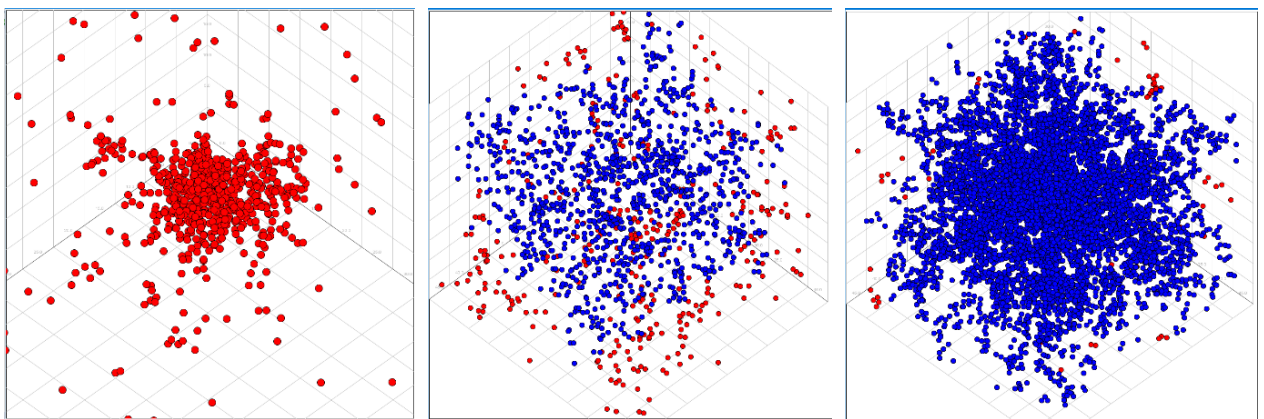


Рисунок 1.7. Залежність фрактальної розмірності кластера від початкової концентрації часток

#### 1.2.4 Пошук перколяційних шляхів у мережах

Ідеї, що лежать в основі моделей агрегації кластерів, знаходять своє застосування не лише в традиційних фізико-хімічних задачах, але й у аналізі маршрутних шляхів у мережах. Перколяційний підхід дозволяє дослідити, як локальні взаємодії між окремими елементами призводять до формування глобальних зв'язків у системі. У контексті мережевого аналізу:

- Моделювання вузлів як часток: Кожен вузол мережі можна розглядати як окрему частку, що входить до складу більшої агрегованої структури. В залежності від умов «прилипання» між вузлами (наприклад, мінімальний рівень зв'язності або географічна близькість), формується глобальна топологія мережі;

- Перколяційні шляхи: Розподіл кластерів та їх взаємозв'язків дозволяє визначати перколяційні шляхи – ланцюги зв'язків, які забезпечують передачу інформації або енергії по всій мережі. Ці шляхи характеризуються високим ступенем стійкості та здатністю зберігати ефективність передачі навіть при значному збільшенні числа вузлів.

Рис.1.8 демонструє спрощену схему пошуку перколяційних шляхів у мережевій системі.

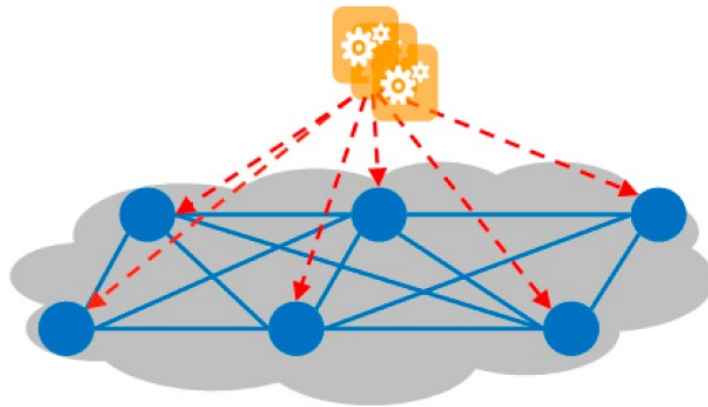


Рисунок 1.8. Схема перколяційного пошуку в мережі. Локальні кластери вузлів з'єднуються в глобальну систему, забезпечуючи маршрутизацію

Використання таких моделей дозволяє проаналізувати, яким чином параметри агрегації (тип взаємодії, концентрація, рух часток) впливають на ефективність утворення та функціонування перколяційних шляхів. Отримані результати сприяють розробці нових алгоритмів маршрутизації, в яких основна увага приділяється локальним взаємодіям як основі для глобальної мережевої організації.

Порівняльний аналіз моделей утворення кластерів – від базової моделі «частинка–кластер» до розширених моделей кластер–кластерної агрегації – показує, що точне моделювання агрегаційних процесів дозволяє не тільки відтворити характерні риси утворення конденсованих фаз, але й ефективно застосувати ці підходи для пошуку перколяційних шляхів у мережах. Зміна початкових умов, параметрів дифузії та концентрації забезпечує можливість прогнозування геометричних характеристик утворених структур. Такий комплексний підхід відкриває перспективи для розробки більш

артикульованих моделей маршрутизації, де використання перколяційного аналізу дозволяє досягти масштабованості та високої стійкості систем передачі даних.

### 1.3. Огляд методів визначення розмірностей перколяційних шляхів

Більшість об'єктів навколишнього світу має нерегулярну геометрію, що виникає в процесах агрегації окремих часток. Перколяційні шляхи, як правило, характеризуються складною структурою, яка не описується класичними евклідовими мірками, тому виникає необхідність кількісного аналізу їх внутрішньої геометрії через поняття фрактальних та узагальнених розмірностей.

#### 1.3.1 Масова (фрактальна) розмірність та метод покриття

Одним із базових методів визначення розмірності нерегулярних структур є метод покриття. При цьому вся структура кластера покривається сіткою квадратів однакового розміру. На практиці будується графік залежності числа зайнятих комірок  $N(\epsilon)$  від їх розміру  $\epsilon$  у логарифмічній шкалі (рис.1.9). Нахил цього графіку визначає масову (фрактальну) розмірність – класичну характеристику, що відображає, як процес заповнення простору змінюється зі збільшенням масштабу. Метод покриття є зручним для структур, що мають властивість самоподібності на певних масштабах, проте слід враховувати, що реальні системи можуть демонструвати похибки через наявність зовнішніх обмежень – наприклад, через вплив дискретності часток чи наявність порожнеч усередині кластера.

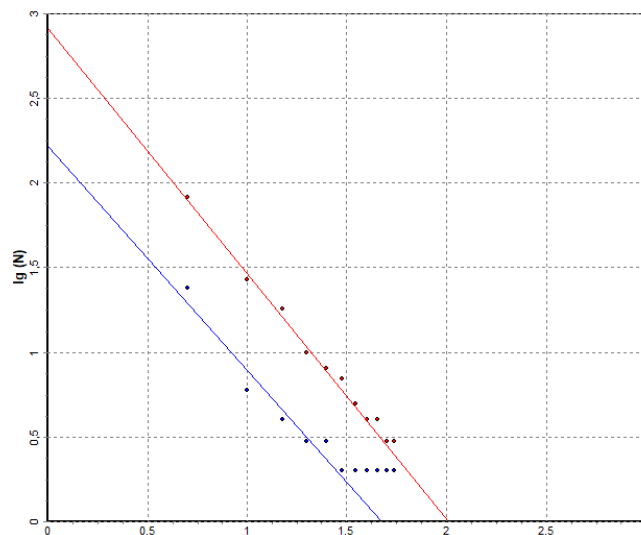


Рисунок 1.9. Графік фрактальної розмірності

### 1.3.2 Клітинна розмірність та метод палетки

Ще одним підходом є визначення так званої клітинної розмірності. При цьому сам кластер розбивається на «палетку» – сукупність комірок однакового розміру, і аналізується заповнення цих комірок (рис.1.10). На відміну від масової розмірності, клітинний метод дозволяє зменшити розкид отриманих значень, оскільки враховує локальну неоднорідність структури. Для самоподібного кластера обидва методи дають збіжні результати, але при аналізі реальних агрегаційних процесів клітинна розмірність часто є більш стійкою до флуктуацій.

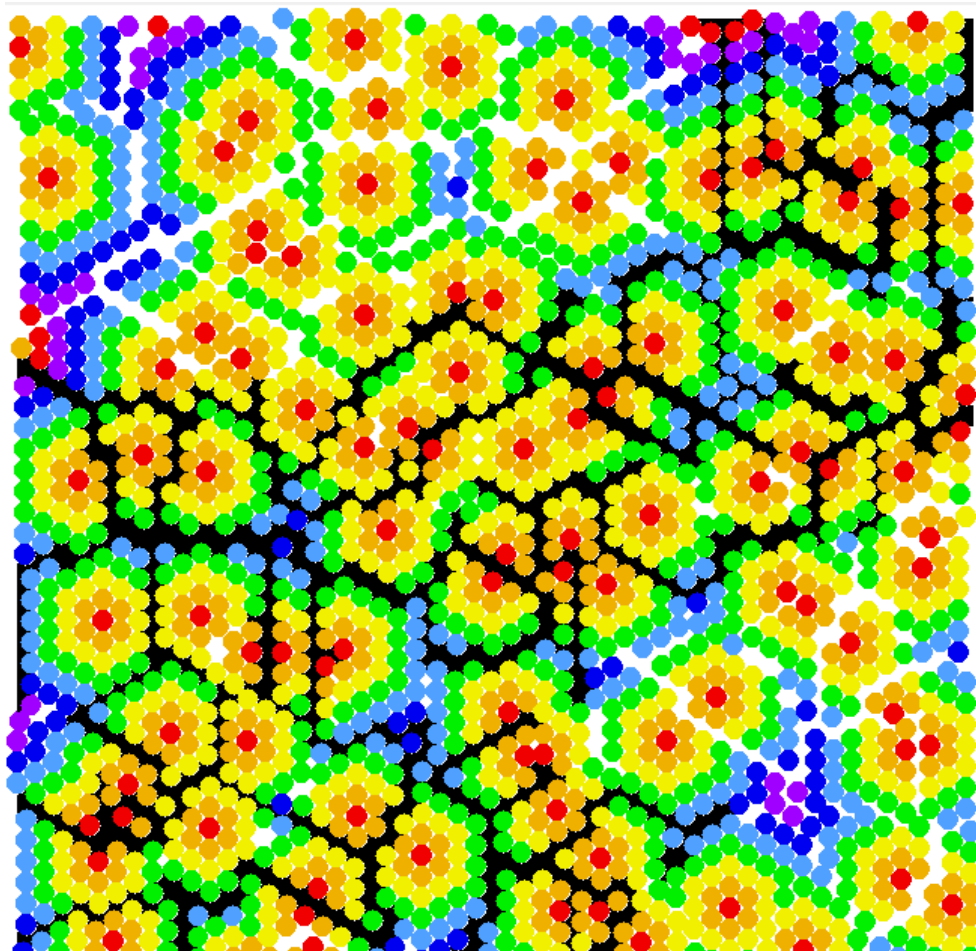


Рисунок 1.10. Схема покриття кластера шестикутниками відображає залежність кількості необхідних одиниць покриття від масштабу, що дозволяє обрахувати фрактальну розмірність за методом покриття

### 1.3.3 Узагальнені розмірності Реньї

Розглядаючи неоднорідність структури, доцільно застосовувати спектр узагальнених розмірностей Реньї. Сімейство показників  $D_q$  дозволяє охарактеризувати різні аспекти розподілу маси всередині кластера:

- При  $q = 0$  отримують розмірність ємності, що співпадає з базовою фрактальною розмірністю;
- Значення  $q = 1$  відповідає інформаційній розмірності, що враховує ймовірнісний розподіл часток;
- При  $q = 2$  визначається кореляційна розмірність, яка відображає взаємозв'язок пар точок в структурі.

Крім того, вводяться крайні показники – мінімальна  $D_{-\infty}$  та максимально  $D_{\infty}$  розмірності, що відображають нерівномірність розподілу: деякі ділянки кластера можуть бути набагато щільнішими за інші. Узагальнений спектр розмірностей дозволяє отримати багатовимірне уявлення про структуру перколяційних шляхів та зробити висновки про їх мультифрактальність.

Використання спектру Реньї особливо корисне для опису самоафінних кластерів, де масштабування може відрізнитися у різних напрямках, і для кожного напрямку потрібна своя експонента. Це дозволяє більш точно охарактеризувати нерівномірний внутрішній просторовий розподіл елементів.

#### **1.3.4. Практичні методи експериментального визначення розмірностей**

На практиці для визначення фрактальних розмірностей використовуються комп'ютерні алгоритми, які обчислюють залежність кількості зайнятих комірок або числових показників для окремо взятих різних масштабів. Зазвичай, побудову цих залежностей здійснюють у логарифмічних координатах, що дозволяє за нахилом лінії на графіку визначити значення розмірності. Особлива увага приділяється вибору масштабного діапазону, оскільки закон подібності застосовується лише на деяких масштабах, що істотно перевищують розміри окремих часток, але не доходять до глобальних обмежень системи.

Для конкретного аналізу перколяційних шляхів доцільно застосовувати комбіновані підходи: масову розмірність доповнювати аналізом клітинної розмірності та узагальненим спектром Реньї. Такий комплексний підхід дозволяє зменшити похибки, пов'язані з нерегулярністю структури, і отримати більш достовірну оцінку геометричних характеристик мережевих шляхів.

Чисельні методи визначення розмірностей перколяційних шляхів дозволяють кількісно охарактеризувати складну геометрію нерегулярних агрегаційних структур. Використовуючи методи покриття, клітинного аналізу та спектр узагальнених розмірностей Реньї, можна отримати комплексне розуміння внутрішньої організації систем, що утворюють перколяційні шляхи. Такий підхід є надзвичайно цінним не лише для аналізу фізико-хімічних явищ, але й для розробки нових методів оптимізації маршрутних шляхів у мережах, де властивості самоорганізуючихся структур впливають на загальну ефективність передачі інформації.

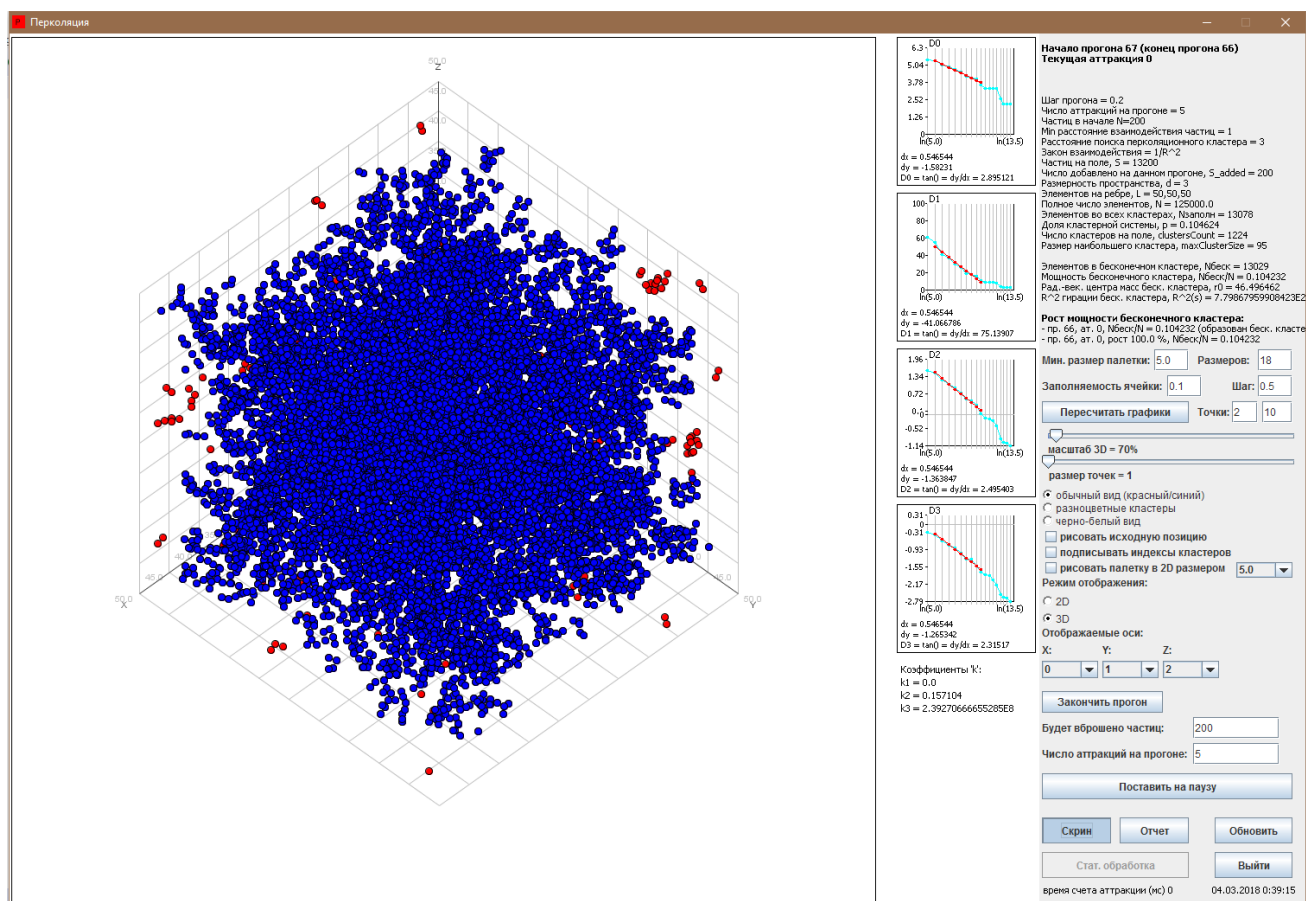


Рисунок 1.11. Схематичне порівняння методів: побудова графіків залежності кількості зайнятих комірок від масштабу для масового та клітинного підходів, а також інтерпретація спектру узагальнених розмірностей

## 1.4 Постановка задачі моделювання

Метою даного дослідження є розробка комп'ютерної моделі, здатної імітувати перколяційні процеси в двовимірному просторі з використанням

графічних примітивів (кругів або окружностей) та подальший аналіз геометричних характеристик утворених кластерів, що можуть бути успішно застосовані для оптимізації маршрутних шляхів у мережах. Основою моделювання послужуватиме математичне описання агрегаційних процесів, яке дозволить відтворити формування перколяційного шляху як результат автоматичного збільшення кількості кругів у полі моделювання. Поява такого шляху буде відмічатися на візуальній панелі за допомогою кольорового виділення, що дасть можливість дослідити стійкі зв'язки між окремими елементами мережі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити програмне забезпечення на мові C++ з використанням Embarcadero RAD Studio, яке включатиме наступні функціональні блоки та реалізовуватиме низку задач:

1. Математичне моделювання перколяційних процесів:
  - Розробка алгоритму генерації часток, що представляються графічними об'єктами (окружностями) у 2D-середовищі;
  - Формулювання правил їх дифузії та агрегації, що імітують випадковий рух і злипання при досягненні сусідніх елементів;
  - Забезпечення автоматичного збільшення кількості кружечок у полі моделювання для досягнення критичного стану перколяції;
2. Візуалізація процесів утворення кластерів та перколяційного шляху:
  - Побудова графічного інтерфейсу, який демонструватиме процес появи й зростання кластерів;
  - Відзначення кольором перколяційного шляху відразу після його появи, що дозволить наочно спостерігати ключові стадії перколяції;
  - Реалізація інтегрованого візуального модуля, який дозволить досліднику змінювати параметри моделювання в режимі реального часу;
3. Розрахунок геометричних параметрів утворених кластерів:
  - Радіус гірації: обчислення середнього відстані від кожної частки до центру мас кластера, що дозволить оцінити розмірну характеристику;

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 21   |

- Ступінь анізотропії: визначення нерівномірності розподілу часток у просторі, що відображає геометричну асиметрію кластера;
  - Кількість елементів у нескінченному кластері: аналіз розміру домінуючого кластеру, що потенційно може виступати як основний шлях маршрутизації;
  - Радіус-вектор центру мас: локалізація геометричного центру агрегаційної структури для подальшого аналізу просторового розташування;
  - Кореляційна довжина: визначення масштабу, на якому точкові взаємодії стають незначними, що дозволяє оцінити межі впливу локальних процесів на глобальну організацію системи;
4. Застосування параметрів кластерів у задачах маршрутизації мережі:
- Розробка алгоритму, який використовує отримані геометричні параметри як критерії для відбору оптимальних маршрутів у мережі;
  - Інтеграція методів аналізу радіусу гірації та ступеня анізотропії з метою побудови математичної моделі, де «якість» маршруту визначається компактністю та симетричною структурою кластера;
  - Використання кількості елементів нескінченного кластеру як показника стійкості мережевого зв'язку, а кореляційної довжини – для прогнозування меж діапазону впливу окремих вузлів мережі;
5. Статистичний аналіз та валідація моделі:
- Проведення чисельних експериментів з моделювання перколяційних процесів для різних початкових умов і параметрів;
  - Збір статистичних даних про структуру, параметри кластерів та формування перколяційних шляхів;
  - Аналіз отриманих результатів із застосуванням методів узагальнених розмірностей, що дозволить перевірити кореляцію між параметрами модельних кластерів і ефективністю вибраних маршрутів.

Очікувані результати даної роботи полягають у створенні інтегрованої системи моделювання та візуалізації перколяційних процесів, здатної не лише

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 22   |

демонструвати еволюцію кластерів у 2D-просторі, але й ефективно застосовувати отримані параметри для прогнозування та оптимізації маршрутних шляхів у мережах. Розроблена методика надасть можливість провести ретельний аналіз впливу геометричних характеристик на стійкість та якість мережевих з'єднань, що є важливим для подальшого впровадження децентралізованих алгоритмів маршрутизації в сучасних інформаційних системах.

Таким чином, поставлені задачі спрямовані на розробку комплексної моделі, яка об'єднує комп'ютерне моделювання перколяційних процесів, візуалізацію структурних параметрів кластерів і застосування отриманих результатів у задачах маршрутизації мережі, що відкриває нові перспективи для вдосконалення систем передачі інформації.

## 1.5 Побудова перколяційної моделі мережі

Метою даного підрозділу є опис процесу створення та апробації імітаційно-статистичної моделі, здатної відтворити закономірності еволюції перколяційних процесів у двовимірному полі моделювання. Розроблена модель має забезпечити не тільки візуалізацію процесів агрегації окремих частинок у вигляді кружечок або окружностей, але й визначення основних геометричних характеристик утворених кластерів. Отримані параметри (радіус гірації, ступінь анізотропії, кількість елементів нескінченного кластеру, радіус-вектор центру мас, кореляційна довжина) надалі будуть використані як критерії для розробки алгоритмів оптимізації маршрутних шляхів у мережах.

Розроблена перколяційна модель базується на ряді обґрунтованих припущень, що дозволяють врахувати як детерміновану, так і випадкову складову процесу утворення кластерів:

1. Поле моделювання: Частинки можуть бути розташовані як у двовимірному, так і у тривимірному просторі. Для цілей даного проекту реалізовано 2D-версію, що дозволяє моделювати процес агрегації у площині з використанням окружностей;

2. Розподіл за розмірами: Частинки мають нормальний (гаусовий) розподіл

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 23   |

за розмірами, що забезпечує можливість регулювання параметрів вхідного потоку. Таке припущення враховує натуральну невизначеність розмірів реальних об'єктів;

3. Непостійності щільності: Частинки характеризуються змінною щільністю, що дозволяє врахувати неоднорідність просторового розподілу при формуванні кластерів;

4. Детермінована і випадкова складова: Властивості окремих частинок і утворених кластерів включають як детерміновані параметри (наприклад, із заданою швидкістю перенесення,  $V_{trans}$ ), так і випадкові компоненти (швидкість хаотичного руху,  $V_{chaot}$ ). Відношення цих складових визначається параметром  $E = \frac{V_{trans}}{V_{chaot}}$ . Зміна значення цього відношення впливає на характер агрегації: при низьких значеннях (наприклад,  $E < 0.425$ ) домінують компактні, квазісиметричні кластери, а при високих  $E > 0.575$  – переважають асиметричні, витягнуті структури. Проміжна зона  $0.425 \leq E \leq 0.575$  характеризується перехідним станом, коли спостерігаються об'єкти з додатковими відростками певної довжини;

5. Довжина взаємодії: Взаємодія між частинками виникає на відстані, що залежить від їх маси, що дозволяє коректно моделювати процеси «прилипання» до вже сформованих агрегатів.

Програмний застосунок буде розроблений мовою C++ в середовищі Embarcadero RAD Studio і має реалізовувати наступні етапи моделювання:

- Генерація частинок: Початкове поле моделювання заповнюється окружностями, що відповідають окремим частинкам. Частинки генеруються зі заданою гаусовою дисперсією за розмірами, що дозволяє дослідити вплив вхідного розподілу на структуру утворених кластерів;
- Диффузія та агрегація: Кожна частинка виконує випадкове (хаотичне) переміщення з додатковою детермінованою складовою  $V_{trans}$ . При досягненні сусідства з іншою частинкою або кластером, частинка «прилипає» до неї. Реалізація механізму дифузії відбувається за допомогою

алгоритмів Монте-Карло, що дозволяють задовольнити умови випадковості;

- Візуалізація перколяційного процесу: По мірі експансії кількості частинок і накопичення контактів між ними, у полі моделювання починає формуватися перколяційний шлях. Поява цього шляху автоматично відображається – він підсвічується яскравим кольором, що дозволяє користувачу в режимі реального часу спостерігати за критичними стадіями агрегації (рис.1.12);
- Обрахунок геометричних параметрів: Після формування кластерів програма виконує розрахунок численних параметрів, як радіус гірації (середня відстань частинок від центру мас кластера), ступінь анізотропії: міра нерівномірності розподілу частинок у просторі, що дозволяє визначити, наскільки кластер відхиляється від ідеальної симетрії; кількість елементів нескінченного кластера: визначає масштаб домінуючого агрегату, що потенційно може служити основним шляхом маршрутизації; радіус-вектор центру мас та кореляційна довжина: характеризують просторове розташування та взаємозв'язок частинок в кластері.

Результати обчислень подаються як числові значення, так і через візуальне відображення, що дозволяє проводити статистичний аналіз отриманих даних.

Отримані результати моделювання перколяційних процесів будуть мати застосування при розробці систем маршрутизації в мережах. Наприклад:

- Оптимізація маршрутів за рахунок геометричних характеристик: Компактні кластери з меншим радіусом гірації та високою симетричністю можуть свідчити про більш стійкі та короткі маршрути передачі даних. Відповідно, в мережевих системах вузли, що формують подібні структури, можуть бути використані для забезпечення оптимального маршруту;
- Врахування ступеня анізотропії: Асиметричні кластери, які характеризуються вираженими відростками, можуть свідчити про потенційні зони зниження ефективності передачі (через нерівномірний розподіл трафіку). На основі такого аналізу можна розробити алгоритми, що відбирають маршрути із зниженою анізотропією, що сприятиме кращій

розподільчій здатності мережі;

- Використання кореляційних характеристик: Параметри, як кореляційна довжина та центр мас, дозволяють визначити оптимальну топологію маршруту, мінімізуючи витрати ресурсів на передачу сигналу або даних і забезпечуючи стійкість мережі до механічних або статистичних змін.

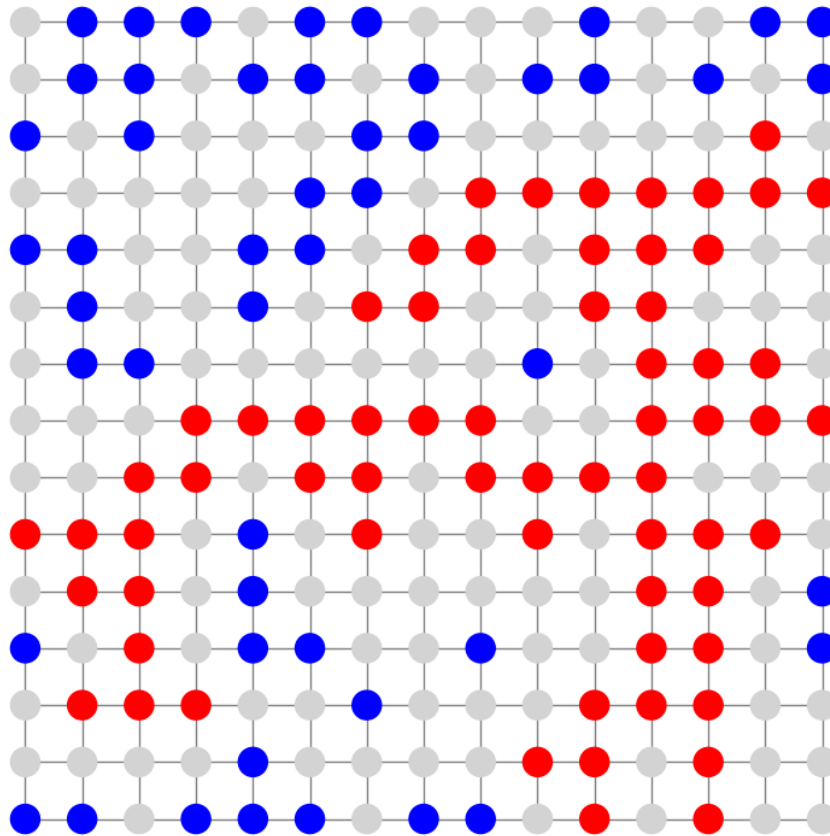


Рисунок 1.12. Приклад перколяційної моделі мережі

Побудова перколяційної моделі мережі в умовах 2D-моделювання (рис.1.13) з використанням окружностей дозволяє отримати детальне уявлення про еволюцію кластерів при різних значеннях параметра  $\Xi = \frac{V_{trans}}{V_{chaot}}$ . Залежно від цього відношення, система може формувати як компактні квазісиметричні, так і асиметричні структури. Отримувані геометричні параметри не лише будуть характеризувати процес агрегації, але й нададуть практичні критерії для розробки та оптимізації маршрутних шляхів у мережах. Застосування даної моделі дозволить створити адаптивні алгоритми маршрутизації, здатні враховувати як локальні властивості мережевих вузлів, так і глобальну топологію системи, що є надзвичайно актуальним у сучасних розподілених мережевих системах.

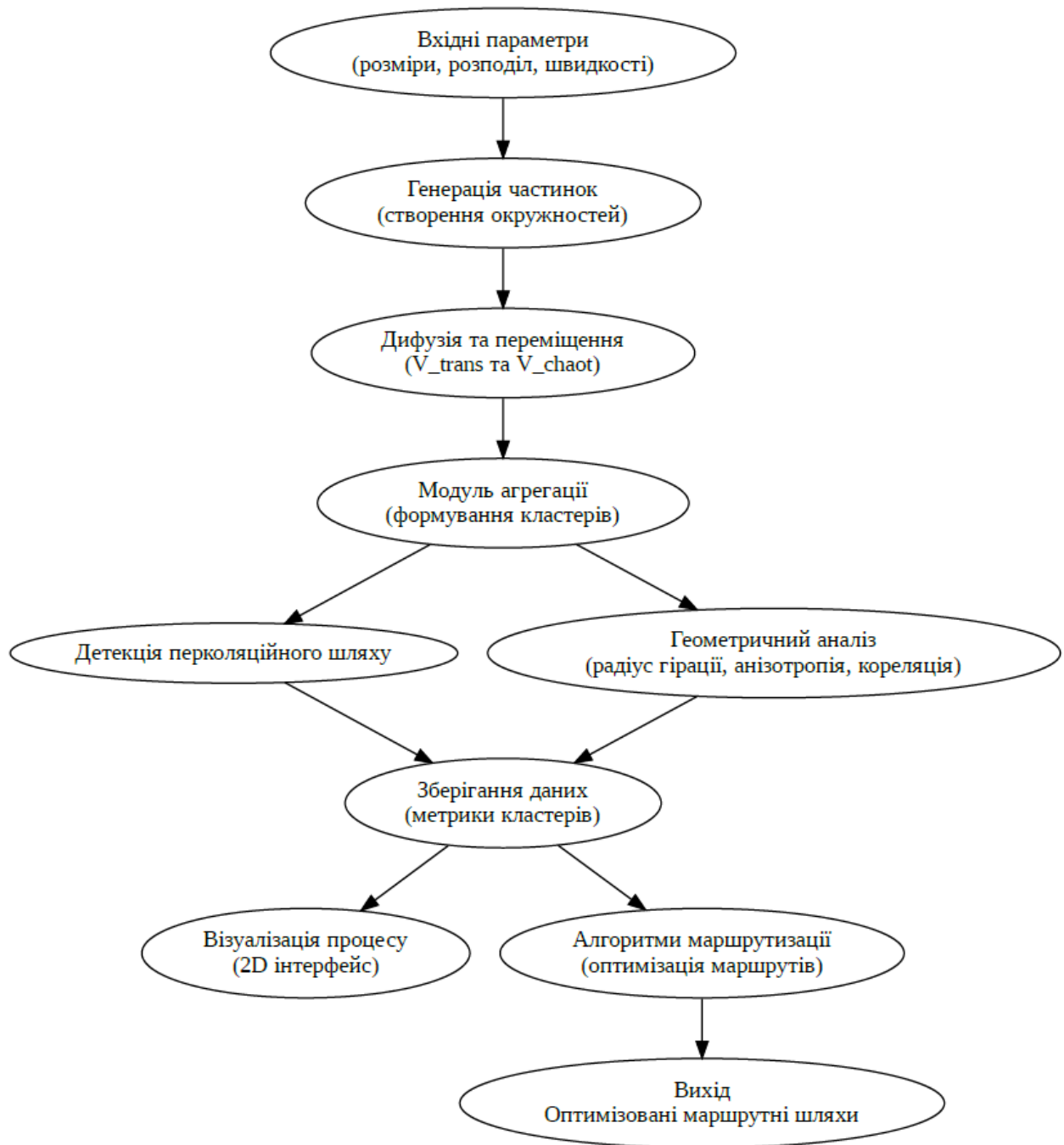


Рисунок 1.13. Діаграма етапів побудови перколяційної моделі мережі

## 1.6 Визначення геометричних характеристик кластерів

У процесі комп'ютерного моделювання перколяційних процесів у 2D-середовищі основна увага приділяється аналізу геометричних та просторових характеристик утворених кластерів. Для того щоб повноцінно охарактеризувати внутрішню структуру кожного кластера та його потенціал як основного елементу маршруту у мережі, визначаються наступні параметри:

- Радіус гірації: Радіус гірації  $R_g$  обчислюється як середнє квадратичне

відхилення відстаней кожної частки до центру мас кластера. В математичному вигляді це виражається формулою:  $R_g =$

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |r_i - r_{cm}|^2},$$
 де  $r_i$  — координата  $i$ -ої частки, а  $r_{cm}$  — радіус-

вектор центру мас. Цей параметр дозволяє оцінити розмірну характеристику кластеру й його компактність;

- Ступінь анізотропії: Ступінь анізотропії визначається за аналізом розподілу часток у просторі і характеризується як міра відхилення структури кластера від ідеальної симетрії. Один із поширених підходів полягає у обчисленні відношення власних значень тензора інерції кластера. Наприклад, якщо  $\lambda_{\max}$  і  $\lambda_{\min}$  — максимальне та мінімальне власні значення, то ступінь анізотропії можна визначити як  $A = 1 - \frac{\lambda_{\min}}{\lambda_{\max}}$ , що дозволяє оцінити геометричну асиметрію кластера. Значення  $A$  близькі до нуля свідчать про майже симетричну (компактну) форму, а великі значення — про витягнуті чи асиметричні структури;
- Кількість елементів у нескінченному кластері: У перколяційних моделях ключовим є визначення домінуючого або нескінченного кластера, який забезпечує глобальний перколяційний зв'язок. Аналіз відбувається шляхом підрахунку часток, що входять до цього кластера. Отримане число є показником масштабу та потенціалу даного кластера виступати як основний маршрут передавання сигналів у мережі;
- Радіус-вектор центру мас: Центр мас кластера визначається як середнє арифметичне координат усіх часток:  $r_{cm} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i$ . Радіус-вектор центру мас дозволяє локалізувати геометричний центр агрегаційної структури, що є важливим для подальшого аналізу просторового розташування кластеру в області моделювання. В контексті маршрутизації, використання центру мас може полегшити оптимальне розміщення вузлів у мережі;
- Кореляційна довжина: Кореляційна довжина характеризує масштаб, на

якому просторові взаємодії між частками стають незначними. Вона визначається через аналіз кореляційної функції розподілу часток:

$C(r) = \langle \rho(r_0)\rho(r_0 + r) \rangle$ , де  $\rho(r)$  — місцева щільність часток. Кореляційна довжина визначається як характерний масштаб, при якому  $C(r)$  спадає до певного порогового значення. Цей параметр дає можливість визначити межі впливу локальних процесів на глобальну організацію системи або маршруту мережі.

Отримані геометричні параметри модельних кластерів знаходять практичне застосування при оптимізації маршрутних шляхів у мережах:

- Радіус гірації: Менший  $R_g$  свідчить про більш компактний кластер, що забезпечує коротший маршрут передачі даних. Відтак, у мережевій системі вузли, що формують кластери з меншим  $R_g$ , можуть використовуватися для побудови центральних маршрутних шляхів;
- Ступінь анізотропії: Асиметричні кластери з високим значенням  $A$  можуть вказувати на неефективну будову маршруту через нерівномірний розподіл компонент. Обрання вузлів із низьким  $A$  дозволяє підвищити надійність і ефективність маршруту;
- Кількість елементів у нескінченному кластері: Аналіз цієї величини дає змогу ідентифікувати домінуючі кластери, які, за своєю природою, виступають як основні «магніти» для передачі інформації у мережі;
- Радіус-вектор центру мас: Локалізація центру мас сприяє подальшому розподілу мережі, допомагаючи оптимально розташувати вузли в зоні максимальної щільності її компонентів;
- Кореляційна довжина: Визначення масштабу, при якому локальні взаємодії слабшають, дозволяє встановити оптимальні межі між окремими кластерами і забезпечити стійкість глобальної топології маршруту.

Комплексний аналіз геометричних характеристик кластерів (рис.1.14) із застосуванням методів обчислення радіусу гірації, ступеня анізотропії, кількості елементів нескінченного кластеру, центру мас і кореляційної довжини дозволяє отримати детальну картину просторової організації модельних перколяційних

процесів. Ці дані стають основою для розробки адаптивних алгоритмів маршрутизації, що враховують не лише топологічну структуру мережі, але й її локальні та глобальні геометричні властивості.

| Параметри нескінченного кластера   | Параметри малих кластерів  |
|--|--|
| Маса кластера 625  | Маса кластера <input type="text" value="341"/> Кількість <input type="text" value="1"/>          |
| Потужність кластера 0,0006   | Потужність кластера 0,0003   |
| Радіус-вектор центру мас кластера 58,07  | Частка комірок кластерів, що належать кластерам даної маси 0,0005                                |
| Квадрат радіусу гірації ізотропних кластерів 793,98  | Радіус-вектор центру мас кластера 41,65  |
| Фрактальна розмірність 1,38  | Квадрат радіусу гірації ізотропних кластерів 267,28  |
| Індекс, що визначає зміну частки комірок, які належать кластеру з $s$ комірок при зміні $s$ 3,17 | Фрактальна розмірність 1,20  |
| Коефіцієнт пропорційності, який зв'язує число комірок в кластері із радіусом гірації 6,15        | Індекс, що визначає зміну частки комірок, які належать кластеру з $s$ комірок при зміні $s$ 3,50 |
|  | Коефіцієнт пропорційності, який зв'язує число комірок в кластері із радіусом гірації 11,98       |

Рисунок 1.14. Приклад розрахованих геометричних характеристик кластерів

## 1.7 Розробка БСА моделювання та аналізу

### 1.7.1 БСА обробки часток кластерів

У процесі моделювання кластероутворення необхідно оперативно і точно визначати, яким чином окремі частки попадають до одного кластера, а також які зв'язки існують між ними. Для цього реалізовано алгоритм обробки часток, представлений блок-схемою (рис. 1.15). Основна ідея алгоритму полягає у послідовному виявленні зв'язків між частинками за допомогою таблиці зв'язків та формуванні динамічного масиву, який містить номери часток, що належать до одного кластеру. Процедура реалізується наступним чином:

1. Ініціалізація обробки: На початку роботи система ініціалізує таблицю зв'язків, представлену у вигляді матриці розміром  $n \times n$ , де  $n$  — загальна кількість часток. Головна діагональ цієї матриці заповнюється значеннями 2 (що свідчить про встановлений зв'язок «частка–сама собою»), а інші елементи приймають значення 0 (зв'язок відсутній) або 1 (зв'язок потребує перевірки);

2. Вибір першої частки: З-поміж всіх часток обирається та, параметри якої ще не змінені, і вона маркується як оброблена. Її номер додається до динамічного

масиву, який зберігає інформацію про поточний кластер, а також лічильник часток (count) встановлюється на значення 1;

3. Ітеративна перевірка зв'язків: Обрана частка (номер якої є в масиві кластера) слугує вихідним пунктом для перевірки всіх можливих зв'язків з іншими частками. Засобами обходу по рядку відповідного елемента таблиці зв'язків перевіряються всі стовпці. Якщо в комірці знаходиться значення, що вказує на наявність зв'язку (значення 1 або 2), і відповідна частка ще не внесена до поточного масиву – її номер додається до масиву кластера й лічильник збільшується;

4. Розширення кластера: Після першої ітерації алгоритм переходить до наступної частки в отриманому масиві кластера та повторює процедуру перевірки у відповідних рядках таблиці зв'язків. Таким чином, перебір елементів триває скільки потрібно, поки всі частки, які мають зв'язок із вже обробленими, не будуть додані до масиву;

5. Завершення виділення: Цикл повторюється до тих пір, поки всі частки, що належать до розглянутого кластера, не будуть виявлені та зафіксовані в масиві. Після цього кластер заноситься до бази модельних даних, а алгоритм переходить до обробки наступного неозначеного елемента, що забезпечує повне виділення всіх кластерів у системі;

6. Відображення результатів: Для візуалізації було застосовано стандартний компонент TListBox з Embarcadero RAD Studio, який в режимі реального часу відображає список кластерів разом із зазначенням кількості часток у кожному з них. Це дозволяє користувачу контролювати процес кластероутворення та аналізувати статистичні дані;

Блок-схема алгоритму обробки часток кластерів наведена на рис. 1.15:

- Початок: Алгоритм ініціюється з вибору першої необробленої частки.
- Маркування: Номер цієї частки записується до масиву активного кластера, лічильник встановлюється в 1;
- Обхід таблиці зв'язків: Для кожної частки з активного масиву переглядаються усі зв'язки (ряди матриці). Якщо знаходиться зв'язок

(значення 1 або 2) і частка ще не оброблена, вона додається до масиву.

- Ітеративне розширення: Цикл повторюється, поки не буде вичерпано інформацію з таблиці для поточного кластера;
- Заключний етап: Після завершення обробки для поточного кластера, його дані зберігаються, і алгоритм переходить до наступного необробленого елемента.

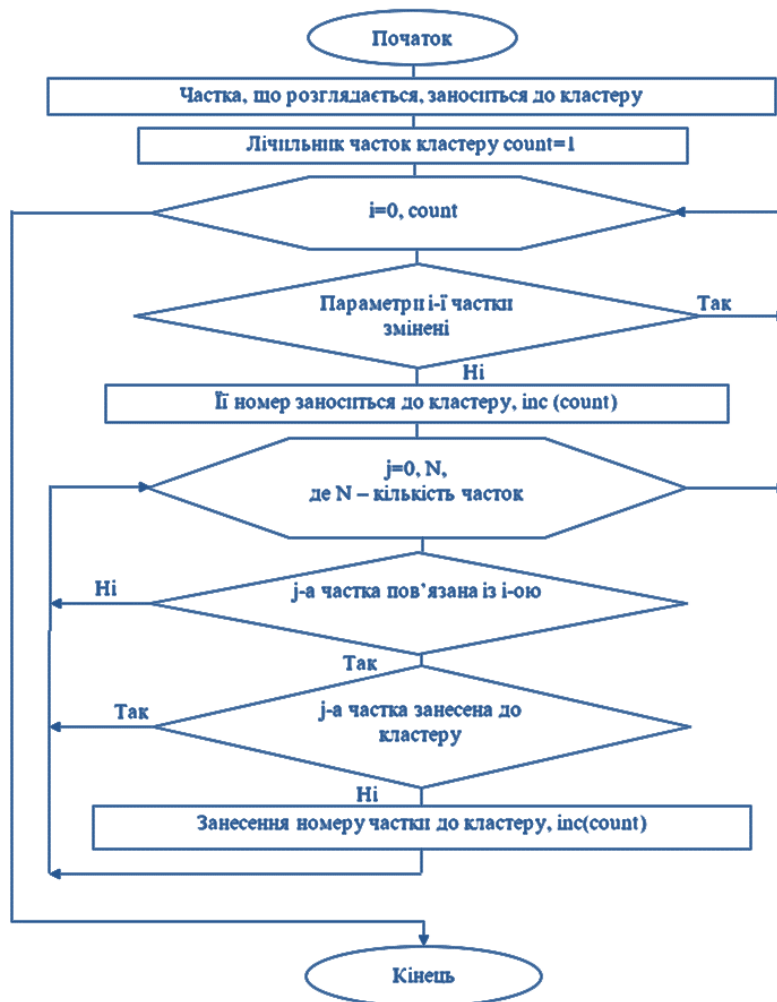


Рисунок 1.15. БСА обробки часток кластерів

### 1.7.2. БСА обробки кластерів та їх зв'язків

У процесі моделювання перколяційних процесів окрім виділення окремих кластерів надзвичайно важливо правильно обробляти та аналізувати взаємозв'язки між сформованими кластерами. Для цього розроблено базову схемну апаратну (БСА) обробки кластерів та їх зв'язків, який дозволяє динамічно інтегрувати окремі агреговані групи часток у єдину структуру, забезпечуючи коректне злиття і подальшу оптимізацію маршрутних шляхів у мережі.

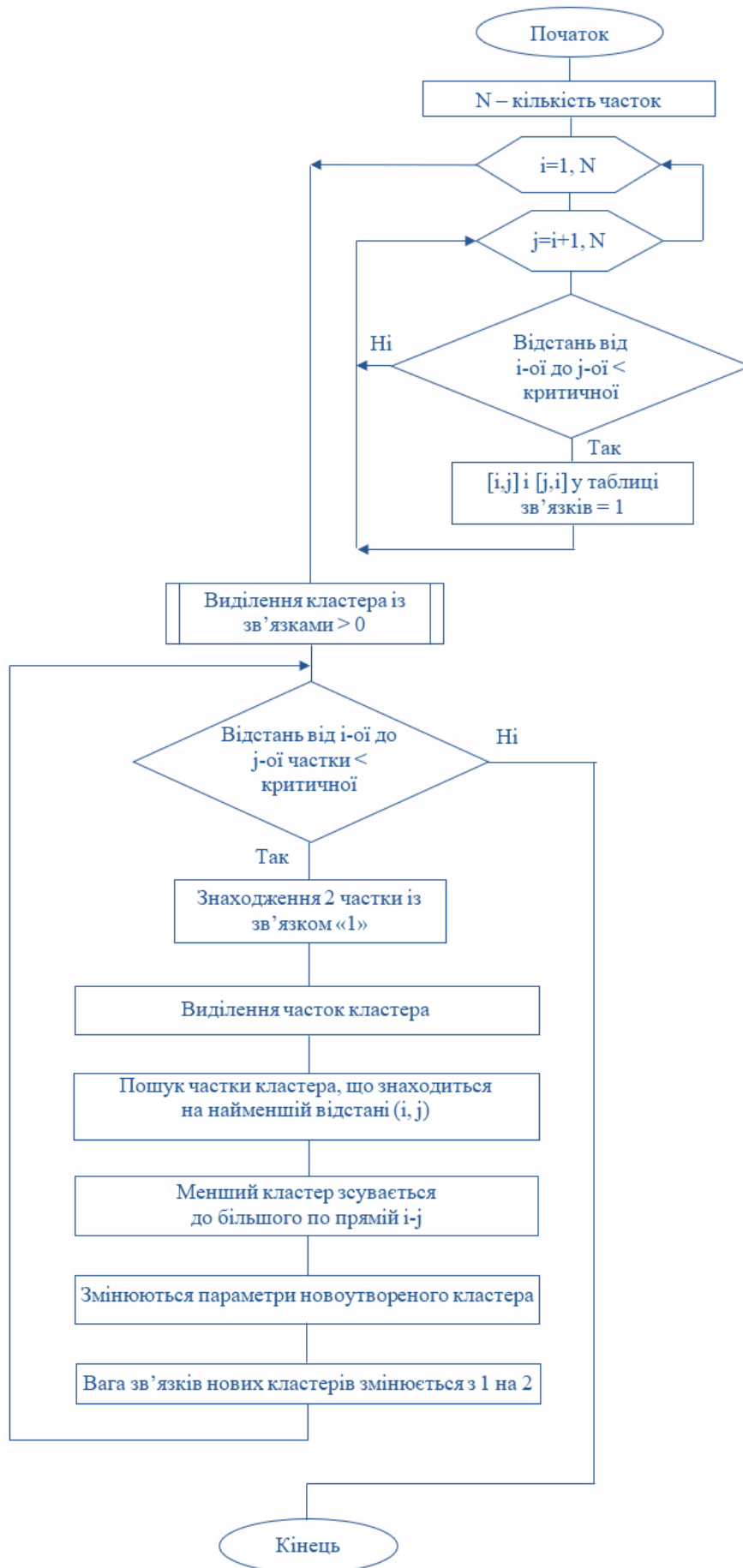


Рисунок 1.16. БСА об'єднання кластерів

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ

Алгоритм об'єднання кластерів умовно розділено на 6 етапів:

1. Пошук крайової частки кластера: На першому етапі визначається та відшукується частка (елемент), що має найбільшу відстань від осі перколяційного поля, з урахуванням конфігурації всього поля. Ця частка є «крайовою» для даного кластера і визначає напрям руху об'єднання;

2. Розрахунок наступного положення: Виконується обчислення нового потенційного положення крайової частки. Це положення отримується за допомогою адаптивного алгоритму переміщення, який враховує поточні координати, напрямок руху та значення детермінованої (переносної) і випадкової складових швидкості;

3. Перевірка меж поля: Отримане нове положення перевіряється на відповідність межах перколяційного поля. Якщо позиція знаходиться всередині поля, алгоритм переходить безпосередньо до етапу 5 для здійснення зсуву та корекції координат. Якщо ж нове положення виходить за межі активної області, виконується перехід до етапу 4;

4. Фіксація координат малих кластерів: У разі, коли нове положення виявляється за межами перколяційного поля, координати частки фіксуються для побудови малих кластерів. Якщо координати отриманих малих кластерів розташовані на неперервній ділянці (тобто знаходяться в активному перколяційному полі), дані про координати та відповідний радіус кластеру заносяться до спеціального масиву для майбутнього аналізу;

5. Корекція положення та обчислення зміщення: Якщо ж нове положення відповідає умовам поля, розраховується зміщення поточної частки відносно попереднього положення. Одночасно здійснюється корекційне зсування інших часток, що входять до існуючого кластера. Результатом цього етапу є оновлення параметрів часток (координати, зсуви) із прийняттям точки перетину як нових початкових координат для подальшого об'єднання;

6. Циклічне повторення: Після обробки поточної частки здійснюється циклічний перехід до пункту 1 для наступного визначення крайової частки. Цей

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 34   |

цикл триває до повного об'єднання кластерів, коли вся інформація про зв'язки між частинами глобально інтегрована.

На рис. 1.16 представлено деталізовану блок-схему алгоритму об'єднання кластерів. У схемі окремо виділено початковий етап визначення крайової частки, після чого відбувається обчислення нового положення цієї частки. Подальша перевірка меж перколяційного поля спричиняє розгалуження алгоритму: якщо положення вийшло за межі, координати фіксуються для побудови малих кластерів, інакше – здійснюється корекція положення, що супроводжується зсувом решти часток кластера. Ланцюг операцій повторюється циклічно, доки всі кластери не будуть об'єднані до єдиної агрегованої структури. Дана БСА дозволяє не лише обробляти окремі кластери, але й встановити зв'язки між ними. Це є необхідним для подальшої побудови маршрутизації у мережі, де оптимальний маршрут формується за умов, коли найбільш крайові та компактні кластери об'єднуються в єдину систему, що забезпечує стійкість та ефективність передавання даних.

### 1.7.3 БСА склеювання одиночних часток

Процес коагуляції (склеювання) одиночних часток в імітаційній моделі реалізовано за допомогою спеціального алгоритму, який забезпечує поступове утворення кластерів із первинних окремих елементів. Основна ідея алгоритму полягає у визначенні просторових зв'язків між парами часток, що знаходяться на відстані, меншій за критичне значення, та подальшому об'єднанні таких часток у єдині агреговані структури. Алгоритм (БСА) складається з наступних кроків:

1. Перевірка відстаней між одиночними частками: Для кожної  $i$ -ої частки проводиться перевірка відстані до  $j$ -тих часток (де  $j > i$ ), що дозволяє уникнути повторного перебору одних і тих самих пар. Якщо відстань між часткою  $i$  та часткою  $j$  перевищує задане критичне значення, пара ігнорується. Якщо ж відстань становить менше або дорівнює критерію, у комірці  $[i, j]$  та  $[j, i]$  таблиці зв'язків записується значення «1», що сигналізує про можливість коагуляції цих часток;

2. Виділення сформованих кластерів: На основі отриманої таблиці зв'язків виконується відбір груп часток, які мають принаймні один зв'язок із значенням «1». Дані про взаємодіючі частки об'єднуються: умова додавання нового елемента до кластера полягає у наявності хоча б одного зв'язку з вагою, більшою за 0. Таким чином, виділяється початкова структура кластера, що складається з одиночних часток, які щойно увійшли в контакт;
3. Визначення нових часток кластера: Серед часток, що утворили зв'язки, на основі таблиці визначаються ті, які недавно вступили у коагуляцію. Це дозволяє відокремити нові «входи» до кластера від вже стабілізованих зв'язків;
4. Пошук найменшої відстані: Для усіх знайдених зв'язків визначається найменша відстань між частками, які вже «склеїлися», і новими частками, що тільки-но взаємодіяли. Цей етап дозволяє ідентифікувати найближчу пару, на основі якої буде здійснено подальше об'єднання кластерів;
5. Корекція положення нового кластера: Визначається зміщення нової частки (або невеликого підкластеру) відносно старого кластера за прямою, що з'єднує частки з найкоротшою між собою відстанню. Параметри координат оновлюються: новий кластер «прикріплюється» до старого, а точка перетину цих структур приймається як нові початкові координати для всієї агрегованої одиниці;
6. Оновлення параметрів та переходи до наступних ітерацій: Після зміни положення всіх часток нового кластера, він розглядається як окрема одиниця з власною швидкістю, напрямком руху та масою, що дорівнює сумі мас його складових (навіть окремі частки розглядаються як кластер). Ці параметри передаються до модулю розрахунку нових значень швидкостей. Після цього, у таблиці зв'язків усі «1» (зв'язки, що утворилися при склеюванні) замінюються на значення «2», що свідчить про сталий зв'язок між частинками нового кластера та тими, з ким він об'єднався. Пункти 5–8 виконуються циклічно до тих пір, поки в таблиці не зникнуть всі одиничні зв'язки, що означає повне об'єднання одиночних часток у кластери.

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 36   |

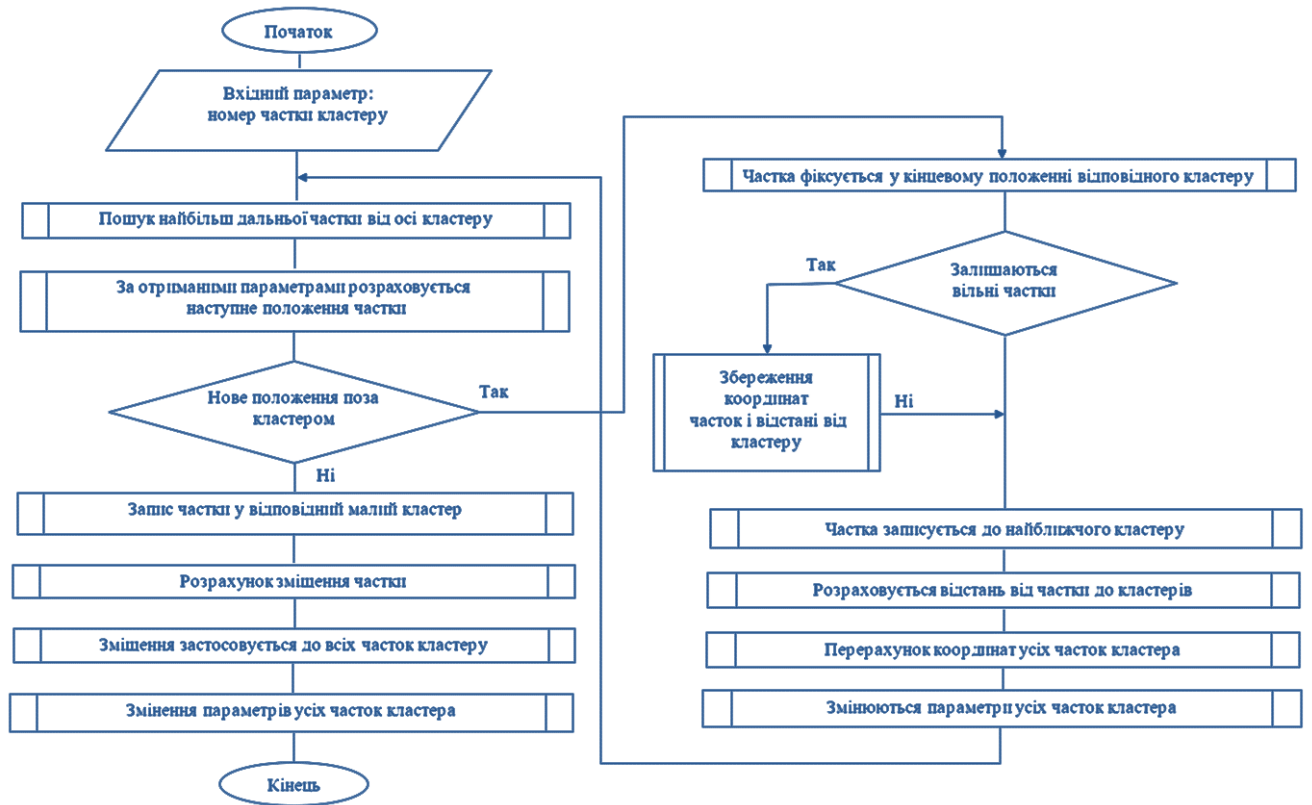


Рисунок 1.17. БСА склеювання одиночних часток

За блок-схемою (рис. 1.17) процес розпочинається з перевірки відстаней між кожною парою часток. Після відмітки взаємодій відбувається формування первинних кластерів, після чого система визначає найменшу відстань між вже об'єднаними частками та новими. На основі цієї інформації здійснюється зміщення кластера, оновлення координат та параметрів руху. Кінцевим результатом є повна агрегація одиночних часток у більшій структури, що дозволяє використовувати отримані кластери для подальшого аналізу геометричних характеристик і оптимізації маршрутних шляхів у мережі.

#### 1.7.4 БСА покрокового моделювання

У режимі покрокового моделювання організовано послідовний алгоритм, який демонструє роботу моделі на кожному такті. Основне завдання алгоритму – поетапно оновлювати стан перколяційного поля, формувати та опрацьовувати кластерні структури з використанням таблиці зв'язків, а також оновлювати параметри часток та кластерів. Схема цього алгоритму представлена на рис. 1.18. Основні кроки алгоритму включають наступне:

1. Інкремент таймера. На початку кожного такту спеціальний таймер збільшується на 1. Це дозволяє вести синхронізацію та контроль часу симуляції;

2. Ініціалізація та візуалізація перколяційного поля. В даному кроці здійснюється повторна ініціалізація геометрії моделюваного поля, після чого воно виводиться на екран. Візуалізація дозволяє користувачу бачити поточний стан системи й застосовувати параметри (розміри поля, кількість шарів часток, діаметр частки);

3. Виділення кластерів за допомогою таблиці зв'язків. За допомогою таблиці зв'язків, яка містить інформацію про взаємозв'язки часток, автоматично виділяються всі існуючі кластери. При цьому навіть окремі частки, що розглядаються як кластери з одним елементом, формують тимчасові структури для поточної ітерації;

4. Встановлення кластера. Викликається спеціальна процедура, що відповідає за об'єднання/пересування кластерів. Функція визначає, як окремі кластери (або їх елементи) приєднуються один до одного, забезпечуючи акуратне формування єдиної агрегованої структури;

5. Перевірка коагуляції часток/кластерів. Виконується аналіз формування зв'язків між частками або окремими кластерами. Здійснюється перевірка відстаней між ними – якщо відстань менша за критичне значення, це свідчить про «склеювання» структур. Цей етап є вирішальним для розпізнавання початкової стадії об'єднання;

6. Виділення утвореного кластера. Після підтвердження взаємодії формується новий кластер. Кластер обирається як сукупність часток, взаємодія яких підтверджується через таблицю зв'язків і встановлені зв'язки з вагою більше 0;

7. Оновлення розташування часток у кластері. Після утворення кластера виконується оновлення координат його часток. Розташування змінюється відповідно до алгоритмічних правил (застосування векторних зсувів), що гарантує правильну геометричну інтерпретацію об'єднання (зміщення часток у напрямку найкоротшої відстані між ними);

## 8. Оновлення параметрів склеєних часток і кластерів

На завершальному етапі вносяться зміни у значення параметрів: оновлюються дані про швидкість, напрямок руху, масу (сума мас входячих часток) та інші характеристики. Також у таблиці зв'язків фіксується новий стан зв'язків (зв'язки одиниць змінюються на значення 2), що свідчить про встановлений та остаточний зв'язок між об'єктами;

Ці кроки повторюються циклічно в автоматичному режимі моделювання до досягнення заданих умов (параметри моделювання, такі як розміри перколяційного поля, кількість початкових часток або шарів, діаметр частки). Варто зазначити, що модель дозволяє задавати часовий інтервал для автоматичного розрахунку розмірностей, а також динамічно змінювати цей параметр під час проведення експерименту.

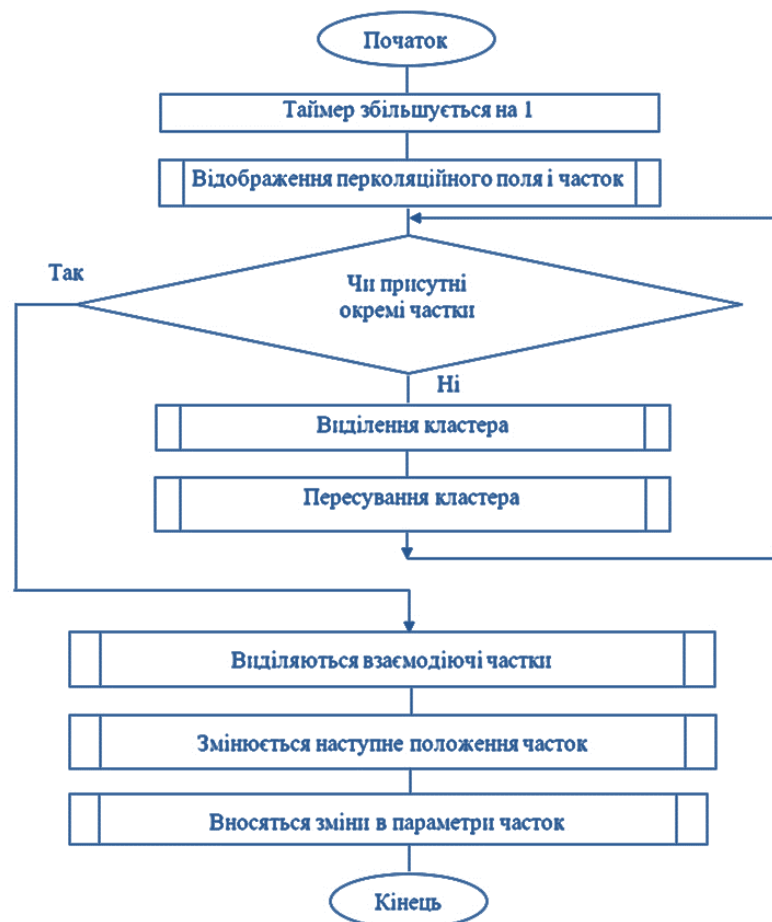


Рисунок 1.18. БСА покрокового моделювання

Рис. 1.18. демонструє блок-схему цього покрокового алгоритму, де кожен крок логічно переходить до наступного, забезпечуючи повну інтеграцію даних

про стан системи. Постійними структурами є масив часток і таблиця зв'язків, з яких формуються тимчасові структури даних кластерів для поточної ітерації моделювання.

### 1.7.5 Алгоритм розрахунку геометричних характеристик

Модуль розрахунку геометричних характеристик є спеціалізованим програмним компонентом, який отримує на вхід покажчик на динамічний масив об'єктів (TClusterParameters), що описують окремі частки кластера. На виході модуль формує набір даних, необхідних для подальшого статистичного аналізу. Розрахунки виконуються паралельно (за потреби застосування багатопоточності через клас TThread), що дозволяє ефективно обчислювати параметри навіть для великих систем.

Нижче подано алгоритмічні описи методів розрахунку основних геометричних характеристик.

Обчислення радіусу гірації:

1. Обчислення центру мас: Для заданого кластера, що складається з  $N$  часток, прохідним циклом обчислюється сума координат усіх часток для кожної осі ( $x$ ,  $y$ , [ $z$ ] – у нашому випадку 2D, тому  $x$  та  $y$ ). Центр мас обчислюється як

$$r_{cm} = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \right);$$

2. Обчислення середнього квадратичного відхилення:  
– Для кожної частки обчислюється квадрат відстані до центру мас:

$$d_i^2 = (x_i - x_{cm})^2 + (y_i - y_{cm})^2. \text{ Середнє значення обчислюється як } \overline{d^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2;$$

3. Підсумкове значення: –Радіус гірації визначається через квадратний корінь з середнього значення:  $R_g = \sqrt{\overline{d^2}}$ .

Реалізація даного алгоритму мовою C++ є такою:

```
double CalculateRadiusGyration(const std::vector<TClusterParameters>
& cluster) {
    int N = cluster.size();
    double sumX = 0, sumY = 0;
    for (const auto& part : cluster) {
```

```

    sumX += part.x;
    sumY += part.y;
}
double x_cm = sumX / N;
double y_cm = sumY / N;

double sumSq = 0;
for (const auto& part : cluster) {
    double dx = part.x - x_cm;
    double dy = part.y - y_cm;
    sumSq += dx * dx + dy * dy;
}
return sqrt(sumSq / N);
}

```

Обчислення ступеня анізотропії:

1. Побудова тензора інерції: Для кожної частки кластеру обчислити елементи тензора інерції  $I$  за формулами:  $I_{xx} = \sum_{i=1}^N (y_i - y_{cm})^2$ ,  $I_{yy} = \sum_{i=1}^N (x_i - x_{cm})^2$ ,  $I_{xy} = -\sum_{i=1}^N (x_i - x_{cm})(y_i - y_{cm})$ ;

2. Визначення власних значень: Знайти власні значення  $\lambda_{max}$  та  $\lambda_{min}$  тензора  $I$  (наприклад, засобами бібліотеки Eigen або власними алгоритмами);

3. Обчислення ступеня анізотропії: Визначити параметр анізотропії як  $A = 1 - \frac{\lambda_{min}}{\lambda_{max}}$ , де  $A$  змінюється від 0 (повна симетрія) до значень, що наближаються до 1 (висока асиметрія).

Реалізація даного алгоритму мовою C++ є такою:

Функція для 2x2 матриці:

```

struct InertiaTensor {
    double Ixx, Iyy, Ixy;
};
double CalculateAnisotropy(const std::vector<TClusterParameters>& cluster) {
    int N = cluster.size();
    double sumX = 0, sumY = 0;
    for (const auto& part : cluster) {
        sumX += part.x;
        sumY += part.y;
    }
    double x_cm = sumX / N;
    double y_cm = sumY / N;
}

```

```

InertiaTensor tensor = {0, 0, 0};
for (const auto& part : cluster) {
    double dx = part.x - x_cm;
    double dy = part.y - y_cm;
    tensor.Ixx += dy * dy;
    tensor.Iyy += dx * dx;
    tensor.Ixy += -dx * dy;
}
// Обчислення власних значень 2x2 матриці
double trace = tensor.Ixx + tensor.Iyy;
double det = tensor.Ixx * tensor.Iyy - tensor.Ixy * tensor.Ixy;
double eigen1 = trace / 2 + sqrt((trace * trace) / 4 - det);
double eigen2 = trace / 2 - sqrt((trace * trace) / 4 - det);
if (eigen1 == 0) return 0;
return 1 - eigen2 / eigen1;
}

```

Визначення кількості елементів у нескінченному кластері:

1. Ідентифікація нескінченного кластера: На основі таблиці зв'язків та просторових умов (наприклад, зв'язок з краями моделювального поля) визначається який із кластерів має характеристику нескінченності (тобто той, який простягається через всю систему);
2. Підрахунок часток: В циклі визначається кількість частин, що входять до цього глобального кластера.

Реалізація даного алгоритму мовою C++ є такою:

```

int CountInfiniteClusterElements(const std::vector<Cluster>& clusters) {
    int count = 0;
    for (const auto& cluster : clusters) {
        if (cluster.isInfinite) {
            return cluster.elements.size();
        }
    }
    return count;
}

```

Обчислення радіус-вектора центру мас:

1. Агрегація координат: Проходиться через всі частки кластеру, сумуючи значення координат;
2. Обчислення координат центру: Центр мас визначається як  $r_{cm} =$

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 42   |

$$\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i\right).$$

Реалізація даного алгоритму мовою C++ є такою:

```
struct Point {
    double x, y;
};
Point CalculateCenterOfMass(const std::vector<TClusterParameters>
& cluster) {
    int N = cluster.size();
    double sumX = 0, sumY = 0;
    for (const auto& part : cluster) {
        sumX += part.x;
        sumY += part.y;
    }
    return {sumX / N, sumY / N};
}
```

Обчислення кореляційної довжини:

1. Обчислення кореляційної функції: Для заданого кластера визначається кореляційна функція  $C(r)$ , яка обчислюється як середнє значення добутку щільностей в точці  $r_0$  та в точці  $r_0 + r$ ;

2. Ідентифікація масштабу спаду: За змінною  $r$  знаходиться така відстань, при якій кореляційна функція спадає до встановленого порогового значення (наприклад,  $1/e$  від максимальної величини). Це значення і є кореляційною довжиною.

Реалізація даного алгоритму мовою C++ через подвійний цикл по парах часток з застосуванням методу Монте-Карло для оцінки середніх значень є такою:

```
double CalculateCorrelationLength(const std::vector<TClusterParameters>
& cluster, double threshold = 1.0 / M_E) {
    int N = cluster.size();
    // Створимо вектор відстаней та відповідних кореляційних значень
    std::vector<double> rValues;
    std::vector<double> cValues;
    // Для кожної пари часток обчислимо відстань і акумулюємо амплітуду кореляції
    for (int i = 0; i < N; i++) {
        for (int j = i + 1; j < N; j++) {
            double dx = cluster[i].x - cluster[j].x;
            double dy = cluster[i].y - cluster[j].y;
            double r = sqrt(dx*dx + dy*dy);
```

```

    rValues.push_back(r);
    // Для простоти припустимо, що кореляція експоненційно спадає
    cValues.push_back(exp(-r));
  }
}
// Знаходимо середнє значення r, при якому cValue ~ threshold
// Можна апроксимувати за допомогою лінійної інтерполяції
double correlationLength = 0;
for (size_t i = 0; i < rValues.size(); i++) {
    if (cValues[i] <= threshold) {
        correlationLength = rValues[i];
        break;
    }
}
return correlationLength;
}

```

Весь модуль розрахунку геометричних характеристик побудований як глобальний об'єкт (або як набір функцій у відповідному просторі імен), що містить функції для розрахунку кожного з перерахованих параметрів. На вході модуль отримує покажчик на масив об'єктів (часток кластера). Результати розрахунків – числові значення (радіус гірації, коефіцієнт анізотропії, кількість елементів нескінченного кластера, координати центру мас, кореляційна довжина) – використовуються як вбудовані параметри для подальшої статистичної обробки.

Використання багатопоточності (з використанням класу TThread) дозволяє паралельно проводити розрахунки для різних кластерів, що суттєво прискорює обчислювальний процес для систем із великою кількістю часток. Таким чином, алгоритм розрахунку геометричних характеристик забезпечує квантитативну оцінку внутрішньої структури модельних кластерів, що є необхідним для аналізу їхнього впливу на ефективність маршрутизації в мережевих системах.

## 1.8 Реалізація візуального інтерфейсу застосунку для моделювання і аналізу геометричних характеристик кластерів

Реалізація візуального інтерфейсу застосунку для моделювання і аналізу геометричних характеристик кластерів виконана на базі VCL-компонентів Embarcadero RAD Studio та забезпечує інтерактивне управління процесом

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 44   |

моделювання, відображення динамічно змінних результатів та проведення статистичного аналізу перколяційних процесів. Інтерфейс складається з кількох основних модулів, які забезпечують повноцінне керування моделлю та демонстрацію отриманих геометричних характеристик.

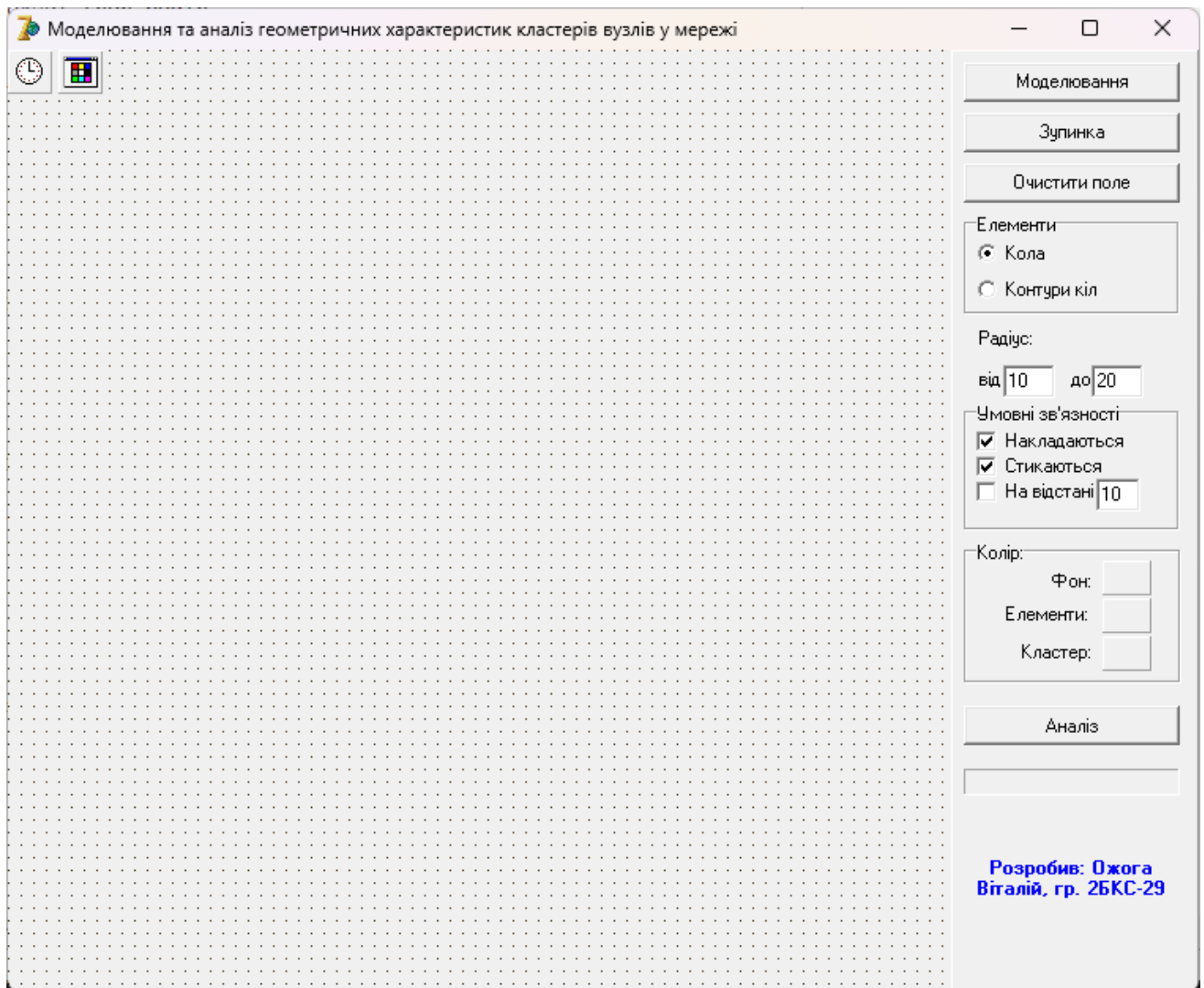


Рисунок 1.19. Інтерфейс головної форми на етапі розробки

Головне вікно (TForm1) виконує роль платформи, на якій формується перколяційне поле і відображаються елементи моделювання (рис.1.19):

Полотно відображення: За допомогою об'єкта TBitmap створюється робоче поле, розмір якого встановлюється при ініціалізації форми (процедура FormCreate). TBitmap використовується як проміжна область для малювання одиночних часток, їх зображення (окружності, кола) та кластерів. Малюнок потім перемальовується на Canvas основного вікна за допомогою Canvas.Draw;

Компоненти керування: Для налаштування параметрів моделювання

використовуються стандартні компоненти:

- TSpeedButton для вибору кольорів (BackgroundColorBtn, CirclesColorBtn, KlasterColorBtn). При виборі кольору викликаються відповідні процедури (BackgroundColorBtnClick, CirclesColorBtnClick, KlasterColorBtnClick) із застосуванням діалогового вікна (TColorDialog). Функція SetColor генерує і встановлює графічні значки, що демонструють актуальний колір;

- TEdit компоненти (RadiusMin, RadiusMax, Rasst) забезпечують введення числових значень для радіусів розміру часток та відстані перевірки, із вбудованою валідацією для підтримки коректності вхідних даних;

- TCheckBox і TComboBox дозволяють обирати режими відображення (наприклад, чи малювати окремі частки як контур або заповнені кола) та вибирати конкретні параметри обробки кластерів (наприклад, вибір одиниць кластерів для подальшої апроксимації);

Таймер для автоматичного моделювання: Компонент Timer1 організовує покрокове оновлення стану моделі. При кожному такті (Timer1Timer) відбувається:

- Генерація нових часток із заданими параметрами випадкового розміру та позиції;

- Перемальовування робочої області (методи FormPaint та CheckCirclesClick);

- Оновлення статистичних показників, таких як кількість одиничних часток, кінцевих та нескінчених кластерів;

- Виклик модулів для розрахунку геометричних характеристик (наприклад, CalcRadius), результати яких одразу відображаються в інформаційних полях.

Окрема форма (Params) призначена для детального перегляду та аналізу результатів моделювання. При натисканні кнопки «Аналіз» відкривається це вікно, в якому розташовано:

Інформаційні панелі: Ряд Label-компонентів відображає статистичні показники: загальну кількість елементів, кількість пікселів, зайнятих одиничними частками, кінцевими кластерами та нескінченим кластером; частки комірок, які

належать різним типам кластерів; а також числові значення для геометричних характеристик – середнє значення радіусу гірації, ступінь анізотропії, кореляційну довжину та значення радіус-вектора центру мас;

Контроль параметрів: За допомогою TComboBox користувач може обирати кластер певного розміру для детального аналізу, змінювати часові інтервали розрахунку та інші налаштування. Інтерактивне управління дозволяє виконувати аналіз параметрів системи безпосередньо під час роботи моделі.

Аналіз геометричних характеристик

Кола:  
Кількість елементів: 0  
Елементів кінцевих кластерів: 0  
Елементів нескінченного кластера: 0

Пікселі:  
Кількість елементів: 0  
Елементів кінцевих кластерів: 0  
Елементів нескінченного кластера: 0

Параметри нескінченного кластера:  
Ймовірність того, що обраний вузол належить якому-небудь кластеру: 0  
Частка комірок, зайнятих нескінченим кластером: 0

Параметри кінцевих кластерів:  
Частка комірок, зайнятих всіма кінцевими кластерами: 0  
Середня маса кінцевого кластера: 0  
Середнє значення радіусу гірації: 0  
Кореляційна довжина (довжина зв'язності): 0  
Розмір кластера:   
Кількість кластерів, що містять  $z$  вузлів: 0  
Частка комірок, що належать кластерам з  $z$  вузлів: 0  
Ймовірність того, що помічений вузол належить кластеру з  $z$  вузлів: 0  
Радіус-вектор центру мас кластера: 0  
Радіус гірації для ізотропних кластерів: 0  
Ступінь анізотропії: 0

Рисунок 1.20. Інтерфейс підлеглої форми аналізу кластерів та етапі розробки

Взаємодія між головною формою і формою аналізу забезпечується синхронізацією даних. Наприклад, після кожного циклу моделювання викликаються процедури (GetParams, CalcRadius, FillDotsArray), що обчислюють статистичні та геометричні показники. Отримані результати автоматично відображаються як на основному полі, так і у вікні аналізу. Таким чином, змінені

дані миттєво відображаються на візуальних компонентах, що дозволяє користувачу одразу бачити вплив заданих параметрів на процес утворення перколяційних шляхів.

У головному модулі застосунку (Form1.cpp) функції мовою C++ інтегровані у відповідні події (наприклад, у Timer1->OnTimer, Button Click події, методи обробки зміни параметрів). Код ключових функцій наведено у Додатку А. Використання TBitmap, Canvas і динамічних масивів забезпечує обчислення і відображення змін у моделі в режимі реального часу. Окрім того, дані, що отримуються у процесі розрахунків (через GetParams та CalcRadius, викликані з форми Params), експортуються у файли (\*.dat) для подальшої статистичної обробки.

## **1.9 Проведення експериментів та аналіз результатів моделювання**

У дослідженні було проведено серію експериментів, спрямованих на аналіз геометричної організації перколяційних кластерів та їх подальшого використання для маршрутизації в мережі. Основною метою було визначення залежностей між параметрами кластерів (кількістю елементів, геометричними характеристиками, просторовим розташуванням) і якістю мережевих зв'язків, що забезпечують оптимальні маршрути передачі даних. Результати дослідження дозволяють розрізняти два основні типи розташування кластерних елементів: досить компактні (квазісиметричні) та асиметричні (з вираженими відростками).

В експериментах використовувалися однакові початкові умови для формування одиничних часток, проте варіювалися параметри:

- Розмір одиничних часток (діапазон радіусів, визначених за допомогою параметрів RadiusMin і RadiusMax);
- Параметр відстані перевірки (значення, що задається у полі Rasst);
- Тип взаємодії між частками: умова «неперетинання» (коли частки не повинні контактувати) або «суперечність» (коли є часткове перекриття).

На основі цих параметрів формувалися різні варіанти розташування кластерів, які потім аналізувалися з використанням модуля статистики. В

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 48   |

окремому вікні (форма Params) були визначені такі показники:

- Кількість елементів (одиночних часток, кінцевих і нескінченних кластерів);
- Показники за піксельними областями (кількість пікселів, зайнятих одиночними частками, малими кластерами та нескінченним кластером);
- Геометричні характеристики: середній радіус гірації, ступінь анізотропії, кореляційна довжина та радіус-вектор центру мас кожного кластеру;
- Відносні показники (частка комірок, зайнятих певними типами кластерів, ймовірність належності випадкового вузла до кластера).

Для наочності були побудовані таблиці з результатами розрахунків для різних експериментальних варіантів. Зокрема, один із випадків (елементи кластерів розташовані досить компактно) дав наступні результати (табл.1.1).

Таблиця 1.1. Результати експерименту (Випадок А – компактні кластери)

| <i>Показник</i>                      | <i>Значення</i> |
|--------------------------------------|-----------------|
| Кількість одиночних елементів (кола) | 403             |
| Кількість кінцевих кластерів         | 111             |
| Кількість нескінченних кластерів     | 292             |
| Кількість пікселів (елементи)        | 220510          |
| Пікселі кінцевих кластерів           | 60614           |
| Пікселі нескінченного кластеру       | 159896          |
| Середній радіус гірації $R(g)$       | 13.68           |
| Ступінь анізотропії (A)              | 0.0834          |
| Кореляційна довжина                  | 98.46           |
| Радіус-вектор центру мас             | 99.22           |

В іншому випадку (Випадок В – асиметричні кластери з довгими відростками) отримано дещо змінені значення (табл.1.2).

Аналіз отриманих даних (рис.1.22) показує, що:

- При компактному розташуванні елементів (Випадок А) кластери мають менший середній радіус гірації та нижчий коефіцієнт анізотропії, що свідчить про більш рівномірне розташування часток. Це дозволяє формувати вузли мережі з високою щільністю, що сприяє оптимізації маршрутів – зв'язки між вузлами мають менші затримки й кращу стабільність;

- При асиметричному розташуванні (Випадок В) збільшується як радіус ґірації, так і ступінь анізотропії. Вища кореляційна довжина вказує на розширену зону впливу окремих вузлів, що може затруднювати стабільну маршрутизацію, оскільки вузли мережі мають нерівномірний розподіл і можуть викликати збільшення навантаження на деякі ланки зв'язку.

Таблиця 1.2. Результати експерименту (Випадок В – асиметричні кластери)

| <i>Показник</i>                      | <i>Значення</i> |
|--------------------------------------|-----------------|
| Кількість одиничних елементів (кола) | 378             |
| Кількість кінцевих кластерів         | 90              |
| Кількість нескінченних кластерів     | 288             |
| Кількість пікселів (елементи)        | 210000          |
| Пікселі кінцевих кластерів           | 58000           |
| Пікселі нескінченного кластеру       | 152000          |
| Середній радіус ґірації ( $R(g)$ )   | 15.25           |
| Ступінь анізотропії ( $A$ )          | 0.1420          |
| Кореляційна довжина                  | 105.87          |
| Радіус-вектор центру мас             | 107.30          |

Сформовані кластери (рис.1.21) розглядаються як вузли мережі, де:

- Вузли мережі відповідають конкретним агрегаціям часток. Кількість елементів, що входять до нескінченних кластерів, безпосередньо впливає на стабільність зв'язків, оскільки такі вузли традиційно мають більше зв'язків із іншими елементами системи;
- Маршрути передачі даних формуються шляхом об'єднання вузлів, що демонструють високу щільність (низький радіус ґірації) та майже симетричне розподілення в просторі (низький коефіцієнт анізотропії). Випадок А, де обрано компактне розташування елементів, свідчить про можливість оптимальної маршрутизації, забезпечуючи мінімальні затримки та високий рівень пропускної здатності;
- У разі, коли вузли формуються на підставі асиметричних кластерів (Випадок В), маршрути можуть страждати від нерівномірного розподілу навантаження. Збільшення кореляційної довжини може призводити до розширення зон впливу окремих вузлів, що потенційно створює "вузькі

місця" у мережі.

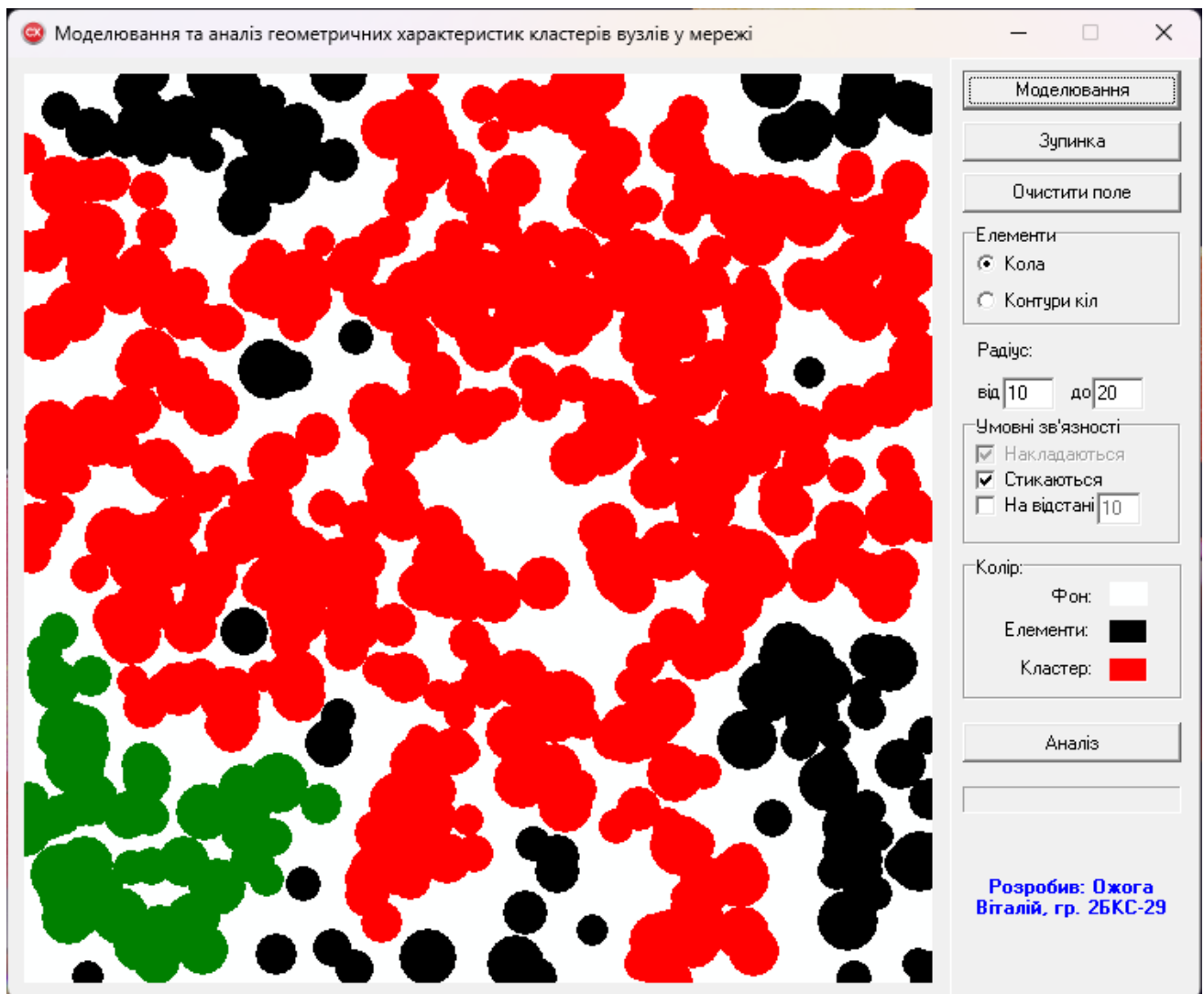


Рисунок 1.21. Моделювання для елементів з розподілом радіусу від 10 до 20

За результатами дослідження було встановлено, що оптимізація маршрутизації у мережі можливе шляхом адаптивного добору параметрів кластеризації. Наприклад, у разі компактного розташування елементів (Випадок А) рекомендується використовувати вузли з меншою кількістю елементів та коротшим радіусом гірації як основні транспортні вузли. Додатково, контроль параметра анізотропії дозволяє бути впевненим у тому, що мережевий вузол має достатній рівень симетрії для забезпечення рівномірного розподілу даних.

На підставі проведених експериментів було визначено:

- Компактні кластери (Випадок А) характеризуються нижчими значеннями середнього радіусу гірації ( $\approx 13.68$ ) та ступеня анізотропії ( $\approx 0.0834$ ), що

сприяє формуванню більш стійких мережевих вузлів із рівномірним розподілом навантаження;

- Асиметричні кластери (Випадок В) мають збільшені значення експериментальних показників (радіус ґірації  $\approx 15.25$ , анізотропія  $\approx 0.1420$ ), що може створювати проблеми в маршрутизації через нерівномірність розподілу елементів і більше значення кореляційної довжини ( $\approx 105.87$ ).

| Аналіз геометричних характеристик  |  |
|--|--|
| Кола:  | Пікселі:                                 |
| Кількість елементів: 550   | Кількість елементів: 215943              |
| Елементів кінцевих кластерів: 161  | Елементів кінцевих кластерів: 58993      |
| Елементів нескінченного кластера: 389  | Елементів нескінченного кластера: 156950 |
| Параметри нескінченного кластера:  |  |
| Ймовірність того, що обраний вузел належить якому-небудь кластеру: 0,667       |  |
| Частка комірок, зайнятих нескінченим кластером: 0,4848                         |  |
| Параметри кінцевих кластерів:  |  |
| Частка комірок, зайнятих всіма кінцевими кластерами: 0,1822                    |  |
| Середня маса кінцевого кластера: 2359,72                                       |  |
| Середнє значення радіуса ґірації: 17,4929                                      |  |
| Кореляційна довжина (довжина зв'язності): 68,1325                              |  |
| Розмір кластера:   | <input type="text" value="20179"/>       |
| Кількість кластерів, що містять $\geq$ вузлів: 1                               |  |
| Частка комірок, що належать кластерам з $\geq$ вузлів: 0,0623                  |  |
| Ймовірність того, що помічений вузол належить кластеру з $\geq$ вузлів: 0,3421 |  |
| Радіус-вектор центру мас кластера: 479,7384                                    |  |
| Радіус ґірації для ізотропних кластерів: 71,0036                               |  |
| Ступінь анізотропії: 0,0079  |  |

Рисунок 1.22. Результати аналізу для елементів з розподілом радіусу від 10 до 20

Порівняння показників дозволяє зробити висновок, що ефективність маршрутизації напряму залежить від внутрішньої структури кластерів. Оптимізація мережевих зв'язків може бути досягнута шляхом регулювання параметрів моделювання (наприклад, радіусу одиничних часток, відстані взаємодії) та врахування отриманих статистичних показників для вибору вузлів, які використовуватимуться як основні транспортні точки в мережі.

## 2 РОЗДІЛ ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ

Людина в процесі трудової діяльності взаємодіє з численними факторами, серед яких технічні засоби та природні умови.

Характер умов праці значною мірою впливає на здоров'я, працездатність і гармонійний розвиток працівника.

Забезпечення безпеки, охорона здоров'я працюючих, усунення шкідливих впливів і виробничих травм — це пріоритетні напрямки державної політики у сфері охорони праці.

### 2.1 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника

Під час роботи з персональним комп'ютером можуть виникати такі негативні фактори: підвищений шумовий фон, некомфортний мікроклімат, погане освітлення, шкідливі хімічні речовини, електромагнітне випромінювання, висока напруга в мережі, статична електрика тощо.

Крім цього, робота за ПК пов'язана з психологічним напруженням.

Систематичне порушення нормативів призводить до професійної захворюваності, зокрема — проблем із зором, опорно-руховим апаратом, нервовою системою.

Тому ретельний аналіз і покращення умов праці користувача ПК є важливою умовою профілактики негативних наслідків.

### 2.2 Розробка заходів з охорони праці

Одне з основних завдань кожної виробничої галузі — підвищення продуктивності праці. Але важливо враховувати, що працівник проводить значну частину життя на робочому місці.

- Для збереження здоров'я необхідно забезпечити:
- Комфортне та зручне робоче місце;
- Якісне повітряне середовище;
- Відповідний рівень освітлення;
- Захист від шуму й вібрацій;

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 53   |

- Обмеження впливу шкідливих речовин;
- Наявність спецодягу та ЗІЗ;
- Побутові приміщення й сервіси для створення безпечного та комфортного середовища.

## 2.3 Виробничі будівлі та приміщення

Робочі приміщення з комп'ютерною технікою мають відповідати нормам ДСанПІН 3.3.2.007-98.

Розміщення таких приміщень у підвальних або цокольних поверхах заборонено.

Бажано, щоб вікна виходили на північ або північний схід, були оснащені регульованими жалюзі або шторами.

Обов'язково має бути як природне, так і штучне освітлення.

Площа на одного працівника має бути не менше 6 м<sup>2</sup>, об'єм — не менше 20 м<sup>3</sup>. Стіни пофарбовані матовою фарбою.

### 2.3.1 Ергономіка та організація робочого місця

Робоче місце користувача ПК повинне бути організоване відповідно до стандартів (ГОСТ 12.2.032-78 тощо) з урахуванням анатомічних, фізіологічних і психічних особливостей працівника.

Стіл пофарбований матовою фарбою, дисплей встановлений так, що його верхній край знаходиться на рівні очей, на відстані 60–90 см. Частота оновлення екрана — 100 Гц, що відповідає стандарту.

Робоче місце розташоване перпендикулярно віконним прорізам, це зроблено з тією метою, щоб виключити пряму й відбиту мерехтливість екрана від вікон і приладів штучного освітлення, якими є лампи накаливання. Обладнання і організація робочого місця з ВДТ забезпечують відповідність конструкцій всіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування, ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно правил охорони праці під час експлуатації ЕОМ.

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 54   |

### 2.3.2 Гігієнічне нормування параметрів повітря робочої зони

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничих приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року. Основні нормативні документи, де наводяться норми мікроклімату – це санітарні норми та стандарти безпеки праці. Оптимальні мікрокліматичні умови – це такі параметри температури, вологості і швидкості руху повітря, які при тривалому і систематичному впливі на людину забезпечують нормальний тепловий стан організму без напруги і порушення механізмів терморегуляції. Мікроклімат повинен відповідати нормативам ГОСТ 12.1.005-88 і СНиП 2.04.05-86:

Температура повітря: 18–22°C;

Вологість: 40–60%;

Швидкість повітря: 0,1–0,2 м/с.

З метою підтримання належного мікроклімату рекомендовано використовувати вентиляційні системи та кондиціонери.

### 2.3.3 Освітлення виробничих приміщень

Для освітлення приміщення, у якому працює програміст, використовується змішане освітлення, тобто сполучення природного й штучного освітлення.

Природне освітлення - здійснюється через вікна в зовнішніх стінах будинку. Штучне освітлення - використовується при недостатньому природному освітленні й здійснюється за допомогою двох систем: загального й місцевого освітлення. Для загального освітлення приміщення, де перебуває робоче місце програміста, використовуються газорозрядні лампи типу ЛД.

Нормами для даних робіт встановлена необхідна освітленість робочого місця  $E_H=300$  лк (для робіт високої точності, коли найменший розмір об'єкта розрізнення дорівнює 0,3 – 0,5 мм). Вимоги до виробничого освітлення виконані.

### 2.3.4 Захист від дії виробничого шуму та вібрації

У робочих приміщеннях основними джерелами акустичних шумів є шуми

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 55   |

ПЕОМ. ЕОМ є також джерелами шумів електромагнітного походження (коливання елементів електромеханічних пристроїв під впливом змінних магнітних полів). Крім того, у даних приміщеннях, виникає структурний шум, тобто шум, випромінюваний поверхнями коливних конструкцій стін, перекриттів, перегородок будинку у звуковому діапазоні частот.

Джерела шуму — комп'ютери, мережеве обладнання, вентиляція.

Гранично допустимий рівень шуму — 50 дБА згідно СанПіН 2.2.4/2.1.8.562-96.

Для зниження шумового навантаження застосовуються звукопоглинальні матеріали, щільні фіранки тощо.

Знизити рівень шуму в приміщеннях можна використанням звукопоглинальних матеріалів з максимальними коефіцієнтами звукопоглинання в області частот 63-8000 Гц для обробки стін і стелі приміщень. Додатковий звуковбирний ефект створюють однотонні фіранки з щільної тканини, повішені в складку на відстані 15-20 см від огорожі. Ширина фіранки повинна бути в 2 рази більше ширини вікна.

## 2.4 Пожежна безпека

Пожежна безпека — це сукупність організаційних і технічних заходів, спрямованих на недопущення виникнення пожеж, обмеження їх розповсюдження та мінімізацію наслідків. Вона є обов'язковою складовою системи охорони праці на підприємстві.

Основні завдання пожежної безпеки:

- Попередження пожеж: усунення причин, які можуть спричинити займання;
- Обмеження поширення вогню: створення умов для стримування полум'я;
- Захист людей та матеріальних цінностей: забезпечення шляхів евакуації, використання засобів вогнегасіння;
- Оперативна ліквідація загорянь: наявність системи оповіщення, засобів пожежогасіння, підготовленого персоналу.

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 56   |

## Причини виникнення пожеж:

- Порушення правил експлуатації електрообладнання (перевантаження мережі, коротке замикання);
- Несправність або неправильне використання електроприладів;
- Куріння у заборонених місцях;
- Використання відкритого вогню;
- Зберігання легкозаймистих речовин без дотримання норм.

## Правила пожежної безпеки на підприємстві:

- Інструктаж і навчання персоналу: кожен працівник має пройти первинний і періодичний інструктаж з питань пожежної безпеки;
- Ознакування шляхів евакуації: вивіски, покажчики, освітлення аварійних виходів;
- Забезпечення приміщень вогнегасниками: порошковими, вуглекислотними або водними — залежно від характеру робіт;



Рисунок 2.1. Первинні засоби пожежогасіння

## ВИСНОВКИ

У ході роботи було досягнуто прогресу у аналізі перколяційних процесів у мережах за допомогою розробленого програмного застосунку, що інтегрує математичне моделювання, алгоритмічну базу обчислень геометричних характеристик кластерів вузлів та сучасний візуальний інтерфейс. Завдяки розробленим алгоритмам визначення радіусу гірації, ступеня анізотропії, кореляційної довжини та центру мас кластерів вдалося кількісно охарактеризувати внутрішню структуру агрегованих груп часток, що виступають у ролі вузлів мережі. Проведений експериментальний аналіз показав, що кластери з компактним розташуванням елементів (знижений радіус гірації та низький коефіцієнт анізотропії) сприяють утворенню стабільних мережеских вузлів із рівномірним розподілом навантаження і оптимальними умовами для передачі даних. Натомість асиметричні кластери, що характеризуються збільшеним радіусом та високим ступенем анізотропії, можуть створювати «вузькі місця» у мережі, що веде до нерівномірного розподілу навантаження та потенційного зниження ефективності маршрутизації.

Виконане моделювання дозволило однозначно встановити вплив геометричних характеристик вузлів на якість маршрутизації у мережі. Зокрема, аналіз показав, що оптимальний маршрут можливий за умови використання вузлів із меншим середнім радіусом гірації та високою компактністю, де просторове розташування часток відзначається високою симетрією. Отже, отримані параметри слугують не лише для статистичного аналізу, а й безпосередньо використовуються для розробки адаптивних алгоритмів маршрутизації, що враховують локальні та глобальні особливості мережевої структури.

Інтерактивність візуального інтерфейсу дозволила миттєво реагувати на зміни у параметрах моделювання, що суттєво полегшує процес прийняття рішень щодо оптимізації мережеских шляхів. Завдяки цьому було встановлено, що ефективність передачі даних у мережі безпосередньо залежить від геометричного розподілу вузлів, і правильне налаштування параметрів моделювання може призводити до значного підвищення продуктивності системи.

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 58   |

# ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Богданов І. В. Перколяційні процеси: теорія та застосування. – Київ: «Наукова думка», 2017. – 250 с.
2. Гончаренко О. П. Моделювання та аналіз мережевих систем. – Харків: «Основи науки», 2019. – 300 с.
3. Корольов А. М. Фрактальні структури у сучасних мережах. – Дніпро: «Техніка і технології», 2020. – 220 с.
5. Левицький П. Ю. Динаміка самоорганізації в перколяційних системах. – Харків: «Економіка і наука», 2020. – 310 с.
7. Орлик О. І. Моделювання транспортних мереж: перколяція та оптимізація. – Київ: Інститут прикладної математики, 2021. – 260 с.
9. Петренко Г. І. Методи моделювання мережевих структур. – Київ: «Академія», 2020. – 275 с.
10. Руденко М. В. Сучасні методи аналізу вузлових характеристик. – Чернівці: «Технічна література», 2019. – 230 с.
11. Соколенко Д. О. Математичне моделювання перколяційних процесів. – Харків: «Наука», 2018. – 260 с.
12. Тарасенко В. Ю. Статистичний аналіз мережевих процесів. – Дніпро: «Технічна книга», 2021. – 290 с.
13. Федоренко С. М. Комп'ютерне моделювання в фізиці. – Київ: Видавничий дім «Наука», 2020. – 310 с.
14. Цибульський Р. Метод Monte Carlo у моделюванні перколяційних процесів. – Львів: «Модерн», 2019. – 225 с.
15. Шевченко І. П. Оптимізація мережевих зв'язків у перколяційних системах. – Одеса: «Техніка та інновації», 2020. – 240 с.
16. Інформаційний портал «Математичне моделювання». URL: [<https://www.mathmodels.ua>]. – Режим доступу: 24.04.2025.
17. Інформаційний ресурс "Percolation Modeling". URL: [<https://www.percolationmodeling.com>]. – Режим доступу: 24.04.2025.

|     |      |          |        |      |                                  |      |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <b>БКС 29. 17 000. 00 КРБ ПЗ</b> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                  | 59   |

## Фрагмент ключових функцій застосунку для моделювання і аналізу геометричних характеристик кластерів мовою С++

### Функція пошуку кінцевого кластера із використанням відстані

```
// Переклад процедури FindFinKlasterDistance з Delphi
void __fastcall TForm1::FindFinKlasterDistance(int x, int y)
{
    // Збільшення лічильника для поточного кластера
    len++;
    int idx = FinKlustersArray.size() - 1;
    // Змінюємо розмір останнього елемента масиву FinKlustersArray
    FinKlustersArray[idx].resize(len);
    FinKlustersArray[idx][len - 1] = Point(x, y);
    DotsArray[x][y] = 2;
    // Отримуємо значення критичного розставання з TEdit Rasst
    int dist = StrToInt(Rasst->Text);
    // Перевірка по горизонталі праворуч
    for (int i = x; i <= x + dist; i++) {
        if ((i + 1 <= bm->Width - 1) && (DotsArray[i + 1][y] == 1))
            FindFinKlasterDistance(i + 1, y);
    }
    // Перевірка по діагоналі – праворуч вниз
    for (int i = 1; i <= dist; i++) {
        if ((x + i <= bm->Width - 1) && (y + i <= bm->Height - 1) && (DotsArray[x + i][y + i] == 1))
            FindFinKlasterDistance(x + i, y + i);
    }
    // Перевірка по горизонталі ліворуч
    for (int i = x; i >= x - dist; i--) {
        if ((i - 1 >= 0) && (DotsArray[i - 1][y] == 1))
            FindFinKlasterDistance(i - 1, y);
    }
    // Перевірка по діагоналі – ліворуч вниз
    for (int i = 1; i <= dist; i++) {
        if ((x - i >= 0) && (y + i <= bm->Height - 1) && (DotsArray[x - i][y + i] == 1))
            FindFinKlasterDistance(x - i, y + i);
    }
    // Перевірка по вертикалі вниз
    for (int i = y; i <= y + dist; i++) {
        if ((i + 1 <= bm->Height - 1) && (DotsArray[x][i + 1] == 1))
            FindFinKlasterDistance(x, i + 1);
    }
    // Перевірка по діагоналі – праворуч вверх
    for (int i = 1; i <= dist; i++) {
        if ((x + i <= bm->Width - 1) && (y - i >= 0) && (DotsArray[x + i][y - i] == 1))
            FindFinKlasterDistance(x + i, y - i);
    }
    // Перевірка по вертикалі вверх
    for (int i = y; i >= y - dist; i--) {
        if ((i - 1 >= 0) && (DotsArray[x][i - 1] == 1))
            FindFinKlasterDistance(x, i - 1);
    }
    // Перевірка по діагоналі – ліворуч вверх
    for (int i = 1; i <= dist; i++) {
        if ((x - i >= 0) && (y - i >= 0) && (DotsArray[x - i][y - i] == 1))
            FindFinKlasterDistance(x - i, y - i);
    }
}
```

## Функція отримання параметрів (GetParams)

```
void __fastcall TForm1::GetParams()
{
    int i, j;
    // Ініціалізація лічильників пікселів
    CirclesPixelsCount = 0;
    KlasterPixelsCount = 0;
    InfKlasterPixelsCount = 0;

    for (i = 0; i < bm->Width; i++) {
        for (j = 0; j < bm->Height; j++) {
            if (DotsArray[i][j] != 0)
                CirclesPixelsCount++;
            if ((DotsArray[i][j] == 1) || (DotsArray[i][j] == 2))
                KlasterPixelsCount++;
            if (DotsArray[i][j] == 3)
                InfKlasterPixelsCount++;
        }
    }
    // Оновлюємо список кластерів
    FinKlastersListArray.clear();
    for (i = 0; i < (int)FinKlastersArray.size(); i++) {
        FinKlastersListArray.push_back(FinKlastersArray[i].size());
    }
    // Сортування списку кластерів
    std::sort(FinKlastersListArray.begin(), FinKlastersListArray.end());

    Params->ComboBox1->Clear();
    for (i = 0; i < (int)FinKlastersListArray.size(); i++) {
        if ((Params->ComboBox1->Items->Count == 0) ||
            (Params->ComboBox1->Items->Strings[Params->ComboBox1->Items->Count - 1] !=
            IntToStr(FinKlastersListArray[i])))
        {
            Params->ComboBox1->Items->Add(IntToStr(FinKlastersListArray[i]));
        }
    }
    P = RoundTo(CirclesPixelsCount / double(bm->Width * bm->Height), -4);
    Pfin = RoundTo(KlasterPixelsCount / double(bm->Width * bm->Height), -4);
    Pinf = RoundTo(InfKlasterPixelsCount / double(bm->Width * bm->Height), -4);
    Params->LabelPixelsCount->Caption =
        "Кількість елементів: " + IntToStr(CirclesPixelsCount);
    Params->LabelPixelsKlastersCount->Caption =
        "Елементів кінцевих кластерів: " + IntToStr(KlasterPixelsCount);
    Params->LabelPixelsInfKlastersCount->Caption =
        "Елементів нескінченного кластера: " + IntToStr(InfKlasterPixelsCount);
    Params->LabelP->Caption =
        "Ймовірність того, що обраний вузол належить якому-небудь кластеру: " + FloatToStr(P);
    Params->LabelPfin->Caption =
        "Частка комірок, зайнятих всіма кінцевими кластерами: " + FloatToStr(Pfin);
    Params->LabelPinf->Caption =
        "Частка комірок, зайнятих нескінченим кластером: " + FloatToStr(Pinf);
}
```

## Функція заповнення масиву точок (*FillDotsArray*)

```
void __fastcall TForm1::FillDotsArray()
{
    int i, j;
    TColor col;
    for (i = 0; i < bm->Width; i++) {
        for (j = 0; j < bm->Height; j++) {
            col = bm->Canvas->Pixels[i][j];
            if (col == BackgroundColor)
                DotsArray[i][j] = 0;
            else if (col == CircleColor)
                DotsArray[i][j] = 1;
            else if (col == KlasterColor)
                DotsArray[i][j] = 3;
        }
    }
}
```

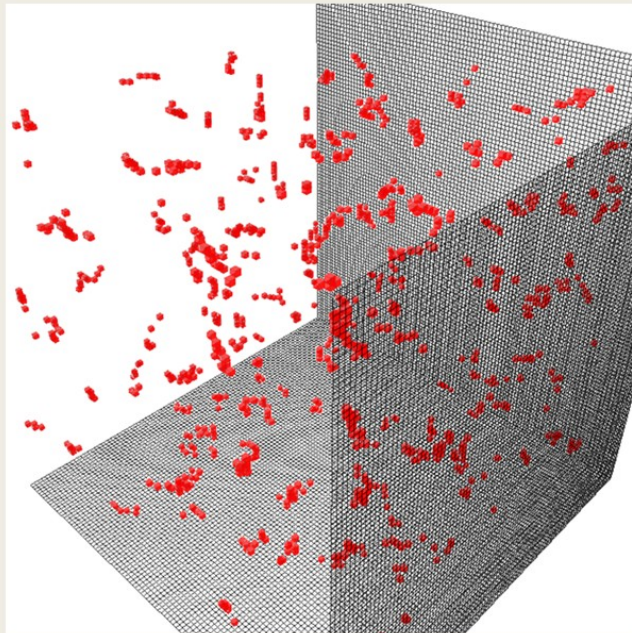
## Функція малювання кластерів (*DrawKlaster*)

```
void __fastcall TForm1::DrawKlaster()
{
    int i, x, y, r;
    if (CheckCircles->ItemIndex == 1) { // малювати окружності (контури)
        bm->Canvas->Brush->Color = KlasterColor;
        bm->Canvas->Pen->Color = KlasterColor;
        for (i = 0; i < (int)big_klaster.size(); i++) {
            x = masCircl[big_klaster[i]].Center.x;
            y = masCircl[big_klaster[i]].Center.y;
            r = masCircl[big_klaster[i]].Radius;
            // Використовуємо метод Arc для малювання контурів
            bm->Canvas->Arc(x - r, y - r, x + r, y + r, 0, 0, 0, 0);
        }
    }
    else { // малювати закрашені кола
        bm->Canvas->Brush->Color = KlasterColor;
        bm->Canvas->Pen->Color = KlasterColor;
        for (i = 0; i < (int)big_klaster.size(); i++) {
            x = masCircl[big_klaster[i]].Center.x;
            y = masCircl[big_klaster[i]].Center.y;
            r = masCircl[big_klaster[i]].Radius;
            bm->Canvas->Ellipse(x - r, y - r, x + r, y + r);
        }
    }
    Canvas->Draw(10, 10, bm);
}
```

## Моделювання та аналіз геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі

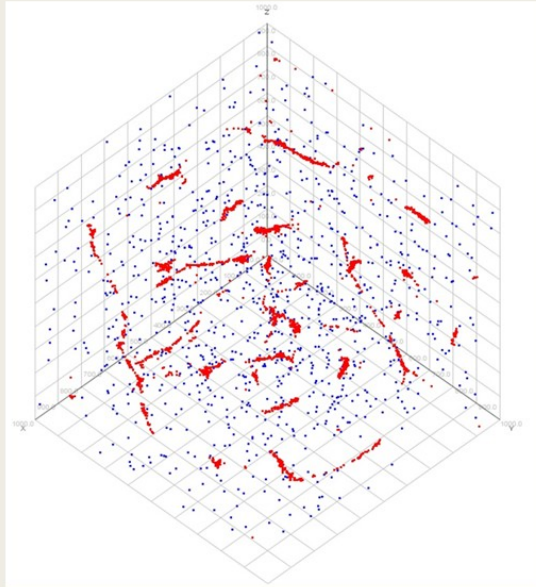
Ожога Віталій, ОТФК ОНТУ

Окремі частки, що злипаються під впливом взаємодії,  
формують компактні структури, які в подальшому об'єднуються у великий кластер

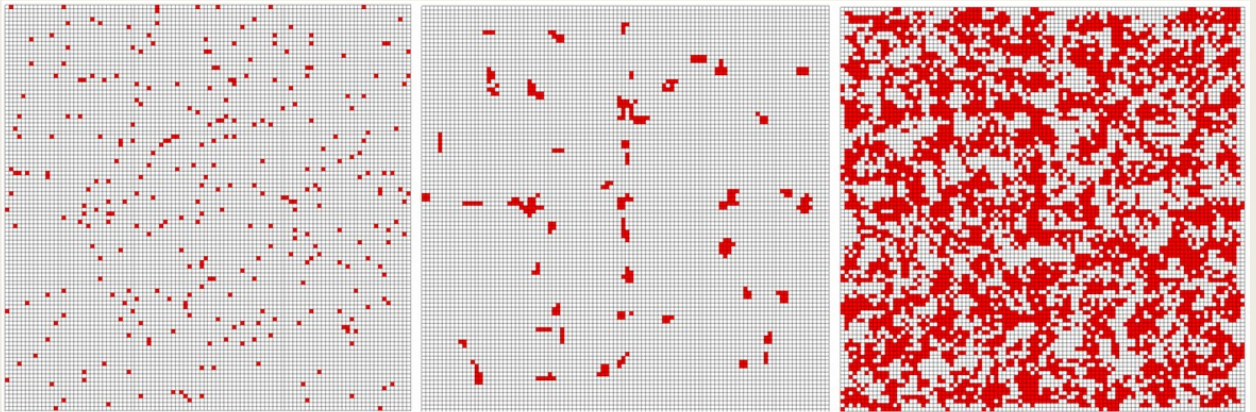


### Модель "частка-кластер".

Випадкова частка рухається всередині області до тих пір, поки не наблизиться до існуючого кластера, де відбувається її фіксація



Схематичне подання послідовності етапів агрегації: від первинного приєднання окремої частки до формування великих кластерів через стадію кластер-кластерного зростання і появи зв'язування (нескінченного кластеру)

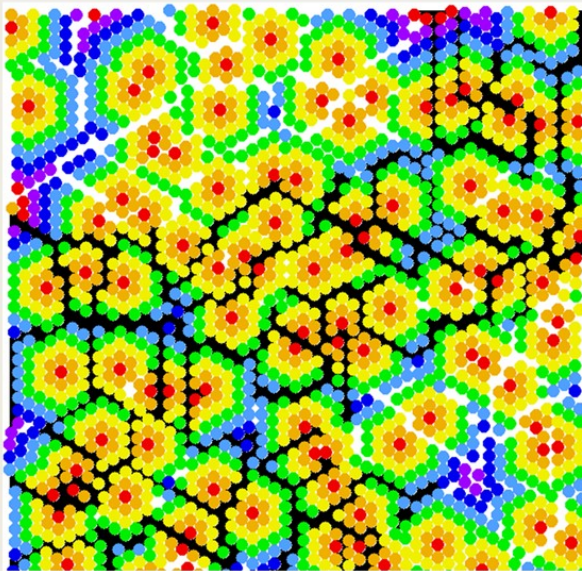


- Критична поведінка потужності нескінченного кластеру:  
 $P \propto (x - x_c)^\beta$ .
- Критична поведінка кореляційної довжини:  
 $\xi \propto |T|^{-\nu}$ ,  $T = (x - x_c)/x_c$ .

## Визначення геометричних характеристик кластерів

|  |   |
|--|---|
| Середня маса кінцевого кластера                | $\langle s \rangle = \frac{\sum_s s^2 \cdot n_s}{\sum_s s \cdot n_s}$                                   |
| Середнє значення радіусу гірації               | $\langle R^2(s) \rangle_L = \frac{\sum_s \langle R^2(s) \rangle \cdot s \cdot n_s}{\sum_s s \cdot n_s}$ |
| Кореляційна довжина (довжина зв'язності)       | $\xi^2 = \frac{2 \sum_s R^2(s) s^2 n_s}{\sum_s s^2 n_s}$  |
| Потужність кластеру                            | $P_\infty(p) = p - \sum_s s \cdot n_s(p) = \frac{N_{\text{бекк}}}{N}$                                   |
| Квадрат радіусу гірації ізотропних кластерів   | $R^2(s) = \frac{1}{2 \cdot s^2} \sum_{i,j=1}^s [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]$                         |
| Ймовірність приналежності s-вузловому кластеру | $\omega_s = \frac{s \cdot n_s}{\sum_s s \cdot n_s}$   |
| Ступень анізотропії кластерів                  | $A = \frac{R_{11}}{R_{22}}$   |

Покриття кластера шестикутниками відображає залежність кількості необхідних одиниць покриття від масштабу, що дозволяє обрахувати фрактальну розмірність за методом покриття



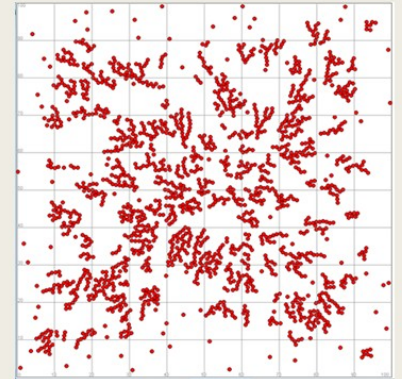
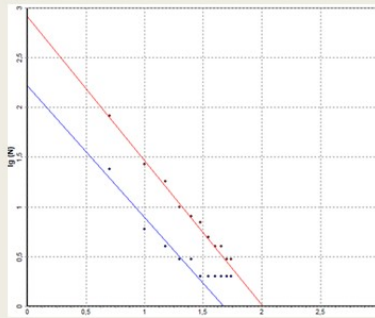
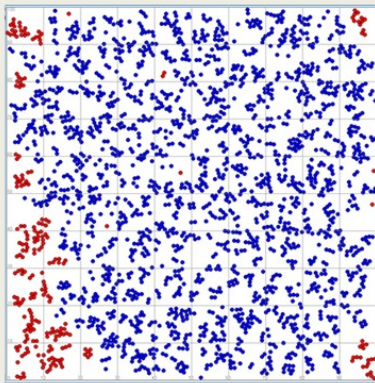
### Параметри нескінченного кластеру

Маса кластера 625  
 Потужність кластера 0,0006  
 Радіус-вектор центру мас кластера 58,07  
 Квадрат радіусу гірації ізотропних кластерів 793,98  
 Фрактальна розмірність 1,38  
 Індекс, що визначає зміну частки комірок, які належать кластеру з s комірок при зміні s 3,17  
 Коефіцієнт пропорційності, який зв'язує число комірок в кластері із радіусом гірації 6,15

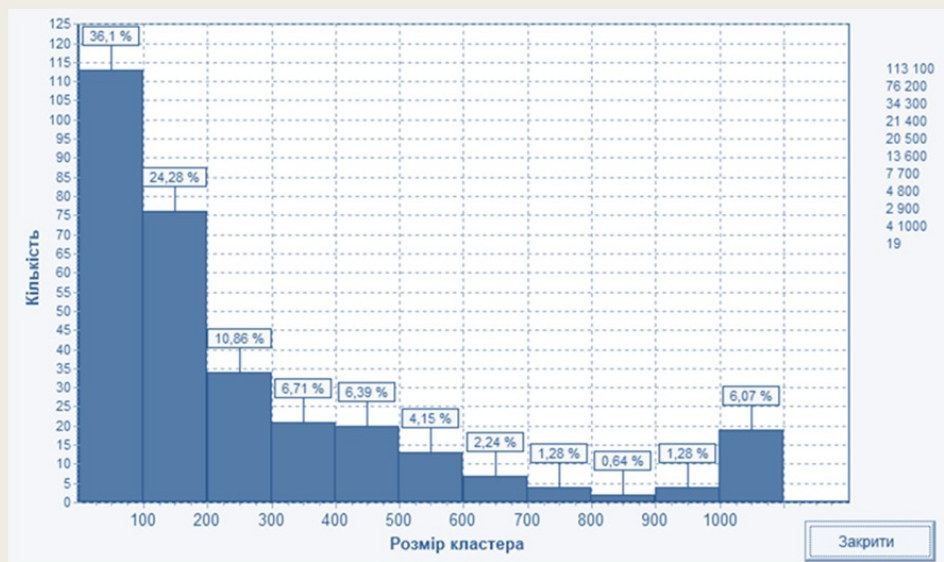
### Параметри малих кластерів

Маса кластера  Кількість   
 Потужність кластера 0,0003  
 Частка комірок кластерів, що належать кластерам даної маси 0,0005  
 Радіус-вектор центру мас кластера 41,65  
 Квадрат радіусу гірації ізотропних кластерів 267,28  
 Фрактальна розмірність 1,20  
 Індекс, що визначає зміну частки комірок, які належать кластеру з s комірок при зміні s 3,50  
 Коефіцієнт пропорційності, який зв'язує число комірок в кластері із радіусом гірації 11,98

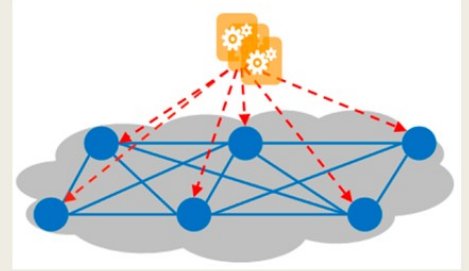
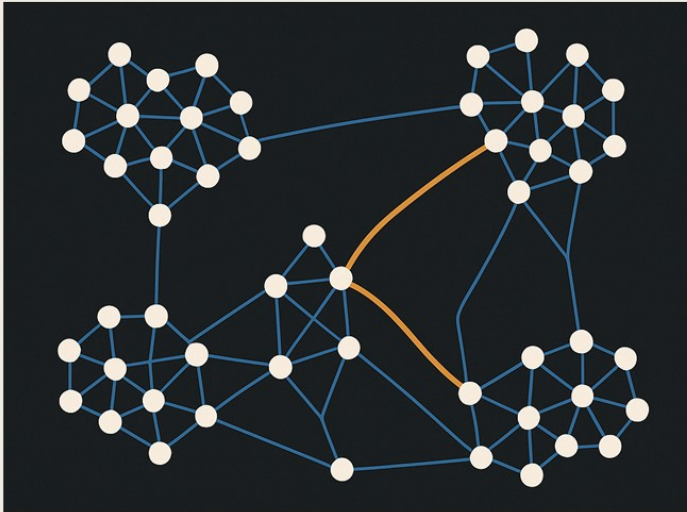
Модель кластер–кластерної агрегації.  
 Ключовими етапами є дифузія окремих кластерів та їх злиття при зіткненні,  
 що поступово веде до становлення єдиної структури.  
 Фрактальна розмірність кластера від початкової концентрації часток



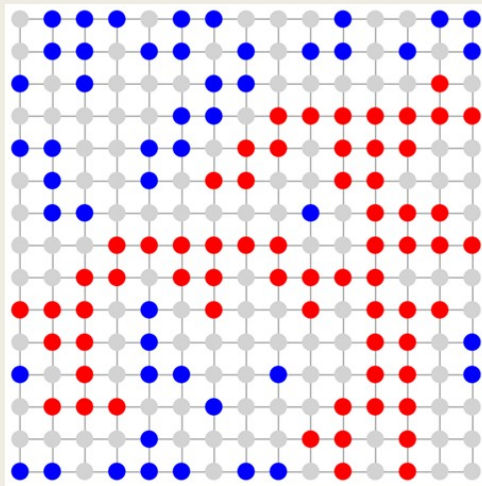
Графічне представлення самоподібного розподілу кластерів за розмірами,  
 де можна простежити властивості скейлінгової інваріантності



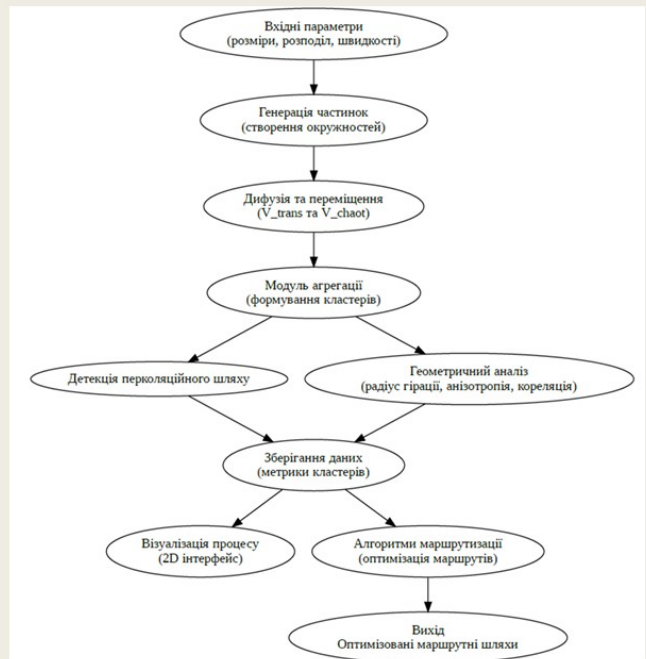
Принцип перколяційного пошуку в мережі.  
Локальні кластери вузлів з'єднуються в глобальну систему,  
забезпечуючи маршрутизацію



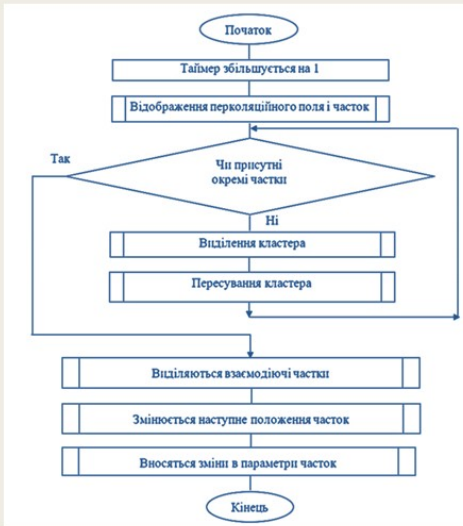
Приклад перколяційної моделі  
вузлів у мережі



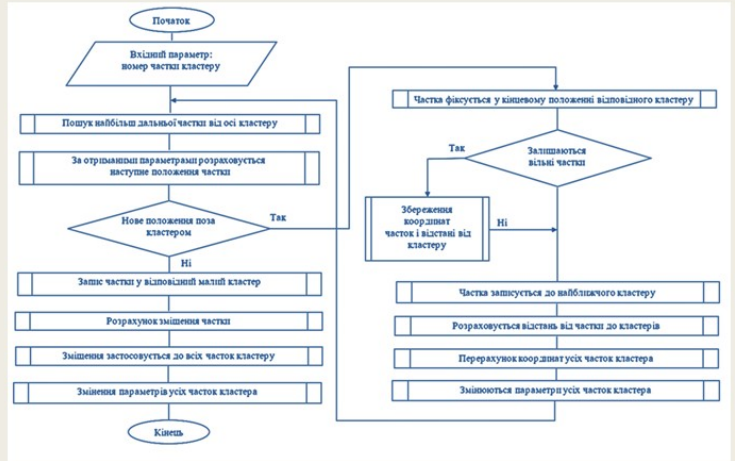
Діаграма етапів побудови перколяційної моделі мережі



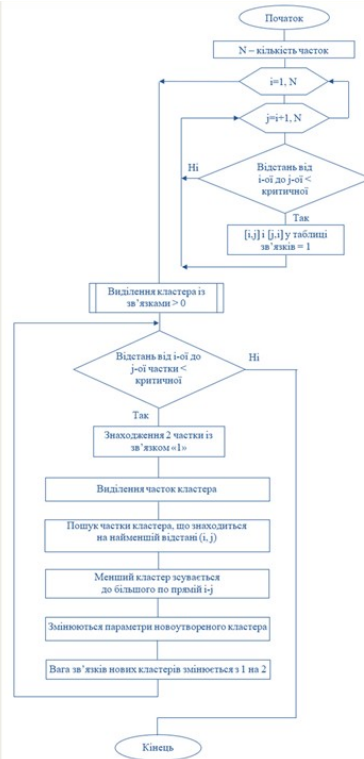
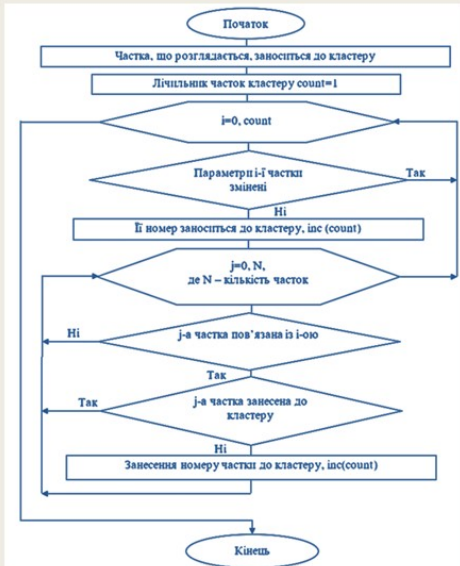
### БСА покрокового моделювання



### БСА склеювання одиначних часток (вузлів мережі)

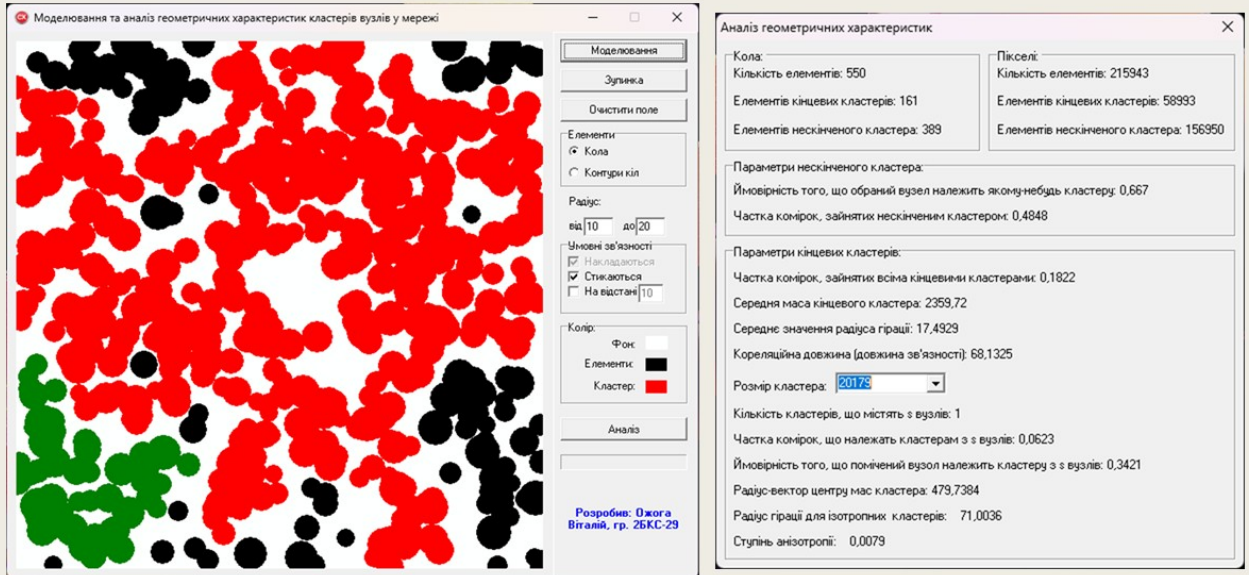


### БСА обробки часток (вузлів) кластерів мережі

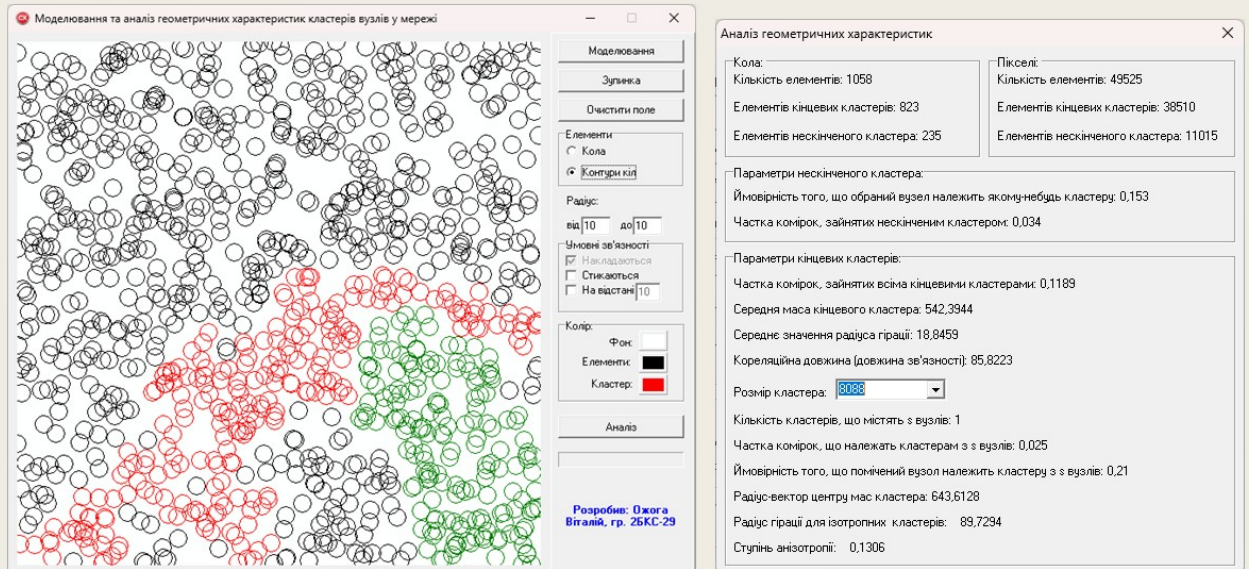


### БСА об'єднання кластерів

## Модельовання та аналіз для елементів з розподілом радіусу від 10 до 20



## Модельовання для елементів з радіусом 10 (елементи не стикаються)



### Результати експерименту (Випадок А – компактні кластери)

| Показник                            | Значення |
|-------------------------------------|----------|
| Кількість одиничних елементів (юла) | 403      |
| Кількість кінцевих кластерів        | 111      |
| Кількість нескінченних кластерів    | 292      |
| Кількість пікселів (елементи)       | 220510   |
| Пікселі кінцевих кластерів          | 60614    |
| Пікселі нескінченного кластеру      | 159896   |
| Середній радіус ґрації $R_g$        | 13.68    |
| Ступінь анізотропії (A)             | 0.0834   |
| Кореляційна довжина                 | 98.46    |
| Радіус-вектор центру мас            | 99.22    |

### Результати експерименту (Випадок В – асиметричні кластери)

| Показник                            | Значення |
|-------------------------------------|----------|
| Кількість одиничних елементів (юла) | 378      |
| Кількість кінцевих кластерів        | 90       |
| Кількість нескінченних кластерів    | 288      |
| Кількість пікселів (елементи)       | 210000   |
| Пікселі кінцевих кластерів          | 58000    |
| Пікселі нескінченного кластеру      | 152000   |
| Середній радіус ґрації $R_g$        | 15.25    |
| Ступінь анізотропії (A)             | 0.1420   |
| Кореляційна довжина                 | 105.87   |
| Радіус-вектор центру мас            | 107.30   |

## ВИСНОВКИ

- кількісно охарактеризовано внутрішню структуру агрегованих груп часток, що виступають у ролі вузлів мережі.
  - проведений експериментальний аналіз показав, що кластери з компактним розташуванням елементів (знижений радіус ґрації та низький коефіцієнт анізотропії) сприяють утворенню стабільних мережеских вузлів із рівномірним розподілом навантаження і оптимальними умовами для передачі даних. Натомість асиметричні кластери, що характеризуються збільшеним радіусом та високим ступенем анізотропії, можуть створювати «вузькі місця» у мережі, що веде до нерівномірного розподілу навантаження та потенційного зниження ефективності маршрутизації.
  - встановлено вплив геометричних характеристик вузлів на якість маршрутизації у мережі. Зокрема, оптимальний маршрут можливий за умови використання вузлів із меншим середнім радіусом ґрації та високою компактністю, де просторове розташування часток відзначається високою симетрією. Отримані параметри слугують не лише для статистичного аналізу, а й можуть безпосередньо використовуватися для розробки адаптивних алгоритмів маршрутизації, що враховують локальні та глобальні особливості мережевої структури.
- Ефективність передачі даних у мережі безпосередньо залежить від геометричного розподілу вузлів, і правильне налаштування параметрів моделювання може призводити до значного підвищення продуктивності системи.

**РЕЦЕНЗІЯ**

на кваліфікаційну роботу здобувача (здобувачки) освіти  
відділення комп'ютерних систем

*Ожого Віталія Андрійовича*

(прізвище, ім'я та по батькові)

Спеціальність 123 "Комп'ютерна інженерія"

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерна інженерія»

Керівник кваліфікаційної роботи Кривченко Юрій Вікторович

(прізвище, ім'я та по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи Моделювання та аналіз геометричних  
характеристик кластерів вузлів у мережі

Обсяг розрахунково-пояснювальної записки 70 сторінок

Обсяг графічної (презентаційної) частини 16 аркушів (слайдів)

**ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

а) заключення про ступінь відповідності виконаного кваліфікаційної роботи завданню

*Представлена на рецензію кваліфікаційна робота бакалавра повністю відповідає меті випускної роботи та технічному завданню. Тематика кваліфікаційної роботи є актуальною для своєї галузі та присвячена моделюванню та аналізу геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі.*

б) характеристика виконання кожного розділу кваліфікаційної роботи

*Кваліфікаційна робота складається зі вступу, двох розділів, висновків, переліку використаних джерел. У основному розділі виконано аналіз перколяційних процесів; огляд методів визначення розмірностей перколяційних шляхів; побудова перколяційної моделі мережі; визначення геометричних характеристик кластерів; розробка БСА моделювання та аналізу; реалізація візуального інтерфейсу застосунку; проведення експериментів та аналіз результатів моделювання*

в) оцінка якості виконання пояснювальної записки та графічної частини кваліфікаційної роботи

*Графічна частина виконана на достатньо високому рівні у вигляді презентації із використанням офісного пакету Microsoft PowerPoint та Visio. Пояснювальна записка виконана охайно та у відповідності до норм оформлення документів із використанням офісного пакету Microsoft Word. Загальна якість виконання документації – добра, академічного плагіату ідей у роботі не виявлено*

г) перелік позитивних якостей кваліфікаційної роботи Робота ґрунтується на ретельно опрацьованій теоретичній базі. Проект містить багатоступеневе моделювання в умовах 2D-простору: від генерації одиничних часток і побудови первинних кластерів до алгоритмів об'єднання кластерів. Окрім цього, автор розробив модулі для розрахунку геометричних характеристик, що є важливим для подальшої оптимізації мережевих маршрутів.

д) основні недоліки кваліфікаційної роботи Алгоритми обробки кластерів можуть стати обчислювально затратними при значній кількості часток або при розширенні просторового поля моделювання. Варто розглянути можливість оптимізації для покращення продуктивності. Робота переважно базується на чисельних експериментах та симуляціях. Було б корисно провести порівняльний аналіз із відомими теоретичними моделями або експериментальними даними

Оцінка розрахункової частини Добре

Оцінка графічної частини Відмінно

Загальна оцінка Добре

Прізвище, ім'я, по батькові рецензента к.т.н. Рудніченко Микола Дмитрович

Місце роботи і посада рецензента Національний університет «Одеська політехніка», доцент кафедри інформаційних технологій



Підпис: Рудніченко

06 2025 р.

ВСП «Одеський технічний фаховий коледж ОНТУ»

## ВІДГУК

керівника про кваліфікаційну роботу бакалавра

*Ожоги Віталія Андрійовича*

(прізвище, ім'я та по батькові)

Спеціальність 123 "Комп'ютерна інженерія"

Тема кваліфікаційної роботи Моделювання та аналіз геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі

### ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

а) Обсяг і якість виконання роботи (графічного матеріалу і розрахунково-пояснювальної записки) Випускна робота виконана відповідно технічному завданню. Пояснювальна записка до випускної роботи містить 70 сторінок. У пояснювальній записці описано етапи дослідження кластероутворення у теорії протікання, етапи створення комп'ютерної моделі та програмного застосунку для аналізу геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі, оцінки їх параметрів, моделювання перколяційних процесів у мережі. Графічна частина складається з 16 слайдів, оформлених у вигляді презентації, передбачених технічним завданням. Якість виконання пояснювальної записки та слайдів добра, розробку виконано у повному обсязі.

б) Самостійність роботи Протягом виконання випускної бакалаврської роботи Ожога Віталій поступово та послідовно виконував всі етапи, проявив ініціативу у створенні загальної концепції та реалізації випускної роботи. Всі роботи він виконував самостійно, з оглядом на рекомендації керівника.

**ДОЗВІЛ  
НА РОЗМІЩЕННЯ  
ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
В ЕЛЕКТРОННОМУ РЕПОЗИТАРІЇ ВСП «ОТФК ОНТУ»**

Ми, що нижче підписалися,

**Ожога В.А.**,  
здобувач освіти гр. 2БКС-29, та

**Кривченко Ю.В.**,  
керівник дипломного проекту,


не заперечуємо щодо розміщення електронного варіанту пояснювальної записки до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

*«Моделювання та аналіз геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі» (автор роботи – Ожога В.А., керівник роботи – Кривченко Ю.В.)*

виконаного у ВСП «Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету» в 2025 році, у повному обсязі в електронному репозитарії ВСП «ОТФК ОНТУ» для вільного доступу через мережу Інтернет.

Несемо відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів випускної кваліфікаційної роботи, і даємо згоду на обробку персональних даних.

Виконавець



/ Ожога В.А. /

Керівник



/ Кривченко Ю.В. /

«16» червня 2025 р.

# Д О В І Д К А

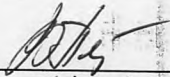
кафедри комп'ютерної інженерії  
про допуск до захисту кваліфікаційної роботи  
здобувача (здобувачки) освіти ІІ курсу  
відділення комп'ютерних систем групи 2БКС-29

*Ожоги Віталія Андрійовича*

на тему Моделювання та аналіз геометричних характеристик  
кластерів вузлів у мережі

Висновок відповідальної особи за проведення нормоконтролю:

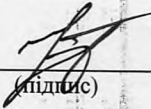
пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи виконана з несуттєвими  
порушеннями ДСТУ та оформлена відповідно до вимог Положення про  
дипломне проектування

  
(підпис)

20.06.2025  
(дата)

Петрашова В.І.  
(П.І.Б.)

Висновок відповідальної особи за перевірку роботи на наявність академічного  
плагіату згідно звіту про перевірку від 03.06.2025 р. значення коефіцієнту  
подібності в роботі становить 5,44%, коефіцієнт цитування – 1,20%.

  
(підпис)

20.06.2025  
(дата)

Краснокутська К.Г.  
(П.І.Б.)

**Попередня експертиза (малий захист) кваліфікаційної роботи**

здобувача (здобувачки) освіти

Ожоги В.А.  
(П.І.Б.)

проведена « 20 » червня 2025 р.

Висновки Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи виконана у  
повному обсязі. Випускна кваліфікаційна робота відповідає вимогам  
Положення про дипломне проектування та рекомендована до захисту.

Зав. кафедри КІ

  
(підпис)

Іванова Л.В.  
(П.І.Б.)

## Звіт подібності

### метадані

Назва організації

Odesa Technical Professional College of Odesa National University of Technology

Заголовок

Моделювання та аналіз геометричних характеристик кластерів вузлів у мережі

Автор

Науковий керівник / Експерт

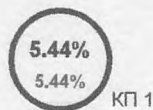
Ожога Віталій Андрійович Кривченко Юрій Вікторович

підрозділ

Відокремлений структурний підрозділ "Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету"

### Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

12350

Кількість слів

104858

Кількість символів

### Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про **МОЖЛИВІ** маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

|                        |  |    |
|------------------------|--|----|
| Заміна букв            |  | 8  |
| Інтервали              |  | 0  |
| Мікропробіли           |  | 0  |
| Білі знаки             |  | 0  |
| Парафрази (SmartMarks) |  | 44 |

### Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копію тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

#### 10 найдовших фраз

| ПОРЯДКОВИЙ<br>НОМЕР | НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)  | Копію тексту                              |
|---------------------|---|---|
|                     |   | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ<br>СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
| 1                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d5a3d14f-d5cb-460f-9c49-cba3f9d50554/content">https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d5a3d14f-d5cb-460f-9c49-cba3f9d50554/content</a> | 110 0.89 %                                |
| 2                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6eb6bf1c-5813-45e6-93c5-25539b4709d3/content">https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6eb6bf1c-5813-45e6-93c5-25539b4709d3/content</a> | 75 0.61 %                                 |
| 3                   | <a href="https://studopedia.org/5-77234.html">https://studopedia.org/5-77234.html</a>   | 43 0.35 %                                 |
| 4                   | <a href="https://studme.com.ua/10981205/bzhd/kontrol_elektromagnitnyh_poley_izluchenyi.htm">https://studme.com.ua/10981205/bzhd/kontrol_elektromagnitnyh_poley_izluchenyi.htm</a>   | 37 0.30 %                                 |
| 5                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/549ee9fe-7574-4ae5-b500-9fe2711f33e6/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/549ee9fe-7574-4ae5-b500-9fe2711f33e6/download</a>                               | 36 0.29 %                                 |

|    |   |           |
|----|---|-----------|
| 6  | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6eb6bf1c-5813-45e6-93c5-25539b4709d3/content">https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6eb6bf1c-5813-45e6-93c5-25539b4709d3/content</a> | 28 0.23 % |
| 7  | <a href="https://ttf.teset.sumdu.edu.ua/images/Masters/Zavdannya.doc">https://ttf.teset.sumdu.edu.ua/images/Masters/Zavdannya.doc</a>   | 27 0.22 % |
| 8  | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6eb6bf1c-5813-45e6-93c5-25539b4709d3/content">https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6eb6bf1c-5813-45e6-93c5-25539b4709d3/content</a> | 26 0.21 % |
| 9  | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e6c3361-ffb-4469-86a1-fe84a1fe21cd/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e6c3361-ffb-4469-86a1-fe84a1fe21cd/download</a>                                 | 23 0.19 % |
| 10 | <a href="https://studopedia.org/5-77234.html">https://studopedia.org/5-77234.html</a>   | 19 0.15 % |

### з домашньої бази даних (0.05 %)

| ПОРЯДКОВИЙ<br>НОМЕР | ЗАГОЛОВОК  | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ<br>СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
|---------------------|--|---|
| 1                   | Створення web-застосунку цифрового помічника з використанням Open AI<br>5/28/2025<br>Odesa Technical Professional College of Odesa National University of Technology (Відокремлений структурний підрозділ "Одеський технічний фаховий коледж Одеського національного технологічного університету") | 6 (1) 0.05 %                              |

### з програми обміну базами даних (0.09 %)

| ПОРЯДКОВИЙ<br>НОМЕР | ЗАГОЛОВОК   | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ<br>СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
|---------------------|---|---|
| 1                   | Розрахункова частина до кваліфікаційної атестації першого (бакалаврського) рівня вищої освіти<br>6/28/2022<br>National University "Chernihiv Collegium" (National University "Chernihiv Collegium") | 6 (1) 0.05 %                              |
| 2                   | Kniaziev Energetichne obstegenia privatnoi budivli z metoyu rozrobki zahodiv z energoberegenia.docx<br>12/11/2023<br>Sumy State University (Кафедра прикладної гідроаеромеханіки)                   | 5 (1) 0.04 %                              |

### з Інтернету (5.30 %)

| ПОРЯДКОВИЙ<br>НОМЕР | ДЖЕРЕЛО URL   | КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ<br>СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ) |
|---------------------|---|---|
| 1                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6eb6bf1c-5813-45e6-93c5-25539b4709d3/content">https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6eb6bf1c-5813-45e6-93c5-25539b4709d3/content</a>                           | 169 (7) 1.37 %                            |
| 2                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d5a3d14f-d5cb-460f-9c49-cba3f9d50554/content">https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d5a3d14f-d5cb-460f-9c49-cba3f9d50554/content</a>                           | 110 (1) 0.89 %                            |
| 3                   | <a href="https://studopedia.org/5-77234.html">https://studopedia.org/5-77234.html</a>   | 62 (2) 0.50 %                             |
| 4                   | <a href="https://ttf.teset.sumdu.edu.ua/images/Masters/Zavdannya.doc">https://ttf.teset.sumdu.edu.ua/images/Masters/Zavdannya.doc</a>   | 45 (3) 0.36 %                             |
| 5                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/d42aac6d-ab01-4a74-b9cb-ced2a9eff719/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/d42aac6d-ab01-4a74-b9cb-ced2a9eff719/download</a>   | 38 (4) 0.31 %                             |
| 6                   | <a href="https://studme.com.ua/10981205/bzhd/kontrol_elektromagnitnyh_poley_izlucheniy.htm">https://studme.com.ua/10981205/bzhd/kontrol_elektromagnitnyh_poley_izlucheniy.htm</a>   | 37 (1) 0.30 %                             |
| 7                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/549ee9fe-7574-4ae5-b500-9fe2711f33e6/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/549ee9fe-7574-4ae5-b500-9fe2711f33e6/download</a>   | 36 (1) 0.29 %                             |
| 8                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/e86ba9fc-9135-43bb-922a-10bf0bce46b5/content">https://card-file.ontu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/e86ba9fc-9135-43bb-922a-10bf0bce46b5/content</a>                           | 24 (2) 0.19 %                             |
| 9                   | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e6c3361-ffb-4469-86a1-fe84a1fe21cd/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/0e6c3361-ffb-4469-86a1-fe84a1fe21cd/download</a>   | 23 (1) 0.19 %                             |
| 10                  | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/f789da43-3034-4ad8-bf34-640a47414f93/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/f789da43-3034-4ad8-bf34-640a47414f93/download</a>   | 17 (2) 0.14 %                             |
| 11                  | <a href="http://bukvar.su/informatika_programmirovanie/page.4.170293-Analiz-sistemy-avtomatizacii-roznychnoiy-torgovli.html">http://bukvar.su/informatika_programmirovanie/page.4.170293-Analiz-sistemy-avtomatizacii-roznychnoiy-torgovli.html</a> | 17 (1) 0.14 %                             |
| 12                  | <a href="https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/29489599-0581-4ce6-8890-c3b13d9f2e0e/download">https://card-file.ontu.edu.ua/bitstreams/29489599-0581-4ce6-8890-c3b13d9f2e0e/download</a>   | 17 (2) 0.14 %                             |



в) Теоретична підготовка здобувача освіти \_\_\_\_\_

*Ожога Віталій під час роботи над випускною бакалаврською роботою вивчив і опрацював достатню кількість літературних джерел за даною тематикою.*

*Вважаю, що теоретична підготовка здобувача освіти достатня і він готовий до захисту роботи.*

г) Вміння розв'язувати виробничі і конструкторські питання на базі останніх досліджень науки і техніки, передових методів виробництва \_\_\_\_\_

*Під час виконання роботи Ожога Віталій мав змогу самостійно приймати окремі рішення з виконання програмної частини роботи та показав вміння організовано працювати над поставленою задачею, застосовувати знання у галузі програмування та математики, розробляти, встановлювати та налаштовувати спеціалізоване програмне забезпечення, оформлювати слайди та складати презентації, користуючись сучасними комп'ютерними програмними засобами, такими як Embarcadero RAD Studio та ін.*

Оцінка розрахункової частини Добре

Оцінка графічної частини Відмінно

Загальна оцінка Добре

Прізвище, ім'я, по батькові Кривченко Юрій Вікторович

Місце роботи і посада керівника роботи ВСП "Одеський технічний фаховий коледж ОНТУ", викладач кафедри комп'ютерної інженерії, голова циклової комісії комп'ютерних технологій та програмної інженерії

Підпис \_\_\_\_\_

« 20 »

06

2025 р.